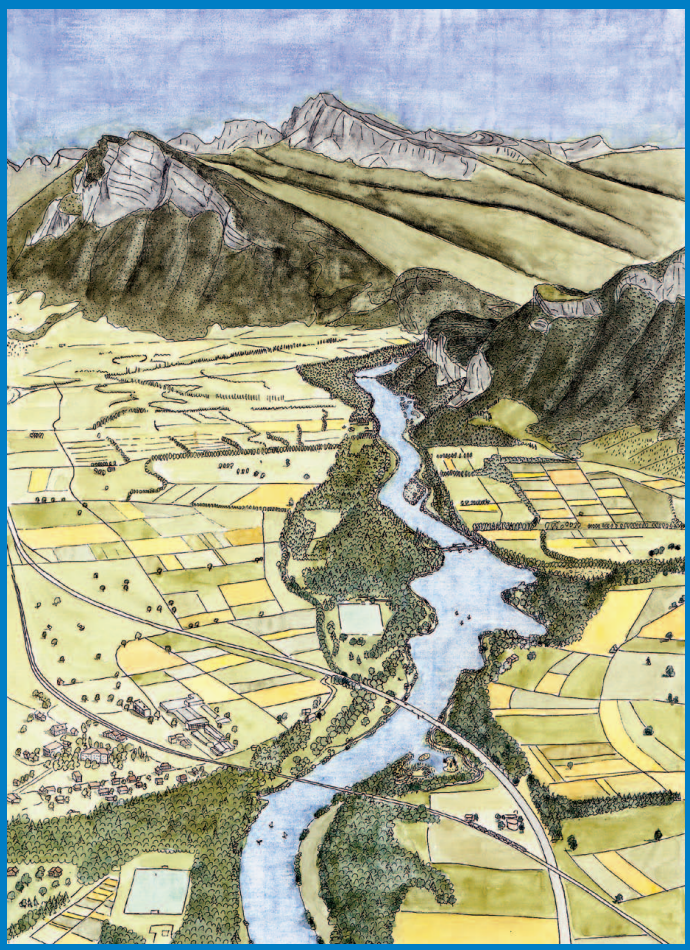




Der Rhein – Lebensader einer Region



Frank Klötzli, Urs Capaul, Helen Hilfiker, Jürg Paul Müller, August Schläfli, Toni Bürgin und Mitwirkende aus den Naturforschenden Gesellschaften Zürich, Schaffhausen, Thurgau, Graubünden und der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft St. Gallen





Umschlagbilder

Vorderseite
Oben links: Abb. 1. Renaturiertes Moor, Beitrag Schlegel, Weber und Hugentobler.
Oben Mitte: Abb. 2. Mittlerer Sonnentau, Beitrag Schlegel, Weber und Hugentobler.
Oben rechts: Abb. 1. Kolben-Ente, Beitrag Jacoby.
Mittelbild: Abb. 1. Neugestaltung des Rheins, Beitrag Schlegel.
Unten links: Abb. 1. Greina, Beitrag Stähli.
Unten Mitte: Abb. 1. Tössegg, Beitrag Hardmeier.
Unten rechts: Abb. 2. Schwertlilienfeld, Beitrag Grabher.

Rückseite
Oben links: Abb. 1. Wehr des Kraftwerkes Schaffhausen, Beitrag Vogelsanger.
Oben Mitte: Abb. 3. Uferrenaturierung Nussbaumersee, Beitrag Rieder, Schläfli und Entress.
Oben rechts: Abb. 6. Binsenjungfer, Beitrag Schlegel, Weber und Hugentobler.
Mittelbild: Abb. 1. Unverbauter Rhein, Illmündung 1850, Beitrag Broggi.
Unten links: Abb. 3. Auenboden, Beitrag Lüscher.
Unten Mitte links: Abb. 4. Eschenau, Beitrag Lüscher.
Unten Mitte rechts: Abb. 1. Sumpfgladiole, Beitrag Hermann und Klein.
Unten rechts: Abb. 1. Einer der ersten Thurgauer Biber, Beitrag Müller und Geisser.

NEUJAHRSBLATT

herausgegeben von der

Naturforschenden Gesellschaft in Zürich

unter Mitwirkung der

Naturforschenden Gesellschaften
Schaffhausen, Thurgau, Graubünden und der
Naturwissenschaftlichen Gesellschaft St. Gallen

auf das Jahr 2006

2005

Veröffentlichung
der
Naturforschenden Gesellschaft in Zürich
im Anschluss an den Jahrgang 150 der
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich

208. Stück

Redaktion: Conradin A. Burga, Frank Klötzli und Marlies Gloor

Ausgegeben am 31. Dezember 2005

ISSN 0379-1327

Druck und Verlag:
KOPRINT AG, Untere Gründlistrasse 3, CH-6055 Alpnach Dorf

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Quellenregister gestattet

ngzh
Naturforschende
Gesellschaft in Zürich
www.ngzh.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region

Frank Klötzli, Urs Capaul, Helen Hilfiker, Jürg Paul Müller, August Schläfli, Toni Bürgin und Mitwirkende aus den Naturforschenden Gesellschaften Zürich, Schaffhausen, Thurgau, Graubünden und der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft St. Gallen

Übrige Autoren siehe Inhaltsverzeichnis

Die Herausgeber danken folgenden Sponsoren:

– sc|nat, Bern
– Kraftwerk Schaffhausen AG
– Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernkraftwerken HSK, Villigen
– Lotteriefonds des Kantons Thurgau
– Amt für Kultur des Kantons St. Gallen
– Kanton Schaffhausen (Lotteriefonds)

Inhalt

Vorwort 7

1 NATÜRLICHE GRUNDLAGEN

Synopsis: Wasser aus dem Wasserschloss Europas (Die Herausgeber) 9
Die geologische Geschichte der Landschaft des Hochrheingebietes (Peter Bitterli-Dreher) 13
Zur Entstehungsgeschichte von Alpenrhein und Bodensee-Becken (René Hantke) 34
Letzte Eiszeit und Landschaftsformung am Hochrhein und am Alpenrhein (Oskar Keller) 54
Bodenentwicklung und Böden längs des Rheins (Peter Lüscher) 75
Zur Hydrologie des Flusssystems Rhein (Daniel Vischer) 86
Das Rheingebiet als Grundwasserträger (Jürg Trösch) 110
Kalkablagerungen in Untersee und Rhein (August Schläfli) 114
Klima Rheingebiet (Jacques Burnand) 118

2 FLORA UND VEGETATION

Synopsis: Flora und Vegetation am Rhein (Die Herausgeber) 121
Hauptetappen der Vegetationsentwicklung im Rhein-Gebiet seit dem Würm-Spätglazial (ab ca. 17 000 B.P.) (Conradin Burga) 124
Die Waldvegetation des Rheingebietes (Jacques Burnand, Hans-Ulrich Frey, und Peter Schmider) 135
Die Auenvegetation des Rheins (Christian Roulier) 161
Auen- und Mittelwälder am Zürcher Rhein und an der Thur (Fritz Hirt und André Hofmann) 176
Wiesenvegetation im Vorarlberger Rheintal (Markus Grabher) 184
Die Strandschmielen-Gesellschaft – eine endemische Pflanzengesellschaft des Bodensee-Litorals (Michael Dienst und Irene Strang) 191
Das Schicksal der Röhrichte am Bodensee. 40 Jahre Schilfbeobachtung (Frank Klötzli) 196
Wassermoose am thurgauischen Rheinufer (Helen Hilfiker und Ariel Bergamini) 204

3 FAUNA

Synopsis: Die Wirbeltierfauna am Rhein (Die Herausgeber) 209
Der Alpenrhein – Ausbreitungslinie und Ausbreitungshindernis für Wirbeltiere (Jürg Müller und Hannes Jenny) 212
Der Rhein und seine Fische (Jakob E. Walter) 218
Lebensraum- und Arealveränderungen der Amphibien im Alpenrheintal (Mario Lippuner und Hans Heusser) 226
Der Bodensee als Lebensraum für Wasservögel, insbesondere als Zugrastplatz und Winterquartier (Harald Jacoby) 239

Bestandesentwicklung und Verbreitung des Bibers *(Castor fiber fiber)* im Kanton Thurgau zwischen 1968 und 2005 (Mathis Müller und Hannes Geisser) 246

Die Ausbreitung der Bisamratte in der Nordostschweiz (Augustin Krämer) 257

4 NATUR UND MENSCH AM RHEIN

Synopsis: Natur und Mensch am Rhein (Die Herausgeber) 263

Überschwemmungen und Niedrigwasser im Einzugsgebiet des Rheins 1500–2000 (Christian Pfister) 265

Der St. Galler Alpenrhein und der Landschaftswandel (Markus Kaiser) 274

Alpenrheintal – Landschaftswandel und Perspektiven (Mario F. Broggi) 292

Hydrotechnische Entwicklungen (Daniel Vischer und Leo Kalt) 303

Die Rheinwasserqualität zwischen Bodensee, Tössegg und Basel (Hermann U. Hardmeier) 331

Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung und des Hochwasserschutzes am Rhein (Ruedi Schneider) 338

Natur im Staubereich des Kraftwerkes Schaffhausen (Walter Vogelsanger) 343

5 NATURSCHUTZ UND RENATURIERUNG

Synopsis: Naturschutz und Renaturierung (Die Herausgeber) 349

Die Thur – ein Fluss lebt auf (Marco Baumann, Christian Göldi, Urs Gunzenreiner und Matthias Oplatka) 352

Uferrenaturierungen am Bodensee (Berthold Siessegger und Petra Teiber-Siessegger) 361

Der Schaaren bei Schaffhausen – Naturschutz und Renaturierung (Fredy Leutert und Ulrich Pfändler) 383

Einblick in die Renaturierung der Bäche und Flüsse im Kanton Zürich – Teileinzugsgebiet des Rheins (Christian Göldi) 389

Die Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder bei Altstätten und Oberriet (SG). Organismische Folgen ihrer ökologischen Aufwertung (Jürg Schlegel, Urs Weber und Ignaz Hugentobler) 394

Moorrenaturierung im Thurgauer Seebachtal. Ein Modellfall? (Joggi Rieder, August Schläfli und Humbert Entress) 402

Bestrebungen zu Schutz und Aufwertung von Natur und Landschaft im St. Galler Rheintal. Ein Beispiel für Naturschutzplanung (Alfred Brülisauer) 409

Renaturierung und Hochwasserschutz am Alpenrhein: Eine Vision auf dem Weg zur Wirklichkeit (Franco Schlegel) 416

Naturschutz am Zürcher Rhein (Andreas Keel) 425

Das Wollmatinger Ried am Bodensee – ein Naturschutzgebiet von europaweiter Bedeutung (Mike Herrmann und Eberhard Klein) 431

Ein Zentrum der Vielfalt – Ruggeller Riet (Frank Klötzli) 438

Objekte von besonderem Schutzwert am Rhein in Graubünden (Georges Ragaz und Josef Hartmann) 444

Respekt vor der Rheinlandschaft – Überlegungen aus naturethischer Sicht (Fridolin Stähli) 448

Vorwort

Verschiedentlich wurde von der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (sc|nat) der Wunsch geäussert, die kantonalen naturwissenschaftlichen Gesellschaften mögen einzelne Aufgaben gemeinsam angehen. Die Anregung haben wir gerne aufgenommen und sie mit einem gemeinsamen Buchprojekt über ein fachlich weitgefasstes Thema verwirklicht. Dieses sollte im gemeinsamen Interesse aller beteiligten Gesellschaften oder auf einer uns alle verbindenden Achse liegen. Das Thema «Der Rhein – Lebensader einer Region» erfüllt für die Ostschweiz und die angrenzenden Länder die Voraussetzungen. Es versteht sich, dass auch der Bodensee und die wichtigsten Zuflüsse im Einzugsgebiet des Rheins eingeschlossen werden mussten. Als Grenze gegen Westen definierten wir ungefähr die Schwelle des Rheinfalls. Damit konnte der Versuch gewagt werden, wichtige Aspekte und Eigenheiten einer Region darzustellen, Ereignisse aus Vergangenheit und Gegenwart zusammenzufassen, aber auch Ausblicke in die Zukunft zu vermitteln.

Ein solches Unternehmen muss sich naturgemäss auf einzelne Themen beschränken und kann nicht beliebig ausgedehnt werden. Als Partner waren die Anrainer der Rheinachse unbestritten: Graubünden, St. Gallen, Thurgau, Schaffhausen, Zürich. Die Grenzlage von Rhein und Bodensee machte auch den Blick nach Österreich (Vorarlberg), Liechtenstein und Deutschland frei.

Damit war eine Achse gegeben, die nicht nur gemeinsame geologische, hydrologische und oft ähnliche ökologische Voraussetzungen bot, sondern auch geschichtliche und kulturhistorische Verknüpfungen in Gewässerfragen sichtbar machte. Wie sich bald zeigte, waren entlang des Rheinflusses Fachleute mit lokalen und regionalen Kenntnissen zu finden, die in den Bereichen Natur-, Geistes- und der technischen Wissenschaften als kompetente Autoren mitarbeiten konnten. Dazu kamen zuständige Fachpersonen von kantonalen und kommunalen Verwaltungen. So wurde entlang der Flussachse die Entwicklung der ostschweizerischen Landschaften, der Werdegang des Rheins und der ihn begleitenden Natur sowie der allgegenwärtige Einfluss des bewirtschaftenden Menschen von der Quelle bis zum Hochrhein erfasst. Wir sind der Meinung, dass die wichtigsten Elemente unserer vielfältigen Ostschweizer Rheinlandschaft herausgehoben werden konnten und so ein Querschnitt aufgezeigt wurde durch die natur- und menschenbedingten Besonderheiten am Rheinlauf als tragende Pfeiler dieses Werkes.

Jetzt liegt ein Buch vor uns, das sich zwar auf den Rheinfluss beruft, das aber auch viele neue Aspekte einer allgemeinen Natur- und Kulturgeschichte der Gewässer der Ostschweiz vermittelt. Die am Buchprojekt beteiligten Naturforschenden/Naturwissenschaftlichen Gesellschaften erhalten für ihre Mitglieder eine attraktive Gesamtschau, die, nicht zuletzt auch wegen den umfassenden Literaturangaben, noch über Jahre gerne konsultiert werden wird.

Es liegt in der Natur eines solchen Werkes, dass gewisse Fragen in verschiedenen naturwissenschaftlichen und politischen Bereichen kontrovers betrachtet werden können. Dies wurde hier absichtlich nicht vermieden, denn wir fanden es besser, ein Buch mit ehrlich dargestellten Meinungsunterschieden, also auch mit umstrittenen Gesichtspunkten, zu publizieren, als eine «versteinerte», in den Umrissen längst bekannte Natur- und Kulturgeschichte vorzulegen.

Dafür, dass ein recht vollständiges Bild der Ostschweizer Landschaft in dieser umfangreichen Schrift erscheinen darf, danken wir im Namen unserer Gesellschaften den vielen geduldigen Autoren, die auf unsere speziellen Wünsche eingegangen sind, recht herzlich, aber auch allen grosszügigen Sponsoren, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben.

Zürich, Schaffhausen, Frauenfeld,
St. Gallen, Chur, im Herbst 2005
Die Redaktions-Kommission

1 Natürliche Grundlagen

Synopsis: Wasser aus dem Wasserschloss Europas

Die Herausgeber

Der Rhein (rom. Rein, franz. Rhin, niederl. Rijn) ist einer der grössten Ströme Europas. Er verbindet sechs Staaten sowie die Nordsee mit den Alpen. Seine Länge beträgt ungefähr 1320 km, sein gesamtes Einzugsgebiet ist mit 252 000 km² rund sechs Mal grösser als die gesamte Schweiz. Davon entfallen auf die Fläche des Einzugsgebiets bis Basel lediglich 21%, diese trägt aber im Jahresmittel 47% zum Gesamtabfluss des Rheins bei. Der Lauf wird in folgende Abschnitte unterteilt: Vorder- und Hinterrhein, Alpenrhein, Seerhein (Bodensee), Hochrhein, Oberrhein, Mittelrhein, Niederrhein, Rheindelta/Mündung.

Der Name Rhein (beziehungsweise Rhen) ist vermutlich keltischen Ursprungs und bedeutet in etwa *fliessen* (vgl. auch altgriechisch rhein = fliessen, spanisch Río = Fluss). Die Römer nannten den Fluss *Rhenus*. Sie nutzten den Rhein als Handelsroute und Transportweg für ihre Legionen. Der Rhein bildete auch die Grenze zu den germanischen Völkern, und aus zahlreichen römischen Kastellen entwickelten sich Städte. Noch heute verweisen Ortsnamen auf die römische Besiedlung entlang des Rheines und Bodensees: *Ad Rhenum* (am Rhein) = Rheineck, *Basilia* (die Kaiserliche) = Basel, *Ad Fines* (An der Grenze) = Pfyn, *Curia* (Rathaus) = Chur usw.

Die Wiege des Rheins liegt in den Bündner Alpen. Aus dem winzigen Tomasee nahe dem Oberalppass im Gotthardmassiv fliesst ein Bach, welcher den Namen Vorderrhein trägt. Er ist der längste Quellfluss des Rheins, jedoch nicht der einzige. Beinahe ebenso gross ist der Hinterrhein, der dem Paradiesgletscher am Rheinwaldhorn in der Nähe des San Bernardino-Passes entspringt. Fast jedes Tal steuert noch seinen eigenen kleinen Rhein zum späteren Strom bei: zum Beispiel der Averser Rhein, Jufer Rhein, Madriser Rhein, Medelser Rhein oder Somvixer Rhein. Bei Reichenau vereinigen sich Vorder- und Hinterrhein zum Alpenrhein, der bereits ein recht stattlicher Fluss ist. Er mündet mit zwei Armen in den Bodensee – und schleppt dabei eine erhebliche Menge Schotter aus den Alpen mit. Schätzungsweise in 12 000 Jahren dürfte der Rhein den Bodensee zugeschüttet haben. Neben der Geröllfracht (Sand, Kies, Blöcke) – sie wird am Boden gerollt, gesprungen, geschoben, und vor allem während Hochwasser transportiert – gibt es zudem die Schwebfracht (kleine Feststoffe, vor allem Tone und Schluff) aus Spüldenudationsprozessen sowie die Lösungsfracht aus der chemischen Verwitterung und dem biologischen Abbau (Details zur Hydrologie bei VISCHER).

Überhaupt ist die Lebewelt wesentlich am Aufbau der Erdkruste beteiligt. Ganze Gebirge bestehen aus Kalkstein, der fast ausschliesslich das Werk von Organismen ist. Zerriebene Muschel- und Schneckenschalen sowie die Reste von winzigen Algen sind der Ursprung der meist marinen Ablagerungen und damit der mächtigen Kalkbänke. Diese organische Kalkproduktion ist beinahe so alt wie das Leben selbst. Die frühesten Algenmatten sind rund 3,5 Milliarden Jahre alt und werden als Stromatolithe bezeichnet. Wenig bekannt ist, dass solche Prozesse noch heute und auch im Süsswasser ablaufen, und zwar auch vor unserer Haustür im Rhein und am Untersee. Damals wie heute spielen die Cyanobakterien (Blaualgen) und andere Bakterien eine wesentliche Rolle. Solche Bakterienrasen wachsen vor allem im Flachwasserbereich. Dabei werden Schneckenschalen oder Steinkörnchen mit un-

regelmässigen Kalklagen überzogen. Im Bereich des Untersees oder der Insel Werd heissen diese Gebilde «Schnegglisande» (hierzu der Beitrag von SCHLÄFLI).

Der Rheinverlauf ist eine Folge der erdgeschichtlichen Entwicklung und letztlich der Plattentektonik. Der heutige Flusslauf ist eher ein junges Gebilde und mit der Alpenbildung im Tertiär stark verknüpft. Nicht immer floss der Rhein wie heute aus den Alpen in die Nordsee. Während der Frühphase der Alpenbildung im Oligozän vereinigten sich die aus dem jungen Gebirge austretenden Flüsse zu einem gewaltigen Strom, der weit im Osten ins Meer mündete. Dabei wurden mächtige Schuttfächer aufgeschüttet. Und gegen Ende des Mittelmiozäns sehen wir träge Flüsse die Wassermassen der Alpen nach Westen zum Mittelmeer führen. Eine Entwässerung über den Oberrheingraben in Richtung Norden wurde damals durch eine Schwelle im Gebiet des heutigen Kaiserstuhl-Vulkans unterbunden. Nördlich dieser Wasserscheide entwickelte sich jedoch ein Flusssystem, welches bereits zu jenem Zeitpunkt die Wässer zur Nordsee leitete. Im ausklingenden Tertiär entstand aufgrund der Jurafaltung und grossräumigen Hebungen eine noch heute bestehende Wasserscheide im westlichen schweizerischen Mittelland. Die Entwässerung folgte nun als Ur-Aare entlang dem entstehenden Faltenjura und verband sich mit einer Ur-Donau, die nach wie vor gegen Westen dem Mittelmeer zufloss. Der alpine Rhein mündete zu jener Zeit weit nördlich bei Ehingen-Blaubeuren in die Ur-Aare-Donau. Erst am Ende des Pliozäns gelang es dem Fluss, die Kaiserstuhl-Wasserscheide zu überwinden und fortan über den Oberrheingraben in die Nordsee zu fliessen (Näheres im Beitrag von BITTERLI).

Doch die orogenen und eustatischen Kräfte des Tertiärs sind nicht allein für den heutigen Rheinverlauf verantwortlich. Vielmehr liegen die Ursprünge im Erdaltertum (Paläozoikum) und somit tief im Erdinnern verborgen. Gegen Ende des Unterkarbons wurde nämlich das gesamte Gebiet des heutigen Mitteleuropa als Folge von Kontinentalverschiebungen durch ein ausgedehntes System von etwa E-W verlaufenden Grabenbrüchen zerrissen. Diese Brüche pausten sich durch die mesozoischen und tertiären Sedimente und gaben so dem späteren Bodensee und Rhein tektonisch den Verlauf vor. Die tektonischen Kräfte des frühen Tertiärs wiederum waren für die N-S streichenden rheinischen Störungen zuständig, welche zum Oberrheingrabenbruch und zu weiteren Brüchen führten. Auch die Hegau-Vulkane, die im späten Tertiär aktiv waren, sitzen auf Rheingraben-parallelen «rheinischen» Störungszonen (vgl. Artikel von BITTERLI).

Das Rheintal wirft ebenfalls geologische Fragen auf. Eigentlich sollte der Rhein in Anbetracht der geologischen Basis durch das Seeztal gegen den Walen- und Zürichsee fliessen. Es ist aber bis heute noch nicht geklärt, ob das Rheintal eine Depression oder ein Erosionserzeugnis darstellt. Vielleicht basiert es auch auf Bruchspalten, die mit den frühen tertiären Störungen zusammenhängen könnten (BITTERLI/HANTKE).

Bereits fürs Oligozän sind klimatische Kühlzeiten nachgewiesen. Die jungen Berge des Engadins und Mittelbündens erreichten damals bedeutende Höhen, zum Beispiel das Bergeller Massiv über 5000 m. Die mächtigen Vereisungen des Bergells, des Bernina-Gebietes und Engadins müssen auch nach Norden über die Pässe nach Mittelbünden geflossen sein. Dies ist durch Kristallingerölle aus dem Bernina in der Nagelfluh des Höhronen belegt (siehe Artikel von HANTKE). Im ausgehenden Tertiär fand eine drastische klimatische Abkühlung statt, und danach stiessen die Alpengletscher mehrfach bis ins Mittelland vor. Nach bisherigen Erkenntnissen scheinen die Eiszeiten in einem Rhythmus von rund 100 000 Jahren verlaufen zu sein. Dabei folgten die Gletscher den Flusstälern, deren Verlauf zumindest teilweise tektonisch vorgezeichnet war. Die Zeugen der verschiedenen Vorstossphasen sind nach KELLER jedoch spärlich, wurden doch die Relikte früherer Eiszeiten durch die späteren Vergletscherungen meist zerstört und umgepflügt. Selbst innerhalb der letzten Eiszeit gilt dieser Mechanismus. Im Detail sind daher vor allem die Rückschmelz-

phasen der jüngsten Vereisung bekannt. Über die Ursachen der Vereisungen besteht noch Uneinigkeit. Neuere Thesen sprechen von Veränderungen im globalen Strahlungshaushalt und von Wechselwirkungen zwischen der ozeanischen (z. B. Golfstrom) und atmosphärischen Zirkulation sowie von der Wirkung der Treibhausgase.

Die aus den Gebirgen vorstossenden Gletscher und die nacheiszeitlichen Flusssysteme sind für die Modellierung der heutigen Landschaft verantwortlich. Doch auch das Makro-, Meso- und Mikroklima der Nord- und Ostschweiz hängen direkt mit der Gebirgsbildung (Schwarzwald, Alpen, Jura) sowie den Tal- und Gewässersystemen zusammen (vgl. Beitrag von BURNAND). Dies wird deutlich, wenn etwa beim Bodensee sich ein Land-/Seewind einstellt, wenn der Föhn als wärmender Fallwind entlang des Rheintales streicht oder wenn sich in Schaffhausen ein Leeeffekt (Regenschatten) des Schwarzwaldes und im Rheintal des Alpstein-Massivs zeigt. An den Alpennordflanken, wo die von Westen und Nordwesten herangeführten feuchten Luftmassen ausregnen, sind die Niederschlagsmengen am höchsten. Das hydrologische Geschehen wird somit massgebend durch die Alpen geprägt: In der Schweiz fallen im Vergleich zum übrigen Europa mehr als das Doppelte an Niederschlägen an! Davon verdunstet etwa ein Drittel, die restlichen zwei Drittel verlassen die Schweiz über das Flussnetz, zu rund 65% über den Rhein.

Dank den Alpen sind wir reich mit Wasser gesegnet und können in vielfältiger Weise von dieser natürlichen Ressource profitieren. Dem Bodensee fliessen rund 370 m^3 pro Sekunde zu. Mit seiner mittleren Wassermenge von etwa 50 km^3 ist der Bodensee ein bedeutender Trinkwasserspeicher für die Bodenseeregion bis zum Ballungsraum Stuttgart und ins Maingebiet (VISCHER). Insgesamt nutzen mehr als 4,5 Millionen Menschen das Bodenseewasser. Auch die Grundwasserleiter werden zur Trinkwasserversorgung herangezogen. Der natürliche Grundwasserhaushalt hängt von der Niederschlagsversickerung, aber auch von unterirdischen Hangzuflüssen und von In- und Exfiltrationen aus den Fliessgewässern und Seen ab. Allein der Grundwasserträger des Alpenrheintales erstreckt sich von Reichenau bis zum Bodensee und bedeckt eine Fläche von rund 450 km^2 (hierzu der Beitrag von TRÖSCH).

Schon im Tertiär dürften Felsstürze oder Murgänge aus ausgebrochenen alpinen Seen vorgekommen sein. Dabei wurden während Jahrmillionen die Molassefächer des Mittellandes aufgeschüttet (BITTERLI/HANTKE). Heute sind die meisten Voralpenseen wasserstandsreguliert. Denn die Pegelstände der Flüsse und Seen unterliegen als Folge der stark strukturierten Topographie beträchtlichen Schwankungen. Unter den Voralpenseen bildet der Bodensee mit seinen jahreszeitlichen Schwankungen des Wasserstandes eine Ausnahme. Auch zukünftig – mit oder ohne Klimaänderung – sind Extremereignisse wie Starkniederschläge, Rutschungen und Murgänge, Hochwasser oder Trockenperioden zu erwarten. Und «Wasser» ist an den meisten Extremereignissen beteiligt. Zuverlässige Wasserstands- und Abflussvorhersagen sind daher ein wichtiges Instrument des Hochwasserschutzes. Als Beispiel dient das Hochwasserereignis von 1999, wo der 536 km^2 grosse Bodensee innerhalb von 14 Tagen um rund 1,8 Meter ansteigen konnte. Dies hatte drei Ursachen:

- Ein überdurchschnittlicher feuchter April, welcher die Böden mit Wasser sättigte.
- Ein schneereicher Winter, wo im alpinen Einzugsgebiet oberhalb von 1500 Metern noch viel Schnee lag und der Alpenrhein grosse Mengen an Schmelzwasser führte.
- Grossflächige Starkniederschläge in der Zeit von Auffahrt und Pfingsten.

Kommt hinzu, dass die Niederschläge infolge der Bodenversiegelung direkter und schneller in den Vorfluter gelangen und so zu den Abflussspitzen beitragen. Die bereits im Vorfeld überdurchschnittlich hohen Pegelstände kletterten deshalb vielerorts über die kritischen Hochwassermarken. Am Untersee stand das Wasser während 53 Tagen über der Schadensgrenze. Derzeit laufen grenzüberschreitende Projekte für die Einzugsgebiete des Bodensees und des Rheins von der Quelle bis zur Mündung. Das Hauptziel

besteht darin, die Vorlaufzeit für Schutzmassnahmen entscheidend zu verlängern.

Unter dem Einfluss des Klimas, des Wassers und der vorhandenen Lebewelt verwittern die Gesteine und fluvioglazialen Sedimente zu einer wenig mächtigen Schicht, welche als Boden bezeichnet wird. Die Bodenbildung und die Verbreitung der Bodentypen beschreibt der Beitrag von LÜSCHER. Ohne Boden wäre auf dem Festland kein höheres Leben denkbar. Der Vorgang der Bodenbildung dauert seit dem Rückzug der Gletscher an. Auch im Erdaltertum und Erdmittelalter sowie während den Warmzeiten zwischen den Vereisungen (Interglaziale, Interstadiale) entstanden Böden. Davon ist aber wenig übrig geblieben. Auf dem verwitterten Gestein siedeln Pflanzen, deren tote organische Substanz durch Pilze, Bakterien und Bodentiere zu Humus umgewandelt und mit dem mineralischen Boden vermischt wird. Unter dieser Humusschicht bildet sich eine rostbraune Schicht, wo als Folge der Verwitterung vermehrt Eisenoxide und Tonminerale entstehen. Gelöste Nährstoffe und Bodenbestandteile werden durch das perkolierende Wasser in tieferen Bodenschichten verlagert. Auf diese Weise erfolgt eine Art Zonierung des Bodens (Bodenhorizonte), die stark vom Wassereinfluss und Ausgangssubstrat abhängt. Ein aus saurem Gestein hervorgegangener Boden wird folglich chemisch und physikalisch anders erscheinen als ein Boden unter dem Einfluss von Kalk oder Grundwasser. Und je nach Boden siedelt eine andere Pflanzengesellschaft oder ist das Wasserspeicherungsvermögen unterschiedlich. Für frühere menschliche Generationen war ein schonender Umgang mit dem Boden selbstverständlich. Das Alte Testament nennt den fruchtbaren Ackerboden «Adamah», der Mensch «Adam» ist aus Adamah geschaffen. Sinnbildlich bedeutet das: Der Boden ist die Quelle des terrestrischen Lebens, von Pflanzen, Tieren und Menschen.

So widerspiegeln das heutige Flusssystem, die Landschaft und die Böden die tektonischen und klimatischen Prozesse sowohl der Vergangenheit als auch der Gegenwart. In der gesamten Nord- und Ostschweiz lässt sich dies auf engstem Raum entdecken und verfolgen.

Die geologische Geschichte der Landschaft des Hochrheingebietes

Peter Bitterli-Dreher (Endingen)

1 EINLEITUNG

Der Rhein fliesst von der Quelle des Hinterrheins beim Paradiesgletscher 1237 km weit bis zur Nordsee. Für uns Menschen ist er Inbegriff eines gewaltigen Naturphänomens, das wohl schon ewig vorhanden war. Doch schaut der Geologe genauer hin, so offenbart sich der heutige Rheinlauf als junge, in ihrer heutigen Form erst während der Eiszeiten vollendete Bildung. Er ist das Resultat einer lang dauernden Entwicklung, die wesentlich vom Spiel der geologischen Kräfte des Erdinnern bestimmt wurde.

Bereits vor rund 300 Millionen Jahren wurden die ersten geologischen Strukturen geschaffen, die für die Entwicklung zum heutigen Gewässernetz der Hochrheinregion von Bedeutung sind. Diese alten Strukturen wurden im Verlaufe der Zeit unter veränderten Spannungsbedingungen der Erdkruste wiederbelebt und verändert (Abb. 1). Dieses Geschehen dauert wenn auch in abgeschwächter Form bis in unsere Tage an. Wie hatte doch der Geologe Blösch in seiner Arbeit zur Tektonik des Schweizer Tafeljura 1910 geschrieben: Es kracht noch immer in den alten Fugen!

2 KARBON/PERM: DER SUPERKONTINENT PANGAEA ENTSTEHT

Zahlreiche Bohrungen in den tieferen Untergrund der Nordschweiz haben gezeigt, dass ausgedehnte *paläozoische Trogstrukturen* das Gebiet von W nach E durchziehen. Diese paläozoischen Tröge sind in das Grundgebirge aus Granit und Gneis eingetieft. Mit der Bohrung Weiach wurde die Füllung eines Permokarbontroges durchbohrt und detailliert untersucht. Mit den Erkenntnissen dieser Bohrung sowie weiteren Studien konnte in den vergangenen Jahren ein neues Bild dieser weit zurückliegenden Periode gezeichnet werden.

Die Anordnung der Kontinente und Meere im **Spätpaläozoikum** sah gänzlich anders aus als heute. Zwei grosse Kontinente, *Gondwana* und *Laurussia*, lagen inmitten eines beinahe weltumspannenden Ozeans. Ein kleinerer östlich anschliessender Kontinent (Angara) war durch das Ural-Meer von Laurussia getrennt. Zur Zeit des Unterkarbons drifteten Gondwana und Laurussia gegeneinander und vereinigten sich zum Superkontinent Pangaea. Dabei wurde das zwischen den beiden Kontinenten liegende Meeresbecken zusammengeschoben und ein Gebirgsgürtel aufgefaltet. Es entstanden das *armorikanische Gebirge* im Westen Frankreichs und das *variskische Gebirge* in Mitteleuropa, dessen Reste heute im Schwarzwald und in den Vogesen studiert werden können. Diese plattentektonischen Vorgänge waren von intensiver vulkanischer Tätigkeit begleitet. Thermisch bedingte Hebungen in der Spätphase dieser Gebirgsbildung führten zur Dehnung der Erdkruste, was granitischen Magmen den Aufstieg in höhere Krustenteile ermöglichte. Dabei entstanden Granitstöcke und Gangbildungen, wie sie im Südschwarzwald zahlreich auftreten.

Die grosse Landmasse der *Pangaea* blieb nicht lange stabil. Gegen Ende des **Unterkarbons** änderte sich die Bewegungsrichtung des von Gondwana stammenden Teils, er begann langsam gegen Osten, gegen Angara, zu driften. Dabei wurde das Ural-Meer geschlossen und das gleichnamige Gebirge aufgefaltet. Im Gebiet des späteren Mitteleuropa entwickelten sich bei diesen Vorgängen langgestreckte Verschiebungszonen (Transpressionszonen), längs denen der variskische Gebirgsgürtel zerrissen und in langgestreckte Segmente zerlegt wurde. Einzelne Segmente wurden gehoben, andere senkten sich ein, so entstand ein ausgedehntes System von etwa E-W verlaufenden Grabenbrüchen, in denen in der Folge oberkarbonische und

permische Sedimente abgelagert wurden. Der Nordschweizer Permokarbontrog ist solch ein spätpaläozoischer Grabenbruch.

Doch wie sah die Welt aus, in der sich die geschilderten Vorgänge abspielten? Das Gebiet des späteren Europa lag an der Wende vom **Karbon** zum **Perm** (etwa 300 Millionen Jahre) in Äquatornähe, es herrschte ein feuchtwarmes Klima mit reichlich Niederschlägen. Regenwälder überzogen das junge variskische Gebirge, und Flüsse transportierten viel Verwitterungsschutt in die Senken der Permokarbontröge. Im Troginnern entstanden langgestreckte Seen, an deren Rändern ausgedehnte Sumpfwälder mit fremdartigen Bäumen (Schuppenbäume, Siegelbäume [Sigillarien] usw.) wucherten. Die kräftigen Stürme im feuchtwarmen Klima führten dazu, dass viel Bruchholz im seichten Wasser dieser *Kohlensümpfe* abgelagert und rasch eingebettet wurde. So entwickelten sich nach und nach Kohlenflöze von beachtlicher Mächtigkeit, in der Bohrung Weiach wurden 32 m Kohle durchbohrt! Da sich das Gebiet der Tröge andauernd absenkte, wurden nach und nach mächtige Sedimentserien angehäuft. In Weiach sind die entsprechenden Ablagerungen mehr als 700 m mächtig (MATTER et al., 1988). Dass die Erdkruste noch nicht zur Ruhe gekommen war, bestätigen Lagen aus vulkanischen Tuffen, die auf intensiven *Vulkanismus* während dieser Periode der Erdgeschichte schliessen lassen.

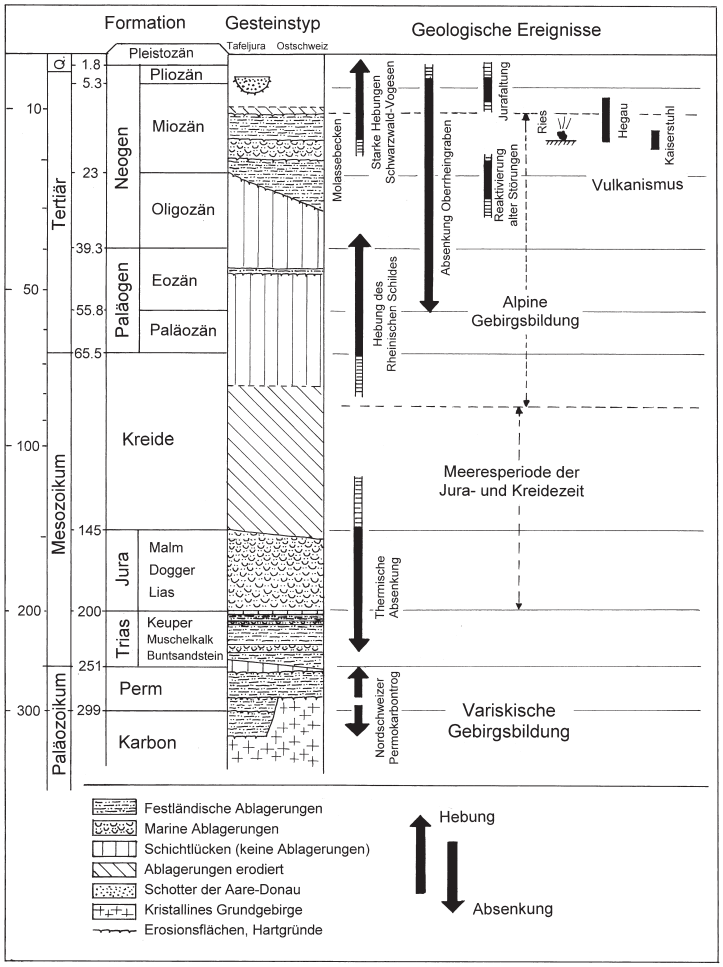


Abb. 1. Erdgeschichtlicher Überblick.
Alter der Formationen aus GRADSTEIN et al. (2004).

Die paläozoische Sedimentserie der Bohrung Weiach gibt weitere Anhaltspunkte zur Entwicklung der Region. Dunkel gefärbte See- und Flussablagerungen des **frühen Perms** werden von groben, rot gefärbten Sandsteinen und Konglomeraten überlagert. Diese klastischen Gesteine zeigen, dass im **späten Perm** der tropische Regenwald einer trockenen wüstenhaften Landschaft Platz gemacht hatte. Die Konglomerate enthalten grosse Kristallinkomponenten; sie lassen darauf schliessen, dass tektonische Vorgänge das Relief zwischen Trogsenke und Gebirge drastisch verstärkt hatten. Anhand von Untersuchungen der thermischen Reife des organischen Materials der Permsedimente im Trog konnte KEMPTER (1987) zeigen, dass im Dach des Perms eine rund 1000 m mächtige Abfolge der Erosion zum Opfer fiel. Dies ist eine

Folge der intensiven Zerscherung Mitteleuropas an der Wende vom Unter- zum Oberperm (ZIEGLER, 1988). Die Geologen bezeichnen diese tektonischen Vorgänge als **Saalische Phase** der variskischen Gebirgsbildung.

Im Verlaufe des späten Perms, das aufgrund der vorherrschenden Gesteinsfarbe als **Rotliegendes** bezeichnet wird, wurden die im Permokarbontrog abgelagerten Sedimente zunehmend feinkörniger. Rote Siltsteine dominieren nun die Ablagerungen, ab und zu unterbrochen durch sandige Einschaltungen. Man interpretiert diese Gesteine als Playa-*Ablagerungen*, das sind typische Wüstenablagerungen, die in abflusslosen Becken entstehen. Die Sandsteinlagen entstanden bei episodischen Regengüssen, wenn gröberes Sediment in die Ebenen geschwemmt wurde. Da diese Ablagerungen kaum organische Reste enthalten, ist ihre zeitliche Einstufung schwierig.

3 TRIAS: SAVANNEN, WÜSTEN UND SALZLAGUNEN

Im Verlauf der Triaszeit brach der Kontinent Pangaea auseinander und von Osten her drang ein Meeresarm keilförmig vor, der *Tethys-Ozean* entstand. Quer durch den Superkontinent entwickelte sich eine Kontinentalplattengrenze, längs der Magma aus dem Erdinnern aufstieg und zum Auseinanderdriften der Kontinente führte (vor etwa 200 Millionen Jahren). Anfänglich, zur Zeit des **Buntsandsteins**, war das Gebiet Mitteleuropas noch durch das Böhmisch-Vindelizische Festland vom jungen Ozean getrennt, doch schon in der mittleren Trias drang das Meer in das Tiefland vor, das als *germanisches Becken* bezeichnet wird. Da diese Beckenlandschaft während der gesamten Trias im Bereich der Meereshöhe lag und ein geringes Relief aufwies, bewirkten Meeresspiegelschwankungen und tektonische Bewegungen immer wieder Meereseinbrüche in das Becken (HAUSCHKE und WILDE, 1999).

Das Auseinanderbrechen Pangaeas war von intensivem Vulkanismus begleitet, und auch im Gebiet Sibiriens kam es an der Wende Perm-Trias zu ausserordentlich grossen Deckenbasaltausbrüchen. Es wird vermutet, dass durch die vulkanischen Aschen und Gase eine schwerwiegende *Umweltkatastrophe* ausgelöst wurde, die eine weltweite Klimaverschlechterung bewirkte. Die paläozoische Artenvielfalt von Fauna und Flora wurde dabei drastisch reduziert, und viele Arten starben wegen der tiefen Temperaturen und der Millionen Jahre andauernden Bildung anoxischer Wässer im Tethys-Schelf aus (KOZUR, 1999).

Die älteste Formation der Triaszeit, der **Buntsandstein**, besteht aus Flussablagerungen und Bodenbildungen. Sie entstanden in einer Halbwüste mit karger Vegetation, die während der Regenzeiten von intensiven Wasserfluten und Schlammströmen heimgesucht wurde. Pangaea war zur Zeit der Trias eine riesige Landmasse, sie lag damals etwa zu gleichen Teilen nördlich und südlich des Äquators. Die beiden Hälften waren jeweils grösser als das heutige Asien, so dass sich jahreszeitlich extrem kräftige Hoch- und Tiefdruckgebiete entwickeln konnten. Kräftige Monsunsysteme sorgten für den Druckausgleich zwischen den Extremen. Dieser *Megamonsun* (PARRISH, 1999) bewirkte ein Klima mit langen, sehr trockenen Sommern und kurzen winterlichen Regenzeiten mit intensiven Niederschlägen. Da unser Gebiet entfernt von den Ozeanen lag, waren wohl auch die jahreszeitlichen Temperaturgegensätze extrem. Dieser Klimatyp widerspiegelt sich in den Ablagerungen der Buntsandsteinzeit, indem Flusssysteme mit verflochtenen, instabilen Flussrinnen auftraten, die nur in der Regenzeit Wasser führten. Bei den Starkniederschlägen des Monsuns kam es zu Überschwemmungen, bei denen die zwischen den Flüssen liegenden Ebenen mit Feinsediment überzogen wurden. Während der Trockenperiode wurden durch aufsteigendes Grundwasser und Verdunstung in den feinkörnigen Ablagerungen Krustenkalke (Caliche) gebildet.

Die roten und violetten Gesteine des Buntsandsteins werden von dunkelgrauen Tonsteinen und Tonmergeln abgelöst, die lagenweise Muscheln enthalten. Diese marinen Ablagerungen zeigen auf den Schichtflächen ab und zu Rippelmarken, daher die alte Bezeichnung «*Wel-*

lengebirge». Mit diesen Schichten beginnt die **Muschelkalk**-Formation. Absenkungen im Südteil des germanischen Beckens, verbunden mit einem weltweiten Anstieg des Meeresspiegels (Abb. 2), hatten den Meeresvorstoss ausgelöst. Er erfolgte von Osten, von Schlesien her, von hier wanderten Faunen des Tethys-Meeres ein. Muschel- und Schilllagen in den Gesteinen des Wellengebirges sind die Zeugen dieses Geschehens. Allerdings entwickelte sich im germanischen Meeresbecken nie ein reiches Leben, denn die Salinität des Wassers im abgeschlossenen Randmeer war meist hoch, so dass nur eine robuste, artenarme, aber individuenreiche Fauna gedeihen konnte.

Ein wichtiges Element in der geologischen Geschichte des Gebietes sind *Meeresspiegelschwankungen* (Abb. 2). Im Verlaufe der Trias- und der Jurazeit stieg der Meeresspiegel um bis zu 175 m an. Das Gebiet Europas wies zu jener Zeit ein geringes Relief auf, deshalb wirkten sich Spiegelschwankungen stark auf die Sedimentbildung aus. Hohe Gebirge fehlten, der variskische Gebirgsgürtel war nur noch ein Rumpfgebirge. In dieser wenig gegliederten Landschaft hatte bereits ein geringer Anstieg des Meeresspiegels grosse Auswirkungen, indem weite Gebiete überflutet wurden. Der Wechsel zwischen Festland und Meer ist deshalb für die Trias Mitteleuropas typisch. Die Effekte der Meeresspiegelschwankungen überlagerten sich der allgemeinen Subsidenz, verursacht durch die Abkühlung der kontinentalen Kruste nach dem Abklingen der variskischen Gebirgsbildung. Tektonische Bewegungen sind in der Triaszeit verbreitet, denn unmittelbar südlich des Gebietes lag die Naht, längs der der Superkontinent Pangaea auseinanderbrach.

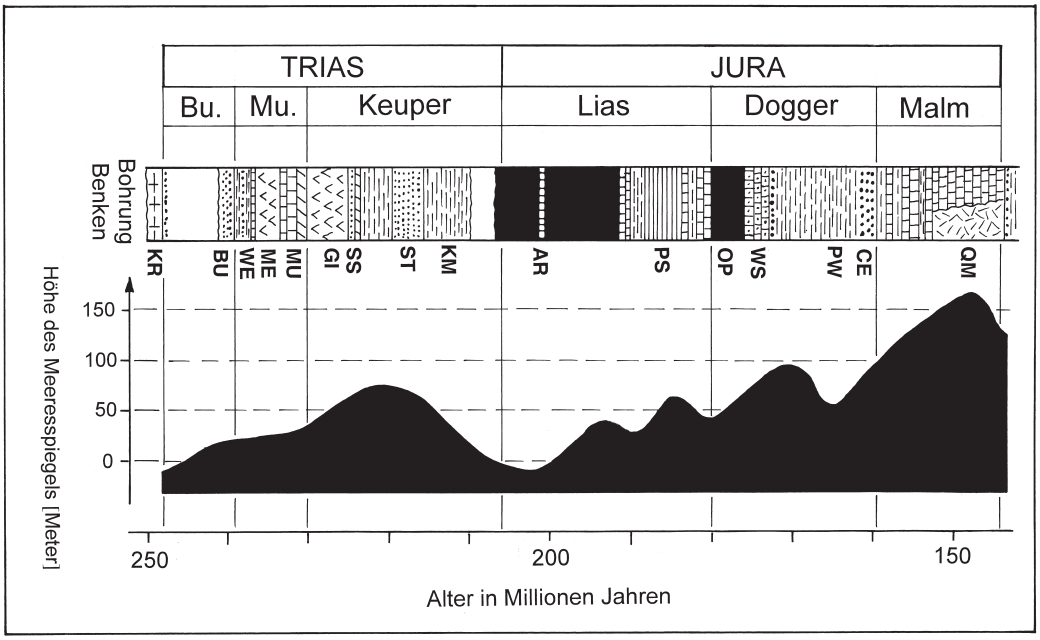


Abb. 2. Meeresspiegelhöhen im Verlaufe der Trias- und der Jurazeit. Dargestellt sind die grossen Zyklen, im Detail überlagern sich diesen Grosszyklen kleinere Schwankungen. Für die Jurazeit konnten beispielsweise 28 Transgressions-Regressions-Zyklen belegt werden. Das Bohrprofil der Bohrung Benken ist als Zeitprofil dargestellt, das heisst, die Schichten erscheinen nicht in ihrer Mächtigkeit, sondern gemäss der Zeitspanne ihrer Bildung. Meeresspiegelkurve aus GRADSTEIN et al. (1995).
Legende Bohrung: **QM** Quaderkalk/Massenkalk; **CE** Callovian/Ob. Bathonian-Eisenoolith; **PW** Parkinsoni-Württembergica-Schichten; **WS** Wedelsandstein; **OP** Opalinuston; **PS** Posidonienschiefer; **AR** Arietenkalk/Angulatenschichten; **KM** Knollenmergel; **ST** Stubensandstein; **SS** Schilfsandstein; **GI** Gipskeuper; **MU** Muschelkalk-Karbonate; **ME** Muschelkalk-Evaporite; **WE** Wellengebirge; **BU** Buntsandstein; **KR** Kristallines Grundgebirge.

Über dem Wellengebirge liegt in der Nordschweiz eine gut 60 m mächtige Evaporitserie (Eindampfungsgesteine), die *Anhydritgruppe*. Tektonische Hebungen hatten zur Abschnürung des germanischen Beckens vom Weltmeer geführt. Da ein arides Klima herrschte, kam es zur Verdunstung des Meerwassers, und es bildeten sich Sulfatgesteine (Anhydrit, Gips) mit Steinsalzlagen. Evaporite können unter Wasser (subaquatisch) oder aber im Gezeitenbereich subaerisch entstehen. Letztere Bildungsräume werden *Sabkhas* genannt, nach dem arabischen Wort für Salzsumpf. Bei der Bildung der Evaporite in der Nordschweiz haben beide Prozesse stattgefunden. Die Gesteinsabfolgen zeigen häufig einen zyklischen Aufbau, der eine Zunahme der Salinität des Meerwassers im Verlauf eines Ablagerungszyklus widerspiegelt.

Über den Evaporiten der Anhydritgruppe liegen Kalkformationen (*Hauptmuschelkalk*), die zeigen, dass nun offen-marine Verhältnisse herrschten. Die Ursache liegt in einem globalen Anstieg des Meeresspiegels zu dieser Zeit (Abb. 2). Die Schichtflächen sind teilweise mit Muscheln gepflastert, häufig auch mit den Schalen von Brachiopoden. Vermutlich war im Muschelkalkmeer unserer Gegend, am Südrand des germanischen Beckens, der Salzgehalt zeitweise erhöht, denn es breiteten sich vor allem spezialisierte Faunen aus. Das Muschelkalkmeer war ein untiefes abgeschlossenes Randmeer, die Wassertiefe betrug nur einige wenige Meter bis Zehner von Metern. Dies zeigen *Sturmablagerungen* (*Tempestite*), die im Hauptmuschelkalk der Bohrungen Benken und Weiach auftreten (Bitterli, 2001). Es handelt sich um Kalkarenitbänke (gröbere Kalksande), die mit mikritischen Kalken (Kalkschlamm) wechsellagern. Stürme, wohl eigentliche Hurrikane, zogen aus dem tropischen Tethys-Meer in das Muschelkalkbecken. Im untiefen Randmeer wurde dabei das Sediment grossflächig aufgewirbelt und danach gradiert abgelagert. So entstanden am Meeresboden Schilllagen (Lagen mit zusammengeschwemmten Muschelschalen), während das Feinmaterial in tiefere Beckengebiete umgelagert wurde (Aigner, 1999).

Der oberste Abschnitt des Muschelkalkes wird als *Trigonodus-Dolomit* bezeichnet. Es handelt sich um knollig geschichtete Dolomite mit mergeligen Zwischenlagen, die gegen oben in massige Oolithbänke übergehen, die Lösungshohlräume enthalten. Der Trigonodus-Dolomit entspricht nicht einem stratigraphischen Niveau, es handelt sich vielmehr um einen Komplex von verschieden alten Gesteinen, die bei der Diagenese (Verfestigung des losen Sediments zum Gestein durch abgeschiedene Mineralien wie Kalzit oder Dolomit) dolomitisiert wurden. Die Dolomitisierung des ursprünglich als Kalk abgelagerten Sedimentes geht auf die paläogeographische Situation zurück und greift unterschiedlich tief in den liegenden Hauptmuschelkalk hinein.

Die Phase des Muschelkalkmeeres wurde von einer regressiven Entwicklung abgelöst, der germanische Golf verlandete zunehmend und die wechselhaften, meist farbenprächtigen Ablagerungen des **Keupers** wurden gebildet. In der Bohrung Benken zeugt ein Gesteinsstapel von rund 119 m Mächtigkeit von der Keuperzeit, die mit rund 25 Mio. Jahren dreimal länger dauerte als die Muschelkalkzeit, deren Ablagerungen in Benken aber mit 164 m wesentlich mächtiger sind. Der Grund liegt in den zahlreichen Sedimentationsunterbrüchen und Bodenbildungen, die grosse Zeiträume beinhalten. Der Keuper wurde deshalb auch als ein «Stapel von Schichtlücken» bezeichnet, die durch eher geringmächtige Sedimentpakete getrennt werden (Beutler et al., 1999).

Die so genannte *Lettenkohle* leitet das Zeitalter des Keupers ein. Der Name stammte von bescheidenen Kohlenvorkommen, die stellenweise in dieser Formation auftreten. Sie beginnt über einer ausgeprägten Schichtlücke (Hartgrund) im Dach des Trigonodus-Dolomites. An der Basis liegen die dunklen *Estherienschiefer*, Tonsteine mit Sand- und Biodetrituslagen. Sie wechseln ab mit Dolomiten, die faziell dem Trigonodus-Dolomit noch ähnlich sind, und einzelnen Lagen mit Muschelschill, die kleine schwarze Zahn- und Knochenfragmente sowie Anhydritlinsen enthalten. Es handelt sich um Ablagerungen eines Flach- oder Wattenmeeres,

wobei die verarmte Fauna darauf hinweist, dass durch Süsswasserzuflüsse zeitweise brackische Verhältnisse herrschten. Es ist anzunehmen, dass zeitweise der Meereszugang abgeschnitten wurde und brackische Seen innerhalb ausgedehnter kontinentaler Playas entstanden. Lagen, die Knochen und Zahnfragmente von Sauriern enthalten (Bonebeds), weisen darauf hin.

Das Klima wurde im **mittleren Keuper** arider und heisser, was die Bildung mächtiger Evaporitserien ermöglichte. In Norddeutschland wurden damals Evaporitabfolgen von mehreren hundert Meter Mächtigkeit gebildet. Damit dies möglich war, musste zeitweise Meerwasser ins germanische Becken strömen. Die Evaporite des Keupers werden in der Nordschweiz vor allem durch die Formation des *Gipskeupers* repräsentiert. In der Bohrung Benken macht er mit mehr als 71 m Mächtigkeit den Hauptteil der Keuperserie aus. Er kann in vier Gesteinssequenzen unterteilt werden, die die Veränderungen des Ablagerungsmilieus im Verlaufe der Zeit widerspiegeln. Dolomitische Tonsteine mit knolligen Anhydritbänken, die über gebändertem Anhydrit liegen, zeigen, dass sich bei fallendem Meeresspiegel ausgedehnte Küstensabkhas bildeten. Diese Salzmarschen liegen nur wenig über dem mittleren Hochwasserniveau. Durch Eindunstung des vom Meer zuströmenden salzhaltigen Grundwassers können Evaporite abgeschieden werden. In mehrjährigen Abständen können Sabkhas von Springfluten überspült und die Verdunstung unterbrochen werden. Die einzigen Lebewesen in heutigen Sabkhas sind Salzkrebse und vor allem Blaugrünalgen, deren Matten so genannte Stromatolithen bilden.

Über den evaporitischen Ablagerungen des Gipskeupers folgen in den Bohrungen Weiach und Benken unvermittelt Sandsteine, sandige Tonschiefer und bunte Mergel des *Schilfsandsteins*. Der Name stammt von Schachtelhalmresten, die ab und zu gefunden werden und die wie Schilf aussehen. Sie künden von einer gewaltigen Umgestaltung der Landschaft. Nachdem das Gebiet während Jahrmillionen in Küstennähe gelegen hatte, schnitten sich nun von Norden kommend Flüsse in die «Gipskeuperebene» ein. Eine Phase intensiver tektonischer Bewegungen in der Obertrias hatte zu einer Hebung des *Baltischen Schildes* geführt. Grosse Stromsysteme ergossen sich nun von dieser Hochzone nach Süden (WURSTER, 1968; NAGEL, 1990). Es handelt sich um breite Stromrinnen, die sich nach und nach in die liegenden Formationen des Gipskeupers eingruben. Durch Verlagerungen der Flussrinnen bildeten sich im Laufe der Zeit mehrere Kilometer breite Sandsteinstränge. Die feinen Sandsteine und die bunten Mergel dazwischen wurden bei Überschwemmungen gebildet, wenn das Wasser über die Rinnen hinaus auf die Ebenen strömte und seine Sedimentfracht aus Feinsand und Silt ablagerte. Die Schüttung des Schilfsandsteins hatte gewaltige Ausmasse, die Sandmassen erreichten zeitweise die Nordküste des Tethys-Ozeans. Bei hohen Meeresspiegelständen drang das Meer in die Flussmündungen, und es bildeten sich ausgedehnte Ästuare. Dunkle tonige Sandsteine, die teilweise auch Glaukonit enthalten, belegen diese Meeresvorstösse in die Schilfsandsteintäler. Temporäre Aufschlüsse bei Ennetbaden zeigten, dass der Meereseinfluss wohl zeitweise auch das Gebiet der Nordschweiz erreichte.

Auf die Evaporite des Gipskeupers folgen bunte Tonsteine und Mergel, die durch eine dolomitische Einschaltung in Untere und Obere *Bunte Mergel* unterteilt werden können. Die Dolomite bestehen in der Bohrung Weiach aus dünnbankigen Stromatolithenlagen, d. h. Algenmatten, die in übersalzenem, gut durchlichtetem Seichtwasser gedeihen. In Aufschlüssen bei Ennetbaden fanden sich neben gebankten, feinkörnigen Dolomiten auch grobe Brekzien aus aufgearbeiteten Stromatolithenkrusten. Diese Dolomite sind östliche Äquivalente des *Gansinger-Dolomits*, der im Aargauer Jura eine marine Fauna aus Schnecken und Muscheln enthält. Im Wutachgebiet werden ähnliche Schichten als Hauptsteinmergel bezeichnet. Im Gebiet des Randen zeigt das Gestein Hohlräume, die oft mit faserigem Aragonit überkrustet sind, man bezeichnet es hier als «Durröhrlestein» (HOFMANN et al., 2000), es ist ähnlich dem Hauptsteinmergel Süddeutschlands. Der Gansinger-Dolomit

und seine Äquivalente verdanken ihre Bildung einem Meeresvorstoss, der von Burgund her ins germanische Becken erfolgte.

Die *Oberen Bunten Mergel* gehen in der Bohrung Benken in bräunlichrote bis rotviolette dolomitische Tonmergel, die lagenweise beige Dolomitknollen enthalten, über. Es sind dies die *Knollenmergel*. Sie wurden nur in der Ostschweiz abgelagert, weiter westlich endet die kontinental geprägte Keupersedimentation mit den Oberen Bunten Mergeln. Die Rotschichten entstanden in ausgedehnten Überschwemmungsebenen, wobei bei der Bodenbildung durch aufsteigende Grundwässer Dolomitknollen abgeschieden wurden (Calcretes). In diese Rotschichten eingelagert sind die Sandsteinzüge des *Stubensandsteins*. In der Bohrung Weiach und bei Ennetbaden fanden sich lediglich geringmächtige sandige Dolomitmergel, die an der Basis aufgearbeitete Dolomitmergelgerölle enthalten. In der Bohrung Benken wurde die Formation in untypischer Ausbildung angetroffen. Über gefleckten bunten Sandsteinen und sandigen Mergeln fand sich eine poröse brekzierte Dolomitlage, die als Bodenhorizont interpretiert wird. Der Stubensandstein, der erst weiter nördlich in grösserer Mächtigkeit auftritt, wurde im Gegensatz zum Schilfsandstein aus Südosten, aus dem Vindelizischen Festland und dem Böhmischen Massiv geschüttet. Diese Festländer trennten während der gesamten Triaszeit das germanische Becken vom Tethys-Ozean im Süden.

Wir müssen uns die Nordschweizer Landschaft gegen Ende des mittleren Keupers als weite, wenig gegliederte Schwemmebene vorstellen, in die sich die Stubensandsteinflüsse eingruben, die wohl nur jahreszeitlich Wasser führten. Das Klima war heiss, aber vermutlich etwas feuchter als zur Zeit der Evaporitbildungen. In den tiefsten Stellen der Playa-Ebenen bildeten sich nach Schichtfluten grosse Tümpel oder gar temporäre Seen. Die grossen Plateosaurier, die in Frick und Trossingen ausgegraben wurden, fanden in diesen Schlammlöchern ihr Ende. Aus der einheitlichen Fundlage der Skelette, auf der Seite liegend mit dem Hinterkörper tief eingesunken, wird geschlossen, dass die urweltlichen Riesen im Schlamm einsanken und verendeten.

Der **oberste Keuper**, das so genannte *Rhät*, zeigte sich in der Bohrung Benken in Form dunkler Tonsteine mit Muschelabdrücken. In Weiach und im östlichen Tafeljura fehlen Ablagerungen des Rhät. Das Rhät von Benken ist wohl bereits eine marine oder brackische Bildung und leitet den Meeresvorstoss der Jurazeit ein. Das geringmächtige Rhät repräsentiert ein Zeitintervall von rund 7 Millionen Jahren. Markant ist der Farbumschlag; nach den bunten Gesteinen des Knollenmergels bestimmen nun dunkle Gesteine das Bild. Der Vorstoss des Meeres erfolgte von Norden, vom Gebiet der britischen Inseln her, denn dort hatten sich die paläogeographischen Verhältnisse grundlegend verändert. Die ersten Riftbewegungen, die zur Entstehung des Protoatlantiks führten, setzten ein. Über einer Grabenzone bildete sich ein Meeresarm, der eine Verbindung zum Nordmeer öffnete. Hinweise, dass tektonische Vorgänge das wechselhafte Geschehen während der Trias steuerten, können seismischen Linien im Gebiet des Zürcher Weinlandes entnommen werden. Sie zeigen Bruchzonen, die den Grundgebirgssockel und die Trias durchschlagen, aber kaum noch in die Schichten der Juraformationen eindringen (BIRKHÄUSER et al., 2001).

4 JURA: UNENDLICHE SCHELFMEERE UND MEERESSPIEGELSCHWANKUNGEN

Während der Triaszeit wechselten in der Nordschweiz Zeiten mit Meeresbedeckung und festländische Perioden ab. Mit der Jurazeit begann eine Phase anhaltender Meeresbedeckung, die rund 120 Mio. Jahre bis in die Kreidezeit hinein andauerte. Zu keiner Zeit in der Erdgeschichte überdeckte das Meer in Mitteleuropa grössere Gebiete als im späten Jura. Die Gesteine der Jurazeit sind in der Nordschweiz grossflächig aufgeschlossen. Sie tragen wesentlich zum Landschaftsbild bei, indem die harten Kalkformationen des Doggers und des Malms die Felszüge der Tafeljuraberge und die Falten des

Kettenjuras aufbauen. Die harten Kalksteine des Malms sind Ursache einiger Stromschnellen im Rhein und bilden auch die Felsschwelle unter dem Rheinfall bei Neuhausen.

Die Juraformationen der Nordschweiz werden im **Lias** und **Dogger** von Tonsteinen, sowie Ton- und Kalkmergeln dominiert, im **Malm** herrschen eher Kalke vor. Die Gesteine entstanden in einem seichten Schelfmeer. Die *Schelfgürtel der Jurazeit* unterschieden sich erheblich von den heutigen, denn sie erstreckten sich über weite Teile der damaligen Kontinente und waren teilweise hunderte von Kilometern breit (*epikontinentale Schelfmeere*). In diesen untiefen Meeren herrschten spezielle Sedimentationsbedingungen, indem sowohl die Wirkung der vom Wind verursachten Wellen, als auch die Gezeiten im Innern der Schelfe kaum mehr wirksam waren (HALLAM, 1981). In diesen extrem seichten Ablagerungsräumen beeinflussten bereits geringe topografische Unterschiede die Strömungen und die Art der Sedimentation. Die Wassersalinität war in weiten Gebieten erhöht, wo Flüsse in den Schelf mündeten, bildeten sich Brackwasserareale. Diese ungewöhnlichen Verhältnisse führten zur Bildung spezieller Sedimente, einerseits bituminöse Tonschiefer, die sich in stagnierenden Becken des Schelfmeeres bildeten, andererseits Eisenoolithe, die vor allem im Dogger häufig auftreten. Diese Formationen können über hunderte von Kilometern in gleicher Ausbildung vorliegen, was die Besonderheit dieser Ablagerungsräume weiter illustriert.

Während der Jurazeit lag das Gebiet ständig unter Wasser, und es bestand eine fast uneingeschränkte Verbindung zu den Ozeanen. Dies spiegelt sich im ausserordentlichen *Reichtum an Lebensformen* wider, der in den Ablagerungen dieser Periode auftritt. In der Bohrung Weiach sind die Juraformationen gut 500 m mächtig. Damit sich dieser Gesteinsstapel bilden konnte, musste der Meeresboden kontinuierlich absinken, sonst wäre das Jurameer, das im Gebiet der Nordschweiz höchstens rund 150 m tief war, bald verlandet. Die Absenkungen sind, wie erwähnt, auf die andauernde Abkühlung der kontinentalen Kruste zurückzuführen, denn die Phase der variskischen Gebirgsbildung, die die Erdkruste erwärmt hatte, lag schon weit zurück. Allerdings wurde das Geschehen auch von der *Entwicklung des Meeresspiegels* bestimmt, der im Verlauf der Jurazeit weiter anstieg. Für den Zeitraum vom unteren Lias bis in den mittleren Malm wird der Anstieg auf etwa 175 m geschätzt (Abb. 2). Er erfolgte schubweise, und im Wechselspiel mit der Absenkung der Erdkruste bestimmte er die Wassertiefe des Jurameeres, welches aber stets ein untiefes Schelfmeer blieb.

Zur Zeit des **Lias** wurden die Festlandgebiete des Keupers mehr und mehr zurückgedrängt, das *Böhmisch-Vindelizische Festland* wurde allmählich überschwemmt. In den tiefsten Lagen des Lias der Bohrung Benken sind noch Sandschüttungen vom böhmischen Festland erkennbar, doch bereits mit den *Arietenkalken* werden reine Flachwasser-Karbonate gebildet. Eine Besonderheit des Lias ist der *Posidonienschiefer*. Die dunklen bituminösen Tonschiefer verdanken ihre Entstehung den besonderen Bedingungen auf dem epikontinentalen Schelf des Jurameeres. Die Schichten entstanden in abgeschlossenen Becken des Liasmeeres, die über seichte Schwellen mit dem offenen Schelf in Verbindung standen. Im tropisch warmen Meerwasser konnte sich im extrem ruhigen Sedimentationsraum eine Wasserschichtung ausbilden, die nahe der Wasseroberfläche gute Lebensbedingungen für das Plankton bot. Im tieferen Wasser wurde durch herabsinkende abgestorbene Lebewesen der Sauerstoff aufgezehrt und Schwefelwasserstoff gebildet. Es entstanden am Meeresgrund lebensfeindliche Verhältnisse mit giftigem *Faulschlamm*. Die Ruhe wurde von Zeit zu Zeit von tropischen Stürmen unterbrochen, diese drückten Wassermassen vom offenen Ozean auf den Schelf und zerstörten die Wasserschichtung der Posidonienschieferlagunen. Dadurch ergaben sich kurzzeitig akzeptable Lebensbedingungen für spezialisierte Muscheln («Posidonien»), die auf dem durch Bakterienrasen stabilisierten Schlammgrund kurzzeitig ein Massenwachstum entfalteten. Mit Muschelabdrücken übersäte Schichtflächen in Aufschlüssen des Randens

(Beggingen) künden uns noch heute von diesem Geschehen.

Nachdem zur Zeit des Lias in weiten Gebieten Mitteleuropas Tone und Mergel abgelagert wurden, entstand während dem mittleren und oberen Jura (**Dogger** und **Malm**) im Gebiet des Pariser Beckens eine ausgedehnte Karbonat-Plattform. Solche Plattformen sind untiefe Meeresgebiete, die durch das Wachstum von Kalk produzierenden Organismen entstehen (Korallen, Echinodermen usw.). Die heutigen Bahama-Inseln sind ein modernes Analogon einer derartigen Plattform. Östlich dieser Burgunder Plattform, die das Gebiet des Pariser Beckens bis in den Schweizer Jura umfasste, war das Meer tiefer, und tonig-mergelige Formationen dominieren hier die Gesteinsabfolgen. Man spricht von der *schwäbischen Fazies* der Formationen, im Gegensatz zur *Keltischen* im Westen. In den Bohrungen Weiach und Benken ist der gesamte Dogger in dieser schwäbischen Fazies ausgebildet. Die rund 200 m mächtige Serie besteht aus Tonen, Ton- und Kalkmergeln sowie kalkigen Sandsteinen. In die Abfolge eingeschaltet sind eisenoolithische Horizonte, die für die Gliederung eine wichtige Rolle spielen. Ihre Bildung hängt eng mit dem warmen und humiden Klima zur Zeit des Doggers zusammen. Intensive Niederschläge förderten auf den Festländern eine lateritische Verwitterung, bei der erhebliche Mengen Eisen aus den Gesteinen gelöst und an Tonmineralien gebunden ins Meer verfrachtet wurden. Während der Bildung der Ablagerungen des Doggers, die rund 25 Millionen Jahre dauerte, stieg der Meeresspiegel rund 70 m an. Der Anstieg erfolgte nicht kontinuierlich, sondern in Schüben, unterbrochen von Phasen, in denen sich der Spiegel wieder absenkte. Das Vindelizisch-Alemannische Festland, das im Lias als trennende Barriere zwischen germanischem Becken und Tethys-Ozean lag, wurde im Dogger nach und nach überflutet, so dass nun eine direkte Verbindung zur Tethys bestand.

An der Basis des **Doggers** liegt der rund 100 m mächtige Opalinuston, dessen Tonsteine vor allem in den oberen Lagen dünne Sandsteinbänkchen oder -linsen enthalten. Regionale Untersuchungen haben gezeigt, dass sich zur Zeit der Ablagerung der Tone das Gebiet der Nordschweiz in Absenkung befand. Es wird vermutet (ALLIA, 1996), dass die Mächtigkeitsverteilung des Opalinustons durch *synsedimentäre Bewegungen* der alten paläozoischen Bruchschollen verursacht sei. Im mittleren und oberen Dogger dominieren im schwäbischen Faziesraum Mergel- und Tonserien, in die dünne kalkarenitische und eisenoolithische Horizonte eingeschaltet sind. Man beobachtet oft einen zyklischen Aufbau: Tone und Mergel werden von Kalkareniten überlagert, die im Dach einen Hartgrund mit Bohrlöchern und sessiler Fauna tragen. Eine geringmächtige Eisenoolithlage überlagert den Hartgrund. Diese *Ablagerungszyklen* wurden von Meeresspiegelschwankungen verursacht, wobei im Verlaufe der Entwicklung die Wassertiefe von einem Ablagerungsmilieu unterhalb der Wellenbasis, wo tonig-mergelige Sedimente abgelagert wurden, in ein seichtes Milieu mit hoher Wasserenergie wechselte, wo ausgewaschene tonfreie Kalksande (Kalkarenite) gebildet wurden. Beim Wiederanstieg des Meeresspiegels wurde das Ablagerungsmilieu tiefer, und im Bereich der Wellenbasis kam es im nicht mehr durchbewegten Sediment zur Verfestigung (Zementation) des Kalksandes: Es entstand ein Hartgrund, der für längere Zeit frei von Sediment blieb und auf dem eine sessile Fauna ideale Lebensbedingungen fand. Über dem Hartgrund liegen eisenoolithische Schichten, die ein tieferes Ablagerungsmilieu anzeigen. Die Bildung von Eisenooiden geschah vermutlich auf den Hartgründen, wobei das Eisen vom ausgetriebenen Porenwasser der unterliegenden Tonsteine stammte (BITTERLI, 1979 und 2001).

Während der Zeit des **Malms** entstanden im Gebiet Mitteleuropas ausgedehnte *Barriereriffe*. Der Riffgürtel am Aussenrand der Burgunder Plattform erstreckte sich über weite Gebiete des Schweizer Juras. Die Ostgrenze dieser Riffbarriere ist heute wegen der tertiären Erosion weitgehend abgetragen, sie muss etwa im Gebiete des Aargauer Tafeljuras verlaufen sein. Im schwäbischen Becken, weiter östlich, war das Wasser für Korallen zu tief, hier entwickelten sich eigenarti-

ge *Schwammriffe*. Das sind riffartige Bauten aus umkrusteten Kieselschwämmen, die als Hügel aus dem schlammigen Meeresgrund ragten. Nebst Schwämmen bestehen sie vor allem aus Mikrobenmatten. Nach neueren Beobachtungen bildeten sich die Schwammriffe der schwäbischen Alb am Rand von Lagunen mit Karbonatsanden und Ooiden, also in verhältnismässig seichtem Wasser (KOCH et al., 2003). Aus der Nordschweiz sind keine zusammenhängenden Schwammriffgürtel beschrieben worden, kleine Schwammriffe treten aber in den Gesteinen des oberen Malms verbreitet auf.

Die paläogeographische Situation hatte sich im Malm gegenüber dem Dogger stark verändert. Die *mitteldeutsche Schwelle* (Brabanter- und Rheinisches Massiv) wuchs zunehmend gegen das Böhmische Festland und riegelte das Randmeer gegen die Einflüsse der kälteren Nordmeere ab (ZIEGLER, 1988). Da im Süden eine trennende Landmasse fehlte, war das Weissjurameer Mitteleuropas gegen den Tethys-Ozean hin offen, was den Zustrom kalkreicher Tethyswässer ins Randmeer ermöglichte. Durch Erwärmung des Wassers wurde viel Kalk ausgefällt. Möglicherweise haben dabei klimatische Schwankungen die Kalk-Mergel-Wechsellagerung verursacht, die für grosse Teile der Malmformationen, etwa die Effinger Schichten oder die Wohlgeschichteten Kalke des Randens, typisch ist.

5 KREIDEZEIT: VOM SCHELFMEER ZUM TROPISCHEN REGENWALD

Zur Kreidezeit bedeckt lange Zeit ein untiefes Schelfmeer Mitteleuropa. Gegen Ende der **Kreide** begann sich ein domartiges Gebiet, der *Rheinische Schild*, herauszuheben, und weite Gebiete des Kreidemeeres fielen trocken. Das Zentrum der Hebung lag am Nordende des Oberrheingrabens. Die Hebungen hängen mit plattentektonischen Ereignissen zusammen, die eine Umgestaltung Europas einleiteten. Nachdem der Gondwana-Kontinent seit der Triaszeit von Eurasien weggedriftet war und sich dabei der penninische Ozean, der mit dem Tethys-Ozean verbunden war, geöffnet hatte, begann nun der aus Gondwana stammende Afrikanisch-Arabische Kontinent gegen Eurasien zu driften. Die Bewegungen der Kontinente waren komplex, da das Geschehen in der Tethys über grosse Transversalverschiebungszonen mit dem gleichzeitig auseinander driftenden Südatlantik verbunden war. Der *Penninische* und der *Tethys-Ozean* wurden ab der Oberkreide mitsamt den in diesen Meeren liegenden Mikrokontinenten und Inselbögen (Penninischer Mikrokontinent, adriatische Platte u. a.) allmählich zusammengeschoben. Die ozeanische Kruste wurde dabei ins Erdinnere subduziert und die untiefere Erdkruste mitsamt den auflagernden Sedimentabfolgen zum alpinen Gebirgsgürtel übereinander gestapelt.

Durch die Aufdomung des Rheinischen Schildes wurde auch die Nordschweiz allmählich Abtragungsgebiet. Die Ablagerungen der Kreidezeit wurden dabei vollständig erodiert und erst weit im Westen, im Neuenburger Jura, blieben Meeresablagerungen der Kreide erhalten. Die Schichtlücke in den Sedimentabfolgen der Nordschweiz umfasst die Zeitspanne vom Oberen Malm bis ins mittlere Eozän, es gibt darum über einen Zeitraum von rund 120 Millionen Jahren wenig Information über die erdgeschichtliche Entwicklung (Abb. 1). Einzig sedimentäre Füllungen von Karstspalten geben Zeugnis über Fauna und Flora sowie über die Klimabedingungen dieses Zeitraumes (BOLLIGER, 1999). Die Erosion an den Flanken des Rheinischen Schildes hatte erhebliches Ausmass, denn die tertiären Formationen ruhen am Schwarzwaldsüdrand auf Schichten des Unteren Malm und des Oberen Doggers. Bei feuchtwarmem tropischem Klima überzogen zur späten Kreidezeit Regenwälder das Gebiet der Nordschweiz, und eine intensive Karstverwitterung sorgte für den Abtrag der obersten Juraformationen.

6 TERTIÄR: RANDMEERE, STROMTÄLER UND ERSTE VORLÄUFER DES RHEINS

In der Tertiärzeit wird die Entwicklung zunehmend von den Auswirkungen der *alpinen Gebirgsbildung* auf das nördliche Vorland

bestimmt. In der späten Oberkreide wurde das nördlich des penninischen Mikrokontinentes liegende Nordpenninische Meer von der Gebirgsbildung erfasst, und im frühen Tertiär (**Paläogen**) kam es zur Subduktion der europäischen Kruste unter das entstehende Gebirge. Über dem abtauchenden Krustenspan bildete sich ein Vorlandtief, welches ab dem Oligozän mit den Erosionsprodukten des allmählich aus dem Meer auftauchenden alpinen Gebirges gefüllt wurde. Weiter im Norden bewirkte das Abbiegen (Flexur) der Kruste Hebungen, die je nach Intensität der Gebirgsbildung schwächer oder stärker ausfielen.

Die erdgeschichtlichen Ereignisse im Tertiär der Nordschweiz waren durch die Entwicklung von *Vorlandtrog* und *Vorlandschwelle* mit den gebirgsbildenden Vorgängen im Alpenorogen verbunden. Die Intensität der Orogenese steuerte die Erosion und Sedimentation im Vorlandbecken. Die vorläufig letzten intensiven Phasen der Gebirgsbildung, gegen Ende der Tertiärzeit, schufen schliesslich die Voraussetzungen, dass vor rund zwei Millionen Jahren erstmals ein dem heutigen Rheinsystem ähnliches Entwässerungsnetz entstehen konnte. Doch bis es soweit war, hat das Vorlandtief, wir bezeichnen es als *Molassebecken,* eine wechselvolle Geschichte erlebt.

Im **frühen Tertiär** intensivierten sich die Hebungen im Gebiet von Schwarzwald und Vogesen, und im Untergrund der Nordschweiz erwachten tektonische Kräfte, die die Landschaft einschneidend veränderten. Das erste Ereignis, welches auch die Hochrheinregion betraf, war der *Einbruch des Oberrheingrabens*, der im **Eozän** (etwa vor 55 Millionen Jahren) begann (ROLL, 1979). Mitten im Rheinischen Schild bildete sich eine rund 300 km lange, NNE-SSW verlaufende Senkungszone. Die sedimentäre Füllung dieses Grabenbruchs ist teilweise mehr als 3000 m mächtig und besteht aus tertiären und quartären Ablagerungen. Die Absenkung war anfänglich im Südteil des Grabens stärker, später verlagerte sich das Senkungsmaximum in den Norden. Während Jahrmillionen lag in der entstehenden Senke ein Süsswassersee, der im ariden Klima gegen Ende des Eozäns als abflussloses Becken allmählich versalzte. Dabei wurden die bedeutenden *Kalisalzvorkommen* des Oberrheingrabens gebildet. Schliesslich drang im **unteren Oligozän** (Rupelian) das Meer von Norden her in den Graben und es wurden im Südteil rund 1000 m mächtige marine Tone und Mergel abgelagert.

Die extensiven tektonischen Kräfte, die die Grabenbildung auslösten, wirkten sich auch auf das Gebiet des Tafeljuras aus. Es entstanden die markanten, N-S streichenden Gräben und Horste, wie sie vor allem für den Baselbieter Jura typisch sind. Auch in der südlichen Fortsetzung des Rheintalgrabens kam es zu Absenkungen, das Senkungsgebiet wird als *raurachische Senke* bezeichnet. Sie bildete vermutlich zur Zeit der **Unteren Meeeresmolasse** einen Meeresarm, der das Molassemeer mit dem Rupelian-Meer im Rheintalgraben verband. Östlich des Tafeljuras sind die N-S streichenden rheinischen Störungen seltener zu beobachten, hier dominieren die WNW-ESE gerichteten alten variszischen Störungen. Allerdings sitzen die Hegau-Vulkane, die im späten Tertiär aktiv waren, auf Rheingraben-parallelen «rheinischen» Störungszonen (SCHREINER, 1992).

Das Klima wurde im frühen Tertiär zunehmend trockener, und es kam im Oberrheingraben, wie erwähnt, zur Bildung mächtiger Kalisalzlager. In weiten Gebieten der Nordschweiz herrschte zu jener Zeit eine intensive Karstverwitterung. Bei tiefem Grundwasserspiegel entstanden ausgedehnte Karstschlote und Höhlen in den Kalkformationen des Malms. *Bolustone* und *Bohnerze* als Füllung dieser Karstlöcher oder als dünne Bedeckung der Malmkalke, sowie Krustenkalke sind in der Nordschweiz die einzigen Zeugen dieser langen Erosionsphase. Im Gebiet des kleinen Randens und auch andernorts wurden die eozänen Bohnerze als Eisenerz ausgebeutet (BIRCHMEIER, 1986).

Die *Heraushebung der Alpen* zum Gebirgsbogen fand erst nach der meso-alpinen Deckenbildung im **Oligozän** statt (TRÜMPY, 1984). Im späten Oligozän waren die Alpen bereits ein Hochgebirge mit wohl bis zu 6000 m

hohen Gipfeln. Aus der Gebirgskette wurden mächtige Flyschabfolgen (Trübeströme) in das vorerst noch tiefe Randmeer geschüttet. Diese Tiefseeablagerungen wurden im frühen Oligozän allmählich von flachmarinen Sedimenten der Unteren Meeresmolasse abgelöst. Es handelt sich dabei vor allem um Fein- und Grobsande, Silte und Konglomerate. Brackwasserfossilien (Muscheln, Gastropoden, Ostrakoden usw.) zeigen, dass das Wasser der Alpenflüsse im schmalen Meeresarm den Salzgehalt erniedrigte. Die Sedimente der Unteren Meeresmolasse verzahnen sich in den Basislagen noch mit den Flyschbildungen (BÜCHI und SCHLANKE, 1977). Die Nordgrenze des etwa 40–50 km breiten Meeresarms lag etwa im Bereich des heutigen Alpennordrandes. Gesteine der Unteren Meeresmolasse finden sich darum heute nur in den Schuppen der subalpinen Molasse.

Der *Zusammenschub der subalpinen Molasse* begann im **späten Oligozän**. Das Meer verlandete, und in der Vorlandsenke entstand bei feuchtwarmem tropischem Klima eine weite Flussebene, in der sich die aus den Schuttfächern der jungen Alpen austretenden Flüsse zu einem grossen Strom vereinigten, der in einen Meeresarm weit im Osten mündete (Abb. 3). Wir bezeichnen die Ablagerungen dieses Stromsystems als **Untere Süsswassermolasse**. Es handelt sich um bunte Mergel, in die Lagen mit Knauern und mächtige Sandsteinbänke eingebettet sind. Die Sandsteinlagen sind Ablagerungen der mäandrierenden Flussläufe, die feinkörnigen Mergel sind Bodenbildungen der Flussauen, die bei saisonalen Überschwemmungen gebildet wurden. Aus den jungen Alpen bauten Alpenflüsse mächtige Schuttfächer in die Schwemmebene. Der zentrale Flussstrang verlief im Gebiet der grössten Absenkung, er verlagerte sich mit dieser im Verlauf der Sedimentation der Unteren Süsswassermolasse immer weiter nach Norden. Die Vorlandschwelle befand sich zur Zeit der Unteren Süsswassermolasse noch im Gebiet des Molassebeckens. Dadurch kam es zur Bildung erster Flexuren über den Randstörungen des Nordschweizer Permokarbontroges.

An der Wende **Oligozän-Miozän** (vor rund 23 Millionen Jahren) erreichte die Vorlandschwelle das Gebiet des Schwarzwaldes, und intensive Hebungen setzten ein. Zudem hatte sich im Untergrund, vermutlich bereits in der späten Kreide, die Erdkruste ausgedünnt, so dass das Material des heissen Erdmantels näher zur Erdoberfläche aufsteigen konnte. Auch noch heute liegt die Krustenbasis (Moho) im Gebiet des Kaiserstuhls nur 24 km tief, gegenüber mehr als 30 km in den umliegenden Gebieten. Dieser Manteldiapir (aufsteigendes, heisses Magma, das aufgrund seiner geringen Dichte aus grossen Tiefen nach oben dringt; diese Stellen werden auch «Hotspot» genannt) förderte die Hebung zusätzlich. Es ist bislang unklar, wie er entstanden ist, er war jedenfalls bereits vor der Ankunft der Vorlandschwelle für die Aufwölbung des Rheinischen Schildes verantwortlich. Die Hebungen führten zu kräftiger Erosion der mesozoischen Sedimenthüllle. Der Abtragungsschutt wurde von den Schwarzwaldflüssen in die Molassesenke getragen, und es entstanden so auch am Beckennordrand Schuttfächer. Die Konglomeratschüttungen werden nach ihrem Geröllinhalt als *ältere Juranagelfluh* bezeichnet. Sie enthalten als Komponenten vor allem Malmgerölle, dazu wenige aus dem Dogger. Das Schwarzwaldkristallin lag also zu diesem Zeitpunkt noch unter einer mächtigen Sedimenthülle.

Durch die intensive Hebung des Schwarzwaldes wurden die Gesteinsschichten in der Nordschweiz um einige Grad nach Südosten gekippt. Die Aufwölbung führte zur Dehnung der Gesteinskörper, was eine Reaktivierung der alten variskischen Störungszonen auslöste. So bildeten sich beispielsweise die NW-SE streichenden Gräben und Horste der Südabdachung des Schwarzwaldmassivs. Die auffälligste Struktur ist der *Freiburg-Bonndorf-Bodensee-Graben*, der den gesamten Südschwarzwald durchschneidet und an dessen Enden die *jungtertiären Vulkangebiete* des Kaiserstuhls und des Hegaus liegen. Auch die Vorwald- und die Eggberg-Störung, die die südlichsten Schollen des Schwarzwaldes begrenzen, wurden reaktiviert. Am Südende interferierten sie mit den

Störungen des Nordschweizer Permokarbontroges, so dass in dessen Umgebung ein komplexes Bruchmuster entstand (DIEBOLD et al., 1992).

Auch im Gebiet des Molassebeckens wurden variskische Strukturen, insbesondere die Randstörungen des Nordschweizer Permokarbontroges, wieder belebt. Die alten Störungszonen pausten sich in Form von Flexuren durch das sedimentäre Deckgebirge. Aufgrund der Kippung der Schichten gewinnt die Untere Süsswassermolasse gegen Süden rasch an Mächtigkeit. Die Schrägstellung des Deckgebirges führte am Südhang des Schwarzwaldes dazu, dass ein über den Trias-Evaporiten (Salz, Anhydrit, Gips) liegender, rund 10 km breiter Gesteinskörper instabil wurde und nach Süden abglitt. Über einer alten Störung im Grundgebirgssockel wurde er zur komplexen, gegen Süden gerichteten *Mettauer-Überschiebungsmasse* im Aargauer Tafeljura aufgestapelt.

Im frühen **Miozän** (vor etwa 20 Millionen Jahren) verstärkte sich die Absenkung des alpinen Vorlandes, verursacht durch eine markante Krustenverdickung, die durch die Aufwölbung des lepontinischen Doms (Tessin und Simplonmassiv) und durch die Aufstapelung der *helvetischen Decken* ausgelöst wurde. Die Sedimentation konnte die Absenkung nicht mehr ausgleichen, so dass das Meer erneut ins Molassebecken eindringen konnte. Es bildete sich eine untiefe, langgezogene Meeresstrasse mit kräftigen Gezeitenströmungen, in der die Ablagerungen der **Oberen Meeresmolasse** entstanden (Abb. 4). Die kräftigen Gezeitenströmungen im seichten Meeresarm führten zu starkem Küstenversatz, es bildeten sich ausgedehnte Kiesbänke, die wir heute als Geröllbänder und -lagen in den groben Sandsteinen der Meeresmolasse beobachten können. Die Hauptmasse der Sedimente bilden grünliche schräggeschichtete Sandsteine, die oft Austern- und Muschelreste enthalten. Die nördliche Küstenlinie des Molassemeeres, teilweise als Felskliff ausgebildet, folgte oft den über reaktivierten alten Störungszonen liegenden Flexuren, die teilweise während der Sedimentation der Meeresmolasse weiter bewegt wurden. In der Nordschweiz hat die spättertiäre oder quartäre Erosion die Klifflinie meist zerstört, im Ostaargau ist sie aber mancherorts noch erkennbar. Die synsedimentäre Entstehung eines Felskliffs über der Endinger Flexur konnte bei Endingen im Aargau belegt werden (BITTERLI, 1999).

Im **Mittelmiozän** zog sich das Meer nach Westen zurück, es kam zu einer Strukturierung des Molassebeckens. Vom Gebiet der Lägern bis zum Bodenseegebiet bildete sich eine Schwellenzone, auf der sich bei ariden Klimabedingungen *Süsswasser- und Krustenkalke* bildeten. Nördlich dieser Schwelle entstand ein Flusstal, in dem grobkörnige Sande, man nennt sie *Graupensande*, abgelagert wurden. Sie bestehen hauptsächlich aus Quarz- und Feldspatkörnern, weiter enthalten sie dunkle Lydite (silurische Kieselschiefer), die zweifelsfrei aus dem Fran-

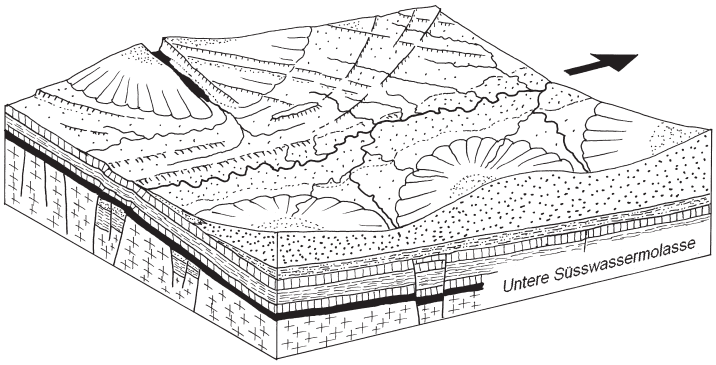


Abb. 3. Schematisches Blockbild der Nordschweiz im Oberoligozän zur Zeit der Unteren Süsswassermolasse.
Eine Ur-Donau im Vorland der jungen Alpen sammelt das Wasser der Alpenflüsse und führt es gegen Osten in ein Meer im Bayrischen Molassebecken. Aus der Alpenkette werden grosse Schuttfächer in die Ebene geschüttet. Im Norden werden Schwarzwald und Vogesen stark gehoben. Reaktivierte paläozoische Bruchsysteme zeichnen sich in der Landschaft durch Flexuren und Geländestufen ab. Im jungen Oberrheingraben, der noch im Mitteloligozän einen Meeresarm bildete, sind nur noch Restseen übrig geblieben. Über dem Permokarbontrog zieht eine Flexur nach Osten, sie verhindert die Entwässerung in den Oberrheingraben.

kenwald stammen. Die Graupensande sind somit eine Schüttung aus dem Böhmischen Massiv. Der Flusslauf kann vom Frankenwald bis zur Einmündung ins Molassemeer im Klettgau verfolgt werden. Durch den zeitweisen Rückzug des Molassemeeres konnte sich der Fluss bis zu 70 m tief in ältere Formationen einschneiden. Diese *Graupensandrinne* verlief weitgehend parallel zur Klifflinie.

Der Graupensandfluss hatte im Molassebecken nicht lange Bestand. Das Meer kehrte zurück und es bildete sich erneut ein seichter Meeresarm mit Brackwasserablagerungen. Der Fluss mündete nun weiter östlich ins Molassemeer, es entstanden die marinen Graupensande von Benken-Wildensbuch, aus denen eine vielfältige Meeresfauna geborgen wurde. Die Sedimentschüttungen ins Molassebecken kamen nun zunehmend aus Südwesten und lieferten das Material für die *Austernnagelfluh*. Im Konglomerat dominieren helle, gut gerundete Gerölle, häufig aus Quarz oder Quarzit, die in einer sandigen Grundmasse liegen. Die Sande zeigen das Schwermineralspektrum des Napfschuttfächers. Das Gestein enthält lagenweise zahlreiche Austern, die wohl in den ruhigen Phasen zwischen den stärkeren Geröllschüttungen den Meeresboden besiedeln konnten.

Die marine Sedimentation im Molassebecken endet mit den *Melaniensanden*, die sich durch einen hohen Gehalt an hellem Glimmer auszeichnen. Der Meeresarm reichte zu dieser Zeit bis ins bayrische Molassebecken. Gegen Ende des Mittelmiozäns zog sich das Molassemeer aufgrund von Hebungen des Beckens, möglicherweise unterstützt von einer kräftigen eustatischen Meeresspiegelabsenkung, endgültig nach Südwesten zurück. Im trocken fallenden Becken bildete sich nun eine Auenlandschaft mit trägen Flüssen, die die Wassermassen der Alpen nach Westen zum Mittelmeer führten. Wir nennen diese Ablagerungen die **Obere Süsswassermolasse** (Abb. 5). An den Beckenrändern entstanden Seen und Moore, in denen sich *Süsswasserkalke* und auch *Braunkohlen* (Käpfnach) bildeten. Von den zu dieser Zeit emporsteigenden Ostalpen wurden Sande, die reich an Glimmer waren, nach Westen transportiert, das zentrale Flusstal wird deshalb als *Glimmersandrinne* bezeichnet. Aus Pflanzenfunden kann auf ein warm-gemässigtes, durch Monsune bestimmtes Klima geschlossen werden.

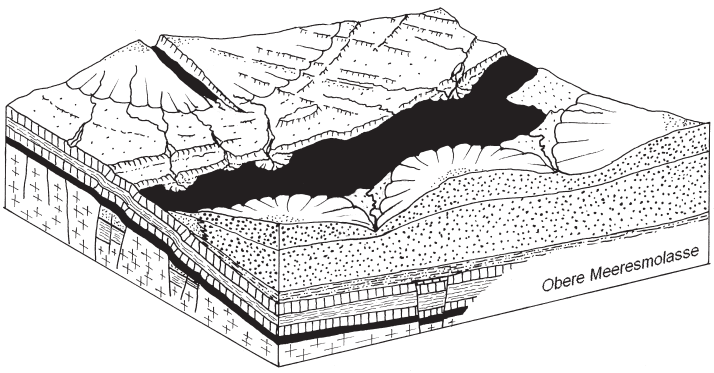


Abb. 4. Schematisches Blockbild der Nordschweiz im Untermiozän zur Zeit der Oberen Meeresmolasse.
Im unteren Miozän drang das Meer ins Molassebecken vor. Eine markante Verdickung der Erdkruste aufgrund der alpinen Gebirgsbildung hatte die kräftige Absenkung des Beckens ausgelöst. Der nördlich anschliessende Schwarzwald-Vogesen-Dom wurde weiterhin kräftig gehoben, und die Gebirgsflüsse gruben eigentliche Canyons in die Bergflanken. Die Flüsse brachten viel Schutt, und am Nordufer des Molassemeeres wuchsen Schuttkegel ins Wasser (Ältere Juranagelfluh). Am Nordufer des Meeres entstand längs der Schichtstufen eine Kliffküste. Das Meer war erneut in den Oberrheingraben eingedrungen, seine Südküste lag zeitweise im Gebiet des Baselbieter Juras (Muschelagglomerate der Tenniker Fluh). Es gab aber keine Verbindung zum Molassemeer.

Seit dem **Untermiozän** bestand im Oberrheingraben eine Schwelle, die den Graben gegen Norden abriegelte. Nördlich dieser Schwelle entwickelte sich das Flusssystem eines *Ur-Rheins*, welches die Wässer der Nordabdachung des Rheinischen Schildes zur Nordsee führte. Die Hebungen der Grabensohle lagen im Gebiet des *Kaiserstuhl-Vulkans*, der im **Mittelmiozän** (vor 18–16 Millionen Jahren) aktiv war. Danach hatte die mit vulkanischen Ablagerungen bestückte Schwelle Bestand bis ins Pliozän. Die Flüsse südlich der Schwelle (z. B. Ur-Wiese)

nahmen den Weg nach Süden, über das Gebiet des späteren Juragebirges zur Glimmersandrinne. Sie hinterliessen dort an Nagelfluh reiche Schuttfächer mit Komponenten aus Schwarzwald- und Vogesengesteinen.

Durch verstärkte Hebungen im Schwarzwald, zur Zeit der **Oberen Süsswassermolasse**, gewannen die Gebirgsflüsse an Kraft und erodierten teils tiefe Canyons in die Abhänge. Das Klima war subtropisch, und immergrüne Wälder überzogen die Flussniederungen. In den höheren Lagen des Schwarzwaldes jedoch war die Vegetation spärlicher, und bei saisonalen Starkregen wurden Schlammströme (Murgänge) ausgelöst, die durch die Canyons in die Ebene geschüttet wurden. In diesen als *jüngere Juranagelfluh* bezeichneten Ablagerungen finden sich deshalb auch mehr als kopfgrosse, kaum gerundete Komponenten. Bei den Geröllen dominieren nun die Trias-Formationen und es treten auch einzelne Gesteine des Schwarzwälder Grundgebirges auf, das nun stellenweise von der Erosion angeschnitten wurde.

Während der Ablagerung der **Oberen Süsswassermolasse** kam es im nahen Hegau zu den ersten *vulkanischen Eruptionen*. Es handelte sich zu Beginn um explosive Ausbrüche, die mächtige Tuffmassen zu Tage förderten. In der Nordschweiz werden die verwitterten Tuffe, die der Wind hierher verfrachtete, als *Bentonite* bezeichnet. Für die älteste Bentonitlage in der OSM bei Bischofszell wurde ein Alter von etwa 14,6 Millionen Jahren bestimmt, was mit den ältesten Deckentuffen im Hegau übereinstimmt (SCHREINER, 1992). Es wurde aber auch vermutet, dass die Ostschweizer Bentonite zum Teil von einem Eruptionsschlot in diesem Gebiet stammen (HOFMANN, 1961).

Zur gleichen Zeit ereignete sich in Mitteleuropa eine kosmische Katastrophe, ein *Meteoritenschwarm* traf die Erde. Der grösste Brocken, ein mehrere hundert Meter grosser Meteorit, schlug einen rund 23 km weiten Krater in die schwäbische Alb bei Nördlingen: das Nördlinger Ries. Zahlreiche weitere Krater umsäumen das Ries, darunter das Steinheimer Becken mit 3,5 km Durchmesser. Man nimmt an, dass die verheerenden Einschläge das Gelände grossräumig einebneten. Beim *Ries-Ereignis* wurden 70–130 km^3 Gestein herausgeschlagen und verfrachtet. Ein Horizont mit kantigen Fragmenten von Oberjura-Gesteinen, der in der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz gefunden wurde, wird auf die Katastrophe zurückgeführt (HOFMANN und HOFMANN, 1992). Ein Stück Strahlenkalk unter den Komponenten ist ein gutes Indiz für die Herkunft aus dem Impaktereignis. Die Komponenten sind dabei rund 180 km weit geschleudert worden und gingen als verheerender Gesteinshagel über das östliche Molassebecken nieder. Nach dem Einschlag

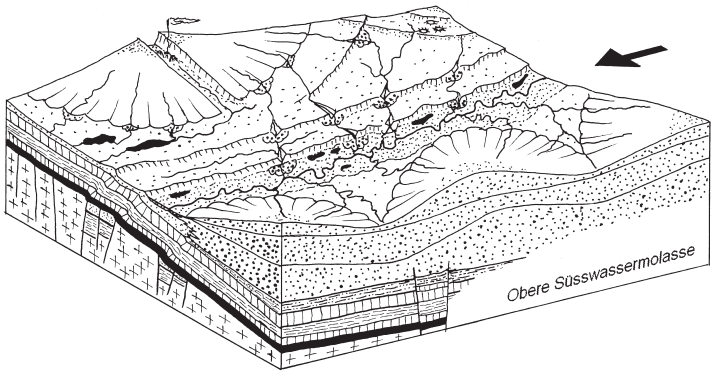


Abb. 5. Schematisches Blockbild der Verhältnisse im Obermiozän: Obere Süsswassermolasse.
Die grossräumigen Absenkungen im westlichen Molassebecken, die dem Molassemeer den Zugang zum Becken geöffnet hatten, führten nach dem Rückzug des Meeres zum Wechsel der Entwässerungsrichtung nach Westen. Das breite, gegen Südwesten ziehende Stromtal, in dem helle glimmerreiche Sande aus den kristallinen Alpen verfrachtet wurden, wird als Glimmersandrinne bezeichnet. Anhaltende Hebungen in Schwarzwald und Vogesen verstärkten im Obermiozän das Relief und bewirkten, dass Geröllschüttungen (Jüngere Juranagelfluh) von Norden in die Glimmersandrinne geschüttet wurden. Vor allem am Beckennordrand entstanden einige Seen, in denen Süsswasserkalke abgelagert wurden. Im Oberrheingraben war der Kaiserstuhl-Vulkan aktiv, im Hegau hatten sich in den Tuffschloten des Deckentuffvulkanismus Maarseen gebildet.

waren weite Teile Mitteleuropas verwüstet, das Leben weitgehend erloschen. Dicke Lagen aus steinigem Staub und Glasasche bedeckten die Landschaft. Neue Flusssysteme entwickelten sich, und der Rieskrater staute im Altmühlgebiet einen See von der doppelten Grösse des Bodensees. Das Leben erholte sich schnell, denn bereits die untersten Lagen in den Seeablagerungen der Kraterseen enthalten viel organisches Material, und etwas jüngere Lagen lieferten prachtvoll erhaltene Überreste von Wirbeltieren (HEIZMANN und REIFF, 2002).

In einem Zeitfenster von 12,4 bis 9,4 Millionen Jahren klang die Molassesedimentation allmählich aus. Dies ergibt sich aus der Datierung der sicher nachmolassischen *Höwenegg-Schichten*, bzw. der gleichaltrigen Hornblendetuffe (SCHREINER, 1992). Zu jener Zeit (**Obermiozän**) bildete das Mittelland eine weitgehend eingeebnete Landschaft vor den Schuttfächern des Alpengebirges. Die Zeit bis zum Beginn der Eiszeiten vor rund 2,6 Millionen Jahren ist nur sehr lückenhaft mit Ablagerungen belegt. Die andauernde Hebung sorgte für Erosion, und die gebildeten Ablagerungen wurden meist wieder erodiert, so dass wir aus diesem rund 8 Millionen Jahre dauernden Zeitabschnitt nur wenig Belege für das geologische Geschehen haben, unsere Kenntnisse über die erdgeschichtliche Entwicklung dieser Periode sind darum lückenhaft.

In der Zeitspanne von 9 bis 4 Millionen Jahre hat sich die *Auffaltung des Juragebirges* abgespielt. Die vorläufig letzte intensive Überschiebungsphase in den Alpen führte dazu, dass im Vorland auf den leicht verformbaren (duktilen) Evaporithorizonten der mittleren Trias (Steinsalz, Anhydrit) das gesamte darüber liegende Gesteinspaket des Molassebeckens nach Nordwesten geschoben wurde. Dieser als *Fernschub* bezeichnete Vorgang wurde in den vergangenen Jahren durch Beobachtungen in Tiefbohrungen und durch seismische Aufnahmen im Mittelland bestätigt (SOMMARUGA, 1997). Der *Sedimentkeil* des Molassebeckens wurde als fester Block verschoben, erst im Gebiet der Nord- und Westschweiz, wo die Gesteinsüberlagerung geringer war, wurden die Formationen über dem Abscherhorizont zu den Falten und Überschiebungen des Juragebirges zusammengestaucht. Der Betrag des Zusammenschubs im Jura kann mehrere Kilometer betragen, er nimmt gegen Osten ab und misst bei der Lägern noch etwa 1,5 km. Östlich der Lägern beobachtet man an der Erdoberfläche kaum Anzeichen der kompressiven Juratektonik, sie ist aber auf den zahlreichen Seismik-Linien dieses Gebietes zweifelsfrei feststellbar.

Lange Zeit galt die Stirn des Kettenjuras, die so genannte *Hauptüberschiebung*, die an der Erdoberfläche von der Mont-Terri-Kette bis zur Lägern verfolgt werden kann, als nördliche Front des Faltenjuras. Bei der detaillierten Auswertung neuerer Seismiklinien (NAEF et al., 1995) fanden sich Hinweise, dass auch im Vorland der Hauptüberschiebung, im Tafeljura, Überschiebungen und Verbiegungen des Deckgebirges vorkommen. So zieht im Untergrund nördlich der Lägern eine Überschiebung weiter gegen Norden und stösst im Gebiet des Rheins, bei Rümikon, gegen die Erdoberfläche. Der Ausbiss ist unter den Quartärformationen verborgen und darum an der Oberfläche nicht erkennbar. Diese, in abgeschwächtem Ausmass vom Fernschub erfasste Zone, wurde als Vorfaltenzone bezeichnet. Die Überschiebungen und Falten entstehen meist bei Störungen oder Verbiegungen des Abscherhorizontes. Da diese Störungen ihren Ursprung im Grundgebirgssockel haben, sprechen die Geologen von Sockelsprüngen. So entwickelte sich die Überschiebung bei Rümikon über der nördlichen Randstörung des tiefen Permokarbontroges. Bei der Lägern wird ein Zusammenhang mit dem Südrand des Permokarbontroges vermutet (NAGRA, 2003). Die ererbten, im Tertiär reaktivierten paläozoischen Strukturen spielen somit auch bei der Platznahme der Falten und bei Überschiebungen des Juragebirges eine entscheidende Rolle.

Die Zeit des Jurafernschubs blieb nicht ohne Auswirkungen auf das Flussnetz der Nordschweiz. Die grossräumigen Hebungen führten zur Bildung einer noch heute bestehenden Wasserscheide im westlichen Mittelland. Die Entwässerung erfolgte nun am Fuss des entste-

henden Faltenjuras entlang gegen Nordosten. Eine Ur-Aare sammelte das Wasser der Zuflüsse aus den Alpen und aus dem entstehenden Jura und leitete es nach Nordosten zur Ur-Donau. Dieser *Aare-Donau-Fluss* ist durch Schottervorkommen auf dem Villiger Geissberg bei Brugg, dem Eichberg bei Blumberg und durch Schotterrelikte längs des oberen Donautales belegt. Zu dieser Zeit tritt erstmals auch ein *Alpenrhein* ins Blickfeld, er entwässerte hoch über der heutigen Landoberfläche die Ostalpen nach Norden. Über das Gebiet des späteren Bodensees hinweg mündete er bei Ehingen-Blaubeuren in die Aare-Donau und hinterliess flussabwärts in den Schottern charakteristische Gerölle aus den Bündner Alpen.

Die Aare-Donau-Entwässerung hatte bis vor etwa 4,2 Millionen Jahren Bestand. Dann führten die anhaltenden Hebungen des Schwarzwaldes dazu, dass die Aare die östlichen Ausläufer des Hebungsgebietes nicht mehr überwinden konnte. Es gelang dem Fluss, sich im Gebiet des heutigen unteren Aaretals in den entstehenden Ketten- und Tafeljura einzuschneiden, so dass er die Senke zwischen dem Schwarzwaldsüdhang und dem jungen Juragebirge erreichen und nach Westen fliessen konnte (Abb. 6). Dem Nordrand des jungen Juragebirges entlang strömte der Fluss in den Sundgau. Starke Absenkungen des Bressegrabens hatten dazu geführt, dass der *Ur-Doubs* sich weit gegen den Sundgau zu eingeschnitten hatte. Er zapfte darum die durchs Sundgau fliessende Aare an. Es entstand ein *Aare-Doubs*, der das westliche Mittelland, den entstehenden Jura, die Südvogesen und den Sundgau zum Mittelmeer hin entwässerte. Der Aare-Doubs-Fluss hat Spuren in den *Sundgauschottern* hinterlassen, indem diese Geröllkomponenten des alpinen Einzugsgebiets der Aare enthalten. GIAMBONI et al. (2004) konnten zeigen, dass nur die Sundgauschotter mit einem Alter von 4,2 bis 2,9 Millionen Jahren alpine Schwerminerale in der Sandfraktion enthalten, in den jüngeren Sundgauschottern fehlen alpine Komponenten. Hingegen treten ab 2,9 Millionen Jahren alpine Schwermineralien in den Schottern des Oberrheingrabens auf. Es war dem Fluss offenbar gelungen, die Kaiserstuhl-Wasserscheide zu überwinden und fortan durch den Graben nach Norden zu fliessen. Die Entwässerung des Schweizer Mittellandes erfolgte ab diesem Zeitpunkt am Ende des **Pliozäns** erstmals durch den Oberrheingraben in die Nordsee. Die Landschaft des Mittellandes hatte zu dieser Zeit vermutlich ein moderates Relief, welches durch die höchsten heute noch erhaltenen Molasseanhöhen nachgezeichnet wird.

Die vergangenen 2,6 Mio. Jahre zeichnen sich durch eine drastische *Abkühlung* aus. Die Alpengletscher stiessen mehrfach ins Mittelland vor, und grosse Teile der Nordschweiz wurden

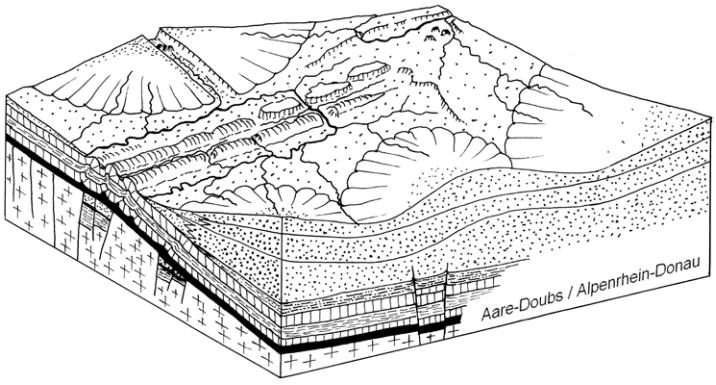


Abb. 6. Schematisches Blockbild der Nordschweiz im Pliozän: Aare-Doubs-Entwässerung.
Das Landschaftsbild in der Nordschweiz hat sich durch die Auffaltung des Juragebirges entscheidend verändert. Im Zuge der Jurafaltung wurde das westliche Molassebecken gehoben. Die pliozäne Aare floss vorerst dem jungen Juragebirge entlang nach Nordosten zur Donau, bis ihr im Gebiet des unteren Aaretales der Durchbruch durch die entstehenden Jurafalten gelang. Hebungen der Ostabdachung des Schwarzwaldes zwangen die Aare in die Senke zwischen Jura und Schwarzwald, wo sie nach Westen in den Sundgau floss. Dort vereinigte sie sich mit dem Doubs zum Aare-Doubs, der in den Bresse-Graben und schliesslich ins Mittelmeer floss. Im Oberrheingraben verhinderte die Kaiserstuhl-Schwelle bis ins Spätpliozän die Entwässerung nach Norden. Im Nordosten des Gebietes sammelten sich die Wässer in der Donau, die zum Schwarzen Meer floss.

unter Eis begraben. Diese Vorgänge haben Ablagerungen hinterlassen, die zeigen, dass sich in der Schweiz mindestens *15 Eisvorstösse* bis ins Mittelland ereigneten (MÜLLER et al., 2002). Diese Eiszeiten gaben unserer Landschaft den «letzten Schliff» und schufen die Voraussetzungen für die Ausgestaltung des heutigen Rheinlaufes. Die wesentlichen Ereignisse spielten sich dabei im Verlaufe der ältesten Vereisungszyklen, den *Deckenschotter-Eiszeiten,* ab, insbesondere erfolgte im Verlaufe der ersten Warmzeiten die Ablenkung des Alpenrheins zum *Aare-Rhein*. Zu dieser Zeit war der Walensee-Rhein-Gletscher das dominierende Gletschersystem. In den Warmzeiten des Höheren Deckenschotters wurde darum der Alpenrhein allmählich ins Walenseetal umgelenkt (Abb. 7), als *Walensee-Rhein* führte er die Wassermassen der Ostalpen gegen Westen zur Aare (GRAF, 1993). Der weitere Flusslauf verlief über das Gebiet des Aargauer Tafeljuras, bis durch tektonische Hebungen an der Mandacher Aufschiebung der Fluss gegen Osten ins heutige Aaretal umgelenkt wurde.

Zu Beginn der Deckenschotter-Eiszeiten gab es noch keinen *Bodensee*. Erst in den Warmzeiten dieser frühen Vergletscherungen hatte sich vermutlich im Zungenbecken eines Gletschers ein vorerst noch Nord-Süd gerichteter seichter See gebildet. Erst in den späten Deckenschotter-Eiszeiten wurde das heutige, mehr West-Nordwest gerichtete Becken geschaffen, in dem sich nun in den Warmzeiten bereits ein stattliches Gewässer, ein *Ur-Bodensee,* formen konnte. Die Ausbildung des Bodensees ist dabei stark an das tektonische Bruchmuster gebunden, was sich in der variskischen Ausrichtung des Seebeckens äussert. Hebungen zwischen Walensee und Rheintal bewirkten in der späten Deckenschotter-Zeit eine Umlenkung des Rheins in die Senke des jungen Bodensees (Abb. 7). Mit diesem Bodensee-Rhein, der vorerst durch das Klettgau nach Westen strömte, hatte das Flusssystem des Rheins im grossen Ganzen seine heutige Form angenommen (vgl. HANTKE in diesem Werk).

7 EIN BLICK IN DIE ZUKUNFT: DER MENSCH BESTIMMT DAS SCHICKSAL DES RHEINS

Es wurde nun vieles über die Vergangenheit berichtet, zum Schluss soll nun auch ein kurzer Blick in die Zukunft gerichtet werden. Dabei stellt sich zuerst die Frage, wie es mit den tektonischen Bewegungen in der Nordschweiz weitergehen wird. Vor rund 10 Millionen Jahren lag

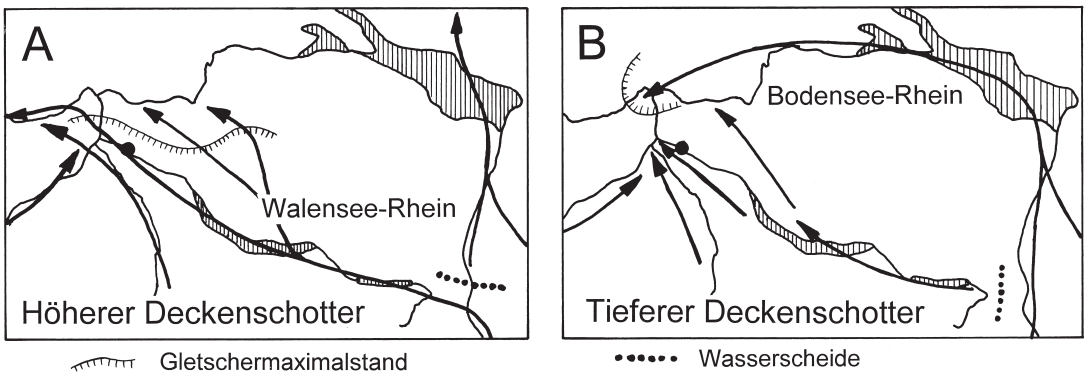


Abb. 7. Der Rhein während der frühen Eiszeiten.
A: Entwässerung zur Zeit der ältesten Deckenschotter: Der Alpenrhein floss durch das Walenseetal nach Westen. Über das Gebiet des Tafeljuras hinweg erreichte dieser Walensee-Rhein den Oberrheingraben. Das St. Galler Rheintal entwässerte zur Donau.
B: Entwässerung zur Zeit der jüngsten Deckenschotter: Durch Hebungen zur Zeit der jüngsten Deckenschotter bildete sich im Walenseetal eine Wasserscheide. Der Rhein wurde nach Norden abgelenkt und floss nun durch die Senke des späteren Bodensees und durch das Klettgau nach Westen. In der Rinne des Walensee-Rheins entstand eine Ur-Limmat (nach GRAF, 1993).

auf dem Aarmassiv und der Simplonregion ein 10 bis 15 km mächtiger Deckenstapel (helvetische und penninische Decken). Er wurde in den 10 Mio. Jahren bis zur Gegenwart vollständig erodiert, was nur möglich war, weil die Alpen in diesem Zeitraum entsprechend gehoben wurden (STECK und HUNZIKER, 1994). Im Mittel ergibt sich daraus eine Hebungsrate von 1 bis 1,5 mm/Jahr. Nachmessungen des geodätischen Landesnivellements, mit denen Höhenänderungen von Messpunkten einige Jahrzehnte nach der Erstmessung bestimmt wurden, ergaben für die Region Brig vergleichbare Hebungswerte. Auch im Schwarzwald wurden teilweise mehr als 2 km Gestein abgetragen. Für das Molassebecken ergaben unterschiedliche Methoden übereinstimmende Hebungswerte in der Grössenordnung von 0,2 mm/Jahr am Alpenrand und 0,1 mm/Jahr im zentralen Molassebecken (MÜLLER et al., 2002). Diese Werte scheinen auf den ersten Blick sehr klein, doch werden bei entsprechend anhaltender Hebung die Gesteinsschichten im nördlichen Molassebecken in einer Million Jahren 100 m höher als heute liegen. Weit im Norden gibt es auch Gebiete mit geringer Senkungstendenz, wie etwa die Region Schaffhausen.

Nach neueren Untersuchungen sind Hebung und Erosion in den Alpen nicht gleichmässig erfolgt, sondern waren in den letzten 5 Millionen Jahren intensiver als zuvor (CEDERBOM et al., 2004). Die Hebungen werden meist auf den isostatischen Ausgleich der Lithosphären-Verdickung zurückgeführt. Man geht davon aus, dass die tektonischen Vorgänge der Alpenbildung vor 4 Mio. Jahren allmählich zum Erliegen kamen. Allerdings zeigen systematische Nachmessungen des geodätischen Landesnivellements ein kontroverses Bild, indem die vom Fernschub erfassten Gebiete Hebungen aufweisen, während die vor der Abscherfront liegenden Gebiete sich durch Senkungen auszeichnen (MÜLLER et al., 2002). Hinweise auf jüngere Bewegungen ergeben sich auch aus einer Kartierung der Basis der älteren Sundgauschotter (Alter: 4,2–2,9 Millionen Jahre). Diese, vor der Jurafront liegende Auflagerungsfläche war bei ihrer Bildung annähernd eben. Eine engmaschige Kartierung des Horizontes zeigte, dass er verfaltet und gegen den Jura zu angehoben ist (GIAMBONI et al., 2004). Da die gesamte Schotterlage verstellt ist, muss hier in den vergangenen 2,9 Mio. Jahren der Jurafernschub zumindest zeitweise angedauert haben. Es besteht in der Wissenschaft noch keine Einigkeit darüber, ob der von alpiner Kompression getriebene Fernschub andauert oder ob die heutige Kompression des Alpenvorlandes lediglich Ausdruck der isostatischen Resthebung des Mittellandes ist.

Doch was bedeuten die Hebungen für das Flussnetz, insbesondere für den hier im Vordergrund stehenden Rhein? Die *Reliefentwicklung* einer Landschaft wird von der Höhenlage des tiefsten Punktes des Drainagenetzes (regionale Erosionsbasis) gesteuert. Bei den geringen Hebungsraten im Molassebecken stellte sich bereits nach geologisch kurzen Zeiträumen in den Hauptabflussrinnen ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Hebung und linearer Tiefenerosion ein. Das Erosionsgeschehen strebt ein ideales Ausgleichslängenprofil des Flusses an: Im Oberlauf herrscht Tiefenerosion vor, im Mittellauf dominiert Umlagerung und Weitertransport des Geschiebes und im Unterlauf wird hauptsächlich abgelagert. Das «reife» Ausgleichslängenprofil eines Flusses ist darum eine von Unter- zum Oberlauf konkav ansteigende Kurve. Das Profil des Hochrheins zwischen Basel und Schaffhausen ist bei dieser Betrachtungsweise zu steil. Dies erklärt sich durch zahlreiche harte Felsschwellen, die der Fluss hier überwinden muss. Zudem ist das Gebiet am Schwarzwaldsüdrand in Hebung, während sich der Oberrheingraben eher senkt. Die Erosionsbasis der mehr als 1 Million Jahre alten Deckenschottervorkommen auf den Anhöhen längs des Hochrheins zeigt ein Ausgleichslängenprofil, das mit dem Profil des heutigen Rheinlaufs gut vergleichbar ist. Man darf darum annehmen, dass es sich beim heutigen Zustand um ein langfristig eingespieltes dynamisches Gleichgewicht handelt, welches wohl noch einige Zeit Bestand haben wird.

Die ungestörte natürliche Entwicklung des Rheins würde in geologischen Zeiträumen dazu führen, dass der Rhein die Felsschwellen des

Hochrheins und die Schwelle bei Bingen überwindet. Die Anpassung des Flussprofils an die Erosionsbasis Nordsee würde dabei in der Nordschweiz zu einer Tieferlegung der Flusstäler von bis zu 100 m führen (NAGRA, 2003). Allerdings gilt dies nur, wenn nicht Hebungen die Felsstufen verstärken oder neue Felsriegel schaffen. In Wirklichkeit behindern jedoch die Staustufen, die der Mensch in den Flusslauf gebaut hat, heute wirksam die Tiefenerosion des Rheins. So ist wohl sicher, dass, solange der Mensch ins natürliche Geschehen steuernd eingreift, keine einschneidenden Veränderungen des Rheinlaufs mehr stattfinden werden.

8 VERDANKUNGEN

Besten Dank meinen Kollegen PD Dr. M. Rahn und Dr. W. H. Müller, sie haben den Text kritisch gelesen und gaben mir zahlreiche Hinweise zu neuer Literatur. Mein Arbeitgeber, die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), hat meiner erdgeschichtlichen Öffentlichkeitsarbeit viel Verständnis entgegengebracht und beteiligte sich an den Druckkosten. Auch dafür herzlichen Dank.

9 LITERATUR

AIGNER, T. 1999. Dynamische Stratigraphie des oberen Muschelkalks am Beispiel Süddeutschlands. In: «Trias – Eine ganz andere Welt», N. HAUSCHKE & W. WILDE eds, pp. 115–128. Verlag Friedrich Pfeil, München, 647 pp.

ALLIA, V. 1996. Sedimentologie und Ablagerungsgeschichte des Opalinustons in der Nordschweiz. Diss. Univ. Basel, 185 pp.

BEUTLER, G., HAUSCHKE, N. & NITSCH, E. 1999. Faziesentwicklung des Keupers im germanischen Becken, pp. 129–174. In: «Trias – Eine ganz andere Welt», N. HAUSCHKE & W. WILDE eds, Verlag Friedrich Pfeil, München, 647 pp.

BIRCHMEIER, C. 1986. Bohnerzbergbau im Südranden. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen Nr. 38. Karl Augustin AG, Thayngen-Schaffhausen, 80 pp.

BIRKHÄUSER, P., ROTH P., MEIER, B. & NAEF, H. 2001. 3D-Seismik: Räumliche Erkundung der mesozoischen Sedimentschichten im Zürcher Weinland. Nagra techn. Bericht NTB 00-03. Nagra, Wettingen, 158 pp.

BITTERLI, P. H. 1999. Die Erdgeschichte des Gebietes von Endingen. In: «1200 Jahre Endingen», K. WEIBEL, pp. 19–40. Baden-Verlag, Baden-Dättwil.

BITTERLI, P. H. 1979. Cyclic sedimentation in the Upper Bathonian-Callovian of the Swiss Jura Mountains. In: «Symposium Sédimentation Jurassique W européen», Ass. Sédimentologistes français, Publication spéciale 1, Paris, 99–109.

BITTERLI-DREHER, P. H. 2001. Die Erdgeschichte des Paläozoikums und Mesozoikums der Region Schaffhausen im Lichte der Ergebnisse der Nagra-Bohrung Benken. Mitt. natf. Ges. Schaffhausen 46, 7–53.

BLOESCH, E. 1910. Zur Tektonik des schweizerischen Tafeljuras. Diss. Univ. Zürich, 85 pp.

BOLLIGER, TH. (ed.) 1999. Geologie des Kantons Zürich. Ott Verlag, Thun, 163 pp.

BÜCHI, U. P. & SCHLANKE, S. 1977. Zur Paläogeographie der Schweizer Molasse. Erdöl-Erdgas-Z. 93, 57–69, Sonderausgabe.

CEDERBOM, C. E., SINCLAIR, H. D., SCHLUNEGGER, F. & RAHN, M. 2004. Climate-induced rebound and exhumation of the European Alps. Geology V. 32(8), 709–712.

DIEBOLD, P., NAEF, H. & AMMANN, M. 1992. Zur Tektonik der zentralen Nordschweiz, Landeshydrologie und -geologie, Geologische Berichte Nr. 14, Bern, 277 pp.

GIAMBONI, M., USTASZEWSKI, K., SCHMID, S. M., SCHUHMACHER, M. E. & WETZEL, A. 2004. Plio-Pleistocene transpressional reactivation of Paleozoic and Paleogen structures in the Rhine-Bresse transform zone (northern Switzerland and eastern France). Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.), 207–223.

GRADSTEIN, F. M., AGTERBERG, F. P., OGG, J. G., HARDENBOL, J., VAN VEEN, P., THIERRY, J. & HUANG, Z. 1995. A Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale. In Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. In: «SEPM Special Publication 54», 95–126.

GRADSTEIN, F. M., OGG, J. & SMITH, A. 2004. A Geologic Time Scale 2004, Cambridge University Press, 589 pp.

GRAF, H. R. 1993. Die Deckenschotter der zentralen Nordschweiz. Diss. Univ. Zürich, 1993, 151 pp.

HALLAM, A. 1981. Facies interpretation and the stratigraphic record. W.H. Freeman & Co., Oxford, San Francisco, 291 pp.

HAUSCHKE, N. & WILDE, W. Herausgeber 1999. Trias – Eine ganz andere Welt. Verlag Friedrich Pfeil, München, 647 pp.

HEIZMANN, P. J. & REIFF, W. 2002. Der Steinheimer Meteoritenkrater. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München 2002, 160 pp.

HOFMANN, B. & HOFMANN, F. 1992. An Impactite horizon in the Upper Freshwater Molasse in Eastern Switzerland: Distal Ries Ejecta? Eclogae geol. Helv. 85, 788–789.

HOFMANN, F. 1961. Ein vulkanischer Tuffhorizont in der Basiszone der OSM bei Lichtensteig im Toggenburg. Eclogae geol. Helv. 54(2), 510–512.

HOFMANN, F., SCHLATTER, R. & WEH, M. 2000. Erläuterungen zum Geologischen Atlas der Schweiz, Blatt 1011 Beggingen, Bundesamt für Wasser und Geologie, 113 pp.

KEMPTER, E. H. K. 1987. Fossile Maturität, Paläothermogradienten und Schichtlücken in der Bohrung Weiach im Lichte von Modellberechnungen der thermischen Maturität. Eclogae geol. Helv. 80(2), 534–552.

KOCH, R., HORNUNG, T., PFEIFFENBERGER, S., WAGNER, K. & WEISS, C. 2003. Becken-Hang-Plattform-Übergänge im Kimmeridge 1–3 der Nördlichen Frankenalb. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. NF 85, 169–201.

KOZUR, H. W. 1999. Aspekte der Wende Perm/Trias. In: «Trias – Eine ganz andere Welt», N. HAUSCHKE & W. WILDE eds, pp. 23–36. Verlag Friedrich Pfeil, München, 647 pp.

MATTER, A., PETERS, T., BLÄSI, H. R., MEYER, J. & ISCHI, H. 1988. Sondierbohrung Weiach, Geologie (Text- und Beilagenband). Nagra techn. Bericht NTB 86-01. Nagra, Wettingen, 438 pp.

MÜLLER, W. H., NAEF, H. & GRAF, H. R. 2002. Geologische Entwicklung der Nordschweiz, Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland. Nagra technischer Bericht NTB 99-08, 438 pp.

NAEF, H., BIRKHÄUSER, P. & ROTH, P. 1995. Interpretation der Reflexionsseismik im Gebiet nördlich der Lägern-Zürcher Weinland. Nagra technischer Bericht 94-14, Wettingen, 120 pp.

NAGRA, Technischer Bericht 00-01, 2001. Sondierbohrung Benken Untersuchungsbericht. Nagra, Wettingen, 288 pp.

NAGRA, Technischer Bericht 02-03, 2003. Projekt Opalinuston. Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebisse. Nagra, Wettingen, 120 pp.

NAGEL, R. 1990. Stratigraphie und Paläogeographie im höheren Mittelkeuper Südwestdeutschlands und der angrenzenden Gebiete. Arbeit. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N.F. 85, 111–171.

PARRISH, J. T. 1999. Pangaea und das Klima der Trias. In: Trias – Eine ganz andere Welt, N. Hauschke & W. Wilde eds, pp. 37–42. Verlag Friedrich Pfeil, München, 647 pp.

ROLL, A. 1979. Versuch einer Volumenbilanz des Oberrheingrabens und seiner Schultern. Geol. Jb. A 52, Hannover, 3–82.

SCHREINER, A. 1992. Erläuterungen zur geologischen Karte des Landkreises Konstanz 1:50 000 (3. völlig neu bearbeitete Auflage). Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 290 pp.

SOMMARUGA, A. 1997. Geology of the Central Jura and the Molasse Basin: New insight into an evaporite-based foreland fold and thrust belt. Mém. Soc. Neuch. Sci. Nat. XII, 176 pp.

STECK, A. & HUNZIKER, J. 1994. The Tertiary structural and thermal evolution of the Central Alps – compressional and extensional structures in an orogenic belt. Tectonophysics 238, 229–254.

TRÜMPY, R. 1984. Die Plattentektonik und die Entstehung der Alpen. Njbl. Natf. Ges. Zürich, Jahrgang 129, 47 pp.

WURSTER, P. 1968. Paläogeographie der deutschen Trias und die paläogeographische Orientierung der Lettenkohle in Südwestdeutschland. Eclogae geol. Helv. 61(1), 157–166.

ZIEGLER, P. A. 1988. Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. American Association of Petroleum Geologists Memoir 43, 198 pp.

Peter Bitterli-Dreher, Dr. phil. dipl. Geologe, Wolfgalgen 4, CH-5304 Endingen,
E-Mail: staibitterli@gmx.ch

Neujahrsblatt Naturforschende Gesellschaft Zürich, Jahrgang 208, 2005: Der Rhein – Lebensader einer Region.

Der Rhein – Lebensader einer Region: 34–53

Zur Entstehungsgeschichte von Alpenrhein und Bodensee-Becken

René Hantke (Stäfa)

In memoriam Dr. HANS HEIERLI, Erforscher der Geologie von Mittelbünden und der Nordostschweiz.

1 EINLEITUNG

Trotz vieler Versuche, die Geschichte des Alpenrheins mit seinen beiden Hauptästen, Vorder- und Hinterrhein, dem Bodensee und dem Hochrhein aufzuzeigen, verliert sich ihre Spur im Dunkel der Vergangenheit. Während Hinter- und Vorderrhein bereits auf ein altes, mindestens oligozän vorgezeichnetes Relief gründen (HANTKE, 1991), beginnt die Geschichte des Rheintales zwischen Chur und Bodensee erst in der jüngsten Phase der alpinen Gebirgsbildung (HANTKE, 1979, 1987, 1989). Mit der Platznahme der helvetischen Decken vor 5 Mio. Jahren wurde auch die subalpine Molasse in Schuppen gelegt, die flachliegende Molasse alpenwärts aufgerichtet, im Mittelland sanft verbogen und verschert. Zwischen Sarganser Alpen, Churfirsten–Alvier und Alpstein einerseits und den Gebirgsketten Liechtensteins und Vorarlbergs anderseits entstand eine sich weitende Talung. Da das Gesteinsgut in einem südlicheren, noch engeren Raum abgelagert wurde, reichte es gegen den weiteren Bogen am Alpenrand für zusammenhängende Gebirgsketten nicht mehr aus: Die einzelnen Teile wichen daher gegen N etwas auseinander. Weder Ur-Alpenrhein noch Ur-Rhein-Gletscher schufen die Talanlage: Sie war tektonisch vorgegeben. Im Wechsel von Kalt- und Warmzeiten haben aber beide schon im Pliozän und vor allem im Eiszeitalter den angebotenen Lauf weiter ausgestaltet, so dass die Geschichte von Alpenrhein und Bodensee nicht erst mit dem Eiszeitalter begonnen haben kann.

Der Hauptgrund für unterschiedliche Auffassungen zur Flussgeschichte des Alpenrheins liegt in der Verkennung des jüngsten tektonischen Geschehens, im Auseinanderklaffen der Deckenelemente nach der Schüttung der Molasse-Fächer ins Vorland. Bisher wurde meist angenommen, erst die mehrfach ins Mittelland vorgestossenen eiszeitlichen Gletscher und ihre Schmelzwässer hätten sich sukzessive in den Fels eingetieft (PENCK und BRÜCKNER, 1909) und so die Talung geschaffen. Diese Vorstellung gründet auf der Annahme einer bedeutenden glazialen Tiefenerosion und der damit verbundenen Meinung, der kaltzeitliche Schutttransport wäre vor allem am Gletschergrund erfolgt. Nach dem Mittelmoränen-Modell (HANTKE und WAGNER, 2004; WAGNER, 2004; sowie Abb. 14) vollzog sich der Transport, wie bei heutigen Gletschern, meist als *Obermoräne auf dem Eis*. Gegen das Zungenende dürfte auch der Rhein-Gletscher durch sich vereinigende und ausschmelzende Mittelmoränen immer stärker schuttbedeckt gewesen sein.

2 MOLASSEZEIT: JÜNGERES OLIGOZÄN BIS MITTLERES MIOZÄN

2.1 Molassefächer und Hinweise auf frühe Kühlzeiten

Schon während den Kühlzeiten der *Unteren Süsswassermolasse* im jüngsten Oligozän bei tiefer Wald- und Schneegrenze und tiefem Meeresspiegel (HANTKE, 1991, 2004) fuhren Rüfen und Bergstürze in tektonisch angelegte Alpentäler und stauten Seen (Abb. 1). Diese brachen oft als Muren aus und bauten die Molassefächer von Speer/Stockberg, Höhronen, Kronberg, Gäbris, Gaisskopf, Hochgrat und Hauchenberg auf (Abb. 2).

In den jung-oligozänen Kühlzeiten dürften die Berge des Engadins und Mittelbündens bedeutende Höhen erreicht haben, so das Bergeller Massiv über 5000 m (JÄGER und HANTKE, 1984). Dies führte bei reichlichen Niederschlägen zu

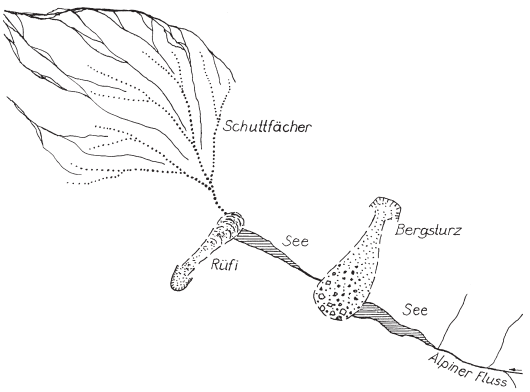


Abb. 1. Molasse-Schuttfächer bildeten sich durch Muren von ausbrechenden alpinen Stauseen, aus HANTKE und KURIGER, 2003.

Vereisungen. Das im Bergell, im Bernina-Gebiet und im Engadin mächtige Eis floss nicht nur gegen S, sondern muss auch schon damals nach N, über die Pässe nach Mittelbünden, geflossen sein (HANTKE, 1991, 1993). So finden sich Kristallingerölle vom Typ Bernina und Err in der extrem bunten Nagelfluh des Höhronen (KLEIBER, 1938) als ins Vorland verfrachtete Muren ausgebrochener alpiner Seen. Dann erfolgte über 60 km Flusstransport als «Granitische Molasse» gegen ENE. Da sich in ihr im Appenzellerland Reste wärmeliebender Lorbeergewächse finden, muss das Klima inzwischen wieder wärmer geworden sein. Das wärmere Klima hielt sich mit bescheideneren Schwankungen während der gesamten Oberen Meeresmolasse (älteres Mittelmiozän).

2.2 Kühlzeiten in der Oberen Süsswassermolasse (jüngeres Mittelmiozän)

Zu Beginn der *Oberen Süsswassermolasse,* vor 17 Mio. Jahren, drangen bei wieder kühlerem Klima Schuttstränge des vereinigten *Bündner Ur-Rheins* als *Hörnli-Fächer* ins Vorland vor. Zwischen Altstätten und Gais hatte sich schon zur Zeit der Oberen Meeresmolasse der *Sommersberg-Schuttfächer* aus Flyschgebieten Vorarlbergs in die NE-Schweiz ergossen. Weiter im E rückten *Pfänder, Gehrenberg-* und *Adelegg-Schuttfächer* nach NW bzw. nach NNW vor (Abb. 3). Ihre Bildung erfolgte – wie jene der Unteren Süsswassermolasse (Abb. 2) – als kühlzeitlich ins Vorland ausgebrochene alpine Seen.

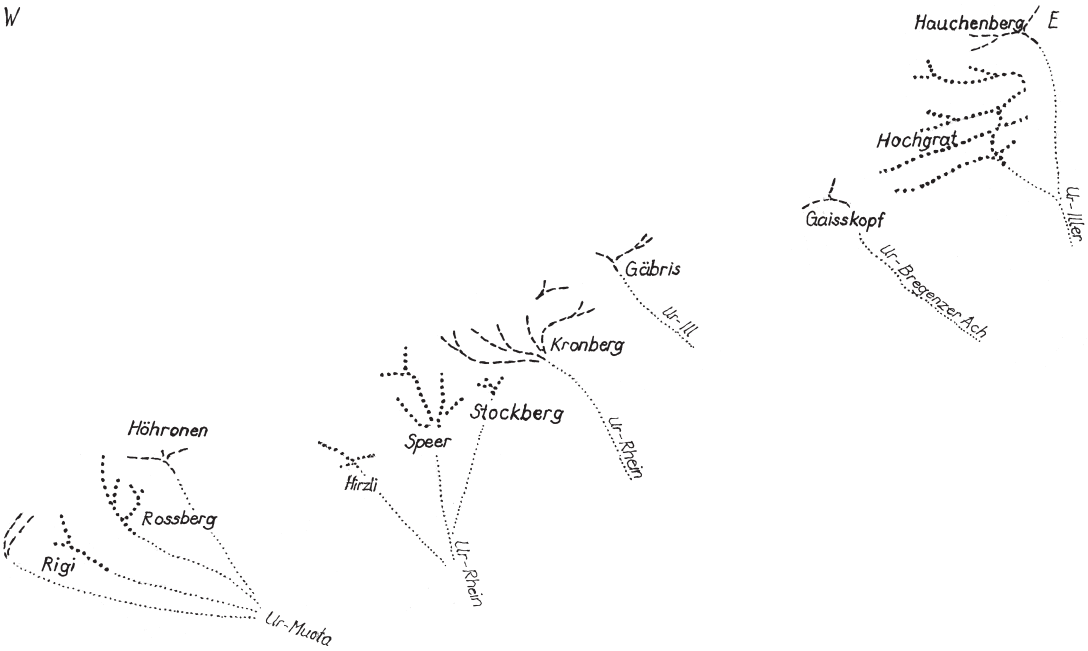


Abb. 2. Die jungoligozänen östlichen Nagelfluh-Schüttungen: Rigi, Rossberg, Höhronen, Hirzli, Speer, Stockberg, Kronberg, Gäbris, Gaisskopf, Hochgrat und Hauchenberg. Punktiert: ältere, gestrichelt: jüngere Schüttungsstränge.

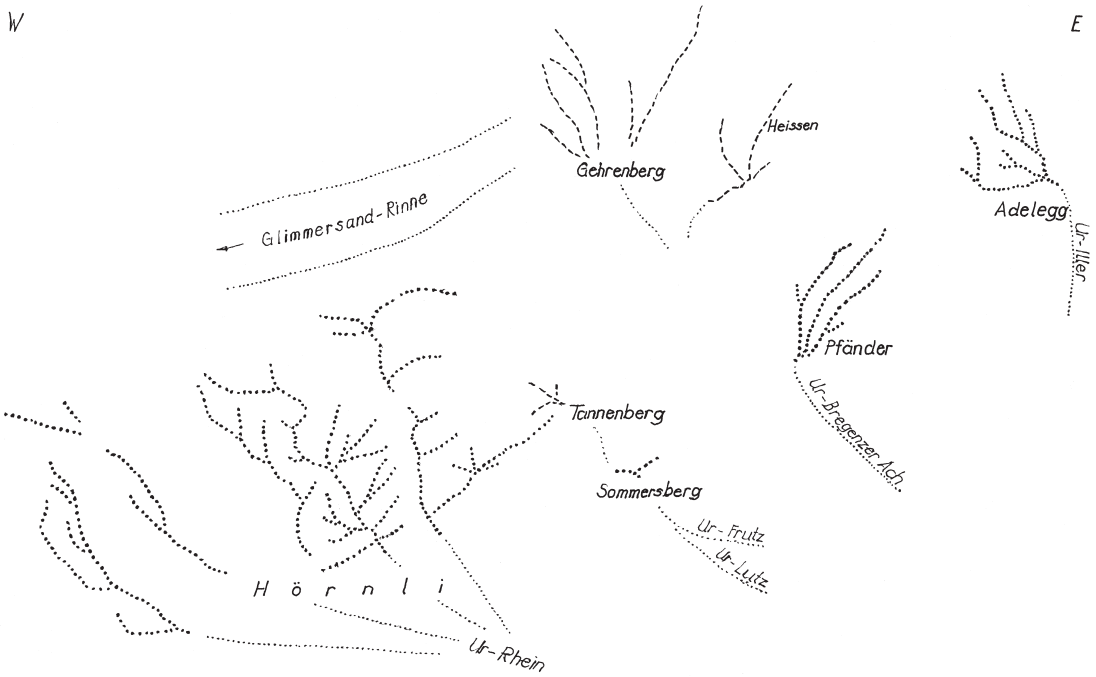


Abb. 3. Die miozänen östlichen Nagelfluh-Schüttungen: Hörnli, Sommersberg, Tannenberg, Gehrenberg, Heissen, Pfänder, Adelegg und der aus dem Osten stammende Glimmersand-Fluss. Punktiert: ältere, gestrichelt: jüngere Schüttungsstränge.

In dazwischen gelegenen Warmzeiten konnten im Vorland Auenwälder mit Kampferbaum, Schmallappigem Ahorn, Wasser-Hickory, Ulme und Wasserulme hochkommen. Davon haben sich schon in der untersten Abfolge um Wattwil, als westlich und östlich noch marine Sedimente abgelagert wurden, im feinen Schlämmgut von Altläufen Blatt- und Fruchtreste sowie Kleinsäugerzähnchen erhalten (HANTKE, et al., 2006). Am Schiener Berg herrschten Amberbaum, Ulme und Platane vor (HANTKE, 1954).

An den Hängen stockten bis 3000 m Höhe tierreiche Laubmischwälder. Da sich die Zähne namentlich der Kleinsäuger phylogenetisch rasch verändern, vermitteln sie Hinweise zum relativen Alter der umgebenden Gesteinsfolgen (EBERHARD, 1988; BOLLIGER und EBERHARD, 1989; BOLLIGER, 1992, 1996, 1998; KÄLIN, 2003).

Bei mehrfach abgesunkener Schnee- und Waldgrenze baute der mittelmiozäne Ur-Rhein zwischen Albis und Toggenburg über 6 Mio. Jahre das heutige Hörnli-Bergland auf. Dazwischen bildeten sich tektonisch bedingt erste Molassetäler, so das Ur-Toggenburger Thurtal (Abb. 4). Durch dieses ergoss sich zunächst noch ein jüngerer Ur-Rhein, der zwischen Frauenfeld und Nollen, im Imeberg, Welleberg und Greuterschberg jüngste Molasse-Abfolgen mit Sanden und Geröllen aus Mittelbünden schüttete (BOLLIGER, 1996; HANTKE et al., 2003; KÄLIN, 2003). Weiter im N, im Seerücken und am Schiener Berg (HANTKE, 1954) brachte der Glimmersand-Fluss Schutt von weiter im E bis an den Alpenrand reichenden ostalpinen Decken und vom Bayerischen Wald (LEMCKE, 1985). Nach Ablagerung des Feingutes fand dieser als geklärter Fluss seinen Weg zwischen Tafeljura und sich bildendem Faltenjura nach Burgund, durch die Vallée du Rhône und ergoss sich in den Golfe du Lion (HANTKE, 1991, 1993; BITTERLI, in diesem Werk).

Mit dem gegen den Alpenrand gelangten alpin-tektonischen Geschehen wandte sich der Ur-Rhein von Wil über Weinfelden zum Ottenberg, dann gegen E in die Ur-Bodensee-Senke und

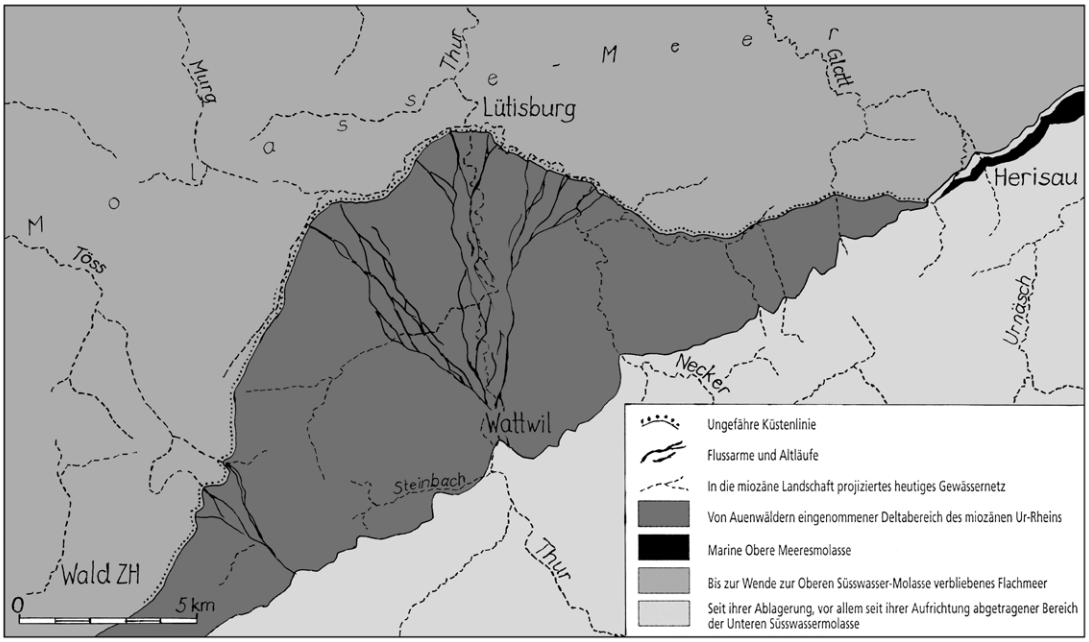


Abb. 4. Die Mündung des Toggenburger Ur-Rheins ins Molassemeer der Oberen Meeresmolasse zur Zeit des Wattwiler Auenwaldes, aus HANTKE et al., 2006.

durch das mit den Bodensee-Brüchen angelegte Ur-Schussental zur Ur-Donau (Abb. 5, 10).

Die *Tannenberg-Schüttung* mit den Tannenwald-Schottern als jüngste Molasse (HOFMANN, 1958, 1973) erfolgte als Nachfolgerin der Sommersberg-Schüttung (BERLI, 1985) im jüngeren Miozän durch ein Ur-Rotbachtal; erst danach entstand das Ur-Alpenrheintal (Abb. 3).

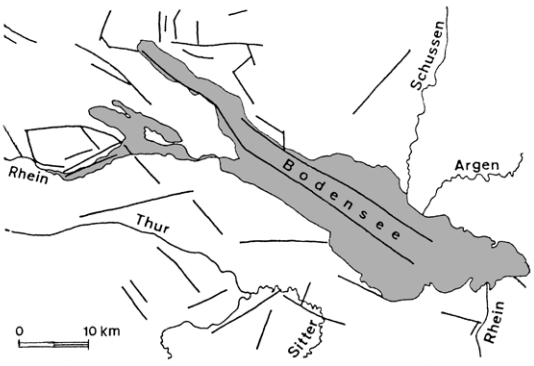


Abb. 5. Die bedeutendsten Bruch- und Schersysteme in der Molasse, die für die Landschaftsgestaltung der Bodensee-Gegend und das Bodensee-Becken verantwortlich sind, vorwiegend nach HOFMANN, 1951, 1973.

3 JÜNGSTES MIOZÄN UND PLIOZÄN

3.1 Platznahme der helvetischen Decken

Vor 12–5 Mio. Jahren (jüngeres Miozän) glitten die aus Ablagerungsräumen der helvetischen Decken vom sich emporhebenden Gotthard- und Aar-Massiv an den Alpenrand. Dies führte am Alpenrand zu einem vollständig neuen Relief mit mächtigen Gebirgen. Zugleich führte ihr Vorgleiten, zusammen mit der Unterschiebung des Molasse-Vorlandes, zu einer Stauchung des alpennächsten Molasse-Bereiches und zu subalpinen Schuppen.

3.2 Talbildungen an der Miozän-Pliozän-Wende

Mit der Platznahme der helvetischen Decken und der Bildung der subalpinen Molasse-Schuppen entstand am Alpenrand ein völlig neues Gebirgsrelief. Doch es entstanden nicht nur neue Gebirge: Churfirsten, Alvier, Säntis, Vorarlberger Kreide-Ketten und die Molasseberge Speer, Kronberg, Gäbris, sondern auch neue tiefe Täler, so am Westrand der penninischen

und ostalpinen Decken, die bis auf ihre Basis durchschert wurden.

Das an der Wende Miozän/Pliozän entstandene Alpenrand-Relief verwehrte dem Ur-Rhein seine angestammte Entwässerung in Richtung des bereits durchtalten Hörnli-Fächers durchs Toggenburger Thurtal in die sich bildende Ur-Bodensee-Senke. Damit wurde der letzte Toggenburger Rhein zum Thur-Lauf, der seinen Lauf in der Folge ebenfalls mehrfach änderte (Abb. 6).

Anderseits öffnete die klaffende Scherstörung im Deckengebäude ein neues, tiefer gelegenes Tal, das gegen N sukzessive öffnete und damit dem Ur-Rhein eine neue, tiefer gelegene Abflussmöglichkeit bot, so dass sich sein Lauf in das eben tektonisch entstandene Alpenrheintal verlagerte.

In seinem obersten Abschnitt, im *Churer Rheintal,* taucht das Aar-Massiv mit seiner Sedimentbedeckung und helvetischen Schuppen gegen E ab. Zwischen diesen und den aufliegenden penninischen Bündnerschiefern und dem Prättigauer Flysch (OBERHOLZER, 1920) fand der Ur-Rhein – und in Kaltzeiten auch der Ur-Rhein-Gletscher – einen neuen Weg (Abb. 7).

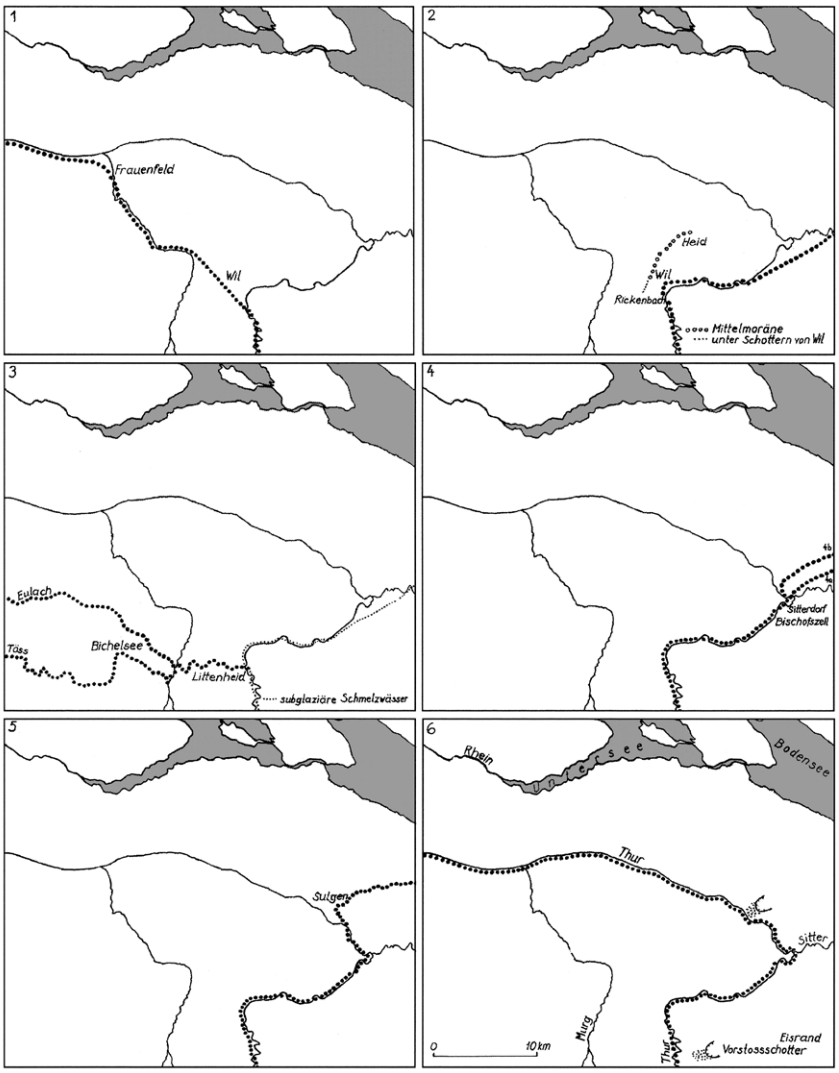


Abb. 6. Der noch durch das Toggenburger Thurtal geflossene jungmiozäne Ur-Rhein wurde zum Thur-Lauf, der seinen Lauf vom frühen Pliozän über die verschiedenen Warmzeiten des Eiszeitalters bis ins frühe Hochwürm bzw. frühe Spätwürm mehrfach änderte, aus HANTKE et al., 2003.

Schon bei der Platznahme der helvetischen Decken entstand die *Talgabelung von Sargans*. Die Seez-Walensee-Talung bildete sich durch Abgleiten der helvetischen Decken von ihrer Verrucano-Unterlage in den Sarganserländer Alpen. Im Rheintal fallen die helvetischen Decken von Sargans bis Grabs gegen ENE unter den W-Rand der ostalpinen Lechtal-Decke der Dreischwestern (ARN. HEIM und OBERHOLZER, 1917; ALLEMANN et al., 1985, 2002).

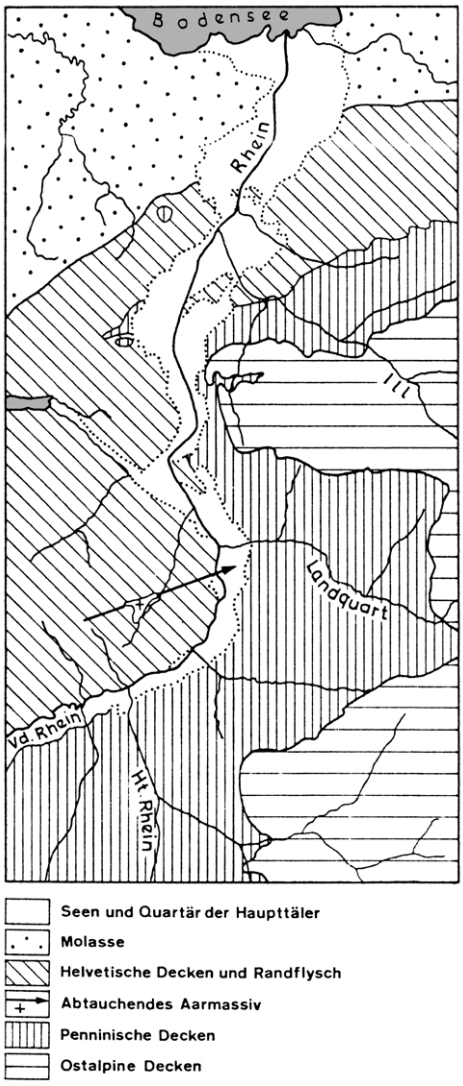


Abb. 7. Das tektonisch vorgezeichnete frühpliozäne Alpenrheintal, aus HANTKE, 1992a, b.

Der *Wildhauser Mulde* zwischen Alvier und Alpstein mit ihrem penninischen Kern entspricht in Vorarlberg die *Fraxern-Mulde*. Die Wildhauser Mulde taucht aber nicht einfach unter die Rhein-Alluvionen ab und taucht im E als Fraxern-Mulde wieder auf; vielmehr ist die Fraxern-Mulde zugleich nach N versetzt. Dies zeigt, dass die Tektonik an der Bildung des Alpenrheintales massgebend beteiligt war. Belege finden sich in den Inselbergen und den Steilabbrüchen in Vorarlberg sowie in den parallel zur Emsrütti-Störung laufenden Störungen, die von Sturzgut überschüttet, aber noch aktiv sind (OBERHAUSER, 1982, 1992a, 1994).

Nachdem das alpin-tektonische Geschehen den Alpenrand erreicht hatte, wurde auch das Mittelland davon erfasst. Scherstörungen und Grabenbrüche liessen auch dort an der Wende Miozän/Pliozän neue Täler entstehen. Im Zusammenhang mit dem Hegau-Vulkanismus entstand die Ur-Bodensee-Senke. Dabei entwässerte der jüngere Ur-Rhein zunächst durch das mit den Bodensee-Brüchen angelegte Ur-Schussental zur jungen Ur-Donau (Abb. 10).

3.3 Gletschervorstösse im Pliozän und frühesten Eiszeitalter

Im Pliozän und im frühesten Eiszeitalter wurde das tektonisch angelegte Alpenrheintal durch den mehrmals vorgestossenen Rhein-Gletscher aber *nicht eingetieft*, wohl aber verbreitert (Abb. 8, 9) und sukzessive mit Sedimenten *aufgefüllt*. Schon in pliozänen Kühlzeiten drang der Rhein-Gletscher mindestens bis ins Churer Rheintal vor und hat schon in pliozänen Kaltzeiten sich bei Sargans geteilt. Dabei flossen wohl schon damals um 30% des Eises durchs Seez-Walensee- und um 70% durchs Alpenrheintal. Diese haben die Ur-Bodensee-Wanne gefüllt (HANTKE, 1970). In den grössten Kaltzeiten floss Ur-Rhein-Eis über die Wasserscheide zur Donau; denn die höchsten Schotter Oberschwabens können nur durch eine frühe Transfluenz gedeutet werden (Abb. 11).

In Warmzeiten waren die Flanken des tiefen Tales schon am Alpenrand bis über 2000 m Höhe bewaldet, so dass die Erosion kaum angreifen konnte. Zugleich erstreckte sich ein Ur-Bodensee bei ansteigender Waldgrenze und minimalem Abtrag bis Nordbünden. Sein Abfluss erfolgte durch den Schussenarm gegen NNE, den Ur-Federsee und ein Ur-Risstal zur im jüngeren Miozän angelegten Ur-Donau (Abb. 10).

Eine Entwässerung des Bodensee-Beckens gegen W bot sich erst mit dem jüngsten Einbruch des Hochrheintales. In pliozänen Kaltzeiten reichte Eis aus dem noch fast 1000 m höheren Südrand des Schwarzwaldes bis in den nördlichen Basler und Solothurner Jura. Erst mit

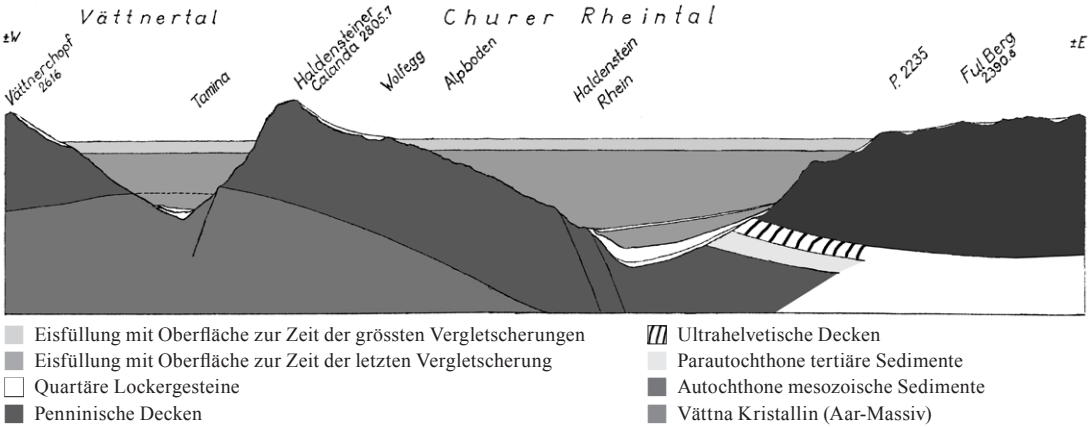


Abb. 8. Das Churer Rheintal zwischen abtauchendem Aar-Massiv mit autochthonen und parautochthonen Sedimenten einerseits und südhelvetischen Elementen und penninischen Decken anderseits, mit Lockergesteinsfüllungen und glazialen Ausräumungen vom Pliozän bis heute.

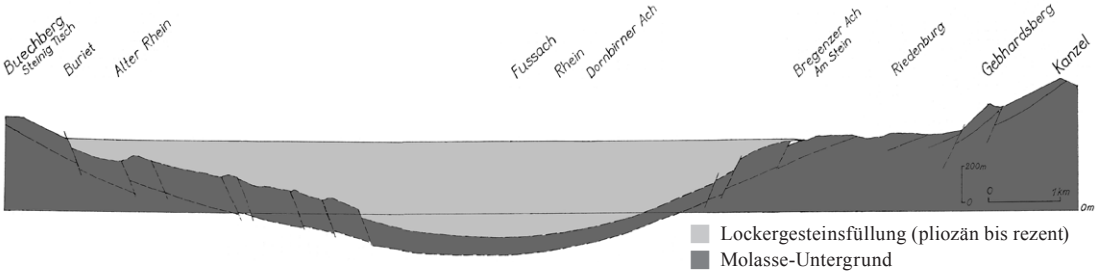


Abb. 9. Das untere St. Galler und Vorarlberger Rheintal im Gebiet der sich aufrichtenden Molasse zwischen Buechberg und Kanzel (Pfänder), mit Lockergesteinsfüllungen und glazialen Ausräumungen der jeweils jüngsten Füllung vom Pliozän bis heute.

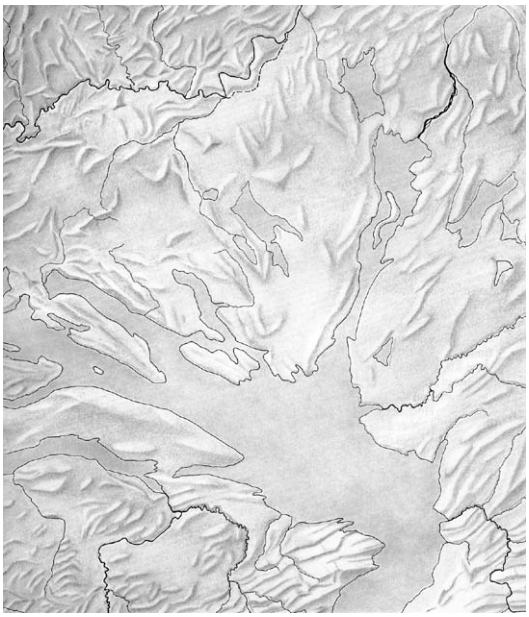


Abb. 10. Der von der Wasserscheide zur Donau entwässernde Ur-Bodensee, aus HANTKE, 1991, 1993.

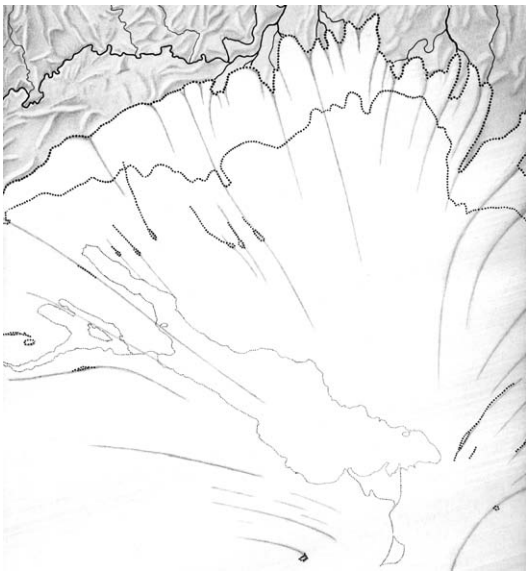


Abb. 11. Älteste Transfluenzen des Rhein-Gletschers zur Donau, aus HANTKE, 1991, 1993.

dem Einbruch des Hochrheintales vor der Plio-/Pleistozän-Wende wandte sich der Rhein gegen W, durch Sundgau und Burgundische Pforte zur Saône, was hohe Schotterfluren W von Basel – analog denen in Oberschwaben – bestätigen. Sie lassen sich als auf Grund gelaufene verschwemmte Mittelmoränen eines ältesten helvetischen Gletschers zu deuten. Nach Absenkungen im Oberrheingraben drehte der Rhein nach N ab (vgl. auch BITTERLI, in diesem Buch).

4 EISZEITALTER

4.1 Mittelmoränen, Deckenschotter, «glaziale Übertiefung»

Im Eiszeitalter wurden tektonisch vorgegebene Strukturen glazial überprägt, die Täler erweitert und die Sedimente in den Sohlen während stationären Phasen mit ausgeschmolzener Obermoräne sowie in Warmzeiten mit Fluss- und Seesedimenten sukzessive eingeschüttet. Über diese glitt der erneut vorgestossene Gletscher; und vermochte dabei aber nur die obersten, kaum verfestigten Partien wegzuschaffen.

Die Schotterfluren im unteren Vorarlberger Rheintal wurden von den Rändern eines im Tal fliessenden Rhein-Gletschers geschüttet, bei höheren Eisständen überfahren, überschliffen, bescheiden ausgeräumt und erneut überschottert. Die verkitteten, von Moräne bedeckten Zanzenberg-Schotter SE von Dornbirn bekunden ältere Eisvorstösse; nur die obersten sind letzteiszeitlich. Auch randlichen Schmelzwasserrinnen im Fels des Rheintales kommt ein weit höheres Alter zu. Sie dienten bei entsprechenden Eisständen stets als Abflussrinnen (HANTKE, 2003, 2004).

Schon am Fläscherberg (Abb. 12, HANTKE und WAGNER, 2004) und am Schellenberg liefen *Mittelmoränen* auf Grund (WAGNER in FUNK et al., 2000) und bildeten die als Rundhöcker dargestellten Hügel N von Eschen (EUGSTER et al., 1982; Abb. 13). Ebenso treten rheinabwärts wiederholt Mittelmoränen auf. STARCK (in HANTKE, 2004) fand neben der Tiefbohrung Hohenems schon in 15,8 m Tiefe Moränen mit gekritzten Geschieben. Alte Rheintal-Siedlungen – Kriessern, Mäder, Altach, Diepoldsau, Lustenau, Höchst – liegen im Strömungsschatten von Inselbergen. Da der Rhein dort seit dem Alleröd nicht erodiert, sondern aufgeschüttet hat,

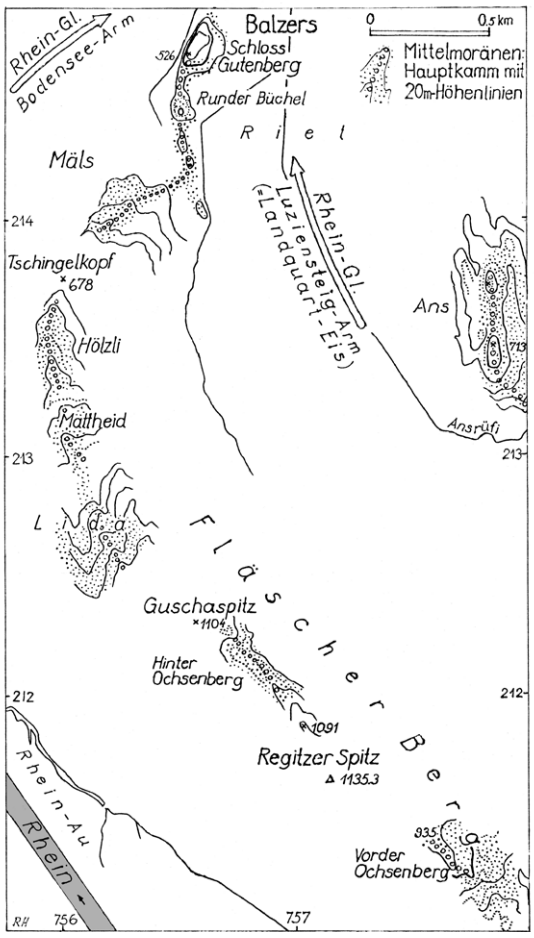


Abb. 12. Mittelmoränen auf dem Fläscherberg und beim Schloss Balzers, aus HANTKE und WAGNER, 2004. Punktraster: Mittelmoränen.



Abb. 13. Der Judenbüchel bei Eschen FL, eine auf Grund gelaufene Mittelmoräne, Foto G. WAGNER.

besteht der Siedlungsgrund aus verschwemmter Obermoräne. Seit der Römerzeit floss der Rhein nie E von Lustenau (OBERHAUSER, 1992b); er war zwischen Monstein-Molasserücken und Lockergut-Hoch von Lustenau gefangen.

Mittelmoränen haben sich S von Hohenems zwischen Rhein- und von SE zugeflossenem Finsternau-Eis sowie S von Dornbirn zwischen Rhein- und Dornbirner Ach-Gletscher gebildet. Auf dem Bödele E von Dornbirn setzt eine Mittelmoräne N des Hochälpele um 1200 m zwischen Rhein- und Bregenzer Ach-Eis ein. Das als «Altfläche» gedeutete Schuttannen zwischen Schwarzenberg und Staufen liegt in einem aufgebrochenen Unterkreide-Gewölbe der Emsrütti-Störung und wurde sukzessive mit glazigenen Sedimenten verfüllt.

Im Bodenseeraum sind die *Deckenschotter* Zeugen älterer Eisvorstösse. Sie krönen von Leutkirch über Hochgeländ-Heiligenberg-Bodanrücken-Schiener Berg-Cholfirst-Neuhuser Wald-Irchel (BOLLIGER et al., 1996), im Thurgau, NW und W von St. Gallen Molasseberge. Sie wurden bisher gesamthaft als im Vorfeld älterer eiszeitlicher Gletscher geschüttete durchgehende Schotterfluren interpretiert. Dies kann jedoch nur für die äussersten Vorkommen zutreffen, dort, wo Eisoberfläche und -basis zusammenfallen. Sie wären dann fluvial und glazial zerschnitten und ausgeräumt worden. Dabei werden höhere (ältere) und tiefere (jüngere) unterschieden (GUTZWILLER, 1900; FREI, 1914; WEBER, 1928; GEIGER, 1943; HANTKE, 1954; HÜBSCHER, 1961, 1964; SCHLÄFLI ed., 1999), später von SCHREINER (1992, 2003) zunächst rechts-, von GRAF (1993) auch linksrheinisch noch «mittlere Deckenschotter» postuliert. GRAF (2003) hat in Deckenschottern schwermineralogisch Rhein-, Thur- und Glatttal-Schüttungen erkannt, geht aber davon aus, dass diese glazifluvial einst das noch um mehrere hundert Meter höhere Mittelland bedeckt hätten. Nach dem Mittelmoränen-Modell (Abb. 14) sind Deckenschotter *nicht* Überreste fluvial zerschnittener Talböden, sondern bildeten sich randglaziär (HANTKE, 1991) aus auf Grund gelaufenen verschwemmten Mittelmoränen (HANTKE und WAGNER, 2003). Gegen ihre einstige weite Verbreitung spricht neben ihrer Eisrandnähe die Tatsache, dass auf vielen Bergen, auf denen höhenmässig Deckenschotter auftreten sollten, solche fehlen. Hierin unterscheidet sich das neue Modell vom Standard-Modell (Abb. 14), das viele Erscheinungen nicht erklären kann und gewaltige Erosionsleistungen über das ganze Mittelland, oft quer zur Eisstromrichtung, postuliert.

Deckenschotter sind sodann vom Schiener Berg und vom Rauhenberg bekannt (HÜBSCHER, 1961). Dabei wurden die höchsten Vorkommen der Günz-, die tiefsten der Mindel- und die mittleren der Haslach-Eiszeit (zwischen den beiden) zugewiesen. Tiefere Deckenschotter finden sich zwischen Bodensee und Schaffhausen auf dem Heilsberg N von Gottmadingen und dem Thaynger Buechberg über kühlzeitlicher Jüngerer Juranagelfluh (HOFMANN et al., 2000). Auch

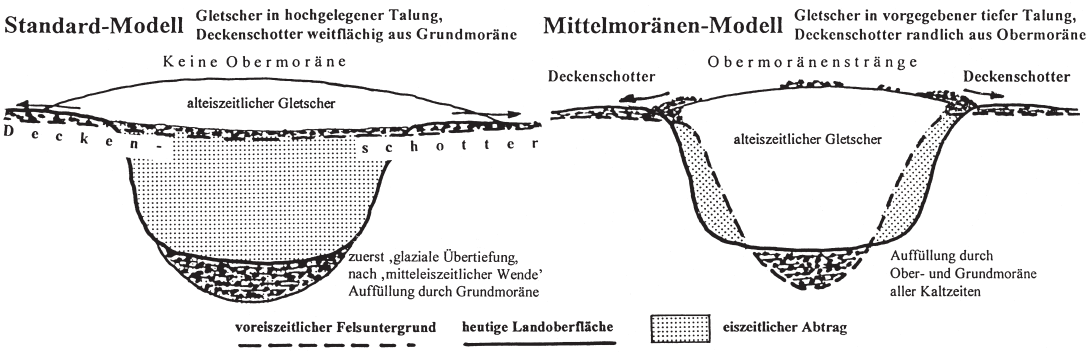


Abb. 14. Deckenschotter-Schüttung nach bisheriger Auffassung (Standard-Modell) und nach dem Mittelmoränen-Modell, bei dem die Deckenschotter *nicht* die *Gletscherbasis,* sondern ihre *Oberfläche* belegen, aus HANTKE und WAGNER, 2004.

sie dürften auf Grund gelaufene verschwemmte Mittelmoränen, nicht ausgedehnte, sukzessive glazial und fluvial eingetiefte Schotterfluren darstellen. Die Landschaft hätte sich folglich während des Eiszeitalters nur wenig verändert. Die eiszeitlichen Gletscher hätten stets die durch die Tektonik vorgezeichneten Täler benutzt, diese kaum vertieft, wohl aber den von den Flanken auf das Eis niedergebrochenen Schutt abtransportiert, die Täler verbreitert und die Formen überschliffen.

Hochrhein-abwärts wurden das Biber- und das Herblinger Tal als vom Gletscher und seinen Schmelzwässern ausgeräumt betrachtet. Im Mittellauf folgt die Biber der Randen-Verwerfung; auch ihr Unterlauf zum Rhein ist tektonisch angelegt. Das Herblinger Tal wurde wie die Eisrandrinnen im Alpenrheintal in Kaltzeiten von Schmelzwässern vertieft, in Warmzeiten von der Ur-Fulach entwässert. Am Rheinfall fällt der Rhein in seine vorgezeichnete präwürmzeitliche Rinne zurück (HOFMANN, 1976; SCHLATTER et al., 1987).

4.2 Belege der grössten Vergletscherungen

Spuren der grössten Vergletscherung, Moränen und Schmelzwasserrinnen finden sich auf dem Reiat; sie verraten einen Rhein-Gletschervorstoss gegen W; Reiat und Randen wirkten als Barrieren. Längs der Randen-Verwerfung wurde das am Tafeljura auffahrende Bodensee-Eis kanalisiert. Spuren liegen am Randen zwischen Opfertshofen und Wiechs (Taf. 1).

Über die Eiszeit-Zugehörigkeiten herrschen gegenwärtig Probleme, da die Bezeichnung Riss-Eiszeit verschieden interpretiert wird. In der Riss-Eiszeit (= Endlagen unterhalb Biberach a. d. Riss) vereinigte sich der Rhein-Gletscher bei Koblenz mit Linth/Rhein-, Reuss- und Aare/Rhone-Eis und endete mehrstaffelig bei Möhlin, nahm dabei wiederholt Schwarzwald-Eis auf und schüttete von den äusseren Randlagen die Schotter des Möhliner Feldes. Dann schmolz das helvetische Eis zurück. Es zeichnet sich in Süddeutschland und um Aarau ein Interstadial oder gar ein Interglazial ab. Danach rückten die Gletscher im Schweizer Mittelland erneut ins unterste Aaretal vor, vermochten sich aber bei Koblenz nicht mehr mit dem Rhein-Gletscher zu vereinigen und schütteten dabei die Schotter des Ruckfeldes.

4.3 Der Bodensee im mittleren Pleistozän

NNE von Lindau-Reutin bekunden Pollen (E. GRÜGER in HERRMANN und SCHWERD, 1983) im Lockergut des Bösenreutintobels (HERRMANN und SCHWERD, 1982; SCHWERD und ZEH, 1986) und Hölzer (HANTKE in SCHWERD, 1986) einen mittelpleistozänen Uferwald an einem Ur-Bodensee; sein Spiegel reichte gegen 460 m ü. M. Pollenführende Seesedimente mit Hölzern, überlagert von zwei durch Schotter getrennte letzteiszeitliche Moränen, stellen SCHWERD und HANTKE als Warmzeit-Abfolge ans Ende des vorletzten Interglazials. Vom Bösenreutiner Bach durchflossene Schotter, liegende Sande und, geophysikalisch belegt, noch tieferes Lockergut wären so mittelpleistozän und älter.

Der Bodensee entwässerte mit Überläufen noch gegen N durch die Federsee-Talung bzw. das Risstal zur Donau (HANTKE, 1991, 1992b). Auf der heutigen Wasserscheide wurde der Felsgrund von präwürmzeitlichem Lockergut und würmzeitlichen Moränen überschüttet. Entwässerungen gegen W zeichnen sich am Bodensee durch tiefere Pegel ab.

4.4 Mittelpleistozäne Ablagerungen im Alpenrheintal

Oberhalb der höchsten würmzeitlichen Randlagen zeichnen sich im Vorarlberg und im Appenzellerland, speziell an SE- bis W-orientierten Hängen noch höher gelegene, stärker verwitterte Moränen ab. NW- bis E-exponierte Hänge waren noch würmzeitlich mit Eis bedeckt, so dass die Sedimente älterer Kaltzeiten überprägt wurden. Rheintal aufwärts erlauben nur grössere Erratiker auf Bergrücken Aussagen über die Eishöhen zu geben. Diese lagen zur Zeit der grössten Vergletscherungen um über 200 m, bei der Endlage im untersten Aaretal, der «Ruckfeld-Eiszeit», um fast 150 m über den



Taf. 1. Äussere und innere Jungendmoränenstände um den Bodensee und spätglaziale Wiedervorstösse im Rheintal. Oft sind an den Eisrand gelangte Mittelmoränen zu sekundären Seitenmoränen geworden, aus HANTKE, 1983.

- Risszeitliche Moränen
- Würmzeitliche Eisoberfläche in den Alpen
- Würmzeitliche Maximalstände (Äussere Jungendmoränen)
- Stadium von Langwiesen
- Stadium von Stein a. Rhein (Innere Jungendmoränen)
- Stadium von Konstanz, Sulgen
- Stadium von Koblach und Feldkirch

würmzeitlichen Gletscherständen. Am Calanda zeichnen sich auf Alp Salaz Mittelmoränen ab. Diese sind zweifellos würmzeitlich; die höheren älter, ruckfeld- oder gar risszeitlich.

4.5 Das letzte Interglazial in der NE-Schweiz

Mit dem Zurückschmelzen des Rhein-Gletschers nach den letzten Kaltzeiten lagen in den tektonisch angelegten Senken, im Bodensee-Becken und im Alpenrheintal ausgedehnte Seen. An ihren Ufern und in den Tälern stockten bis hoch hinauf Wälder. Ihre Natur war bereits HEER (1865, 1879) und J. WEBER (in BAUMBERGER et al., 1923) aufgrund von Grossresten in den Schieferkohlen von Mörschwil und von Wildhaus ARN. ESCHER in ARN. HEIM und GAMS (1918) bekannt.

LÜDI (1953) hat beide Vorkommen pollenanalytisch untersucht und in Mörschwil eine Gliederung in 4 wärmere, jeweils durch kühlere Phasen getrennte Abfolgen festgestellt: zunächst einen Tannen-Fichten-Wald mit Erle, Hasel und Birke, dann einen Föhren-Fichten-Wald mit Tanne und nach einem Rückschlag erneut einen Föhren-Fichten-Wald mit wenig Tanne und zuletzt einen Föhren-Wald mit abklingender Fichte und ansteigender Birke.

Demgegenüber lieferte die Schieferkohle von Wildhaus über Seekreide eine Sumpfflora mit Laichkraut, Seebinse und Fieberklee und dann einen Moostorf.

In Mörschwil und Wildhaus erfolgten durch WELTEN (1982, 1988) neue moderne Pollenanalysen.

Die interglazialen Kalktuffe von Flurlingen überliefern einen Schluchtwald mit vorherrschend Berg-Ahorn und Buchs, wenig Esche und Tanne sowie Gräser und Scheingräser. An Tierresten wurden Torfrind, Hirsch, Nashorn und eine Molluskenfauna geborgen. E. SCHMID (in GUYAN und STAUBER, 1941) fand ferner Hasel, Sal-Weide, Spitz-Ahorn, Faulbaum und Weissdorn. Pollenanalytisch konnte LÜDI (1953) zudem reichlich Nadelhölzer nachweisen: Tanne, Föhre, Fichte und an weiteren Laubhölzern Ulme und Eiche, so dass um Schaffhausen neben dem Schluchtwald auch der Wald der weiteren Umgebung feststeht.

4.6 Spuren des Menschen im Bereich des Hochrheins und des Alpenrheins

Recht früh sind im Bereich des Hochrheins erste Spuren des Menschen nachgewiesen: ein Silex-Faustkeil aus dem Tieferen Deckenschotter bei Pratteln, einem mittelpleistozänen Lockergestein (D'AUJOURD'HUI, 1977), sowie die Unterkünfte an Sonnenhängen um Säckingen (GERSBACH, 1969) und um Basel; sie sprechen für kühlzeitliche Besiedlungen.

Im Bereich des Alpenrheins sind es die Funde im alpinen Paläolithikum (= Mittelpaläolithikum), vom Drachenloch (2427 m) ob Vättis (BÄCHLER, 1921, 1940; SCHMID, 1958) und von der Wildkirchli-Höhle (1477 m) im östlichen Säntisgebirge (BÄCHLER, 1936, 1940; SCHMID, 1961) aus dem letzten Interglazial. Dies waren jedoch nicht Dauersiedlungen, sondern Jagdaufenthalte. Die Höhle Freudental bei Schaffhausen, Kesslerloch und von Schweizersbild sowie die Funde bei der Schussen-Quelle aus dem Spätglazial deuten auf kühlzeitliche Besiedlungen, so dass auch diese nur Sommer-Wohnplätze bekunden.

4.7 Der Rhein-Gletscher in der letzten Kaltzeit und im Spätglazial

Ein Mammut-Stosszahn aus einer Kiesgrube SE von Bregenz (^{14}C-Alter 23 900 $\pm$ 400 a v. h., DE GRAAFF, 1993a, b) verrät eine frühhochwürmzeitliche Randlage des Rhein-Gletschers um 600 m. Der tiefere Teil der Moräne von Heiden (SAXER, 1964, 1965) dürfte schon beim Vorstoss geschüttet worden sein. Dass der Rhein-Gletscher dort länger anhielt, belegt die Stauschutt-Terrasse von Grub SG; das Bodensee-Becken war mit Eis gefüllt. Dabei steht noch offen, was schon bei noch früheren Eisvorstössen in diesem Raum an Lockergut abgelagert worden ist. Das würmzeitliche Geschehen hat eine bis ins jüngere Tertiär zurückreichende Vorgeschichte, deren Auswirkung fälschlich der Würm-Eiszeit zugeschrieben wird.

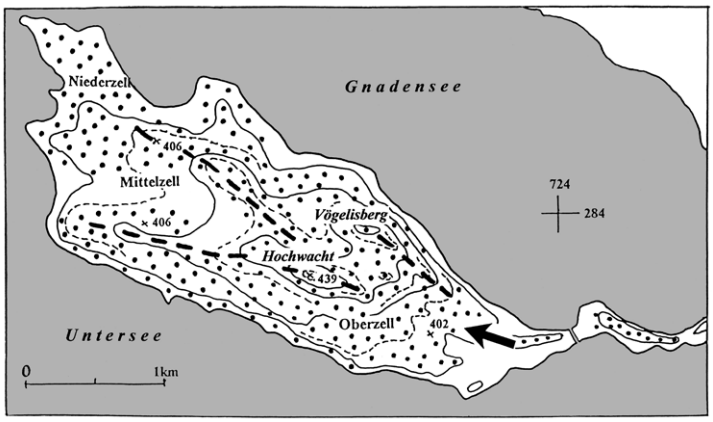


Abb. 15. Die Insel Reichenau, eine auf Grund gelaufene Mittelmoräne, aus WAGNER, 2003. Punktiert: Moräne und Schotter, gestrichelt: Wall-Achsen, Pfeil: Auftreffrichtung der Mittelmoräne.

Wie im Thurtal liefen auch im Untersee verschiedentlich Mittelmoränen auf Grund. So ist die Insel Reichenau (Abb. 15) als eine sich gabelnde Mittelmoräne zu deuten, die dort auf älteren Lockergesteinen auf Grund gelaufen ist. Einer dieser Stränge bildete den Sporn der Mettnau, den Grund von St. Wolfgang und der Radolfzeller Altstadt.

Zwischen Kaien und Pfänder verraten äussere Jungmoränen des Rhein-Gletschers eine Eishöhe um 1100 m. Da sie alpenwärts ansteigen, überragten nur wenige Molassehöhen das Eis. Neben höchsten Erratikern liefern Eisüberprägungen und Schwerminerale Hinweise auf den Rhein-Gletscher. Damit reichte der Rhein-Gletscher mit seinen Zungen, die durch zum Bodensee entwässernde Täler vorgestossen sind, über die Wasserscheide zur Donau und schüttete über weite Distanzen verfolgbare Stirnmoränen, wobei Schmelzwässer zur Donau abflossen.

Mit den inneren Jugendmoränen war die Entwässerung weitgehend zentripetal, zum Bodeensee-Becken, geworden. In der NE-Schweiz lassen sich diese von Heiden ins Thurtal und seeabwärts bis Stein am Rhein verfolgen (Taf. 1; HANTKE, 1980, 1983, 2004; KELLER und KRAYSS, 1989, 1996, 2005, und KELLER, in diesem Werk).

Ein längerer Stand zeichnet sich beim Vorstoss und beim Abschmelzen in Konstanz und bei Sulgen ab. Im Untersee-Becken war das Eis abgeschmolzen, und auch im Thurtal lag noch ein See. Im Alpenrheintal ist dieser Stand auf dem Stoss und oberhalb Dornbirn zu erkennen.

Eine in der Bregenzer Bucht gegen Lindau auf einem älteren Lockergesteins-Erbe auf Grund gelaufene Mittelmoräne trennt die Bucht zwischen Mehrerau und Lindau vom übrigen Bodensee (Abb. 16). Gegen WNW setzt sie sich in den unterseeischen Schachener Berg fort; beim Degelstein und

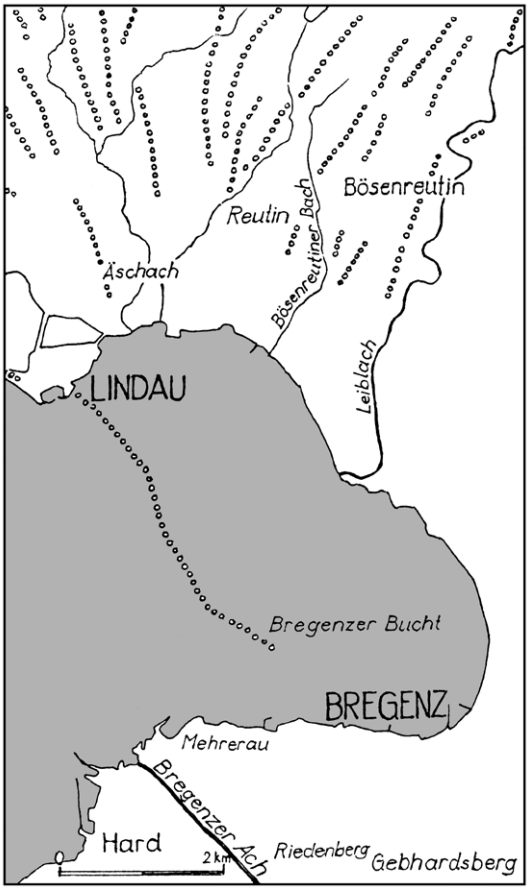


Abb. 16. Eine Mittelmoräne trennt die Bregenzer Bucht vom Bodensee und steigt in Lindau über das Seeniveau.

bei Wasserburg wird sie von weiteren Strängen abgelöst. Solche divergieren von Reutin–Äschach gegen NW bis NNE. Kame-Terrassen in Bregenz (BLUMRICH, 1921), Berneck (RENZ, 1937) und Rebstein zeichnen den spätglazialen Bodensee nach. Der Rhein-Gletscher kalbte am Kummaberg, bei Altstätten und Götzis in einen Rheintal-See (Taf. 1).

4.8 Spätwürm

Das spätglaziale Geschehen im Alpenrheintal ergibt sich aus dem sukzessiven Abschmelzen des Rhein-Gletschers; Wiedervorstösse nach Koblach in Feldkirch und Chur belegen kurze Klimarückschläge. Dabei reichte der Bodensee noch weit rheinaufwärts und war bis 80 m tief (EBERLE, 1987). Ausbrüche vom Flimser Bergsturz gestauter Seen im Vorderrheintal und im Domleschg zeichnen sich in Rheintal-Bohrungen als bis l m mächtige Gerölllage ab.

Bei Brederis NNE von Feldkirch stockte im Alleröd ein Föhren-Auenwald. Dies belegen Strünke mit einem ^{14}C-Alter von 10 110 + 140 a v. h., ein Hirschgeweih und ein Paarhufer-Backenzahn in 16 m Tiefe (W. KRIEG in HANTKE, 1980); sie bekunden die damalige Landoberfläche. Im Klimarückschlag der Jüngeren Dryaszeit wurde die erste Wiederbewaldung mit Kies und Sand der Ill eingedeckt. Die Holozän-Grenze liegt bei *Brederis* um 416 m ü. M., was Bohrungen SE von Bad Ragaz und Sargans-Malerva, die in 20–25 m Tiefe Moränen mit gekritzten Geschieben förderten (M. KOBEL in HANTKE et al., 1979), bestätigen. Die Vegetationsentwicklung von der Ältesten Dryaszeit bis ins Präboreal zeigt das Pollenprofil von Fohrenmoos-Schuttannen S von Dornbirn (I. DRAXLER in OBERHAUSER, 1991). Weiteres zur Vegetationsgeschichte (vgl. Beitrag BURGA, in diesem Werk).

5 HOLOZÄN – NACHEISZEIT

Am Bodensee zeichnet sich am Schiener Berg-Ostsporn ein ältester spätglazialer Spiegelstand um 407 m ab (SCHMIDLE, 1942; SCHREINER, 1968). Im Alleröd ist bei Nonnenhorn ein Stand durch einsetzende Torfbildung (B. FRENZEL in SCHWERD, 1986) um 405 m belegt. Im Argen-Delta bekunden Hölzer (WERNER in SCHWERD, 1986) im frühen Boreal einen solchen um 400–401 m. Im älteren Mesolithikum lag der Spiegel um 397 m, im jüngeren um 394 m, im Jüngeren Atlantikum um 398–399 m, in der Bronzezeit bei 393 m; zur Römerzeit erfolgte ein Anstieg auf 397 m (VONBANK, 1972); heute liegt der mittlere Pegel bei 395,74 m.

Im älteren und mittleren Holozän war der Abtrag bei geschlossener, zeitweise bis 400 m über die heutige reichender Bewaldung bescheiden. An den Talflanken ereigneten sich Felsstürze. Im Atlantikum brach der Sturz von Forst-Salez nieder (KOBEL und HANTKE, 1979), noch 1654 und 1760 erfolgten Stürze vom Breiter Berg (H. BERTLE in OBERHAUSER et al., 1986). An den Talhängen wanderten Tanne, Buche und Fichte ein. In den Auen wuchsen Laubmischwälder. Torfe belegen das Verlanden durch Schuttriegel gestauter Seen. An Fluss- und Seeufern widerspiegeln urgeschichtliche Funde und Flurnamen die Ankunft des Menschen. Mündungsarme des Rheins zeigen die jüngste Entwicklung (Abb. 17; vgl. BURGA, in diesem Werk).

Im frühen Mittelalter stockten im Rheingau von Hohenems–Oberriet bis zum Bodensee lichte Eichen-Mischwälder. Noch um 1800 floss der Rhein durch Auenwälder; sie milderten Hochwasser, hielten Geschiebe zurück und nahmen den Rückstau der Zuflüsse auf. KRAPF, 1901; KAISER, 1989b und OBERHAUSER, 1991 haben Überschwemmungsdaten bis ins 11. Jh. aufgelistet. Im 13. und frühen 14. Jh. waren Hochwasser selten. In der «Kleinen Eiszeit» (1560–1860) wurden sie infolge Kälte-Rückfällen im Frühjahr, nasskalter Sommer mit später Schneeschmelze und Raubbau in den Bündner Wäldern (JÄCKLI, 1957), die zu Bodenfliessen und Rutschungen führten, häufiger. Dies führte im Rheintal zu höherer Sedimentation, löste Überschwemmungen aus und brachte die Schifffahrt zum Erliegen (OBERHAUSER, 1991). Mit steigender Bevölkerung mehrte sich der Bedarf an Siedlungsraum, den in der Ebene nur überschwemmungssichere Plätze bieten konnten

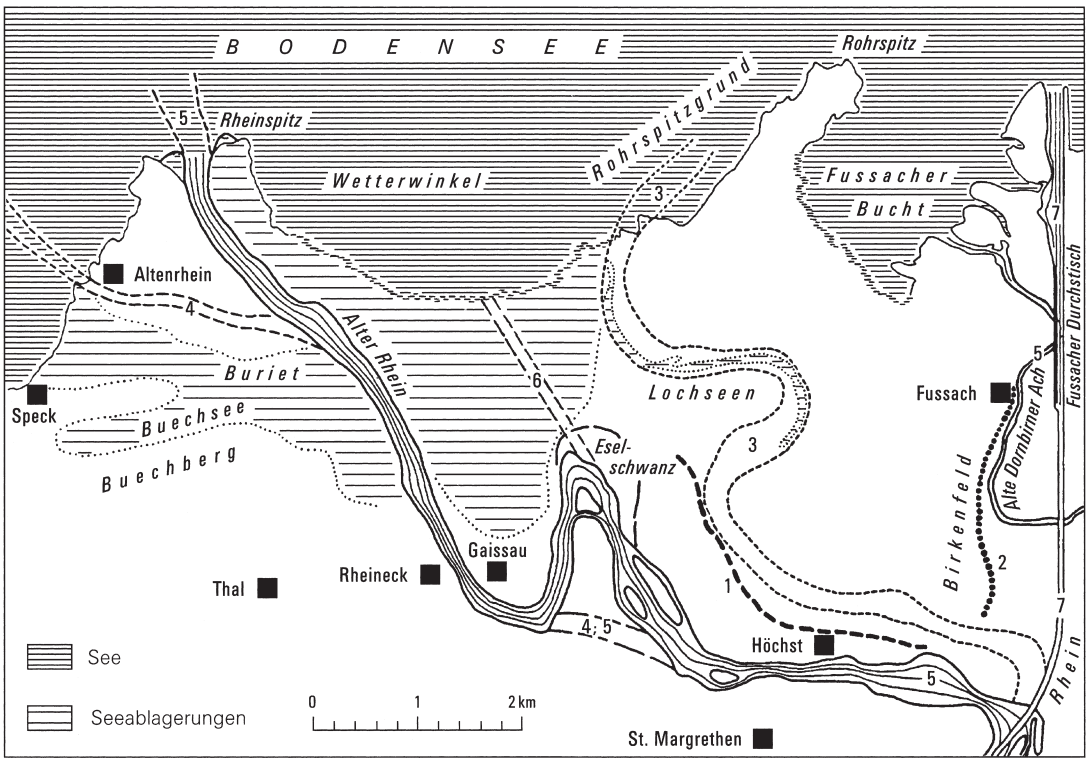


Abb. 17. Holozäne Mündungsläufe des Rheins in den Bodensee, nach WEBER, 1978; HANTKE, 1980, 1991, 2004.

1, 2 = vorrömisch
3 = Lauf zum Rohrspitz (Altwasserbecken)
4 = im 9. Jh. bei Rinisgmünd (= Altenrhein, SCHWAB 1827)
5 = bis 1900, seither Abflussrinne des Rheintaler Binnenkanals
6 = 1821 bei Hochwasser vom Rhein geschaffen
7 = 1900 eröffneter Fussacher Durchstich

(KAISER, 1992, 2003 und in diesem Werk). Nach eher trockener Zeit (1641–1706) verschlechterte sich das Klima erneut (PFISTER, 1999 und in diesem Werk). Im 18. und 19. Jh. ereigneten sich verheerende Hochwasser. «Bey 800 Jahre her weiss man von keinem so grossen Wasser als 1762 (11. Juli), so dass man von Sennwald an bis Lindau und Bregenz 12 Stund weit mit einem Schiff fahren konnte. Das Wasser stand 5–6, lokal 12–15 Schuh (= 3–3,75 m) und hatte eine Schlammdecke von 1–6 Schuh hinterlassen.» (WALSER, 1829); weitere folgten 1764 und 1768. Auf Manuskriptkarten von WALSER, 1766; RÖMER, 1769; ERATH, 1783; FEER, 1805; GEIGER und HALTINER, 1812; DUILE und NEGRELLI, 1826; ESCHMANN und ZIEGLER, 1854 (in HANTKE, 2004) wurde der Lauf immer genauer dargestellt (KAISER, 1989a).

Bei den grössten Überflutungen im 19. Jh. (1817 mit höchstem Bodensee-Pegel, im St. Galler Rheintal 1834, 1855, 1860, 1868 und 1871, in Vorarlberg 1888 und 1890) wurde die Ebene von Altach bis zum Bodensee überflutet; nur Höchst blieb verschont. Im 20. Jh. ereigneten sich Hochwasser 1910 und 1927, als der Rhein das Liechtensteiner Unterland überflutete. Die Durchstiche von Fussach (1900) und Diepoldsau (1923) bewirkten Verkürzungen von 7,1 bzw. 2,88 km (BERGMEISTER und LEIPOLD-SCHNEIDER, 2000). Der Rhein wurde zum Kanal, der nach Büchel (links) und der Frutz-Mündung (rechts) keine Zuflüsse mehr aufnahm.

Tab. 1. Überblick über erdgeschichtliche Geschehen im Bereich Alpenrhein-Bodensee – oberem Hochrhein

Erdgeschichtliche Abschnitte		Klima-Charakter	Erdgeschichtliches Geschehen		Sedimente	Bodensee-Pegel
			in den Alpen	im Alpenrhein-Bodensee-Raum		
Holozän	heute	gemässigt	hohe Schneegrenze	keine Überflutungen? (Dämme)	fluvial-	396
	20. Jh.	gemässigt	ansteigende Schneegrenze	Durchstiche: Fussach, Diepoldsau	limnisch	bis 399
	19. Jh. «Kleine	gemässigt	extreme Niederschläge,	Überflutungen/Hochwasser		
	17. Jh. Eiszeit»	kühl gemässigt	tiefe Schneegrenze	Breiter Berg-Felsstürze		
	15. Jh. Spät-Mittelalter	gemässigt	rel. hohe Wald- und Schneegr.	Laubmischwälder		
	8. Jh. Früh-Mittelalter	gemässigt	tiefe Wald- und Schneegrenze	Rhein-Mündung: Rinisgmünd		
	2000 a Römerzeit	gemässigt	relativ hohe Schneegrenze	Laubmischwälder		397
	Eisenzeit	gemässigt	tiefe Schneegrenze	Rhein-Mündung: Rohrspitz		
	3000 a Bronzezeit	warm gemässigt	hohe Schneegrenze	Laubmischwälder		393
	4000 a Neolithikum	gemässigt	rel. hohe Wald- und Schneegr.	Buchen-Tannenwälder		
	6000 a Atlantikum	gemässigt/kühl	Forst-Salez-Bergsturz	Eichenmischwälder		398–399
	Spät-Mesolithikum	gemässigt				394
	8000 a Boreal	kühl-gem./kühl	ansteigende Waldgrenze	Haselwälder	fluvial-	400–401
	Früh-Mesolithikum	gemässigt		Föhrenwälder	limnisch	397
Pleistozän	10000 a Jüngere Dryaszeit	kühl	Rhein-Gletscher: Hinterrhein	Wälder zerstört, Park-Tundra	glaz. Einfluss	
	Alleröd-Interstadial	kühl gemässigt	ansteigende Waldgrenze	Föhren-Auen: Brederis 416 m		405
	Ältere Dryaszeit	kühl	Rhein-Gletscher: Sufers		glaz. Einfluss	
	12000 a Bölling-Interstadial	kühl gemässigt		Park-Tundra		407
	Älteste Dryaszeit	kalt-kühl	Flimser Bergsturz	Rohboden-Veg., Rhein-Gl.: Chur	glaz. Einfluss	427
	20000 a Würm-Eiszeit II	kalt	markante Schliffgrenzen	Rhein-Gl.: Rüdlingen	glazigen	
	25000 a Würm-Interstadial	kalt-kühl		Rhein-Gl.: Bodensee-Becken?		
	40000 a Würm-Eiszeit I	kalt	hohe Schliffgrenzen	Rhein-Gl.: Buchberg SH	glazigen	
	70000 a Frühwürm-Interst.	kühl gemässigt	tiefe Waldgrenze	Nadelwälder		
	120000 a Letztes Interglazial	gemässigt warm	hohe Waldgrenze	Laubmischwälder		
	150000 a Spätriss-Eiszeit	feucht kalt		Rhein-Gletscher: Rümikon	glazigen	
	Vorletztes Intergl.	gemässigt warm	hohe Waldgrenze	Laubmischwälder		
	350000 a Riss-Eiszeiten	feucht kalt	hohe Schliffgrenzen	Rhein-Gletscher: Möhlin	glazigen	
	Vorvorletztes Intergl.	gemässigt warm	hohe Waldgrenze	Laubmischwälder		460
	Ält. Eiszeiten/Intergl.	kalt/warm		Rhein-Gl.: Rheinfelden	glaz./fluv.-limn.	
	2 Mio. a Grösste Eiszeiten	feucht kalt	höchste Eisgrenze	Rhein-Gletscher: Basel	glaz./fluv.-limn.	
Plioz.	Jung-Pliozän	warm/kalt		Einfüllung der Täler	glaz./fluv.-limn.	
	5 Alt-Pliozän	warm/kühl	Beginn Chammhalden-Moräne	Zerscherung mittell. Molasse		
Miozän	6 Jüngstes Miozän	kühl-kalt	Helv. Decken am Alpenrand	Stauchung subalp. Molasse		
	12 Jüngeres Miozän	warm/kühl	Emporheben v. Gotth. u. Aarmassiv	Tannenberg/Höchsten-Fächer	Obere	
	Jüng. Mittelmiozän	warm gemässigt	Überschiebung höhere Decken	Hörnli/Pfänder-Fächer	Süsswasser-M.	
	Mittl. Mittelmiozän	warm	Helv. Decken bewegen sich	sich verschmälerndes	Obere	
	Ält. Mittelmiozän	warm gemässigt	Helv. Decken ausgeschert	perialpines Randmeer	Meeresmolasse	
	Frühes Miozän	warm	Vorgleiten der höheren Decken	Höhronen/Kronb./Gäbris-Fächer		
Oligozän	24 Jüngstes Oligozän	kühl-kalt	Vereisung Oberengadin–Como	Comasker Molasse mit Err.-Bl.	Untere	
	Jüngeres Oligozän	warm gemässigt	Hebung des Bergeller Massivs	Speer/Stockberg-Fächer	Süsswasser-	
	36 Mittleres Oligozän	warm	perialpines Randmeer	untiefer werdendes Randmeer	Molasse	
					Unt. Meeres-M.	

Hochwasser ereigneten sich seither 1954, 1978 und 1987 mit 2665 m³/s Abflussspitze; 1999 und 2000 erreichten diese 1920 bzw. 1930 m³/s. Mit Ausnahme des an der Rhein-Mündung im Bau befindlichen Dammes entstanden keine Schäden (HANTKE, 2004).

6 AUSBLICK

Die künftige Entwicklung des Alpenrheins hängt vom orographischen und klimatischen Geschehen ab. Schon geringe Niveau-Veränderungen um Sargans, bedingt durch eine Kühlzeit mit rasch vorstossenden Seitengletschern, könnten bewirken, dass der Rhein dereinst nicht mehr durchs Rheintal zum Bodensee fliessen würde, sondern den um 70 km kürzeren Weg Walensee – Zürich – Turgi nach Koblenz nähme.

Für die Forschung gilt es, nebst konsequentem Hinterfragen bisheriger Vorstellungen und Methoden, dem Ablauf der tektonischen Vorgänge in den Alpen und im Vorland näher zu kommen, vermehrt Altersdaten aus Molasse und Talfüllungen zu gewinnen. Da die Gletscher mit ihren Mittelmoränen zu allen Kaltzeiten einen ähnlichen Verlauf nahmen, lassen sich ältere Eisstände und ihre Chronologie (Tab. 1) nur mit Fossilien, Pollenprofilen, magneto-stratigraphischen und Luminiszenz-Befunden präzisieren.

7 LITERATUR UND KARTEN

ALLEMANN, F., SCHWIZER, B. & MARTIN, B. 1985, 2002. Geologische Karte des Fürstentums Liechtenstein 1:25 000, mit Erläut. von ALLEMANN, F. Regierung Fürstentums Liechtenstein; Landesbibl., Vaduz.

D'AUJOURD'HUI, R. 1977. Ein altpaläolithischer Faustkeil aus Pratteln BL. Regio Basil. 18/1.

BÄCHLER, E. 1921. Das Drachenloch ob Vättis im Taminatal. St. Gallen.
– 1936. Das Wildkirchli. St. Gallen.
– 1940. Das alpine Paläolithikum der Schweiz. Basel.

BAUMBERGER, E., GERBER, E., JEANNET, A., WEBER, J. 1923. Die diluvialen Schieferkohlen der Schweiz. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser. 8.

BERGMEISTER, U. & LEIPOLD-SCHNEIDER 2000. Umstritten und freudig begrüsst – 100 Jahre Fussacher Durchstich 1900–2000. Montfort, Vschr. Gesch. und Gegenw. Vorarlb. 52/1, 49–80.

BERGMEISTER, U. & OBERHAUSER, R. 1993. Rheindelta, Vorarlberger Rheintal mit Inselberg- und Talrandaufschlüssen im Helvetikum (Exkursion B am 15. April 1993). Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N. F. 75, 45–73, Stuttgart.

BERLI, S. 1985. Zur Geologie des Sommersberges (Kte. St. Gallen und Appenzell AR). Ber. st. gall. naturw. Ges. 82, 109–145.

BERTSCHINGER, H., GARTMANN, R., KOBEL, M., LOACKER, H., WEBER, E., BÜHLER, A., CAMENISCH, I., DICKENMANN, M. & NÄNNY, P. 1978. Grundwasserstrom des Alpenrheins. Wasser, Energie, Luft 70/5, 95–172.

BLUMRICH, J. 1921. Geologie des Riedersteins und Ölrains in Bregenz. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 49, 5–24.

BOLLIGER, T. 1992. Kleinsäugerstratigraphie in der miozänen Hörnlischüttung (Ostschweiz). Docum. naturae 75, 1–296, München.
– 1996. Drei neue Kleinsäugerfaunen aus der miozänen Molasse der Ostschweiz (MN 3 und MN 7/8). N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 202(1), 95–110.
– 1998. Age and geographic distribution of the youngest Upper Fresh Water Molasse (OSM) in eastern Switzerland. Eclogae geol. Helv. 91(3), 321–332.
– EBERHARD, M. 1989. Neue Faunen und Florenfunde aus der Oberen Süsswassermolasse des Hörnligebietes (Ostschweiz). Vjschr. naturf. Ges. Zürich 134(2), 109–138.
– FEJFAR, O., GRAF, H. R., KÄLIN, D. 1996. Vorläufige Mitteilung über Funde von pliozänen Kleinsäugern aus den höheren Deckenschottern des Irchels (Kt. Zürich). Eclogae geol. Helv. 89(3), 1043–1048.

EBERHARD, M. 1988. Die Entwicklung von Sedimentation, Flora, Fauna, Klima und Relief von Mittelmiozän bis Quartär zwischen Arlberg (Vorarlberg/Tirol) und Adelegg (Allgäu). Diss. ETH Zürich.

EBERLE, M. 1987. Zur Lockergesteinsfüllung des St. Galler und Liechtensteiner Rheintales. Eclogae geol. Helv. 80(2), 193–206.

EUGSTER, H., FORRER, M., FRÖHLICHER, H., KEMPF, T., SCHLATTER, L., BLASER, R., FUNK, HP., LANGENEGGER, H., SPOERRI, M. & HABICHT, K. 1982, 2000. Blatt 1115 Säntis. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 78, Erläut. von FUNK, HP., HABICHT, K. †, HANTKE, R., PFIFFNER, O. A., KOBEL, M. Schweiz. Geol. Komm., BA Wasser und Geologie.

FREI, R. 1914. Monographie des Schweizerischen Deckenschotters. Beitr. geol. Karte Schweiz N. F. 37. Schweiz. Geol. Komm.

GEIGER, E. 1943. Blätter 56–59 Pfyn-Märstetten-Frauenfeld-Bussnang. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 10, mit Erläut. Schweiz. Geol. Komm.

GERSBACH, E. 1969. Urgeschichte des Hochrheins. Funde und Fundstellen in den Landkreisen Säckingen und Waldshut. Bad. Fundber., Sonderheft 14.

GRAAFF, L. W. S., DE 1993a. Das Quartär in Vorarlberg: Die eiszeitlichen Prozesse und die Morphostratigraphie der letzten Talvergletscherung. Jber. Mitt. oberrhein. Geol. Ver. N. F. 75, 329–363.
– 1993b. Zur Altersbestimmung eines Mammut-Zahnes (Kiesgrube Hochwacht) und ihre Bedeutung für die morphostratigraphische Einstufung der Quartärablagerungen zwischen Bregenz und Langen. Schr. Vorarlb. Landesmus. Bregenz.

GRAF, H. R. 1993. Die Deckenschotter der Zentralen Nordschweiz. Diss. ETH Zürich Nr. 10205, 151 pp.
– 2003. Geschichte des unteren Thurtales. Mitt. thurg. naturf. Ges. 59, 7–29.

GUTZWILLER, A. 1900. Ältere diluviale Schotter in der Nähe von St. Gallen und von Bischofszell. Eclogae geol. Helv. 6(4), 371–374.

GUYAN, W. U. & STAUBER, H. 1941. Die zwischeneiszeitlichen Kalktuffe von Flurlingen (Kt. Zürich). Eclogae geol. Helv. 34, 321–326.

HANTKE, R. 1954. Die fossile Flora der obermiozänen Öhninger Fundstelle Schrotzburg (Schienerberg, Süd-Baden). Denkschr. schweiz. naturf. Ges. 80(2), 26–118.
– 1970. Zur Diffluenz des würmeiszeitlichen Rheingletschers bei Sargans und die spätglazialen Gletscherstände in der Walensee-Talung und im Rheintal. Vjschr. naturf. Ges. Zürich 115(1), 101–126.
– 1980, 1983. Eiszeitalter 2, 3: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Ott, Thun, 703, 730 pp.; ecomed Landsberg/Lech.
– 1979. Die Geschichte des Alpen-Rheintales in Eiszeit und Nacheiszeit. Ber. Mitt. oberrhein. Geol. Ver. N. F. 61, 31–40.
– 1987. Zur jungtertiären Geschichte des Alpen-Reintals. Mitt. geol. Ges. Wien 80, 207–228.
– 1989. Kühl- und kaltzeitliche Klimaindizien im Jungtertiär der Schweiz, des Allgäues und einiger Nachbargebiete. Geol. Bavarica 94, 447–457.
– 1991. Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Ott, Thun, 309 pp.
– 1992a. Die Entstehungsgeschichte des Alpenrheintals. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG 1892–1992. BuchsDruck und Verlag, 20–30.
– 1992b. Zur Genese des Alpen-Rheintals. Jb. geol. Bundesanst. Wien 134(4), 847–856.
– 1993. Flussgeschichte Mitteleuropas. Enke, Stuttgart, 460 pp.
– 2003, 2004. Blatt 1076 St. Margrethen (Westhälfte) und 1096 Diepoldsau (Westhälfte) mit NW-Ecke von Blatt 1116 Feldkirch. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 108, mit Erläut. BA Wasser und Geologie.
– KURIGER, E. 2003. Überblick über die Geologie des Kantons Schwyz und seiner Nachbargebiete. Ber. schwyz. naturf. Ges. 14, 9–34.
– MÜLLER, E. R., SCHEIDEGGER, A. E., WIESMANN, A. 2003. Der Molasse-Schuttfächer des Ottenbergs und der Lauf der Thur seit dem jüngeren Tertiär. Mitt. thurg. naturf. Ges. 59, 85–111.
– OBERLI, U., GREGOR, H.-J. 2006. Mittelmiozäne Floren von Wattwil (Kt. St. Gallen). Docum. naturae, 157 pp.
– WAGNER, G. 2003. Eiszeitliche Mittelmoränen im Thurgau. Mitt. thurg. naturf. Ges. 59, 53–84.
– WAGNER, G. 2004. Eiszeitliche Mittelmoränen im Bereich des Alpenrheins. Terra plana 2004(4), 30–35.

HEER, O. 1865. Die Urwelt der Schweiz. Schulthess, Zürich. 2. Aufl. 1879, 1883.

HEIERLI, H. 1986. Zur geologischen Geschichte von Bodensee und Rheintal. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 104, 163–175.

HEIM, ALB. 1919, 1921. Geologie der Schweiz 1, 2(1). Tauchnitz, Leipzig, 704 pp.

HEIM, ARN. & OBERHOLZER, J. 1917. Geologische Karte der Alviergruppe 1:25 000. Geol. Spez.-Karte 80. Schweiz. Geol. Komm.

HEIM, ARN. & GAMS, H. 1918. Interglaziale Bildungen bei Wildhaus (St. Gallen). Vjschr. naturf. Ges. Zürich, 63 (1–2).

HERRMANN, P. & SCHWERD, K. 1982, 1983. Blatt 82 Bregenz. Geol. Karte Rep. Österreich 1:25 000, mit Erläut. Geol. B-Anst. Wien.

HOFMANN, F. 1951. Zur Stratigraphie und Tektonik des st. gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süsswassermolasse) und zur Bodenseegeologie. Tätigk.-Ber. (Jb.) st. gall. natw. Ges. 74, 3–87.
– 1958. Pliozäne Schotter und Sande auf dem Tannenberg NW St. Gallen. Eclogae geol. Helv. 50(2), 477–482.
– 1973. Blatt 1074 Bischofszell. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 65, mit Erläut. Schweiz. Geol. Komm.
– 1974. Geologische Geschichte des Bodenseegebietes. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 92, 251–273.
– 1976. Überblick über die geologische Entwicklungsgeschichte der Region Schaffhausen. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. und Ing. 42(102), 1–16.
– 1981. Blatt 1031 Neunkirch. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 74, mit Erläut. Landeshydrol. und -geol.
– 1997, 2000. Blatt 1011/12 Beggingen (Südhälfte) mit SW-Anteil von Blatt Singen. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 97, mit Erläut. von HOFMANN, SCHLATTER, R. & WEH, M. Landeshydrol. und -geol.
– 2003. Rekonstruktion der Entstehungsgeschichte der Oberen Süsswassermolasse (OSM) im Kanton Thurgau mit sedimentpetrographischen Methoden – Materialherkunft, Transport und Sedimentation – Zusammenhänge mit der Entstehung der Alpen. Mitt. thurg. naturf. Ges. 59, 31–51.

HÜBSCHER, J. 1961, 1964. Blatt 1032 Diessenhofen. Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 38, Erläut. von HOFMANN, F. & HANTKE, R. Schweiz. Geol. Komm.

JÄCKLI, H. 1957. Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes – Ein Beitrag zur exogenen Dynamik alpiner Gebirgslandschaften. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 36.

JÄGER, E. & HANTKE, R. 1984. Evidenzen für die Vergletscherung eines alpinen Bergeller Hochgebirges an der Grenze Oligozän/Miozän. Geol. Rdsch. 73(2), 567–575.

KAISER, M. 1989a, b. Rheinkarten und Rheinpläne aus 375 Jahren. Hochwasser und Überschwemmungen am Alpenrhein. – Werdenberger Jb. 1990, 30–43, 67–81, Buchs.
– 1992. Die alten Rheindörfer. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG 1892–1992. BuchsDruck und Verlag, 67–74.
– 2003. Alpenrhein und Landschaftswandel. In: «Sankt Galler Geschichte 6». Kanton St. Gallen.

KÄLIN, D. 2003. Der Wellenberg bei Frauenfeld – die jüngsten Anteile der Oberen Süsswassermolasse der Ostschweiz: biostratigraphische Daten und tektonische Implikationen. Mitt. thurg. natf. Ges. 59, 125–147.

KELLER, O. 1988. Ältere spätwürmzeitliche Gletschervorstösse und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlichen Rhein-Alpen (Weissbad-Stadium/Bühl-Stadium). Phys. Geogr. Univ. Zürich 27, 2 Bde., 241, 291 pp.
– 1990. Die geologische Entwicklung des Alpenrheintals. Werdenberger Jb. 3, 12–19, Buchs.
– 1994. Entstehung und Entwicklung des Bodensees: ein geologischer Lebenslauf. Wiss. u. Stud., 33–92.

KELLER, O. & KRAYSS, E. 1994. Die Bodensee-Vorlandvereisung des Rheingletschers im Konstanz-Stadium der letzten Eiszeit. Ber. st. gall. naturw. Ges. 87, 31–40.
– 2005. Der Rhein-Linth-Gletscher im letzten Hochglazial. – Vjschr. naturf. Ges. Zürich 150(1–2), 19–32 und 150(3–4), 69–85.

KLEIBER, K. 1938. Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone. Ecl. geol. Helv. 30(2), 419–430.

KOBEL, M. & HANTKE, R. 1979. Zur Hydrogeologie des Rheintales von Sargans bis zum Bodensee (Exkursion E am 19. April 1979). Ber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver. N. F. 61, 79–86.

KRAPF, PH. 1901. Die Geschichte des Rheines zwischen Bodensee und Ragaz. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 30, 119–222.

KRAYSS, E. & KELLER, O. 1989. Die eiszeitliche Reliefentwicklung im Bodenseeraum. Vermess., Photogramm., Kulturtech. 1(89), 8–12.
– 1996. Hydrographie des Bodenseeraumes während der letzten Vorlandvereisung. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 114, 111–143.

LEMCKE, K. 1985. Flussfracht von Ur-Main und Ur-Naab in der Schweiz und im deutschen Molassebecken. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing. 51(121), 13–21.

LUDWIG, A. 1917. Über die Entstehung des Rheintales und des Bodensees. Ber. st. gall. naturw. Ges. 54, 1–34.
– SAXER, F. †, EUGSTER, H. & FRÖHLICHER, H. 1949, 1960. Blatt St. Gallen-Appenzell (222–225). Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, 23, Erläut. von EUGSTER, FRÖHLICHER, SAXER. Schweiz. Geol. Komm.

LÜDI, W. 1953. Die Pflanzenwelt des Eiszeitalters im nördlichen Vorland der Schweizer Alpen. Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Zürich 27.

OBERHAUSER, R. 1982, 1991. Blätter 110 St. Gallen Süd und 111 Dornbirn Süd, mit Erläut. Geol. Karte Rep. Österreich 1:25 000. Geol. B-Anst. Wien.
– 1992a. Der Untergrund des Rheintales zwischen Illmündung und Bodensee. In: Internat. Rheinregulierung 1892–1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung. BuchsDruck und Verlag, 31–33.
– 1992b. Zur Problemverzahnung von Geologie, Landschaft-, Ur- und Frühgeschichte bei der Frage, ob in Lustenau Felsuntergrund in geringer Tiefe vorhanden sei. Schr. Vorarlb. Landesmus., A 5, Bregenz, 19–22.
– 1994. Blätter 110 St. Gallen Nord und 111 Dornbirn Nord mit Anteilen von 81 Bodensee und 82 Bregenz. Geol. Karte Rep. Österreich 1:25 000. Geol. B-Anst. Wien.

OBERHAUSER, R. et al. 1986. Exkursionsführer zur Wandertagung in Dornbirn mit Exkursion in Vorarlberg und Tirol mit Übertritt in die Schweiz und Liechtenstein. Österr. geol. Ges. 4, Wien.

OBERHOLZER, J. 1920. Geologische Karte der Alpen zwischen Linth und Rhein 1:50 000. Geol. Spez.-Karte 63. Schweiz. Geol. Komm.

PENCK, A. & BRÜCKNER, E. 1901–1909. Die Alpen im Eiszeitalter 1, 2. Tauchnitz, Leipzig.

PFISTER, CH. 1999. Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen 1496–1995. Haupt, Bern.

PREUSSER, F. & GRAF, H. R. 2002. Erste Ergebnisse von Luminiszensdatierungen eiszeitlicher Ablagerungen der Nordschweiz. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N. F. 84, 419–438.

RENZ, H. H. 1937. Zur Geologie der östlichen st. gallisch-appenzellischen Molasse. Jb. st. gall. naturw. Ges. 69 (1938), 1–128, als Diss. 1937.

RÖMER, J. C. 1769. Der Rheinlauff durch das ganze Rheintal, samt Wuhrungen, Dämmen und einer genauen Lage der Oerter gegeneinander, welche auf beiden Seiten sich befinden, 1 : 14 811. Orig. Staatsarchiv St. Gallen, verkl. Reprod. in BERTSCHINGER, H. et al. 1978.

SAXER, F. 1964, 1965. Blatt 1075 Rorschach. Geol. Atlas Schweiz 1 : 25 000, 45 mit Erläut. Schweiz. Geol. Komm.

SCHLÄFLI, A. & HOFMANN, F. ed. 1999. Geologie des Kantons Thurgau. Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte 1 : 50 000. Mitt. thurg. naturf. Ges. 55, 1–101.

SCHLATTER, R. et al. 1987. Der Rheinfall. – Njbl. naturf. Ges. Schaffhausen 39, 1–54.

SCHMID, E. 1958. Höhlenforschung und Sedimentanalyse – Ein Beitrag zur Datierung des Alpinen Paläolithikums. Basel.
– 1961. Neue Grabungen im Wildkirchli (Ebenalp, Kt. Appenzell) 1958/59. Ur-Schweiz 25.

SCHMIDLE, W. 1922. Die Geologie des Bodenseebeckens. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 50, Lindau.
– 1942. Postglaziale Spiegelhöhen des Bodensees und der Vorstoss des Konstanzer Gletschers. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 68 (1941/42), 109–142, Friedrichshafen.

SCHNEIDER, J. M. 1925. Das st. gallische Rheintal, kein Glazialerosionstal. Eclogae geol. Helv. 19(1), 162–165.

SCHREINER, A. 1968. Untersuchungen zur Entstehung des Bodensees. Schr. Ver. Gesch. Bodensees 86, 283–294.
– 2003. Deckenschotter im Hegau und am westlichen Bodensee. Abh. L-Amt Geol. Rohst. Bergbau 15, Freiburg Br.
– et al. 1992. Geologische Karte Hegau und westlicher Bodensee 1 : 50 000, 3. Aufl., Erläut. Geol. L-Amt Baden-Württemberg.

SCHWAB, G. 1827. Der Bodensee nebst dem Rheintale von St. Luziensteig bis Rheinegg. Stuttgart und Tübingen.

SCHWERD, K. 1986. Geologie des deutschen Staatsgebietes der Blätter 8423 Kressbronn am Bodensee und 8424 Lindau (Bodensee). Geol. Bavarica 90, 17–90, München.
– ZEH, U. 1986. Blatt 8424 Lindau (Bodensee). Geol. Karte Bayern 1 : 25 000. Bayer. Geol. L.-Amt, München. Geol. Bavarica 90.

STAUB, R. 1934. Grundzüge alpiner Morphologie. Denkschr. schweiz. naturf. Ges. 69(1).

VONBANK, E. 1972. Die römischen Hafenmauern am Bregenzer Leutbühel. Montfort, Vjschr. Gesch. Gegenw. Vorarlb. 24, 256–259.

WAGNER, G. 2001. Mittelmoränen eiszeitlicher Alpengletscher in der Schweiz – Eine morphologische Studie. Eclogae geol. Helv. 94(2), 221–235.
– 2004. «Das Mittelmoränen-Modell aus wissenschaftlicher Sicht». Dublik auf die Replik von GRAF et al. in der Vierteljahrsschrift 148/3. Vjschr. naturf. Ges. Zürich 149(2), 1–4.

WALSER, G. 1829. Appenzeller Chronik, 3. Trogen.

WEBER, A. 1928. Die Glazialgeologie des Tösstales und ihre Beziehungen zur Diluvialgeschichte der Nordostschweiz. Mitt. naturw. Ges. Winterthur 17/18 (1927–1930), 1–92, als Diss. 1928.

WEBER, R. 1978. Geologische Untersuchungen in der Unteren Süsswassermolasse und im Holozän des untersten St. Galler Rheintales. Dipl.-Arb. Geol. Inst. ETH Zürich (unpubl.).

WELTEN, M. 1982. Pollenanalytische Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz. Beiträge zur Geolog. Karte der Schweiz. Neue Folge, 156. Lieferung, Bern, 174 pp. und Diagrammheft.
– 1988. Neue pollenanalytische Ergebnisse über das Jüngere Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz (Mittel- und Jungpleistozän). Beiträge zur Geolog. Karte der Schweiz. Lieferung 162 (Neue Folge). Bern, 40 pp.

Prof. Dr. René Hantke, Glärnischstrasse 3, CH-8712 Stäfa

Der Rhein – Lebensader einer Region: 54–74

Letzte Eiszeit und Landschaftsformung am Hochrhein und am Alpenrhein

Oskar Keller (Eggersriet SG)

1 EINLEITUNG

Ein vorläufig letztes Mal führte die jüngste, die Würm-Eiszeit, zu einer vollständigen Vergletscherung des alpinen Rheingebietes und des gesamten Bodenseeraumes bis nahe Eglisau. Indessen blieb der zeitlich grösste Teil dieses Glazials ohne Vereisung des Alpenvorlandes. Die bedeutendsten Umwälzungen in der Landschaftsentwicklung sind jedoch den Vergletscherungsphasen zuzuschreiben.

Die Zeugen des Würm-Glazials werden seit rund 150 Jahren von zahlreichen Forschern erkundet, kartiert und auf ihre Aussagekraft für die glazialen Prozesse untersucht. So ist das Ausbreitungsgebiet des Rheingletschers zu einer der am besten erforschten Regionen der Eiszeitvergletscherung geworden. Gestützt auf Arbeiten von lokalen Forschern und auf eigene Studien haben PENCK und BRÜCKNER in ihrem Monumentalwerk «Die Alpen im Eiszeitalter» (1909) bereits vor hundert Jahren die wesentlichen Grundzüge des würmeiszeitlichen Rhein-Vorlandgletschers erfasst. Vielen nachfolgenden Glazialgeologen gelang es, diesen Eiszeitgletscher Schritt um Schritt weiter und feinmaschiger zu enträtseln. Eine Zusammenfassung solcher Arbeiten mit Literaturhinweisen bis 1983 gab HANTKE (1978–83) im dreibändigen Werk «Eiszeitalter». Gesamtdarstellungen der rheinischen Vergletscherung in Kartenbildern erarbeiteten JÄCKLI (1970), HANTKE (1980) sowie KELLER und KRAYSS (1980, 2005). Eine generalisierte Darstellung der maximalen Vorlandvereisung zeigt die Abbildung 1.

Seit PENCK und BRÜCKNER (1909) wird den Eiszeitgletschern eine grosse Gestaltungskraft bei der Ausformung der Landschaft zugeschrieben. Die gut begründete und klassische Vorstellung der Glazialerosion, auf die insbesondere die alpinen Trogtäler (Hinterrheintal), die übertieften Täler (Alpenrheintal) und die Becken im Vorland (Bodensee) zurückgeführt werden, ist heute allgemein anerkannt. Offensichtlich und kaum umstritten sind auch die Mechanismen bei den verschiedenartigen Aufschüttungen entlang der Eisränder durch die Eisströme selbst oder durch deren Schmelzwässer. Andersartige Erklärungen zur Bildung der übertieften Täler und hochliegenden Schotter gibt seit jeher HANTKE, neuerdings ergänzt durch ein «Mittelmoränenmodell» in Zusammenarbeit mit WAGNER (z. B. 2003).

Da das vorliegende Werk zentral dem Rhein gewidmet ist, enthält dieser Beitrag vorerst einen Überblick über das letzteiszeitliche Geschehen im gesamten rheinischen Alpen- und Vorlandgebiet. Die glaziale und postglaziale Landschaftsentwicklung im Gefolge der Vereisung hingegen wird anhand charakteristischer Beispiele entlang der Rheinachse erläutert.

2 ÜBERBLICK ÜBER DIE LETZTE EISZEIT (RHEINGLETSCHERRAUM)

2.1 Problematik der Eiszeit-Entschlüsselung

Die Hinterlassenschaften der letzten Eiszeit sind zahlreich und weitgehend gut erhalten. Dies deshalb, weil sie als geologisch junge Gebilde noch wenig durch Verwitterung und Erosion abgetragen sind. Wichtiger jedoch ist das Prinzip, dass jede eiszeitliche Vergletscherung das zerstört und umpflügt, was in früheren Glazialen geschaffen worden ist. Diesem Schicksal entgingen (bisher) die würmeiszeitlichen Relikte.

Aber selbst innerhalb der letzten Eiszeit gilt dieser Mechanismus, wurden doch die Zeugen der Vorstossperiode bis zur Maximalvergletscherung vom Eis überfahren und damit einge-

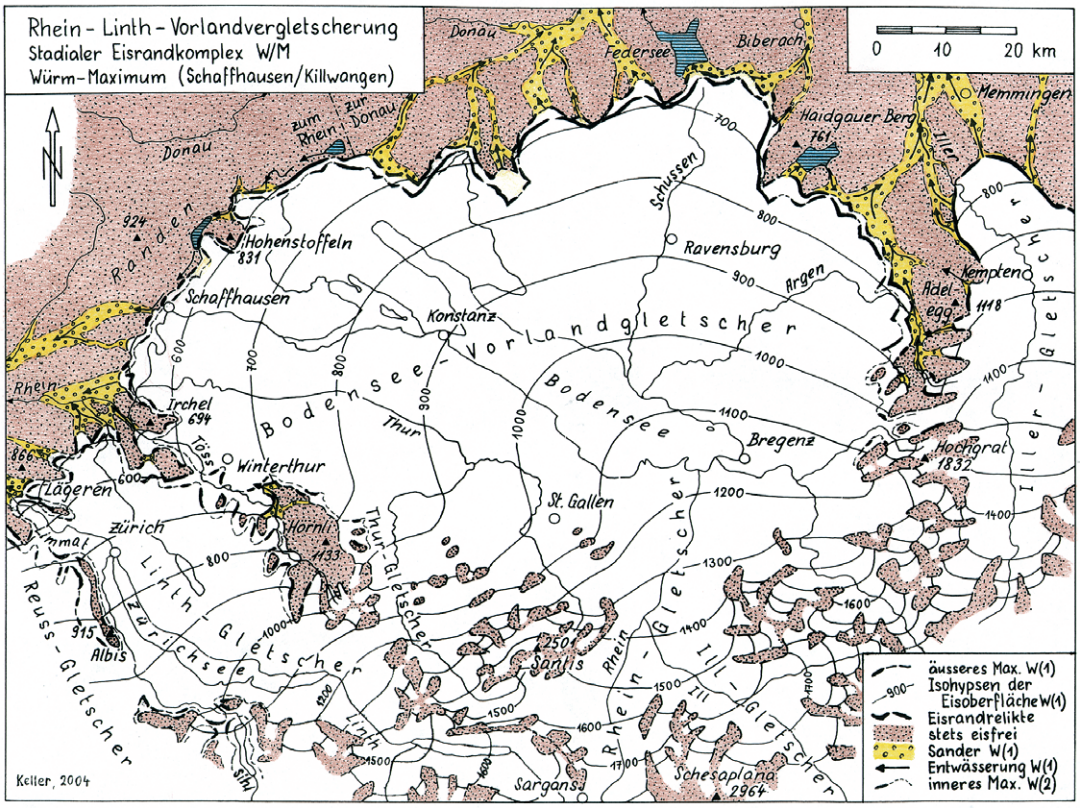


Abb. 1. Rhein-Linth-Gletscher in den Maximalständen der Würmeiszeit. Die inneralpinen Eismassen gelangen durch das Rheintal und das Walensee-Seeztal ins Vorland und breiten sich vor allem im Bodenseebecken mächtig aus.

deckt oder gar vernichtet. Detailliert kennt man daher vor allem die Rückschmelzphasen der jüngsten Vereisung. Erst in den letzten 50 Jahren verdichtete sich das Wissen um die Vorgänge im Frühglazial der Würmeiszeit, indem durch zahlreiche tiefe Bohrungen und Aufschlüsse die älteren Sedimente erfasst werden konnten. Zudem gelang es durch moderne Datierungsverfahren, insbesondere die ^{14}C-Methode, sowie durch Untersuchung der Sedimentstrukturen und mittels Vegetationsstudien, vorab Pollenanalyse, die Zeiträume und die klimatischen Verhältnisse immer besser zu erfassen.

2.2 Zum Früh- und Mittelwürm

Nach neueren Erkenntnissen scheinen die Eiszeiten im jüngeren Quartär einen rund 100 000-Jahre-Rhythmus aufzuweisen, wobei eine charakteristische Reihenfolge des Ablaufs festzustellen ist (Abb. 2). Nach einem ausgesprochen warmen Interglazial (Zwischeneiszeit) setzt die Eiszeit schleichend mit kälteren (Stadiale) und wärmeren Perioden (Interstadiale) im Wechsel ein, bis ein erster glazialer temperaturmässiger Tiefpunkt erreicht ist. Dieser lange dauernden Phase entspricht in der letzten Eiszeit das Frühwürm. Das Mittelwürm umfasst einen etwas klimagünstigeren Zeitraum, der dann ins Hochglazial mit dem maximalen Eisvorstoss überleitet. Schliesslich wird rasch, aber trotzdem mit Klimaeinbrüchen, über das Spätglazial das nacheiszeitliche Interglazial erreicht.

In den 1990er Jahren waren aus dem Rhein- und Linthgebiet bereits eine Reihe Daten und Untersuchungen an Sedimenten aus Bohrungen sowie auch Pollenprofile vorhanden. Eine längst vermutete frühwürmzeitliche Vorlandvergletscherung konnte damit mit grösserer Wahrscheinlichkeit modelliert werden. Die Rekonstruktionen ergaben einen Rhein-Linth-Gletscher,

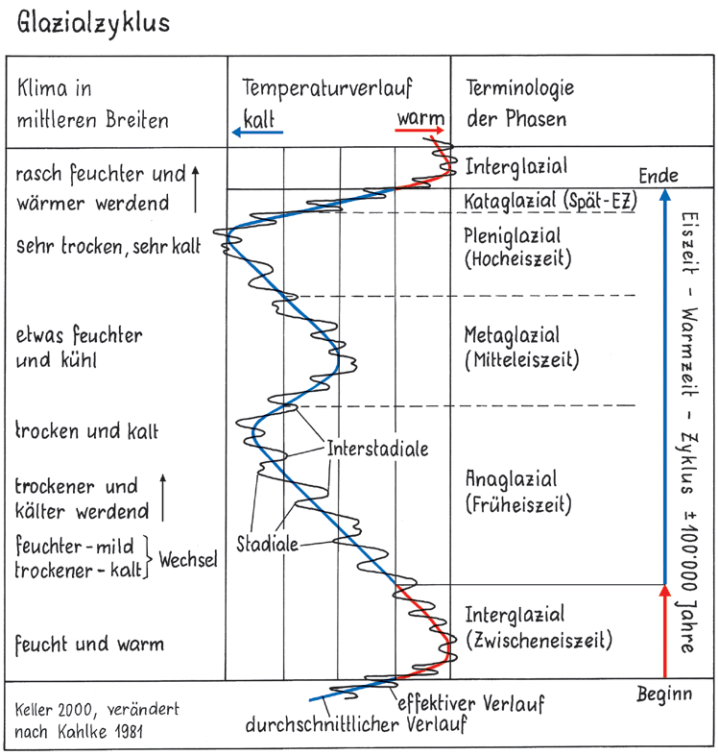


Abb. 2. Untersuchungen an Tiefseebohrkernen zeigen, dass der Gang der Temperaturen in den jüngeren Glazialen ein charakteristisches Muster aufweist. Generalisiert ergibt sich der dargestellte Verlauf einer Eiszeit.

der bis in den Untersee gereicht, respektive im mittleren Zürichsee geendet hätte (Abb. 3). Seine Ausmasse erreichten demnach nicht diejenigen im Würm-Maximum (Abb. 1). Am ehesten scheint sich diese Vorlandvergletscherung, das Untersee-Stadial, am Ende des Frühwürms ereignet zu haben, was sich aus den ^{14}C-Datierungen und aus Vergleichen mit den Klimakurven (Sauerstoff-Isotopenkurven) aus Tiefsee-Bohrkernen ableiten lässt. Denkbar ist aber auch eine Einstufung in ein älteres Frühwürm-Stadial.

Wie Sedimente, Pollensequenzen, Pflanzenreste und ^{14}C-Daten vor allem aus den Mörschwiler Schieferkohlen belegen, war im gesamten anschliessenden Mittelwürm das Bodenseebecken eisfrei. Nach dem frühwürmen Untersee-Stadial muss der Rheingletscher bis in die inneren Alpentäler zurückgewichen sein. Auch im Alpstein (Säntisgebirge) waren die Lokalgletscher stark abgeschmolzen, denn in diesen Zeitabschnitt fallen die Funde von Tierknochen und menschlichen Abschlagwerkzeugen in der Wildkirchlihöhle. Aus den inneralpinen Positionen heraus erfolgte dann der würmeiszeitliche Maximalvorstoss der Gletscher.

2.3 Das Hoch- und Spätglazial der letzten Eiszeit

Aus Vergleichen mit den Verhältnissen im Tiroler Inntal, gestützt durch Rekonstruktionen und Berechnungen, ist anzunehmen, dass der Hauptvorstoss des Rheingletschers in der letzten Eiszeit aus dem Raum Chur (Domat-Ems) erfolgte, wobei die inneren Alpentäler damals bereits vergletschert waren. Im Gebiet von Ravensburg-Konstanz konnte eine Aufbau-Eisrandlage erkannt werden, die als Obersee-Stadial bezeichnet wird. Nach dem anschliessenden Ravensburger Interstadial rückte das Eis bis zum Maximalstand von Schaffhausen vor (Abb. 1) und überdeckte das weite Bodenseebecken in einer Halbellipse von 110 x 40 km. Auch die gesamte Voralpenregion im Toggenburg, Appenzellerland und im Bregenzerwald versank unter den Eismassen. Über weite Strecken wurden an den Eisfronten hohe und markante Wallmoränenzüge angehäuft. Der ganze Nordteil dieses «Eiskuchens» entwässerte über mehrere Flusssysteme zur Donau. Aus dem Hegau fand das Schmelzwasser einen Abfluss durch den Klettgau, und aus dem Hörnligebiet entwickelte sich das Bichelsee- und das Tösstal als Entwässerungsweg zum Rhein. Dabei wurden nebst der erosiven Eintiefung dieser Täler oft mächtige Sander (Gletscher-Vorfelder) aufgeschüttet.

Das nach dem Höchststand einsetzende allgemeine Rückschmelzen verlief etappenweise mit Stagnations- oder auch Wiedervorstoss-

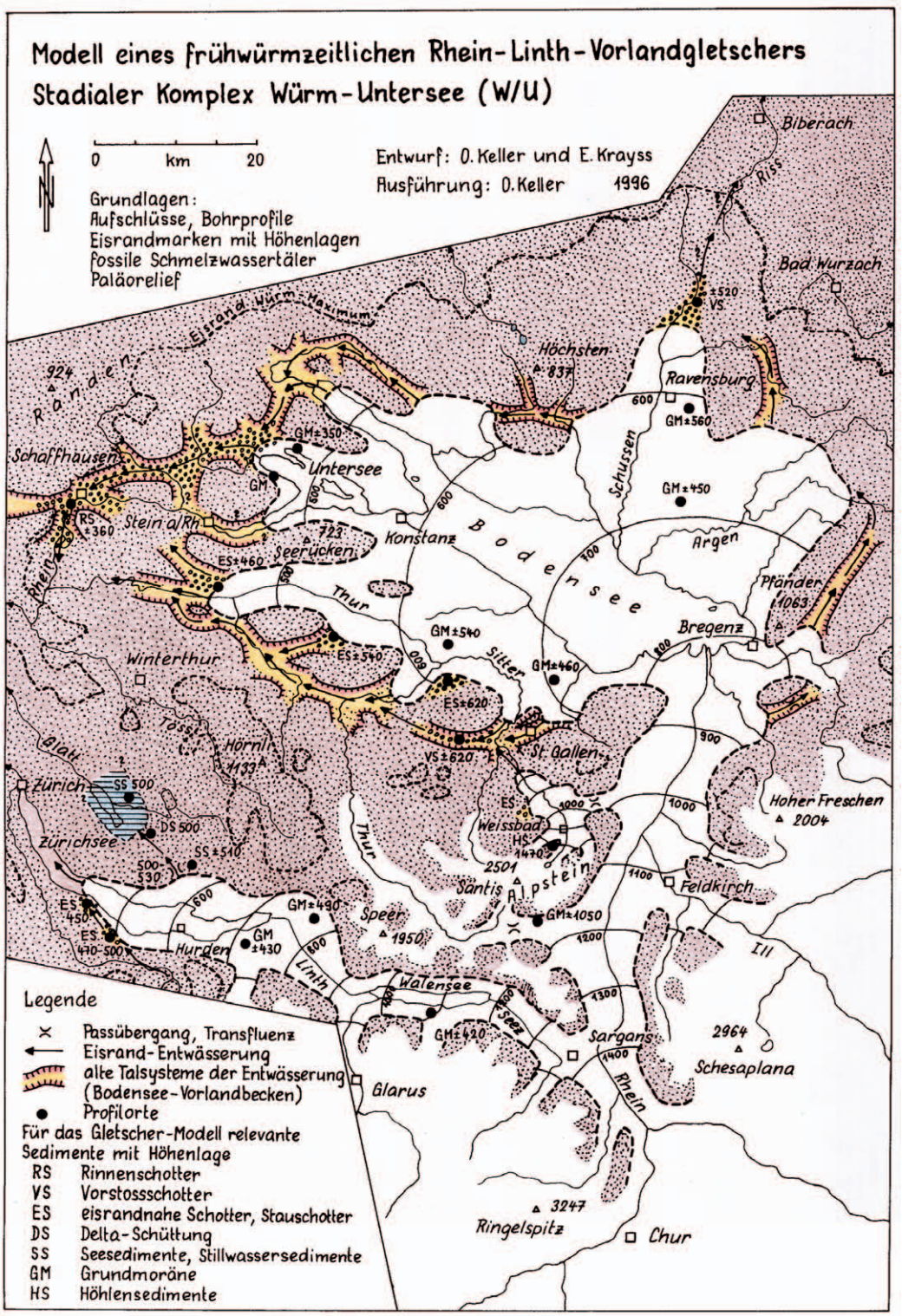


Abb. 3. Das Modell der Frühwürm-Vereisung basiert auf Indizien wie ältere glaziale Sedimente, fossile Schmelzwassertäler, Eisrandmarken sowie auch auf Hinweisen zu einem Alt-Relief.

Unterbrüchen. Wiederum wurden reihenweise internere Stirn- und Seitenmoränen in Wallform angehäuft. Vor der Eisfront liegende Geländesenken füllten sich mit Schmelzwasser als Eisstau- oder Vorfeldseen. Das aus dem Eis austretende Schmelzwasser baute neue Sander auf, die Randtäler wurden vertieft oder frisch angelegt. Die jeweiligen Etappenhalte werden stadiale Eisrandkomplexe genannt. Stadial, weil sie Signale von Klimarückschlägen bedeuten; Komplexe, weil meist mehrere Eisrandlagen mit Wällen und Terrassen eng hintereinander liegen. Im Rheingletscherraum können zurück bis ins Rheintal die in der Abbildung 4 dargestellten Komplexe unterschieden werden.

Besonders markant ist das Stein am Rhein-Stadial (Abb. 8) entwickelt, indem es sich fast ohne Unterbrüche mit Hilfe von Eisrandwällen, Schmelzwassertälern und Sandern rund um den Bodensee verfolgen lässt. Im Appenzellerland hatten sich die Zungen von Sitter- und Urnäschgletscher, im Toggenburg von Thur- und Neckergletscher bereits vom Bodensee-Vorlandgletscher abgelöst. Das Konstanz-Stadial (Abb. 11) zeichnet sich durch zahlreiche Stauseen rund um den noch den Bodensee-Obersee erfüllenden Vorlandgletscher aus. Im Weissbad-Koblach-Stadial stiessen die kleinen, selbständigen Lokalgletscher in den Randalpen (Speer, Alpstein, Dornbirner Ach-Berge) offenbar rasch und kräftig nochmals vor, während die grossen Haupttalgletscher nur eine Stagnationsphase einlegten. Das anschliessende Abschmelzen muss rasch erfolgt sein, sind doch zurück bis in die inneren Alpentäler keine deutlichen Eisrandlagen mehr zu finden. Erst im so genannten Gschnitz-Stadium erscheinen wieder sichere Eisfrontbildungen, etwa unterhalb Klosters oder bei Andeer (Abb. 16).

2.4 Zeitraum und Klima

Vor rund 115 000 Jahren ging die letzte Zwischeneiszeit «Eem» zu Ende, gefolgt von ersten Kaltphasen (Stadialen) und kühlen Interstadialen des Frühwürms (Abb. 5). Um 70 000 bis 60 000 Jahre vor heute war der als Untersee-Stadial angesprochene erste Klima-Tiefstand erreicht. Aufgrund der Datierungen an den Schieferkohlen von Mörschwil und von Gossau ZH dauerte das Mittelwürm von 60 000 bis 30 000 vor heute mit einem mässig kühlen

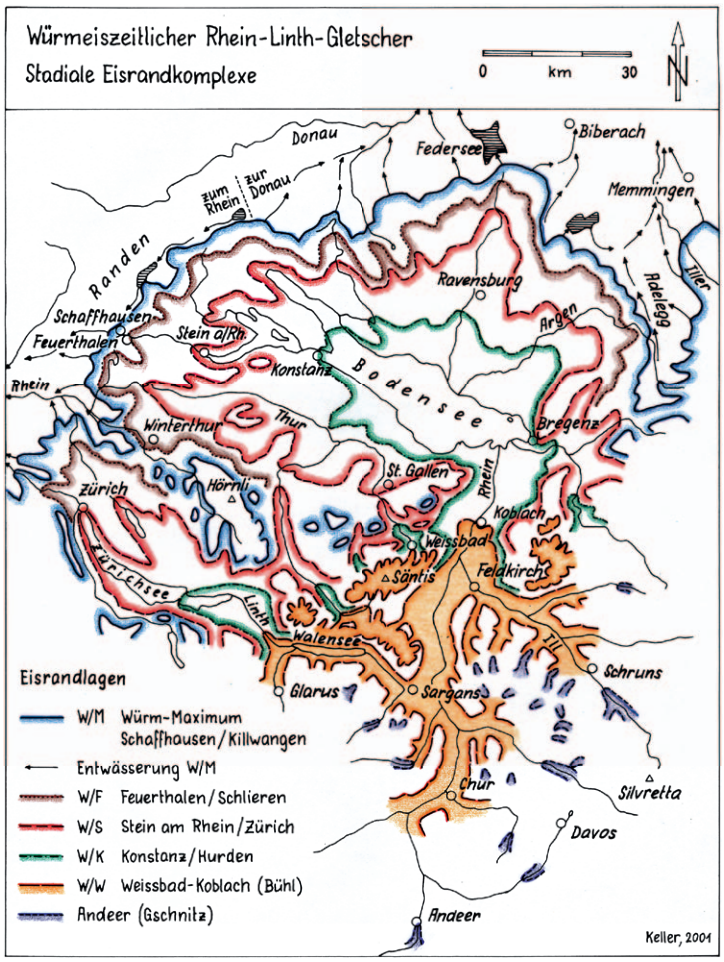


Abb. 4. Das Zurückschmelzen des Rhein-Vorlandgletschers erfolgt in Etappen, die sich als Eisrandkomplexe im Gelände abzeichnen.

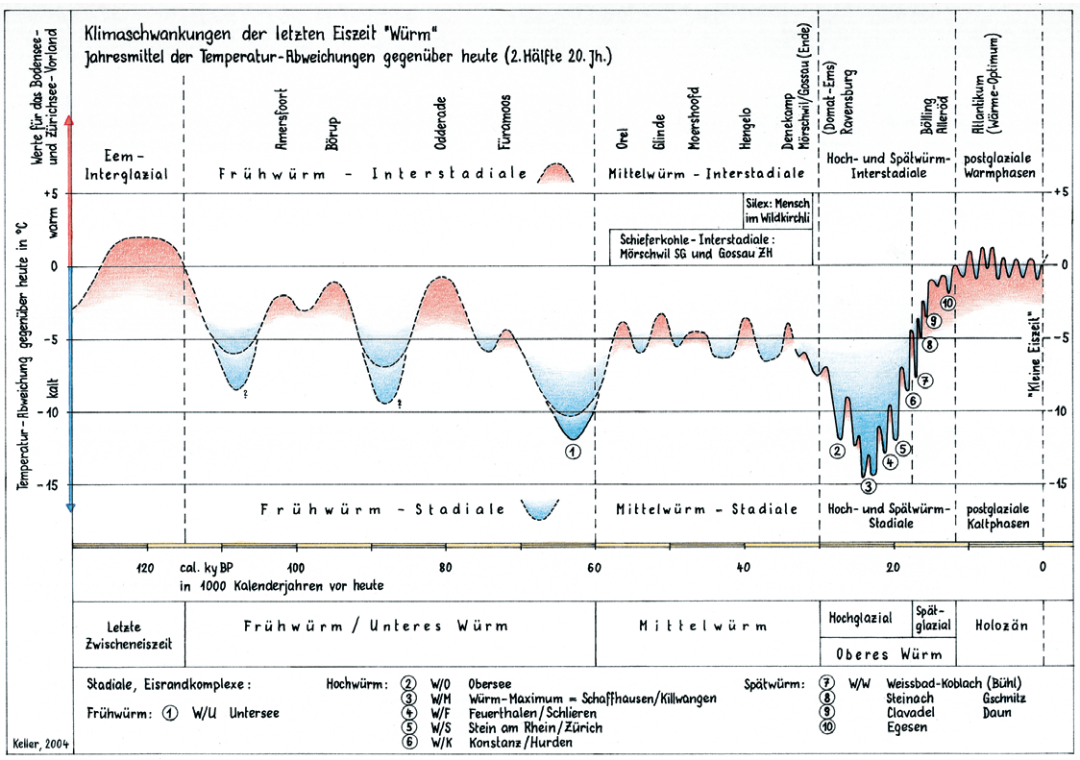


Abb. 5. Das Klima der letzten Eiszeit ist durch zahlreiche Schwankungen charakterisiert, was insbesondere im Temperaturverlauf zum Ausdruck kommt. Ab dem Hochwürm ist eine hohe Frequenz der sich folgenden Stadiale und Interstadiale im Umfeld des Rheingletschers erkannt worden. Im Früh- und Mittelwürm fehlen bis jetzt genauere Daten. Gezeichnet ist die für das nördliche Mitteleuropa erarbeitete, noch Unsicherheiten aufweisende Kurve. Gut ersichtlich ist das Muster des typischen Glazialzyklus (Abb. 2).

Klima, das Nadelwald und wenige Laubbäume zuliess. Ab 30 000 vor heute wurde das Klima bis zur Maximalvergletscherung vor 24 000 Jahren zunehmend kälter und auch trockener. Für das Hoch- und Spätglazial berechnete Temperaturwerte für den Frontbereich der Vorlandgletscher zeigen, dass es während dem Würm-Maximum im Jahresdurchschnitt 14–15^0 kälter war als heute. Unterbrochen von Rückschlägen setzte darnach eine rasche Klimaverbesserung ein, die bereits vor 12 000 Jahren in die Nacheiszeit mit Interglazial-Charakter überging. Die Datierung der Eisaufbau- und Eisabbauphasen (Eisrandkomplexe) ist aus der Abbildung 6 ersichtlich, wobei die inneralpinen Stadien des jüngeren Spätglazials nicht berücksichtigt sind.

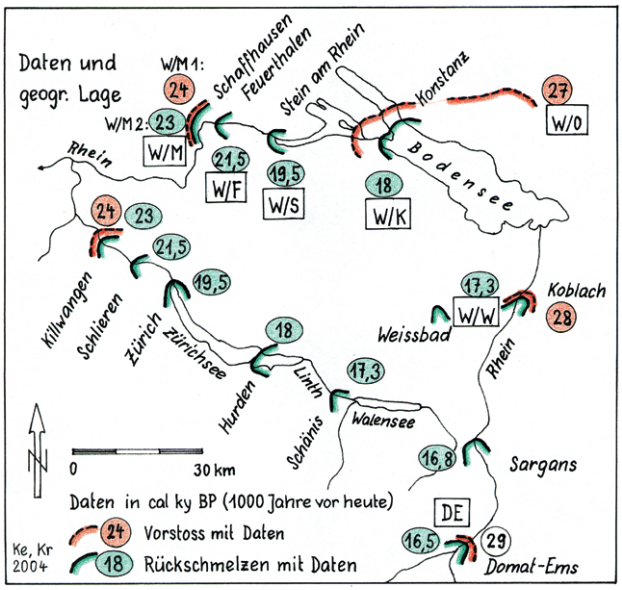


Abb. 6. Räumliche Positionen und zeitliche Ordnung der Eisrandkomplexe des hochglazialen Eisaufbaus und des Rückschmelzens.

Die hier und im gesamten Beitrag verwendeten Altersangaben jünger als 30 000 Jahre vor heute entsprechen aus ^{14}C-Daten umgerechneten (kalibrierten) Kalenderjahren.

3 LANDSCHAFTSFORMUNG AN AUSGEWÄHLTEN BEISPIELEN

Sicherlich ist die Landschaft des Bodensee-Vorlandes und des alpinen Rheingebietes nicht erst in der letzten Eiszeit herausgeformt worden. Wesentliche Strukturen und vor allem die Grossformen sind auf den gesamten Zeitraum seit dem ausgehenden Tertiär, das heisst auf die vergangenen 5 Mio. Jahre verteilt, schrittweise entstanden und gestaltet worden. Die glazialen Formungsprozesse der letzten Eiszeit haben dies alles weiter überarbeitet und vielfach sehr deutliche Akzente gesetzt. Und schliesslich wurde auch in der Nacheiszeit ergänzende Arbeit geleistet.

Die meisten markanten Formen und Ablagerungen sind mit den Eisrandkomplexen des Hoch- und Spätglazials zu verknüpfen. Es werden deshalb im Folgenden, ausgehend vom Würm-Maximum, einzelne besonders wichtige Bildungen im Zusammenhang mit den Etappen des zurückschmelzenden Rheingletschers vorgestellt und erklärt.

3.1 Würm-Maximum: Rafzerfeld und Rheindurchbruch

Während der maximalen Ausdehnung hat der Rheingletscher zwischen Schaffhausen und Rüdlingen den Rheinlauf noch überschritten und sich westwärts an den Südranden sowie an die Kuppen von Buchberg und Irchel angelehnt (Abb. 1 und 7). Nebst den Pforten zum Klettgau und ins Wangental fanden die Schmelzwässer auf breiter Front den Weg über das Rafzerfeld nach Kaiserstuhl und rheinabwärts. Das stark

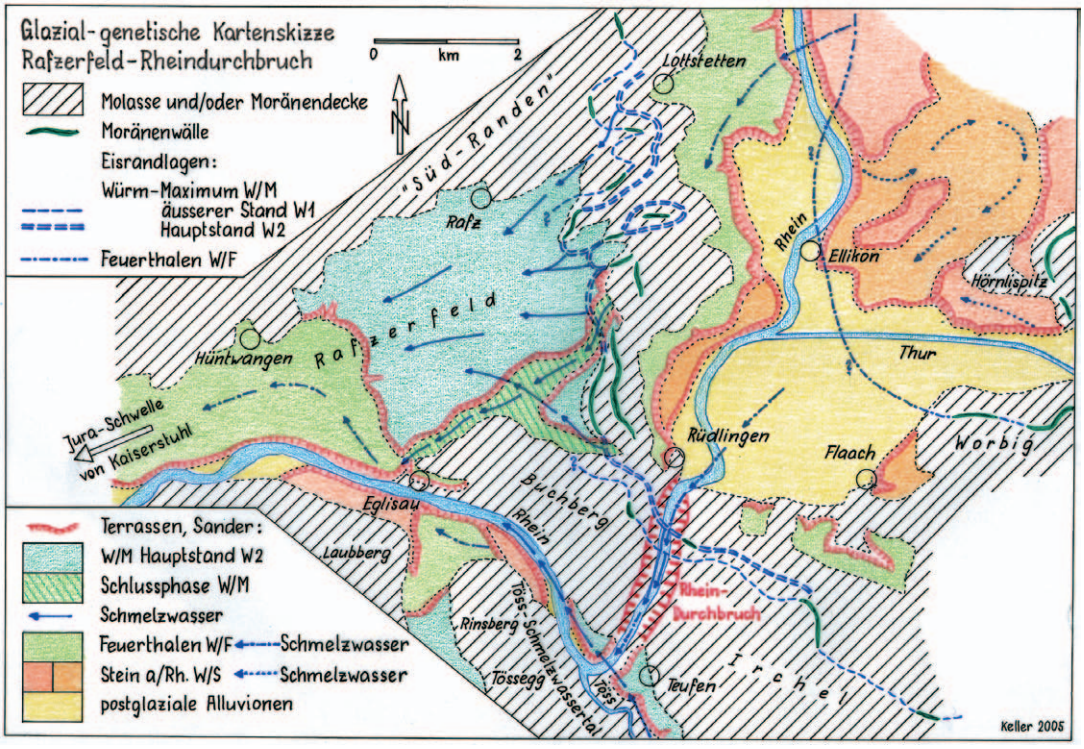


Abb. 7. Die mächtige Aufschotterung des Rafzerfeld-Sanders vor der Front des Rheingletschers im Würm-Maximum wurde durch die resistente Jurakalk-Schwelle von Kaiserstuhl veranlasst. Ein seitlicher Schmelzwasser-Überlauf ins weniger verfüllte Ur-Tösstal ist die Ursache für den Durchbruch des Rheins und das auffällige «Rheinknie». Das Rheintal zwischen Rüdlingen und Eglisau ist damit eine «Neuschöpfung» der letzten Eiszeit.

übertiefte Becken von Rafz, das ins unterste Thurtal zurückreicht, wurde dabei mit einer ausgedehnten Schotterflur eingedeckt.

Anlass für diese mächtige Aufschotterung war die resistente Jurakalk-Schwelle von Kaiserstuhl, auf die der Sander ausgerichtet ist. Der heutige Rheinlauf von Rüdlingen zur Tössmündung und nach Eglisau existierte damals noch nicht. Indessen deuten kleine Moränenwälle im Raum Buchberg beidseits hoch über dem Rhein darauf hin, dass im Würm-Maximum etwas Schmelzwasser zur Töss überfloss. Dieser Weg, bedingt durch die hoch reichende Aufschüttung im Rafzerfeld und angeregt durch die etwas tiefere Lage der Töss, die damals den Südwestrand des Rheingletschers entwässerte, wurde beim Rückschmelzen des Gletschers auf die Feuerthalen-Eisrandlage sukzessive vom Schmelzwasser verstärkt benutzt. Als er dann endgültig tiefer lag als derjenige über das Rafzerfeld, wurde er zum ausschliesslichen Abflussweg des Rheins. Das Durchbruchstal Rüdlingen–Tössegg und damit auch das auffällige Rheinknie sind also erst nach dem Würm-Maximum als Flusstal völlig neu geschaffen worden, während der Rhein seinen alten Weg via Rafzerfeld aufgeben musste.

3.2 Stein am Rhein-Stadial: Geburt des Bodensees und des Rheinfalls

Wie alle Alpenrandseen konnte auch der heutige Bodensee erst nach dem Abschmelzen der Vorlandgletscher neu entstehen. Er ist also geologisch gesehen ein junges Gebilde. Da ihn die Wallmoränenkränze des Stein am Rhein-Stadials umgürten (Abb. 8), muss er jünger sein als dieses. Schon seit langem ist bekannt, dass

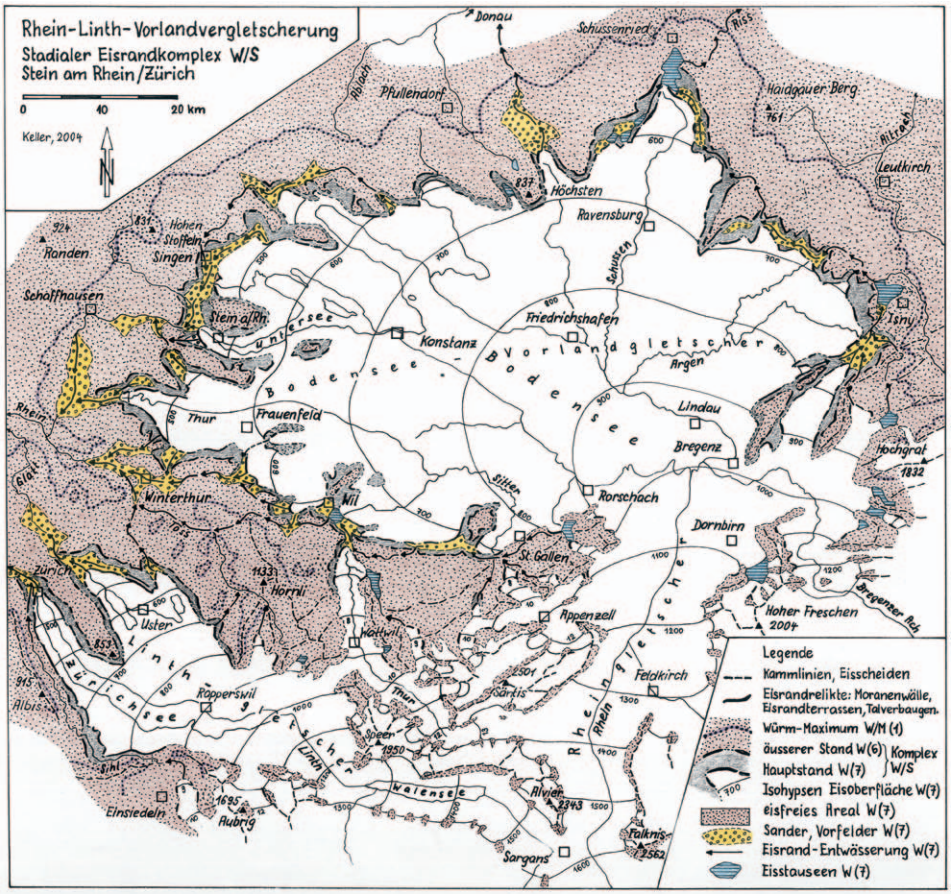


Abb. 8. Der Eisrandkomplex Stein am Rhein setzt sich aus mehreren Ständen zusammen. Das grau unterlegte Band zeigt die räumliche Differenz zwischen dem äusseren und dem Hauptstand.

sein Seespiegel nicht immer auf 396 m ü. M. lag, denn es sind eine Reihe von Seeufer-Terrassen vorhanden. Besonders auffällig und von Stein am Rhein bis ins Rheintal verfolgbar ist das Niveau auf 410 m ü. M. Dieser gegenüber heute um 14 m erhöhte Seestand (Abb. 9) bedeutet, dass die Abflussschwelle um eben diesen Betrag höher gelegen haben muss. Bei Etzwilen, dem Hauptstand des Stein am Rhein-Stadials, wird der Stirnmoränenbogen schluchtartig vom Rhein durchsägt. Die Schotterfluren von Süden (Etzwilen) und Norden (Singen) her weisen auf ein ursprüngliches Niveau um 410–415 m hin. Daraus folgt, dass der Rhein als Schmelzwasserstrom der Etzwilen-Eisrandlage auf dieser Höhe Richtung Schaffhausen abfloss. Als daraufhin die Eisfront sich auf einen wenig interneren Eisrand gegen Stein am Rhein zurückzog, wurde die davor liegende Mulde bei Hemishofen eisfrei, füllte sich mit Schmelzwasser und floss auf dem Niveau des vorherigen Gletschertors ab. Dieser winzige Vorfeldsee mit Spiegelhöhe 410 m ü. M. war der Anfang des Bodensees – Geburtsstunde des neuen Bodensees vor rund 19 500 Jahren. Während des weiteren Abschmelzens des Rheingletschers vergrösserte sich der See in dem Masse, als er unablässig der Eisfront nachfolgte.

Mehrere 100 000 Jahre lang verliess der Rhein in den Zwischeneiszeiten das Bodenseebecken über den Hegau nach Südwesten Richtung Schaffhausen. Während der letzten Eiszeit aber legte er ein neues Tal an: Er «entschloss» sich über Stein am Rhein direkt nach Schaffhausen zu fliessen. Was veranlasste ihn zu dieser Laufverlegung? Ohne ersichtlichen Grund pflegen Gletscher oftmals an einem Ort zu erodieren, an einem andern aber zu akkumulieren. Nach diesem Prinzip häufte der Rhein-Vorlandgletscher in den Maximalphasen der jüngsten Eiszeit zwischen Singen und Schaffhausen bedeutende Moränenmassen an und verbaute damit das angestammte Hegau-Rheintal. Umgekehrt schürfte er den Steiner Arm des Untersees kräftig aus und hinterliess zwischen Stein am

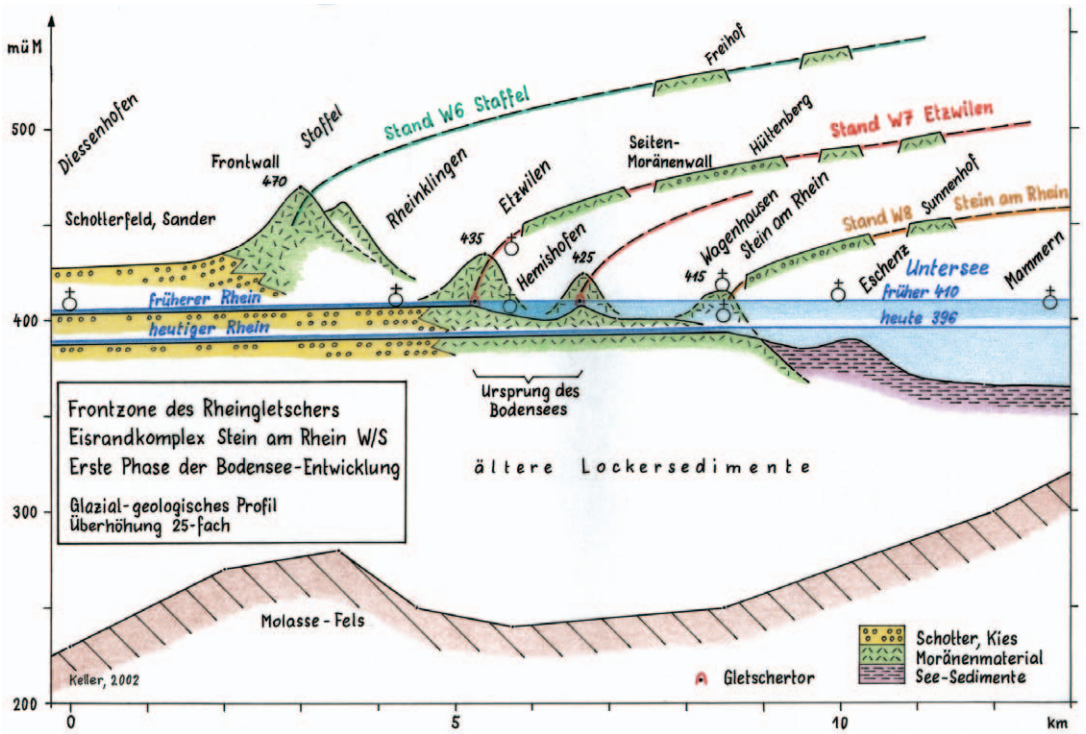


Abb. 9. Im Gebiet Untersee – Diessenhofen sind die drei Stände des Stein am Rhein-Eisrandkomplexes sehr deutlich entwickelt. Eine Mulde zwischen zwei Wällen des Hauptstandes Etzwilen füllte sich beim Zurückweichen der Eisfront mit Schmelzwasser, was den Anfang der Entwicklung des heutigen Bodensees bedeutet.

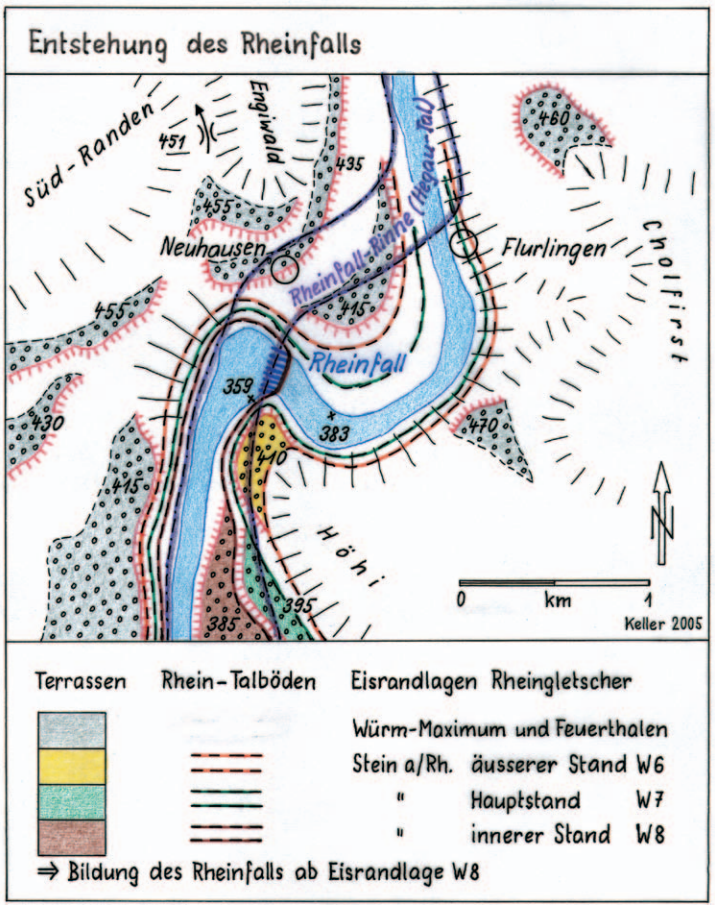


Abb. 10. Die Schotterterrassen im Raum Schaffhausen-Rheinfall lassen sich mit den würmeiszeitlichen Ständen des Rheingletschers verknüpfen. Im inneren Stand von Stein am Rhein erreichte die Eintiefung des Rheins die resistenten Jurakalke, über die der Fluss seither ins weiter ausgeräumte alte Rheintal hinunter stürzt.

Rhein und Schaffhausen weniger mächtige Aufschüttungen. So lag nach dem Zurückschmelzen des Gletschers in das Unterseebecken der Weg nach Schaffhausen via Stein am Rhein niedriger als derjenige über den Hegau. Bekanntlich benutzt fliessendes Wasser stets den tiefsten Lauf, so auch der Rhein als Hauptabfluss des vor dem Gletscher sich ausweitenden Bodensees.

Zurück nach Schaffhausen (Abb. 10). Hier war das während älteren Eiszeiten und Interglazialen tief in die harten Randenkalke eingeschnittene Hegau-Rheintal mit würmeiszeitlichen Sedimenten verfüllt. Nun traf der neue Steiner Rhein auf den Kalken daherfliessend hier zufällig auf sein altes verfülltes Tal, dem er nach Süden umschwenkend folgte. Die unverfestigte Füllung vermochte er rasch auszuräumen, während er sein Bett auf den resistenten Kalkplatten kaum eintiefen konnte. Diese Situation trat aufgrund der Verknüpfungen von Flussterrassen nach dem Hauptstand Etzwilen des Stein am Rhein-Stadials ein. Resultat: Ab diesem Zeitpunkt vor rund 19 000 Jahren begann der Rhein über die widerstandsfähigen Kalkschichten in das ausgewaschene alte Tal hinunter zu stürzen – Geburtsstunde des Rheinfalls.

3.3 Konstanz-Stadial: Zeit der Eisstauseen

Vor 18 000 Jahren legte der abschmelzende Vorlandgletscher eine «Verschnaufpause» ein, in der infolge einer Klimaverschlechterung der Abtauprozess stagnierte und sich damit die Eisfront des Rheingletschers für vielleicht ein Jahrhundert stabilisierte. Dies liess einen Eisrandkomplex entstehen, der sich im Gelände durch breite Eisrandwälle und -terrassen sowie durch markante Schmelzwassertäler manifestiert. Das Gletscherende entlang der Rheinachse kam dabei gerade in den Raum Konstanz zu liegen (Abb. 11). Ausgewiesen wird dies hier durch Moränenwälle beim Konstanzer Münster und beim Kloster Kreuzlingen, durch ein Delta beim Bahnhof Kreuzlingen und durch das Flusstal vom Überlingersee her.

Der Bodensee-Obersee existierte noch nicht, denn das gesamte innere Bodenseebecken war weiterhin durch den Vorlandgletscher ausgefüllt. Dieser verbaute die zum See gerichteten Täler, die Flüsse wurden hochgestaut und mussten um



Abb. 11. Vor rund 18 000 Jahren stagnierte der zurückschmelzende Rheingletscher im Raum Konstanz. Während der Bodensee noch vom Eispanzer erfüllt war, kam es rundum zur Bildung von Eisstau- und Vorfeldseen.

die Eismassen herum den Abfluss finden. Besonders spektakulär ist der durch den Gletscher erzwungene Ausweichweg der Bregenzer Ach. Östlich Bregenz verstopfte nämlich eine Eiszunge den Ausgang ihres Tals, weshalb ein grosser mehrfingriger Eisstausee im Bregenzerwald entstand, der nordwärts zur Argen entwässerte. Diese wurde ihrerseits von Wangen aus ins Schussental umgelenkt, wo bei Ravensburg ein weiterer ausgedehnter See aufgestaut wurde. Wieder musste der Abfluss dem Eisrand entlang nach Westen gebahnt werden, wo zuerst der Linzgausee und dann noch der Überlingersee gestaut wurden. Schliesslich fand der wegen der Eisbarriere auf 412 m spiegelnde Überlingersee den Abflussweg nördlich an Konstanz vorbei in den Untersee. Weitere grössere Seen erfüllten das Thurgauer Thurtal und das Tal von Bischofszell. Die Eisrandlage Konstanz macht auch klar, warum der Bodensee heute in den Unter- und den Obersee aufgeteilt ist.

Die nachfolgende, offenbar markante Klimaverbesserung liess den Vorlandgletscher beschleunigt abschmelzen, die Eisfront zog sich weit ins mittlere Rheintal zurück. Jetzt konnten die Eisstauseen auslaufen. Nur der tiefe Überlingersee, der Untersee als letzter der Reihe und für längere Zeit auch der Thursee blieben erhalten.

3.4 Weissbad-Koblach-Stadial: Seen und Aufschüttung im Rheintal

Das rasche und weite Zurückweichen des Eises aus dem Vorland ins Alpenrheintal wird mit dem Übergang vom Hoch- zum Spätglazial in Verbindung gebracht (Abb. 5). Um 17 300 vor heute stirnte der Rheingletscher im Raum Koblach-Oberriet im mittleren Rheintal, indem er eine weitere Stagnationsphase von wenigen Jahrhunderten einschaltete. Diese kann mit einer markanten Vorstossperiode der Lokalgletscher in den Randalpen korreliert werden, dem Weissbad-Koblach-Stadial. Nächste kurze Abschmelzhalte sind bei Feldkirch und Sargans (Abb. 12) auszumachen, worauf der Rheingletscher um etwa 16 000 vor heute endgültig ins Vorder- beziehungsweise Hinterrheintal zurückwich.

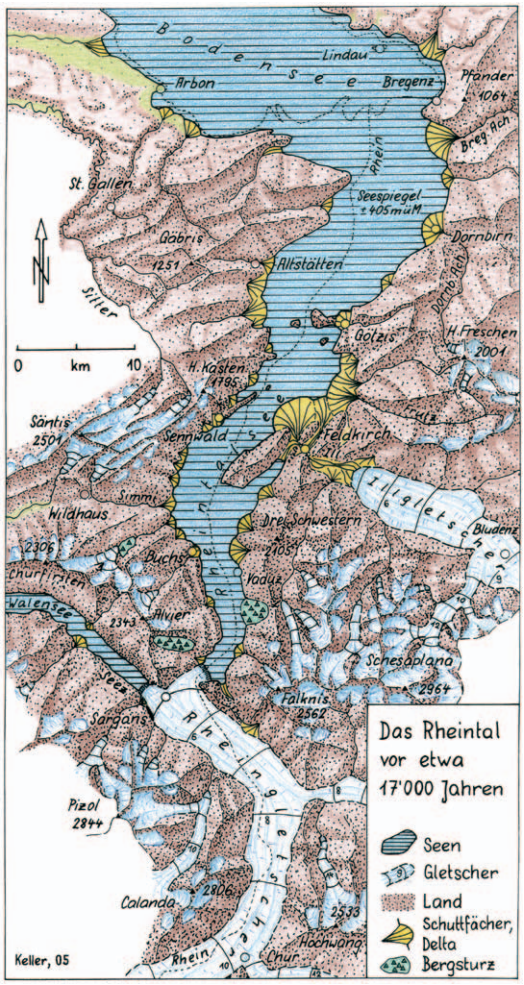


Abb. 12. Bis knapp 17 000 Jahre vor heute war der Rheingletscher rasch aus dem Bodenseebecken bis in die Gegend von Sargans zurückgewichen. In stetem Kontakt folgte ihm der Bodensee ins Rheintal. Bei Feldkirch zeichnet sich bereits die Abtrennung des Rheintalsees durch das schnell vorrückende, mächtige II-Delta ab.

Der abtauenden Eisfront folgte der sich dauernd vergrössernde Bodensee. Er dürfte vor mehr als 16 500 Jahren kurzfristig bis hinter Chur gereicht haben, womit seine Fläche gegenüber heute auf mehr als das Doppelte angewachsen wäre. Kernbohrungen im Raum Sargans lassen sogar vermuten, dass dieses fjordartige Gewässer damals über den Walensee mit dem Zürichsee zusammenhing. In diesem Fall wäre dies der grösste je existierende Alpenrandsee gewesen.

So oder so war die Lebensdauer des riesigen Sees sehr kurz. Gleichzeitig mit dem Rheingletscher schmolz im Walgau auch der Illgletscher beschleunigt ins Montafon zurück, wobei ein vermutlich kurzlebiger Walgausee von der Ill rasch verfüllt worden ist. Anschliessend begannen die mit Geschiebe beladenen Schmelzwasserflüsse Ill und Frutz (aus dem Laternsertal) Schuttfächer in den Rheintal-Bodensee vorzutreiben (Abb. 12). Aus Daten im Illfächer bei Feldkirch und aus dem Ausbleiben von Eisberg-transportiertem Gletscherschutt im Bodensee lässt sich erschliessen, dass bereits um etwa 16 500 vor heute diese Delta-Schüttung die Gegenseite des Rheintals beim Hirschensprung-Oberriet erreicht hatte und damit einen Rheintalsee vom Bodensee abtrennte.

Ein wichtiges Argument für die sehr frühe Zweiteilung ergibt sich aus der Tatsache, dass die abschmelzenden Eisströme gewaltige Schuttmassen hinterliessen und zudem noch kaum eine schützende Pflanzendecke den massenhaften Abtransport durch Wildbäche und Flüsse verhinderte. Erst ab dem Bölling-Interstadial vor rund 15 000 Jahren setzte denn auch zögernd die nacheiszeitliche Wiederbewaldung im rheinischen Alpenraum ein, welche die Schuttverfrachtung stark drosselte.

Analog zur Trennung von Thuner- und Brienzersee hatte die Zweiteilung des Bodensees einen Hochstau des Rheintalsees zur Folge. Aus zahlreichen Bohrungen, in denen die Grenze zwischen Deltaschichten und überlagerndem Flussschotter erkennbar ist, muss der Spiegel des Rheintalsees auf etwa 420 m ü. M. gelegen haben, während der Bodensee mittlerweilen auf rund 400 m abgesunken war. Da dasselbe Niveau auch im Seeztal gefunden wurde, ist anzunehmen, dass der Rheintalsee noch über Sargans mit dem Walensee zusammenhing, der seinerseits durch den Linthfächer vom Zürichsee getrennt worden war.

Im Churer Rheintal ist die Grenze zwischen Deltaschichten und Flussschottern in 440 m ü. M. erbohrt worden. Daraus ist zu schliessen, dass die Landquart vor schätzungsweise 16 000 Jahren das wiederholt hat, was wenig früher die Ill zustande gebracht hatte, nämlich das Abtrennen eines Churer Sees vom Rheintalsee. So existierten also im Rheintalraum um 16 000 gleichzeitig vier Seen: Bodensee, Rheintalsee, Churer See und Walensee.

Durch den Schutteintrag von Rhein, Plessur und Landquart wurde der Churer See zuerst und rasch verfüllt. In der nächsten Periode wurde der südliche Rheintalsee zugeschüttet, der am klimatischen Ende der Eiszeit vor 12 000 Jahren gemäss datengestützter Berechnung gerade noch bis Buchs zurückreichte (Abb. 13) und um 8000

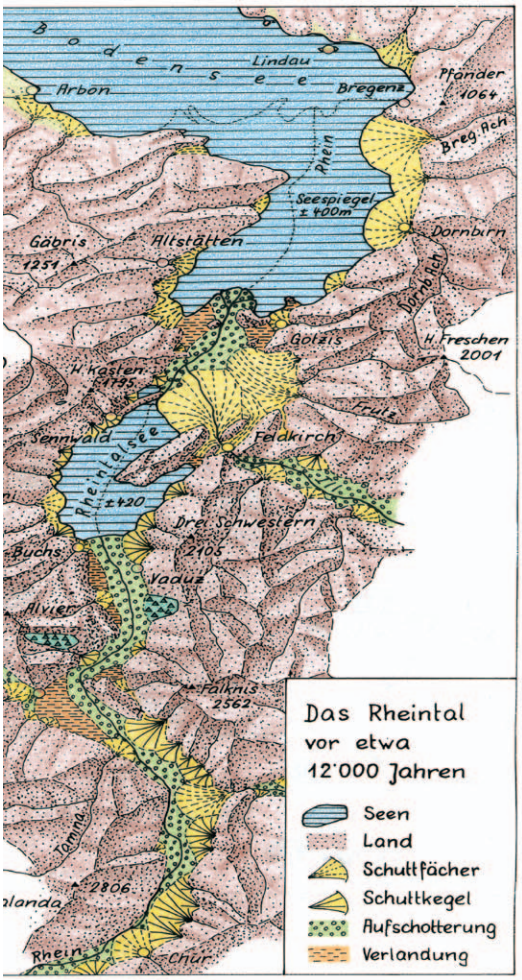


Abb. 13. Der Rhein und seine Nebenflüsse waren gegen Ende der Eiszeit mit dem Schutt der abschmelzenden Gletscher stark belastet. Die Verfüllung des Rheintalsees muss deshalb rasch voran geschritten sein, so dass dieser bereits um 8000 Jahre vor heute endgültig verschwunden war.

vor heute endgültig verschwand. Nur der Walensee überlebte dank grosser Tiefe und dem relativ geringen Schutteintrag der Seez bis heute.

Im unteren Rheintal waren vorerst vor allem Ill und Bregenzer Ach an der Verfüllung des obersten Bodensees aktiv (Abb. 13), bis ab 8000 vor heute der Rhein dazu kam, so dass das Zuschütten zügiger voranschritt. Vor etwa 4000 Jahren (2000 Jahre vor Chr.) hatte sich denn auch das Rheindelta bis Lustenau vorgeschoben.

3.5 Zur Vergletscherung in Graubünden

3.5.1 Staubildungen im Schanfigg

In den Nebentälern der Rhein-Haupttäler finden sich verbreitet mächtige Talverfüllungen, die nur als Stausedimente infolge vergletscherter Haupttäler erklärt werden können. Sie treten in den unteren Seitentälern der Ill im Walgau, in denjenigen der Landquart im Prättigau und des Rheins im Schanfigg in besonders mächtiger Ausbildung auf (Abb. 14). Sie kommen auch im Vorderrheingebiet, im Schams (Hinterrhein) oder im Albulatal oberhalb Tiefencastel vor. Ihre Bedeutung soll am Beispiel «Schanfigg» erläutert werden.

Grundsätzlich unterscheidbar sind zwei Sedimenttypen: einerseits kompaktierte und verkittete Ablagerungen mit meist überdeckender Grundmoräne, anderseits unkonsolidierte Sedimente, die auf bestimmte Höhenlagen einspielen und keine Moränen im Hangenden aufweisen.

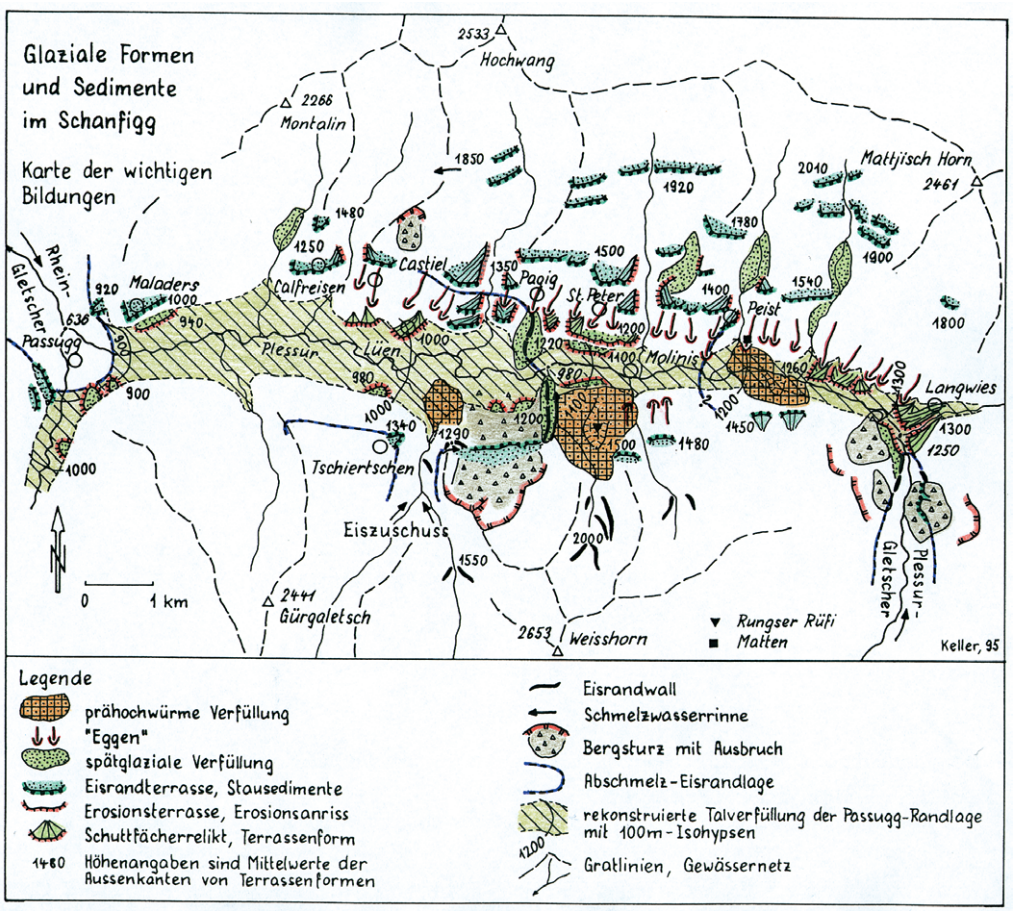


Abb. 14. Wie in den meisten grösseren Nebentälern im alpinen Rheingebiet finden sich auch im Schanfigg zahlreiche Relikte an Sedimenten, die infolge Eisstau abgelagert worden sind. Zu Staulagen kam es während dem Eisaufbau im Hochwürm aber auch während dem Abschmelzen des Rhein- und des Plessurgletschers. Die schlecht konsolidierten Ablagerungen machen durch Rutschungen und Murgänge öfters von sich reden.

Die erstgenannten Relikte werden als Stausedimente interpretiert, die während dem Aufbau der letzteiszeitlichen Vergletscherung in den anfangs noch eisfreien Nebentälern abgesetzt wurden als die Haupttalgletscher die Talausgänge verbarrikadierten. Die hangenden Moränendecken zeigen, dass diese Massen im Zuge des sich aufbauenden Eisstromnetzes im Hochwürm vom Hauptgletscher (Rhein-Seitenzunge) und/oder vom Nebentalgletscher überfahren worden sind. Wegen der spät- und nacheiszeitlichen Erosion durch Wildbäche und die Plessur blieben nur in geschützten Positionen Reste erhalten. Typisch sind hart verkittete Sedimente und Erdpyramiden in Erosionsanrissen sowie die häufigen Geländevorsprünge auf mittlerer Talhanghöhe, die so genannten Eggen.

Der zweite Typ weist auf Abschmelzetappen der Vergletscherung im Spätglazial hin, indem den Abhängen entlang Eisrandterrassen und Schuttfächerreste den zurückschmelzenden Plessurgletscher ausweisen. Schliesslich zeigen in tiefer Lage vorkommende Relikte, dass sich der lokale Plessurgletscher im mittleren Schanfigg von der eingedrungenen Rheingletscherzunge getrennt hat. Etwas später kam es, gestaut durch den Rheingletscher bei Passugg, zur Schuttverfüllung des Schanfiggs zurück bis Langwies, bis wohin sich nun der Plessurgletscher bereits zurückgezogen hatte.

Schliesslich zerschnitt die Plessur diese Verfüllungen, indem sie sich nach dem Niveau des sukzessiv abschmelzenden Rheingletschers bei Chur ausrichtete. Heute geben die Reste dieser Stausedimente beider Typen an den steilen unteren Abhängen des Schanfigg durch Rutschungen und Murgänge immer wieder Anlass zu Strassen- und Bahnunterbrüchen.

3.5.2 Flimser Bergsturz

Unzweifelhaft ist der Flimser Bergsturz das gewaltigste Sturzereignis im ganzen Alpenraum mit einer Ausbreitungsfläche von mehr als 50 km^2, einem Volumen um 10 km^3 und einer Fahrbahnlänge von 16 km (Abb. 15). Zu Tal geglitten ist dabei die gesamte Westhälfte des Flimsersteins, der einst die heutige Mulde Flims-Foppa-Alp Cassons als Berg erfüllt haben muss. Zwischen Flims-Digg und Versam-Valendas kamen die Sturzmassen zur Ablagerung, wo sie bis 500 m hohe mächtige Bergsturzkuppen mit eingeschalteten Mulden, z. B. Caumasee, anhäuften.

Mit dem Rheingletscher hängt der Bergsturz nach bisheriger Ansicht insofern zusammen, als sein Niedergang in der Späteiszeit, also um etwa 16 000 vor heute, stattgefunden hat. Als Ursache käme demnach vor allem eine Entlastung des Talhangs vom Eisdruck des Gletschers nach dessen Abschmelzen in Frage. Eine neuere Untersuchung lässt indessen Zweifel an dieser Annahme aufkommen, nachdem Alterdatierungen an Holzproben aus dem Stirnbereich der Sturzmasse sowie Pollenanalysen und ^{14}C-Daten aus dem Umfeld des Sturzes ein warmzeitliches Alter zwischen 9000 und 8000 Jahren vor heute ergaben. Da viele Forschungsbefunde nach wie vor auf ein spätglaziales Alter des Sturzes hinweisen, kann man auf den Fortgang der Untersuchungen gespannt sein.

Die Folgen des Bergsturzes lassen sich unabhängig von der Altersfrage verstehen. Die gewaltige Talverschüttung durch die Sturzmassen verbarrikadierte den Abfluss des Vorderrheins, so dass ein See von wohl 10 km Länge und rund 15 km^2 Fläche aufgestaut wurde, der Ilanzersee (Abb. 15). Zwei Niveaus, belegt durch Deltas südlich Laax in 825 m ü. M. und bei Sevgein am Ausgang des Lugnez in 785 m weisen darauf hin, dass der See längere Zeit Bestand hatte. In der Folge durchbrach der ausfliessende Vorderrhein ein erstes Mal die Sturzverbauung, was eine katastrophale Flutwelle auslöste und im Raum Bonaduz mächtige Flutsedimente zum Absatz brachte, die Bonaduzer Schotter. Die älteren Bergsturzhügel von Reichenau lenkten die Flut südwärts noch weit ins Domleschg hinein. Der Ilanzersee sank damit auf das tiefere Niveau ab. Weitere Tiefenerosion des Vorderrheins und Seeausbrüche schufen schliesslich die heutige imposante Schlucht und brachten den See zum Verschwinden. Die ganze weite Region um Flims zwischen Ilanz und Reichenau ist so zu einer aussergewöhnlichen, vom Bergsturz ge-

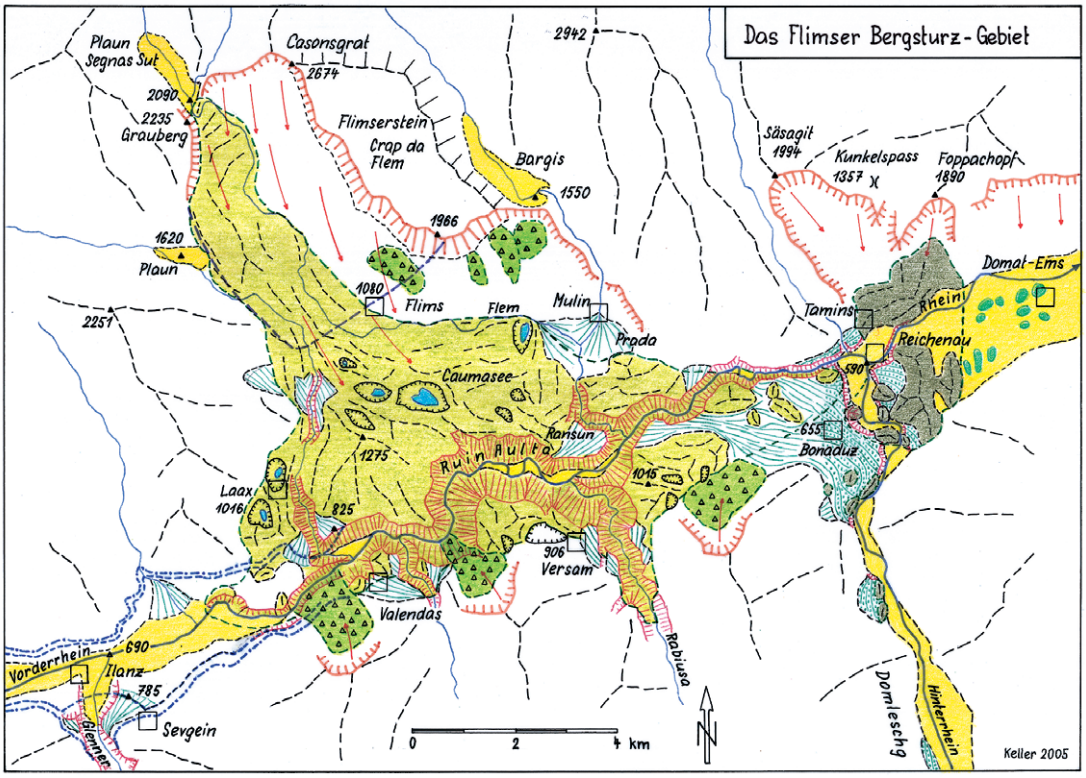


Abb. 15. Die Kartenskizze verdeutlicht die gewaltigen Ausmasse des Flimser Bergsturzes. Dargestellt sind die wichtigsten Reliefformen und Ablagerungen sowie das Umfeld des Sturzes. Der Taminser Bergsturz hat beim Ausbruch des Ilanzer Bergsturz-Stausees die Flutsedimente (Bonaduzer Schotter) gestoppt und teilweise ins Domleschg umgelenkt. In der Folge schuf sich der Vorderrhein die imposante Rheinschlucht. Generalisiert nach ABELE, 1970, 1996; HANTKE, 1982; NABHOLZ, 1987; POSCHINGER und HAAS, 1997 und eigenen Unterlagen.

prägten Landschaft geworden. Das Gebiet wurde denn auch ins «Inventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung» aufgenommen (vergleiche auch den Beitrag von ROULIER in diesem Werk).

3.5.3 Späteiszeitliche Gletschervorstösse

Mit dem Zurückweichen des Rheingletschers in die Bündner Alpentäler nach dem Weissbad-Koblach-Stadial (Kap. 3.4) schritt auch der Zerfall des Eisstromnetzes einher, das heisst die über Täler hinweg zusammenhängenden Eismassen schmolzen ab. Erst weit zurück in den Haupttälern zeugen wieder Eisfrontaufschüttungen von einem Wiedervorstoss der Gletscher, dem Gschnitz-Stadium (Abb. 16). Dieses wird im Vorderrheintal bei Disentis, am Hinterrhein bei Andeer und im Prättigau unterhalb Klos-

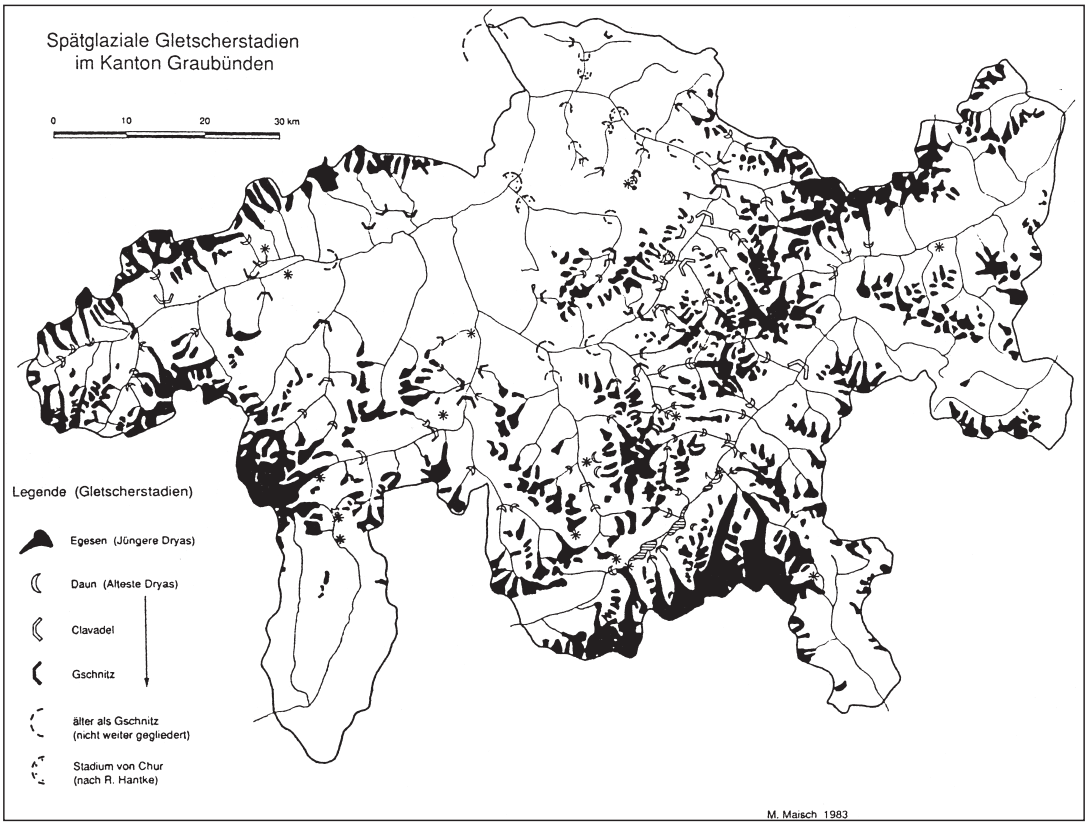


Abb. 16. Ausdehnung und Gliederung der späteiszeitlichen Gletscher in Graubünden. Das Egesen-Stadium ist der jüngste markante Gletscher-Vorstoss der letzten Eiszeit (aus FURRER, 1991).

ters angesetzt. Das daraufhin folgende weitere Abschmelzen wurde von mehreren Wiedervorstössen der Gletscher unterbrochen. Im Raum Davos konnte Clavadel definiert werden, während Daun und Egesen, festgelegt im Stubaital in Tirol, erst in den obersten Nebentälern zu finden sind. Dabei fällt die Egesenphase durch hohe, scharf geformte und blockreiche Moränenwälle im Gelände auf. Mustergültig ist dieser letzte späteiszeitliche Gletscherstand beidseits des Julierpasses entwickelt, indem die Gletscher bis an oder über die heutige Passstrasse vorstiessen.

Gerade hier konnte das Egesen-Stadium an Felsblöcken der Moränenwälle mittels der Bestimmung kosmogener Nuklide direkt und absolut datiert werden mit einem Alter von rund 12 000 Jahre vor heute. Es fällt damit in die letzte spätglaziale Kaltphase, die jüngere Dryas. Deutlich älter muss Daun sein, da innerhalb der Moränenwälle in einem Moor am Albulapass das Alleröd-Interstadial erkannt wurde und darum dieses Stadium früher anzusetzen ist mit schätzungsweise 15 000 vor heute. Gschnitz dürfte sich deshalb im Bereich 15 500–16 000 vor heute abgespielt haben (vergleiche Beitrag BURGA in diesem Buch).

In den Alpenrandgebirgen beidseits des Rheintals sind je nach Höhenlage der Täler ebenfalls spätglaziale Gletscherstände nachzuweisen, so im Rätikon, im Grossen Walsertal oder im Innern des Säntisgebirges.

3.6 Zum jüngeren Postglazial: Rheintal und Bodensee

Nachdem vor rund 4000 Jahren die Aufschüttung des Rheintals bis etwa Lustenau reichte (Kap. 3.4), wurde der Bodensee endgültig aus dem Rheintal «verbannt» und auf das Vorlandbecken beschränkt. Zunächst trieb der Rhein sein Delta nordwärts vor, wobei zur Römerzeit

aufgrund von Siedlungsnamen und Strassen das Ufer auf der Linie Rheineck (Ad Lacum) – Bregenz (Brigantium) lag. Bis ins 9. Jahrhundert wurde das Rohrspitz-Delta vorgebaut, worauf der Rhein seine Mündung nach Westen verlegte und das Delta Altenrhein-Rheinspitz vorschob. Parallel dazu vergrösserte auch die Bregenzer Ach ihr Delta (Abb. 17).

Es ist auf den ersten Blick merkwürdig, dass der Rhein ab der Diepoldsauer Schleife sein Flussbett ganz auf der Westseite des Rheintals entlang den Abhängen des Appenzeller Berglandes anlegte. Die Erklärung liegt bei den ins Rheintal mündenden Gewässern, indem von Westen her nur kleine Bäche mit geringem Schuttanfall den Talboden erreichen, während von Osten her beachtliche Flüsse mit grosser Materialfracht, die Dornbirner und die Bregenzer Ach, eintreten und ausgedehnte Schwemmfächer aufgebaut haben. Nach demselben Prinzip zwangen auch Ill und Frutz bei Oberriet den Rhein völlig auf die linke Seite des Rheintals.

Wie der Schotterstrang beidseits des Rheinlaufs von Ragaz bis zum Bodensee erkennen lässt, hat der Rhein seit der Zuschüttung des Rheintalsees sein Bett stets im Bereich dieses Geländestreifens angelegt (Abb. 18), allerdings noch ungehindert durch Dämme. Infolge Höher-

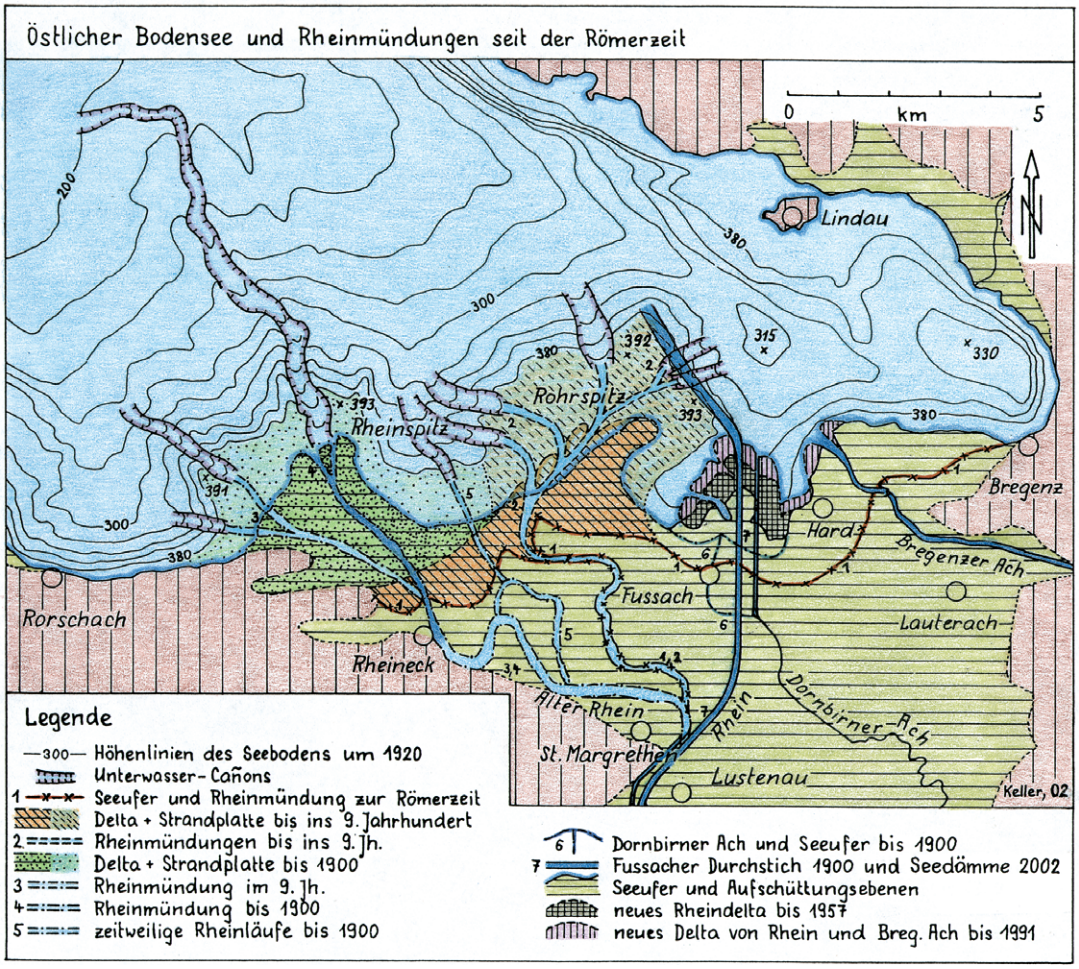


Abb. 17. Zur Römerzeit vor 2000 Jahren hatte die Zuschüttung des Bodensees bereits die Linie Rheineck–Bregenz erreicht. Bis ins 9. Jahrhundert baute der Rhein das Rohrspitz-Delta auf. Anschliessend schob er ein neues Delta beim Rheinspitz vor. Mit dem Durchstich von 1900 setzte die Verfüllung der Fussacher Bucht ein. Die in jüngster Zeit vorgebauten Dämme sollen die voranschreitende Verlandung verhindern.

legung der Flusssohle durch abgesetzte Schuttfracht wurden in den Weitungen des Rheintals untiefe Seen aufgestaut, und es entwickelten sich dort Moore und Sümpfe: Sarganser Au, Vaduzer Riet, Gamser Riet, Isenriet (Altstätten), Schweizer Riet (Lustenau). Nebst den grossen Schuttfächern der bedeutenderen Flüsse Plessur, Landquart, Tamina, Ill, Frutz, Dornbirner und Bregenzer Ach bauten die Wildbäche von den steilen Bergflanken herunter zahlreiche Schuttkegel auf.

Der Überschwemmungsgefahr durch den Rhein bewusst, folgte die menschliche Besiedelung des Rheintals den höheren Zonen mit trockenem Untergrund, insbesondere den Talrändern mit den Schuttkegeln und Schwemmfächern. Benutzt wurden auch Spornlagen oder Inselberge sowie in der Ebene draussen Schottersträngе (siehe auch Beitrag von KAISER in diesem Buch). Als jedoch Hochwasser und Überschwemmungen im 19. Jahrhundert wegen der Entwaldung im Gebirge und der voranschreitenden Höherlegung des Rheinlaufs durch verstärkten Schuttabsatz häufiger wurden und immer wieder «Rheinnöte» auslösten, wurde durch die Rheinkorrektion Abhilfe geschaffen. Speziellen Wert legte man auf Laufverkürzungen: Abschneiden der Diepoldsauer Schleife, Durchstich bei Fussach direkt in den Bodensee (vergleiche dazu auch Beitrag von VISCHER und KALT in diesem Werk).

Seit 1900 baut nun der Alpenrhein in der Fussacher Bucht ein neues Delta auf. Um die vollständige Verlandung dieser untiefen Bucht zu vermeiden, sind die Dämme in den See hinaus über die Strandplatte des Rohrspitzes vorgezogen worden (Abb. 17). Auf diese Weise gelangt die Materialfracht des Rheins direkt in das tiefe Hauptbecken des Bodensees, wo die Auffüllung ohne Einwirkungen auf die Uferzonen noch lange weiterschreiten kann. Wie lange? Wann wird der Bodensee-Obersee bis Konstanz verfüllt sein? Berechnungen dazu lassen einen Zeitraum von 60 000–70 000 Jahren annehmen, vorausgesetzt dass die geologischen und klimatischen Umweltbedingungen sich nicht drastisch ändern.

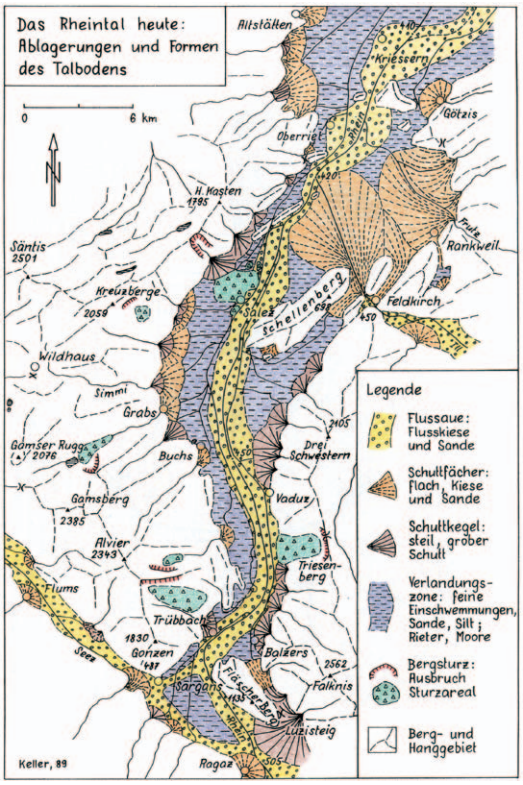


Abb. 18. Am Beispiel des mittleren Rheintals ist das Grundmuster der Rheintal-Füllung zu erkennen. In der Talmitte beidseits des Rheinlaufs findet sich ein Kiesband. An den Talrändern bauten sich Schuttkegel und Schuttfächer auf. Dazwischen herrschen Verlandungssedimente vor, auf denen sich oftmals untiefe Seen und Flachmoore entwickelten.

4 VERDANKUNG

Für die Mitarbeit bei der Erstellung des Konzeptes für diesen Artikel und für die sorgfältige Durchsicht und die Korrektur des Manuskripts danke ich Edgar Krayss ganz herzlich. Wie bei den zahlreichen gemeinsamen Publikationen hat er auch hier sein profundes Wissen aufbauend eingebracht.

5 LITERATUR

ABELE, G. 1970. Bergstürze und Flutablagerungen im Rheintal westlich Chur. Der Aufschluss 21 (11), Göttingen, 345–359.

ABELE, G. 1997. Rockslide movement supported by the mobilization of groundwater-saturated valley

floor sediments. Zeitschrift für Geomorphologie, 41 (1), 1–20.

Burga, C.A. 1981. Glazialmorphologische Untersuchungen im Hinterrhein-Tal und am Bernhardin-Pass. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 126 (4), 237–267.

Eberle, M. 1987. Zur Lockergesteinsfüllung des St. Galler und Liechtensteiner Rheintales. Eclogae geologicae Helvetiae 80 (1), Basel, 193–206.

Ellenberg, L. 1972. Zur Morphogenese der Rhein- und Tössregion im nordwestlichen Kanton Zürich. Dissertation Geographisches Institut Universität Zürich. Juris Druck, Zürich, 63 pp.

Furrer, G. 1991. 25 000 Jahre Gletschergeschichte. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 135 (5).

Graaff de, L.W.S. & Seijmonsbergen, A.C. 1993: Die eiszeitliche Prozessfolge und Aspekte der jungquartären Talbildung und Hangentwicklung im Walgau. Jahresberichte und Mitteilungen Oberrheinischer Geologischer Verein, 99–126.

Hantke, R. 1978–1983. Eiszeitalter, 3 Bände. Ott Verlag, Thun.

Hantke, R. 2004. Erläuterungen zum Atlasblatt 108 St. Margrethen und Diepoldsau. Geologischer Atlas der Schweiz, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.

Hantke, R. & Mitarbeiter 1967. Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. Kommissionsverlag Leemann, Zürich.

Hantke, R. & Wagner, G. 2003. Eiszeitliche Mittelmoränen im Thurgau. Mitteilungen Thurgauische Naturforschende Gesellschaft 59, Frauenfeld, 53–84.

Heim, Alb. 1919–1921. Geologie der Schweiz, 3 Bände. Tauchnitz, Leipzig.

Heim, Alb. 1932. Bergsturz und Menschenleben. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 218 pp.

Ivy Ochs, S.D. 1996. The dating of rock surfaces using in situ produced ^{14}Be, ^{26}Al and ^{36}Cl, with examples from Antarctica and Swiss Alps. Dissertation No. 11763 ETH Zürich.

Jäckli, H. 1970. Die Schweiz zur letzten Eiszeit. Atlas der Schweiz, Blatt 6.

Jordi, U. 1986. Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch. Geographica Bernensia 27, Bern, 168 pp.

Kahlke, H.D. 1981. Das Eiszeitalter. Aulis Verlag, Leipzig, Jena, Berlin, 192 pp.

Keller, O. 1988. Ältere spätwürmzeitliche Gletschervorstösse und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlichen Rhein-Alpen (Weissbad-Stadium/Bühl-Stadium). Physische Geographie 27A und 27B, Zürich, 241 pp. und 291 pp.

Keller, O. 1990. Die geologische Entwicklung des Alpenrheintals. Werdenberger Jahrbuch, Buchs SG, 12–19.

Keller, O. 1994. Entstehung und Entwicklung des Bodensees – ein geologischer Lebenslauf. In: «Umweltwandel am Bodensee», H. Maurer. UVK, St. Gallen, 33–92.

Keller, O. 1996. Stausedimente am Rande des Rheingletscher-Eisstromnetzes im Schanfigg (Graubünden). Eclogae geologicae Helvetiae 89/3, 1105–1113.

Keller, O. 2003. Die geologische Geschichte des Bodensees. Festschrift Bodensee – 75 Jahre YCRo, Ecomment AG, St. Gallen, 58–80.

Keller, O. & Krayss, E. 1980. Die letzte Vorlandvereisung in der Nordostschweiz und im Bodenseeraum (Stadialer Komplex Würm-Stein am Rhein). Eclogae geologicae Helvetiae 73 (3), Basel, 823–838.

Keller, O. & Krayss, E. 1987. Die hochwürmzeitlichen Rückzugsphasen des Rhein-Vorlandgletschers und der erste alpine Eisrandkomplex im Spätglazial. Geographica Helvetica 1987 (2), 169–178.

Keller, O. & Krayss, E. 1993. The Rhine-Linth-Glacier in the Upper Wurm: A model of the last alpine Glaciation. Quaternary International 18, INQUA/Pergamon Press Ltd., Oxford / New York, 15–27.

Keller, O. & Krayss, E. 1998. Datenlage und Modell einer Rhein-Linth-Vorlandvergletscherung zwischen Eem-Interglazial und Hochwürm. GeoArcheoRhein 2, Münster, 121–138.

Keller, O. & Krayss, E. 1999. Quartär und Landschaftsgeschichte. In: «Geologie des Kantons Thurgau», A. Schläfli. Mitteilungen Thurgauische Naturforschende Gesellschaft 55, Frauenfeld, 39–67.

KELLER, O. & KRAYSS, E. 2005. Der Rhein-Linth-Gletscher im letzten Hochglazial. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 150 (1–2), 19–32 und 150 (3–4), 69–85.

KIRCHEN, E. 1993. Wenn der Berg stürzt; das Bergsturzgebiet zwischen Chur und Ilanz. Terra Grischuna, Chur, 132 pp.

KOBLER, E. 1994. Die späteiszeitlichen Gletscherstände im Prättigau. Jahresberichte der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden 107, 45–128.

KRAYSS, E. 1996. Rückschmelzmarken des alpinen Eisstromnetzes im Spätglazial (Rheingletscher-System, Würm). Eclogae geologicae Helvetiae 89/3, 1105–1113.

KRAYSS, E. & KELLER, O. 1983. Die Bodensee-Vorlandvereisung während des Würm-Hochglazials. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und Umgebung 101, Friedrichshafen, 113–129.

KRAYSS, E. & KELLER, O. 1996. Hydrographie des Bodenseeraums während der letzten Vorlandvereisung. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und Umgebung 114, Friedrichshafen, 111–143.

MAISCH, M. 1981. Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kanton Graubünden, Schweiz). Physische Geographie 3, Zürich, 215 pp.

MÜLLER, B.U. 1995. Das Walensee-/Seeztal – eine Typusregion alpiner Talgenese. Dissertation Geologisches Institut Universität Bern, 226 pp.

NABHOLZ, W. 1987. Der späteiszeitliche Untergrund von Flims. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern 29, 273–289.

PENCK, A. & BRÜCKNER, E. 1909. Die Alpen im Eiszeitalter, 3 Bände. Tauchnitz, Leipzig.

POSCHINGER, A. v. & HAAS, U. 1997. Der Flimser Bergsturz, doch ein warmzeitliches Ereignis? Bulletin für angewandte Geologie, 2 (1), 35–46.

POSCHINGER, A. v., WASSMER, P. & MAISCH, M. 2005. The Flims rock slide; history of interpretation and new insights. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, im Druck.

PREUSSER, F. 1999. Luminiszenzdatierung fluviatiler Sedimente, Fallbeispiele aus der Schweiz und Norddeutschland. Kölner Forum für Geologie und Paläontologie 3, Köln, 1–62.

RÖMER, J.C. 1769. Der Rheinlauff durch das gantze Rheintal samt den Wuhrungen, Dämmen und einer genauen Lage der Oerter gegen einander. Historische Karte. In: «Der Grundwasserstrom des Alpenrheins», Rheinverband, Wasser, Energie, Luft 5, 122–123.

SCHINDLER, C. 1985. Geologisch-geotechnische Verhältnisse in Schaffhausen und Umgebung (Erläuterungen zu den Baugrundkarten). Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleine Mitteilungen 74, Schweizerische Geologische Kommission, 119 pp.

SCHMID, E. 1977. Zum Besuch der Wildkirchli-Höhlen. Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte, Mitteilungsblatt 29, 2–12.

WASSMER, P., SCHNEIDER, J.L., POLLET, N. & SCHMITTER-VOIRIN, C. 2004. Effects of the internal structure of a rock-avalanche dam on the drainage mechanism of its impoundment, Flims sturzstrom and Ilanz paleo-lake, Swiss Alps. Geomorphology, Elsevier.

WEBER, E. 1978. Untersuchungen in den Talabschnitten. In: «Der Grundwasserstrom des Alpenrheins», Rheinverband. Wasser-Energie-Luft 5, 123–142.

WELTEN, M. 1988. Neue pollenanalytische Ergebnisse über das Jüngere Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz (Mittel- und Jungpleistozän). Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, NF 162, 40 pp.

PD Dr. phil. Oskar Keller, Sonderstrasse 22, CH-9034 Eggersriet
E-Mail: Oskar.Keller@unisg.ch oder O.Keller@paus.ch

Bodenentwicklungen und Böden längs des Rheins

Peter Lüscher (Birmensdorf)

1 BODENENTWICKLUNGEN LÄNGS FLIESSGEWÄSSERN

Boden längs Fliessgewässern stellt die oberflächennahen, belebten Schichten in Ablagerungen einer Schwemmlandschaft dar. Böden entstehen durch das Zusammenwirken der Bodenbildungsfaktoren Ausgangsgestein, Klima, Relief und Organismen, welche im Laufe der Zeit die Bodenentwicklung beeinflussen. Einen wichtigen Beitrag zur Bodenbildung längs Fliessgewässern liefert das Wasser. Je nach topographischer Lage bildet sich auf diese Weise die belebte Pedosphäre, die ein Teil der Biosphäre und speziell längs Gewässer der Hydrosphäre ist.

Böden entstehen durch die Umwandlung von mineralischen und organischen Stoffen durch zahllose Lebewesen. Sie sind offene poröse Systeme, bestehend aus Fest-, Flüssig- und Gasphasen, in welchen ein Stoff- und Energieaustausch mit der Lithosphäre, der Atmosphäre, der Hydrosphäre und der Biosphäre stattfindet.

Die Bodenbildung führt zu einer vertikalen Differenzierung des Bodens mit einer Abfolge von Bodenschichten – so genannten Horizonten – mit spezifischen Eigenschaften.

1.1 Bodenbildungsfaktoren

1.11 Ausgangsgestein

Das Ausgangsgestein besteht längs Bach- und Flussläufen meist aus alluvialen Sedimenten mit unterschiedlicher Korngrössenzusammensetzung, die je nach Fliessgeschwindigkeit und Transportkraft des Wassers abgelagert wurden. Die Körnung der Auensedimente wird je nach der Ablagerungsgeschichte oft von unten nach oben feiner.

Erosionsprozesse und Auflandungen an der Oberfläche bedeuten steten Neubeginn der Bodenbildung. Flussverlagerung führt dazu, dass am gleichen Ort Sedimentation von Ausräumung abgelöst wird.

Je vielfältiger das Ausgangsmaterial beschaffen ist, umso verschiedenartiger fällt die Bodenbildung und damit das Erscheinungsbild sowie die Eigenschaften eines Bodens aus.

1.12 Klima und Einfluss des Wasserstandes

Klimatische Einflussgrössen auf die Bodenbildung sind vor allem die Bodentemperatur und die Bodenfeuchtigkeit. Speziell beeinflusst die Lage des Wasserspiegels den Luft- und Wasserhaushalt von Böden längs Fliessgewässern. In ständig wassergesättigten Zonen erfolgt die Bodenbildung unter Luftausschluss. Wechselfeuchte Verhältnisse prägen das Erscheinungsbild eines Bodens im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels.

1.13 Relief

Die Geländeform als Ausdruck von Exposition und Neigung in einer Flusslandschaft entspricht meist der Talsohle und damit grundsätzlich einer Anreicherungszone. Abfliessendes Oberflächenwasser kann allerdings Bodenerosion verursachen, und/oder Grundwasser führt gelöste Stoffe zu.

1.14 Organismen

Je nach Besiedlung einer Flusslandschaft mit Pflanzen ergeben sich mit dem Eintrag von organischen Rückständen auf die Bodenoberfläche für den Abbau und Umbau der Pflanzenreste durch Bodenorganismen im Oberboden unterschiedliche Voraussetzungen. Zu den wichtigsten Lebensbedingungen tierischer Lebewesen gehören der Wärme-, Luft- und Wasserhaushalt sowie der Säurezustand eines Bodens.

Pflanzen reduzieren die Oberflächenerosion und beeinflussen die Bodenbildung massgebend, indem sie den Boden bedecken und mit ihrem Wurzelwerk den Oberboden zusammenhalten.

1.2 Bodenbildung im Einflussbereich von Grundwasser

Die Genese, Dynamik und Eigenschaften von Böden längs Fliessgewässern werden durch Grundwasser bestimmt. Der Einfluss äussert sich mit spezifischen Vernässungsmerkmalen in den einzelnen Bodenhorizonten. Dazu gehören auch gelegentliche oder periodische Überflutungen, soweit dies in der heutigen Zeit durch wasserbauliche Massnahmen nicht verhindert wird.

1.21 Profilaufbau und Dynamik

Nassböden weisen im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels häufig Rostflecken auf, ein Hinweis auf wechselfeuchte Verhältnisse mit periodisch auftretenden normalen Durchlüftungsverhältnissen. In grösseren Bodentiefen im Bereich mit ständiger Wassersättigung treten unter Sauerstoffmangel Reduktionsfarben auf. Die wechselfeuchten Verhältnisse über dem Grundwasserspiegel werden je nach Körnung durch aufsteigendes Kapillarwasser beeinflusst.

Dauer und Zeitpunkt von Hoch- und Tiefstand des Grundwasserspiegels, sein Schwankungsbereich, die Fliessgeschwindigkeit sowie die Gehalte an gelöstem Sauerstoff, organischen Verbindungen und Salzen beeinflussen Nassböden sowie ihre Eigenschaften vielseitig.

Reicht der Grundwassereinfluss bis in den humosen Oberboden, wird die Umsetzung von Vegetationsrückständen beeinträchtigt, und es entstehen Feucht- bzw. Nasshumusformen.

1.22 Böden im Umfeld von Fliessgewässern

Die Böden werden nach den Vorgaben in der Legende der Bodeneignungskarte umschrieben und klassiert (FAO, 1988).

Auenböden (Fluvisole) **1** (vgl. Tab. 1)
Junger Boden aus zum Teil vorverwittertem, geschichtetem Schwemmmaterial. Die Ablagerungsschichten sind noch nicht durch die Bodenentwicklung verwischt. Die Bodenbildung wird stark durch den schwankenden Grundwasserspiegel geprägt, mit jährlicher Überflutung. Erst beginnende biologische Aktivität im Oberboden.

1.1	nährstoffreich	neutraler Auenboden, biologisch aktiver Oberboden
1.2	karbonathaltig	karbonathaltiges Schwemmmaterial
1.3	humusreich	humusreicher Oberboden (biologische Aktivität gehemmt)
1.4	nährstoffarm	sauer, beginnende Anreicherung von organischem Material

Der typische Grundwasserhaushalt von Auenböden ist vielfach durch Flusskorrektion, Eindeichung und Grundwasserabsenkung gestört, so dass in vielen Böden der Auenbereiche heute eine terrestrische Dynamik vorherrscht.

Rohböden auf lockerem Mischgestein (Regosole) **2** (vgl. Tab. 1)
Böden mit beginnender chemischer Verwitterung, humusarm

2.1	nährstoffreich	neutraler Rohboden
2.2	karbonathaltig	zwischen 20–50 cm Tiefe
2.3	nährstoffarm	sauer, pH < 5,5, gehemmte biologische Aktivität möglich

Braunerden (Verwitterungsböden) **3**
(vgl. Tab. 1)
Chemisch verwitterter Boden mit einem braunen Horizont, der durch Mineralneubildung gekennzeichnet ist.

3.1	nährstoffreich	neutraler Boden
3.2	karbonathaltig	zwischen 20–50 cm Tiefe
3.3	vernässt	Vernässungsmerkmale (Rostflecken, Fahl-Rotfärbungen) in den obersten 50 cm Tiefe
3.4	humusreich	humusreicher Oberboden (biologische Aktivität gehemmt)

Parabraunerden (Luvisole) **4** (vgl. Tab. 1)
Chemisch verwitterter Boden mit Tonverlagerung aus dem Ober- in den Unterboden.

4.1	braunerdeartig	mit Tonverlagerung
4.2	vernässt	Vernässungsmerkmale

Tab. 1. Kartierungseinheiten der Bodeneignungskarte der Schweiz (1 : 200 000) längs dem Rheinlauf mit den entsprechenden Böden.

Vorderrhein bis Reichenau		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Alpine kristalline Berglandschaft	**Mulden**	**2.1, 1.4, 5.4**
Enge Alpentäler	Schwemmfächer Schuttkegel **Kiesige Alluvionen** Feinkörnige Alluvionen	3.1, 2.1 2.1, 2.4 **2.1, 2.3, 1.1, 1.2, 1.4** 1.1, 2.1
Hinterrhein bis Reichenau		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Enge Alpentäler	**Kiesige Alluvionen** **Feinkörnige Alluvionen**	**2.1, 2.3, 1.1, 1.2, 1.4** **1.1, 2.1**
Reichenau bis Chur		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Enge Alpentäler	Feinkörnige Alluvionen Schuttkegel	1.1, 2.1 2.1, 2.4
Weite Alpentäler	Feinkörnige Alluvionen **Kiesige Alluvionen**	3.2, 3.3, 1.1, 5.1 **2.1, 2.2, 1.1, 3.2**
Chur bis zum Bodensee		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Weite Alpentäler *(vgl. Profil Rhein Au Kapitel 2.31)*	Schuttkegel Schwemmfächer **Feinkörnige Alluvionen** **vernässte Alluvionen, Moore**	2.1, 2.2 3.1, 3.2, 2.2 **3.2, 3.3, 1.1, 5.1, Rhein Au** **5.1, 5.3, 6, 1.1**
Bodensee bis Eglisau		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Ebenen des tieferen Mittellandes *(vgl. Profil Winzlerboden Kapitel 2.32)*	**Schotter** Rezente Alluvionen, tonig Rezente Alluvionen, sandig	**4.1, 3.1, Winzlerboden** 5.1, 5.3, 3.1, 3.3, 1.1 3.2, 3.3, 1.1, 1.2
Leicht gewelltes Moränehügelland	Fluvioglaziale Schotterebenen Feinkörnige Alluvionen	4.1, 4.2, 3.1, 3.2 3.1, 3.3, 5.1, 1.1
Lauf der Thur		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Sohlentäler des Mittellandes	Feinkörnige Alluvionen **Kiesige Alluvionen**	3.1, 3.3, 3.4, 5.1, 1.1, 6 **1.1, 1.2, 3.1, 3.2, 4.1**
Ebenen des tieferen Mittellandes	Schotter Rezente Alluvionen, sandig	4.1, 3.1 3.2, 3.3, 1.1, 1.2
Lauf der Töss		
Physiographische Einheit:	Kartierungseinheit:	Böden*
Höheres Molassehügelland mit starkem Erosionsrelief	Mulden, Akkumulationslagen	3.3, 5.1, 5.2
Sohlentäler des Mittellandes	**Kiesige Alluvionen**	**1.1, 1.2, 3.1, 3.2, 4.1**
Leicht gewelltes Moränehügelland	Fluvioglaziale Schotterebenen	4.1, 4.2, 3.1, 3.2

Fett: häufiges Vorkommen; ***vgl. Kap.** «Böden im Umfeld von Fliessgewässern».

(Rostflecken, Fahl-Rotfärbungen) in den obersten 50 cm Tiefe

Nassböden (Gleysole) **5** (vgl. Tab. 1)
Durch Grund- oder Stauwasser geprägter Boden, mit Vernässungsmerkmalen (Rostflecken, Fahl-Rotfärbungen, Reduktionsfarben mit ständiger Wassersättigung) oberhalb 50 cm Tiefe.

5.1	mullreich	biologisch aktiv, Vermischung der organischen Rückstände mit der Mineralerde > 18 cm
5.2	nährstoffreich	biologisch aktiv, mit verbrauntem neutralem Horizont, über einem vernässten Horizont
5.3	humusreich	humusreicher Oberboden (biologische Aktivität gehemmt)
5.4	nährstoffarm	sauer, biologische Aktivität stark gehemmt (mächtige organische Auflage)

Organische Böden (Histosole) **6** (vgl. Tab. 1)
Abbau der organischen Substanz ist durch den hohen Grundwasserstand gestört und wird angereichert. Die organische Auflage ist mächtiger als 40 cm.

Ein kurzer Überblick über die Bodentypen am Alpenrhein findet sich bei BURNAND et al. in diesem Werk.

2 BÖDEN UND IHRE EIGENSCHAFTEN LÄNGS DES RHEINS

2.1 Grundlagen

Die Bodeneignungskarte der Schweiz (BEK, 1980) im Massstab 1:200 000 ist das einzige gesamtschweizerisch flächendeckende Kartenwerk mit bodenkundlichen Informationen. Sie erlaubt das Gebiet von der Quelle des Rheins bis Basel im Überblick vergleichend zu beurteilen. Die bodenspezifischen Daten beziehen sich auf Kartierungseinheiten, die nach geomorphologischen und petrographischen Kriterien festgelegt wurden.

Aufgrund topographischer und geologischer Eigenschaften wurden physiographische Einheiten ausgeschieden. Diese Einheiten sind nach geomorphologischen Kriterien (Landschaftsformelemente wie Relieftyp, Exposition, Neigung und Höhenlage) weiter in Kartierungseinheiten unterteilt (Tab. 1).

Die Legende der Bodeneignungskarte enthält pro Kartierungseinheit Angaben über Bodentypen (nach FAO, 1988), sowie über Bodeneigenschaften wie Gründigkeit (durchwurzelbare Bodentiefe), Skelettgehalt, Wasser- und Nährstoffspeichervermögen, Wasserdurchlässigkeit und Vernässungsgrad.

2.2 VORKOMMEN IN DEN EINZELNEN LANDSCHAFTEN UND REGIONEN

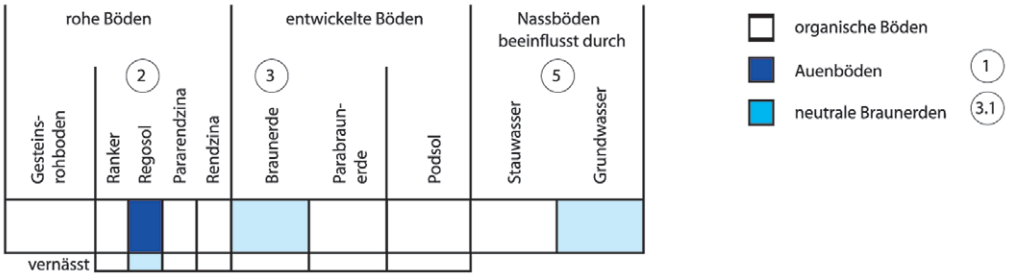
2.12 Vorderrhein, Hinterrhein, Reichenau bis Chur

(Tab. 1, Abb. 1 und 2)

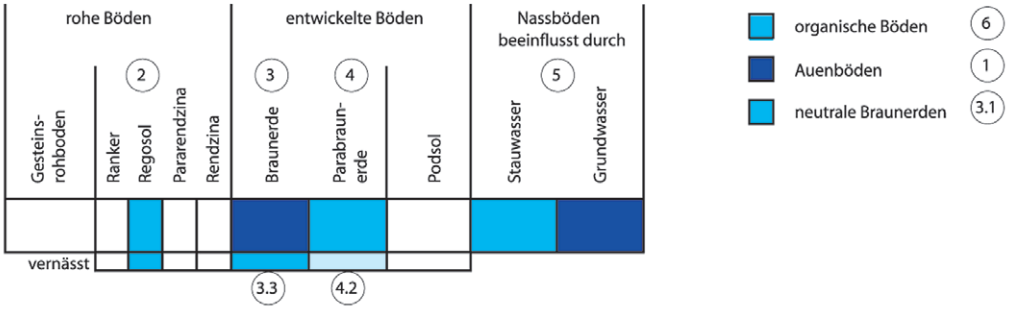
Die beiden Talschaften des Vorder- und Hinterrheins bis Reichenau und der Abschnitt von Reichenau bis Chur sind geprägt von kiesigen und feinkörnigen Alluvionen mit skelettreichen, flach- bis mittelgründigen rohen Böden, aber auch Auenböden. Einzelne Schwemmfächer sowie vor allem Schuttkegel weisen ausgesprochen flachgründige Böden auf und unterbrechen markant die Talsohle der Einheit «enge Alpentäler». Mit zunehmender Talbreite und feinerer Körnung sinkt die vorerst übermässige Wasserdurchlässigkeit in den normalen Bereich ab. Die Nährstoff- und Wasserspeicherung der Böden erfährt eine entsprechende Zunahme in den mässigen Bereich. Vereinzelt sind ab Reichenau neutrale Braunerden anzutreffen, was auf eine beginnende Verwitterung und entsprechende Bodenentwicklung schliessen lässt.

Von der Betrachtung sind einerseits das Flimser Bergsturzgebiet, andererseits die Viamala-Schlucht ausgeschlossen.

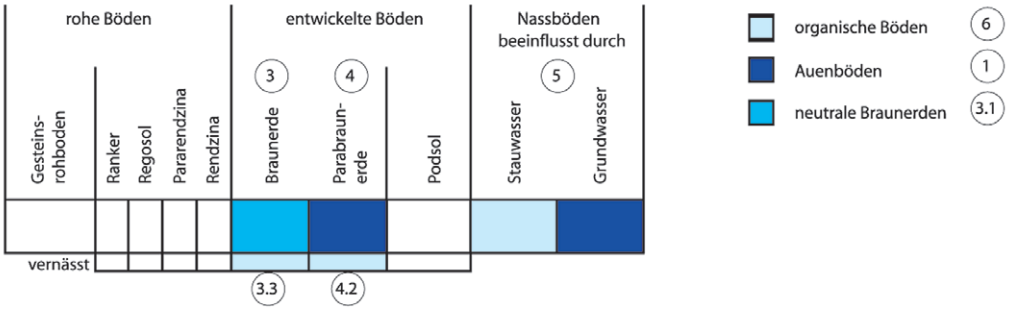
Vorderrhein, Hinterrhein, Reichenau bis Chur



Chur - Bodensee, Bodensee - Eglisau



Thur, Töss



Legende:

(Nr) beziehen sich auf die Tab. 1.

Vorkommen: sehr häufig | weniger häufig | selten

Abb. 1. Bodenentwicklung längs des Rheins.

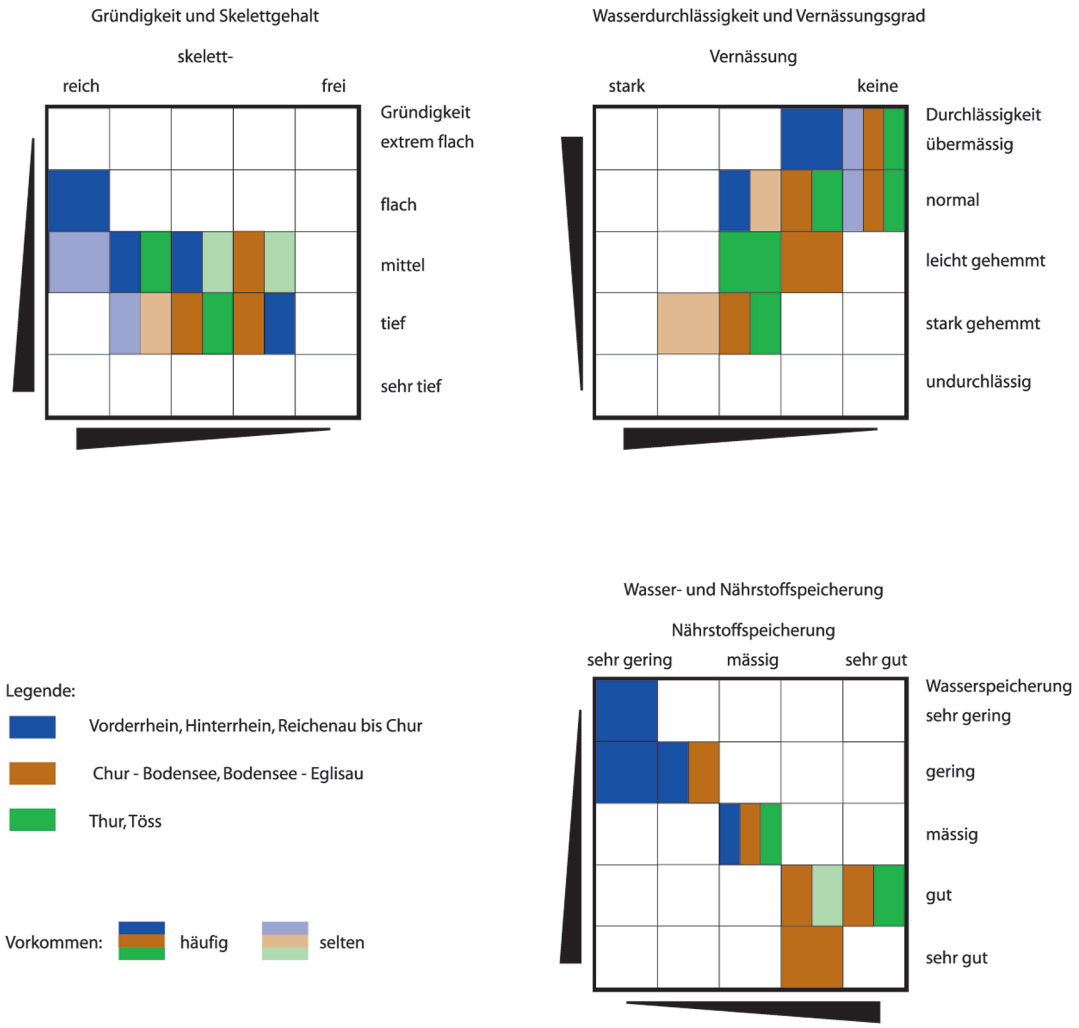


Abb. 2. Eigenschaften von Böden längs des Rheins.

2.22 Chur bis zum Bodensee, Bodensee bis zur Mündung der Töss

(Tab. 1, Abb. 1 und 2)

Der Rheinabschnitt von Chur bis zum Bodensee gehört zur Einheit «weite Alpentäler» mit kiesigen und feinkörnigen Alluvionen. Nebst Rohböden und Auenböden (vgl. Profil Fläsch: Rhein Au) sind vermehrt Braunerden und örtlich auch Nassböden, vereinzelt organische Böden anzutreffen. Der Skelettgehalt im Boden nimmt ab und die Gründigkeit zu. Entsprechend erreicht die Nährstoff- und Wasserspeicherung den guten Bereich. Die Wasserdurchlässigkeit liegt bei Werten, wo bereits von Stauwasser gesprochen werden kann, und die Vernässung ist in verschieden weit entwickelten Böden deutlich erkennbar.

Der Rheinlauf zwischen Bodensee und Tössmündung gehört zur Einheit «Ebenen des tieferen Mittellandes» mit Schotter und rezenten Alluvionen sowie vereinzelt zum «leicht gewellten Moränehügelland» mit fluvioglazialen Schotterebenen. Ergänzend zum bereits erwähnten Bodenspektrum entwickelten sich in unterschiedlichen Höhenlagen über dem heutigen Flussniveau auf Erosionsterrassen auch Parabraunerden (vgl. Profil Marthalen: Winzlerboden). Es sind oft Zweischichtprofile über einem Schotter. Ihre Gründigkeit wird durch den Schichtwechsel oft-

mals eingeschränkt. Die Wasserdurchlässigkeit nimmt ein weites Spektrum von übermässig bis Stauwassereinfluss ein, was sich wiederum auch in der Bodentypisierung zeigt. Die Wasser- und Nährstoffspeicherung liegt mehrheitlich im guten, örtlich gar im sehr guten Bereich.

2.23 Lauf von Thur und Töss

(Tab. 1 Abb. 1 und 2)

Die Thur durchläuft hauptsächlich «Sohlentäler» sowie «Ebenen des tieferen Mittellandes» mit Alluvionen unterschiedlicher Körnung inkl. Schotter.

Die Böden gehören zu den mittel- bis tiefgründigen Auenböden, neutralen Braunerden und vereinzelt zu vernässten Braunerden bis Parabraunerden. Die Wasserdurchlässigkeit der Böden nimmt ein weites Spektrum von übermässig bis stark gehemmt ein, mit mittleren Vernässungsgraden. Wasser- und Nährstoffspeicherung reichen von mässig bis gut, vereinzelt mit zunehmender Bodenentwicklung die Nährstoffspeicherung sogar bis sehr gut.

Die Töss beginnt im «höheren Molassehügelland mit starkem Erosionsrelief», durchläuft «Sohlentäler des Mittellandes» mit Abschnitten im «leicht gewellten Moränehügelland». Die Böden sind Auenböden nebst Braunerden und Parabraunerden mit Vernässungstendenz. Nassböden sind eher die Ausnahme. Bezüglich Bodeneigenschaften ergeben sich im Vergleich zum Thurlauf keine grossen Unterschiede.

2.3 Ausgewählte Bodenprofile

Die beiden ausgewählten Profile A 18 bei Fläsch (Rhein Au) und M 13 bei Marthalen (Winzlerboden) sind in Band 2 (Blaser et al., 2005) und Band 3 (Zimmermann et al., 2006) in der Reihe Waldböden der Schweiz eingehend dokumentiert.

2.31 Bodenprofil A 18 Fläsch: Rhein Au (Kt. GR)

Das Bodenprofil ist in Abb. 3 dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt Abb. 4. Tab. 2 fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort zusammen.

Dieser Profilort wurde durch die Rheinkorrektion in seinem ursprünglichen Bodenwasserhaushalt beeinflusst. Überschwemmungen sind heute seltener, und im Bodenprofil wurde der Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels verändert. Aufgrund der Lage des Profils im Gelände muss auch heute, zumindest im Unterboden, mit einer zeitweiligen Sättigung durch Grundwasser gerechnet werden.

Die überwiegend von Laubbäumen, sowie von Krautpflanzen und in geringen Mengen aus der Moosschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt. Unter der Streuauflage sind stellenweise geringmächtig mehrjährige Vegetationsrückstände vorhanden. Der Oberboden ist aber grundsätzlich biologisch aktiv.

Im Mineralboden können aufgrund der morphologischen Merkmale vier Horizonte unterschieden werden. Auffallend an diesem

Tab. 2. Zusammenfassende Angaben zum Profil Fläsch: Rhein Au.

Lokalname	Rhein Au (Kanton Graubünden, Gemeinde Fläsch)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1155, Sargans Koordinaten: 755860/211790 Höhe ü. M. 490 m
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli, 1972)	Nr. 29: Zweiblatt-Eschenmischwald (Ulmo-Fraxinetum listeretosum)
Ausgangsgestein	Tektonik: Helvetikum; Geologie: Terrassenschotter (runde, kalkhaltige Steine)
Bodeneignungskarte (Bek, 1980)	Weite Alpentäler, feinkörnige Alluvionen
Bodentyp	Auenboden, karbonathaltig; Humusform: Mull, stellenweise Moder
Bodentyp nach FAO (1988)	Calcaric Fluvisol



Abb. 3. Bodenprofil Rhein Au.



Abb. 4. Bestand Rhein Au.

Profil ist die Zweiteilung in einen nahezu skelettfreien Ober- und einen extrem skelettreichen Unterboden in 45 cm Tiefe. Farblich hebt sich die bräunlich schwarze Zone direkt unterhalb der Streuschicht vom übrigen Oberboden ab. Das Profil ist aber hauptsächlich durch graue Farbtöne gekennzeichnet. Mit der Fühlprobe wurde die Bodenart bis 45 cm Tiefe als Schluff, weiter unten im Profil als Sand klassiert. Das Gefüge verändert sich von einer Krümelstruktur in den obersten 15 cm über eine Subpolyederstruktur in der Zone zwischen 15 und 45 cm Tiefe zu einem Einzelkorngefüge ab 45 cm Tiefe. Die Feinerde des Bodens ist bis 45 cm Tiefe sehr locker und in grösserer Tiefe locker gelagert. Im Profil sind keine hydromorphen Merkmale vorhanden. Ob der Boden zeitweise wassergesättigt ist, lässt sich nur schwer beurteilen, denn in karbonathaltiger Feinerde bilden sich Vernässungsmerkmale oft nur undeutlich oder gar nicht aus.

Der Boden wird aufgrund der Profilansprache, seiner Lage und Entstehungsgeschichte als karbonathaltiger Auenboden klassiert. Durch den heute veränderten Wasserhaushalt muss von einem ehemaligen Auenboden gesprochen werden. Die ursprüngliche Auenbodendynamik mit periodischer Überflutung fehlt weitgehend.

Karbonathaltige Feinerde bis an die Bodenoberfläche führt zu durchwegs alkalischen Bedingungen. Die Durchwurzelung des Bodens ist bis 55 cm Tiefe stark, tiefer unten im Profil schwach. Im Profil sind bezüglich des Wurzelwachstums keine unüberwindbaren Hindernisse erkennbar.

2.32 Bodenprofil M 13 Marthalen: Winzlerboden (Kt. ZH)

Das Bodenprofil ist in Abb. 5 dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt Abb. 6. Tab. 3 fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort zusammen.

Streulieferanten sind vor allem die Baumarten Hagebuche, Waldföhre, Traubeneiche und Sommerlinde und in untergeordnetem Masse



Abb. 5. Bodenprofil Winzlerboden.



Abb. 6. Bestand Winzlerboden.

auch krautige Pflanzen. Die Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt, so dass unter der Streuschicht 0,5 cm mächtig, mehrjährige Vegetationsrückstände vorhanden sind. Der Oberboden weist eine reduzierte biologische Aktivität auf.

Im 160 cm tief aufgeschlossenen Mineralboden ist sofort ersichtlich, dass es sich um ein Zweischichtprofil handelt. Die Bodenbildung hat bisher erst die obere Schicht (Alluvialsand) bis 90 cm Tiefe erfasst, während die Verwitterung im andersartigen, unteren Ausgangsgestein (Schotter) noch kaum eingesetzt hat.

Im Mineralboden lassen sich anhand der morphologischen Merkmale insgesamt fünf Horizonte unterscheiden. Mit Ausnahme der scharfen Grenze in 90 cm Tiefe, welche den Übergang zwischen dem gewachsenen Boden

Tab. 3. Zusammenfassende Angaben zum Profil Marthalen: Winzlerboden.

Lokalname	Winzlerboden (Kanton Zürich, Gemeinde Rheinau)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1051, Eglisau Koordinaten: 688150/274400 Höhe ü. M. 365 m
Waldgesellschaft (ELLENBERG und KLÖTZLI, 1972)	Nr. 35: Waldlabkraut-Hainbuchenmischwald (Galio silvatici-Carpinetum)
Ausgangsgestein	Tektonik: Molassebecken; Geologie: Terrassenschotter, Alluvion über kalkhaltigem Niederterrassenschotter
Bodeneignungskarte (BEK, 1980)	Ebenen des tieferen Mittellandes, Schotter
Bodentyp	Parabraunerde; Humusform: Moder
Bodentyp nach FAO (1988)	Orthic Luvisol

und dem Schotter darstellt, verlaufen alle Horizontgrenzen diffus und sind farblich schwer erkennbar. Bis 90 cm Tiefe dominieren ziemlich homogene Brauntöne, wobei sich die obersten 10 cm des Profils durch ihre etwas dunklere Farbe am deutlichsten abheben. Die farbliche Unterscheidung zwischen dem gelblich braunen Tiefenbereich in 10–45 cm und der braunen Zone in 45–90 cm Tiefe gelingt dagegen nur schwerlich. Der gewachsene Boden enthält kaum Skelett, der Schotter ist dagegen sehr stark skeletthaltig. Die Feinerde ist im ganzen Profil überwiegend sandig. Der etwas erhöhte Tongehalt in 70–90 cm Tiefe ist von Auge erkennbar. Vernässungsmerkmale sind nicht vorhanden, und der Boden ist bis 90 cm Tiefe durchwurzelt.

Ein Vergleich von Farbe und Bodenart in 10–45 cm und 70–90 cm Tiefe lässt den Schluss zu, dass eine Tonverlagerung stattgefunden hat. Aus dem Tiefenbereich 10–45 cm wurde Ton in den Tiefenbereich 70–90 cm verlagert. Aufgrund der Bodenprofilansprache wird der Boden als Parabraunerde klassiert.

Die Kalkgrenze liegt in 90 cm Tiefe und damit genau beim Übergang zum Schotter. Die Feinerde oberhalb der Kalkgrenze ist sauer. Im Profil sind keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum auszumachen.

3 FUNKTIONEN UND GEFÄHRDUNGEN DES BODENS

Bodenfunktionen in naturnahen Lebensräumen umfassen primär Voraussetzungen für das Wurzelwachstum (Standraum für die Vegetation) und damit die Erschliessung des Wasser- und Nährstoffspeichers. Zusätzlich sind die Filter-, die Puffer- und die Speicherfunktion im Rahmen des Stoffkreislaufes zu sehen.

3.1 Boden als Lebensraum

Böden sind Lebensraum für unzählige tierische und pflanzliche Bodenlebewesen wie Bakterien, Milben, Insekten, Nematoden, Würmer, Pilze usw. Alle diese Lebewesen bilden eine Zersetzerkette und haben bestimmte Funktionen beim Abbau, Umbau und Neuaufbau der organischen Substanz. Darüber hinaus tragen sie durch die Ausscheidung organischer Säuren zur Gesteinsverwitterung sowie zur Mobilisierung von Mikronährstoffen bei. Mykorrhizapilze begünstigen die Wasser- und Nährstoffaufnahme vieler Pflanzen, insbesondere von Waldbäumen, und durch die rege Aktivität der Wurmfauna entstehen Ton-Humus-Komplexe sowie verschiedene günstige Gefügeformen. Obwohl die Bodenlebewesen in ihrer Gesamtheit kaum je sichtbar oder zählbar sind und ihre Leistung niemals auch nur zu erahnen ist, bedürfen sie unserer Sorge und Aufmerksamkeit, denn erst durch die grosse Diversität all dieser Lebensformen bleiben die wichtigsten Funktionen unserer Böden gewährleistet.

3.2 Pflanzenstandort

Böden dienen den höheren Pflanzen als Wuchsort, wo sie Verankerungsmöglichkeiten, Wasser und Nährstoffe finden. Die Bodenfruchtbarkeit ist deshalb die wohl bedeutsamste Eigenschaft eines Bodens. Im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutzten Böden werden Böden in naturnahen Lebensräumen nicht gedüngt und nicht bearbeitet. Die Vegetation muss sich aus diesem Grund den natürlichen Gegebenheiten anpassen. Die Bodenfruchtbarkeit ist vom Gesetzgeber umfassend definiert (vgl. «Verordnung über Belastungen des Bodens» VBBo, 1998; Art. 2a bis d) und bezieht sich vor allem auf die Funktionen des Bodens im Stoffkreislauf.

3.3 Puffer und Filter

Böden besitzen eine enorme Pufferkapazität beispielsweise gegen Versauerung. Zudem bilden sie einen wirksamen Filter für unerwünschte Stoffe, die das Grundwasser belasten und dadurch die Trinkwasserversorgung gefährden können. Durch diese Filterwirkung werden viele solcher unerwünschten Stoffe im Boden für sehr lange Zeit gespeichert und können über den Nährstoffkreislauf wieder in die Biosphäre zurückgelangen. Dies gilt ganz besonders für die Schwermetalle, welche im alkalischen und neutralen pH-Bereich der Böden nur sehr wenig löslich sind, bei Versauerung aber mobil werden.

3.4 Gefährdungen des Bodens

Die Böden zählen zu den wertvollsten Ressourcen, auf welcher letztlich der Wohlstand einer Gegend gründet. Zu ihrer Entstehung benötigen sie sehr viel Zeit. Bezogen auf ein Menschenleben sind Böden nicht erneuerbar. Der Verlust von Boden ist deshalb endgültig. Aus diesem Grund kommt dem Schutz von Bodenverlust eine grosse Bedeutung zu.

Eingriffe, welche die Erosion begünstigen, sind wo immer möglich zu vermeiden. Eine erhebliche Beeinträchtigung der Bodenqualität geht aber auch von extremen mechanischen Belastungen aus, welche den Boden verdichten. Insbesondere ton- und schluffreiche Böden sind in dieser Hinsicht empfindlich, besonders dann, wenn sie im nassen Zustand «bewirtschaftet» bzw. befahren werden. Eine weitere nicht sichtbare und deshalb recht heimtückische Gefährdung vieler Böden naturnaher Lebensräume entsteht bei einer starken Versauerung. Sehr saure Böden haben nur wenig verfügbare Nährstoffe, so dass Nährstoffmangel auftreten kann. Kommt es zu einer verstärkten Lösung von Schwermetallen, so können zudem bestimmte tierische als auch pflanzliche Bodenorganismen Schaden nehmen oder Schwermetalle ins Grundwasser ausgewaschen werden. Da Böden in naturnahen Lebensräumen weder bearbeitet noch gedüngt oder gekalkt werden, sind auch solche Beeinträchtigungen von erheblicher Dauer.

4 LITERATUR

BEK (Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200 000), 1980. Herausgegeben vom Eidg. Justiz- und Polizeidepartement (BA für Raumplanung), Eidg. Volkswirtschaftsdepartement (BA für Landwirtschaft) und Eidg. Departement des Innern (BA für Forstwesen).

Blaser, P., Zimmermann, S., Luster, J., Walthert, L. & Lüscher, P., 2005. Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 918 pp.

Bundesamt für Landestopographie, 2004. Atlas der Schweiz, Version 2.0. Digitale Version des thematischen Nationalatlas.© Swiss Federal Office of Topography, CH-3084 Wabern.

Ellenberg, H. und Klötzli, F., 1972. Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Eidgenössische Forschungsanstalt Wald Schnee Landschaft. 48 (4), 587–930.

FAO, 1988. FAO / Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1997. 140 pp.

Hantke, R., und Mitarbeiter, 1967. Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft, Zürich, 112 (2), 91–122.

Hantke, R., 1980: Eiszeitalter Bd. II: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Letzte Warmzeiten, Würm-Eiszeit, Eisabbau, Nacheiszeit der Alpen-Nordseite vom Rhein- zum Rhone-System. Ott, Thun. 703 pp.

Ott, E., Frehner, M., Frey, H.-U. & Lüscher, P., 1997. Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern. 287 pp.

Walthert, L., Zimmermann, S., Blaser, P., Luster, J. & Lüscher, P., 2004. Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 768 pp.

WSL, 2002. Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Datenbankauszug der Erhebung 1993–1995 vom 23. April 2002. Ulrich Ulmer. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.

Zimmermann, S., Luster, J., Blaser, P., Walthert, L. & Lüscher, P., 2006. Waldböden der Schweiz. Band 3. Regionen Mittelland und Voralpen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. In Vorbereitung.

VBBo, 1998. Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). SR 814.12. EDMZ, Bern.

Dr. Peter Lüscher, Abt. Bodenökologie, Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf, E-Mail: peter.luescher@wsl.ch

Zur Hydrologie des Flusssystems Rhein

Daniel Vischer (Wallisellen)

1 DAS FLUSSSYSTEM

Hier wird der Rhein von seiner Quelle beim Tomasee, 3 km südlich des Oberalppasses, bis zum Rheinfall betrachtet. Die geographischen Bezeichnungen seinem Lauf entlang sind:

- Vorderrhein Quelle – Reichenau GR
- Alpenrhein Reichenau GR – Bodensee
- Bodensee-Obersee
- Seerhein Konstanz – Gottlieben
- Bodensee-Untersee
- Hochrhein Stein am Rhein – Rheinfall

An sich erstreckt sich der Hochrhein von Stein bis Basel. Auch wird beim Alpenrhein aus Schweizer Sicht häufig eine Unterteilung in Bündner Rhein und St. Galler Rhein vorgenommen. Die Anwohner sprechen aber so oder so nur vom Rhein oder Rein (romanisch).

Eine Schlüsselstelle im Flusssystem bildet die auffällige Talverzweigung bei Sargans. Dort hält sich der Rhein gleichsam an den rechten Zweig und fliesst dem Bodensee zu. Er könnte sich aber auch an den linken Zweig halten und sich in den Walensee und den Zürichsee ergiessen. Tatsächlich liegt die Wasserscheide wenig westlich von Sargans etwa auf der gleichen Höhe wie die Hochwasserspiegel des 3 km östlich davon ablaufenden Rheins. Freilich hat der Mensch dort durch starke Flussdämme dafür gesorgt, dass der Rhein seinem Bett und damit dem rechten Zweig «treu» bleibt. Wie es zu dieser flussbaulichen Massnahme kam, wird in Kapitel 2 gesagt.

Ein Blick auf eine Schweizer Karte zeigt, dass der Weg des Rheins im linken Zweig entlang der Seez, der Linth, der Limmat und der Aare nach Koblenz bei Waldshut führen würde. Er wäre dann um fast 70 km oder einen Drittel kürzer als der Weg des heutigen Rheins dorthin. In anderen Worten: Der aktuelle Rhein schlägt unterwegs nach Koblenz und Basel einen beträchtlichen Umweg über die Bodenseeregion ein. Die Ursache liegt in der geologischen Entstehungsgeschichte des Gebiets, die im Kapitel «Geologie» beschrieben wird.

Die gleiche Ursache ist dafür verantwortlich, dass das Einzugsgebiet des Rheins vom Tomasee bis zum Rheinfall extrem «rechtslastig» ist (Abb. 1). Das heisst, der Rhein, einschliesslich des von ihm durchflossenen Bodensees, erhält sein Wasser vor allem von rechts. Dementsprechend münden alle grösseren Zubringer von rechts ein. Es sind dies

- der Hinterrhein
- die Plessur
- die Landquart
- die Ill
- die Dornbirnerach
- die Bregenzerach
- die Argen
- die Schussen und
- die Radolfszeller Aach.

Eine Ausnahme bildet der Rheintalische Binnenkanal, der bei Altenrhein von links in den Obersee fliesst. Die Rechtslastigkeit widerspiegelt sich auch im Einzugsgebiet. Dieses misst bis zum Rheinfall (Station Neuhausen) insgesamt 11 887 km^2. Davon liegen 9894 km^2 oder 83% rechts. Die Bodenseefläche von 536 km^2 ist in der Gesamtzahl eingeschlossen, deshalb wird hier zum rechten Teil auch die rechte Hälfte des Bodensees von 268 km^2 hinzugezählt.

2 DAS REGIME DES ALPENRHEINS UND DIE STABILITÄT SEINER SOHLENLAGE

2.1 Abflussschwankungen von Jahr zu Jahr

Die mittleren Jahresabflüsse des Vorder- und Hinterrheins sowie des Alpenrheins sind in Tab. 1 zusammen mit Daten über die Einzugsgebiete festgehalten. Im Hinblick auf Kapitel

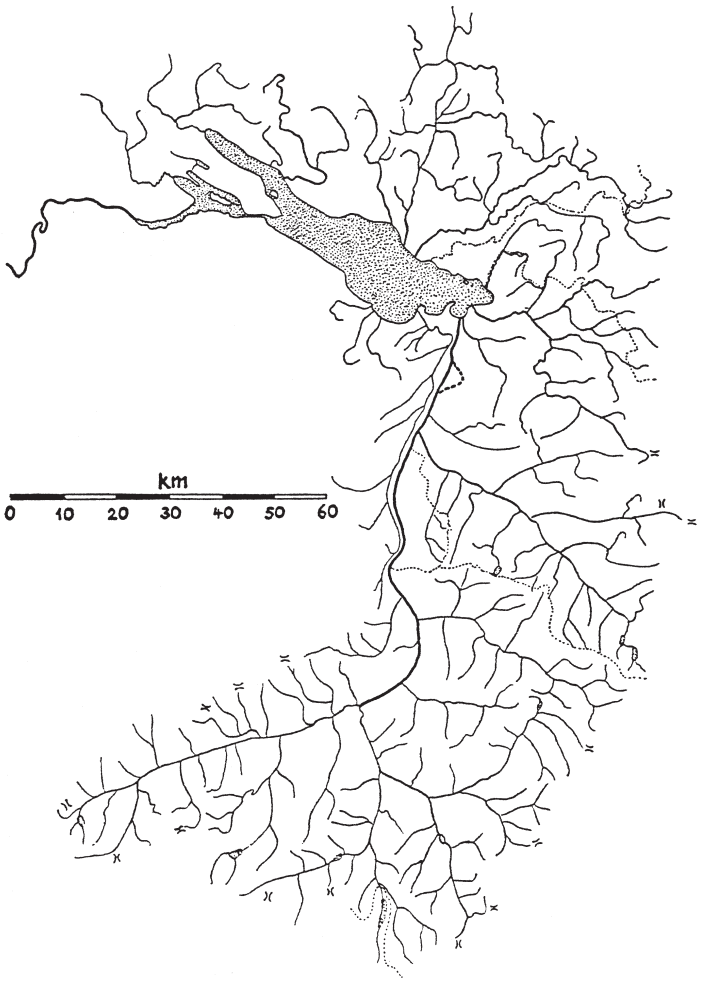


Abb. 1. Der Rhein und seine Zuflüsse: Flusssystem von der Quelle bis zum Rheinfall (aus KIEFER, 1972).

4 werden auch die entsprechenden Werte des Hochrheins bei Neuhausen angegeben. Bezieht man die mittleren Jahresabflüsse auf die Einzugsgebietsflächen, erhält man mittlere Abflussspenden in der Grössenordnung von 30 bis 40 l/s km^2. Das entspricht dem, was auch andere Alpenflüsse abführen. Genaue Vergleiche sind schwierig, weil die Messperioden der Limnigraphenstationen unterschiedlich sind. Greift man unbesehen davon einige Zahlen aus dem neuesten Hydrologischen Jahrbuch der Schweiz, ergeben sich 39 l/s km^2 für den Alpenrhein in Diepoldsau, 35 l/s km^2 für die Rhone bei Porte du Scex und 45 l/s km^2 für den Tessin bei Bellinzona. Die gleichen Zahlen lassen sich natürlich auch als Abflusshöhe ausdrücken und lauten dann 1230 mm/a, 1100 mm/a und 1420 mm/a.

Wie gross sind die Abflussschwankungen von Jahr zu Jahr? Die kleinsten Jahresmittel der in Tab. 1 angeführten Stationen des Alpenrheins liegen 22 bis 38% unter dem langjährigen Wert. Die grössten übersteigen ihn um 30 bis 47%. Letztere traten im Jahr 1999 auf; die Ausnahme bildet der Hinterrhein bei Fürstenau, wo das Maximum 1975 gemessen wurde. Diese Abweichungen hängen mit den Niederschlagsschwankungen von Jahr zu Jahr zusammen und zeigen, dass diese im Verhältnis zu anderen Regionen der Erde moderat sind.

2.2 Saisonale Abflussschwankungen

Das Abflussregime eines Alpenflusses entspricht gewöhnlich einer Überlagerung des glazialen, des nivalen und des pluvialen Abflusstyps. Doch ist das Einzugsgebiet des Alpenrheins bis Diepoldsau nur zu 1,4% vergletschert, so dass der glaziale Abflusstyp beim Alpenrhein kaum eine Rolle spielt. Zum Vergleich sei angeführt, dass das Einzugsgebiet der Rhone bis zum Genfersee zehnmal mehr vergletschert ist.

Beim Alpenrhein dominiert in den hohen und mittleren Regionen der nivale Abflusstyp, bei dem das Abflussmaximum je nach Höhenstufe im April, Mai oder Juni auftritt. Und in den tieferen Regionen überwiegt der pluviale Abflusstyp, bei dem diese markante saisonale Schwankung fehlt. Die Überlagerung beider Typen äussert sich bei Diepoldsau in einem ausgeprägten Abflussmaximum im Juni.

Solche Regimebetrachtungen beschränken sich freilich auf die Ganglinie der mittleren monatlichen Abflüsse. Kurzfristigere Schwankungen und insbesondere Hochwasser, die gewöhnlich zwischen Mai und September anfallen, führen situativ zu Abweichungen. Auf diese Hochwasser wird im Kapitel «Flusskorrektionen» eingegangen.

2.3 Anthropogene Einflüsse

Es gibt sowohl bewusste Eingriffe in den Wasserhaushalt des Alpenrheins als auch weniger bewusste. Die ersteren stammen von den Wasserkraftwerken, die letzteren von Änderungen bei der Besiedelung und Bewirtschaftung des Einzugsgebiets.

Einige Kraftwerke leiten Wasser über die Wasserscheide. So erfolgen Zuleitungen aus dem Linth-Limmatgebiet zum Speicher Gigerwald und aus dem Inngebiet zu den Speichern Silvretta und Kops. Demgegenüber gibt es eine Ableitung zu Gunsten des Ticinogebiets zum Ritomsee. Die Bilanz zeigt, dass der Alpenrhein dadurch im Jahresdurchschnitt mit rund 8 m^3/s angereichert wird, das sind 3,5% seines Abflusses in Diepoldsau (VISCHER, 1993).

Der Speicherbetrieb der Kraftwerke führt zu einer saisonalen Umlagerung von Wasser. Seit 1919 wurden im Einzugsgebiet des Alpenrheins zwei Dutzend Speicherseen von insgesamt 773 Millionen m^3 Inhalt gebaut. Rechnet man mit einer Ausnutzung der Speichermöglichkeit von 70% und folglich von 541 Millionen m^3, so ergibt das auf ein halbes Jahr bezogen eine Abflussänderung von 34 m^3/s. Das bedeutet, dass der Sommerabfluss des Alpenrheins in Diepoldsau um durchschnittlich 34 m^3/s oder 10% vermindert und der Winterabfluss entsprechend um 34 m^3/s oder 22% vermehrt wird.

Nun betreiben die Kraftwerke ihre Generatoren nicht mit einer gleichmässigen Leistung, sondern folgen den Schwankungen des Strombedarfs. Das führt dazu, dass sie ihr Triebwasser vor allem in den Werktag-Tagesstunden turbinieren. Daraus resultiert ein periodischer Schwallbetrieb mit bedeutenden Abflussschwankungen zwischen Werktag und Sonntag (Abb. 2) sowie innerhalb eines Werktages.

Im Einzugsgebiet des Alpenrheins hat sich in den letzten 100 Jahren natürlich auch die übrige Wasserwirtschaft sowie die Landnutzung geändert. Hier seien nur einige Stichworte angeführt: Verbauung der Wildbäche, Kanalisierung der Flüsse, Meliorationen mit zum Teil ausgedehnten Entwässerungsanlagen, Grundwasserentnahmen, Abwasserentsorgungen, Versiegelung des Bodens durch Siedlungen und Verkehrswege, starke Aufforstungen. Gesamthaft gesehen waren diese Entwicklungen hydrologisch aber nicht relevant. Das ergab eine Untersuchung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, die für die ihr zur Verfügung stehende Messreihe von 1910 bis 1987 Folgendes feststellte: Die mittleren jährlichen Abflüsse des Alpenrheins zeigen einen steigenden, aber nicht signifikanten Trend, was die Verfasser auf einen ebensolchen Trend der jährlichen Niederschläge zurückführen. Die saisonalen Abflussänderungen lassen sich durch den Speicherbetrieb der Kraftwerke allein erklären (LUFT und VIESER, 1990).

Tab. 1. Kenndaten der Einzugsgebiete und langjährige Mittelwerte der Abflüsse des Rheins von Ilanz bis zum Rheinfall (gemäss Hydrologischem Jahrbuch der Schweiz, 2002).

Fluss/Station	Einzugsgebiet km^2	mittlere Höhe m ü. M.	Messperiode Jahre	Abfluss m^3/s
Vorderrhein/Ilanz	776	2020	1962 – 2002	33,2
Hinterrhein/Fürstenau	1575	2118	1974 – 2002	41,1
Rhein/Domat-Ems	3229	2020	1962 – 2002	117
Rhein/Diepoldsau	6119	1800	1984 – 2002	240
Rhein/Neuhausen	11887	–	1959 – 2002	374

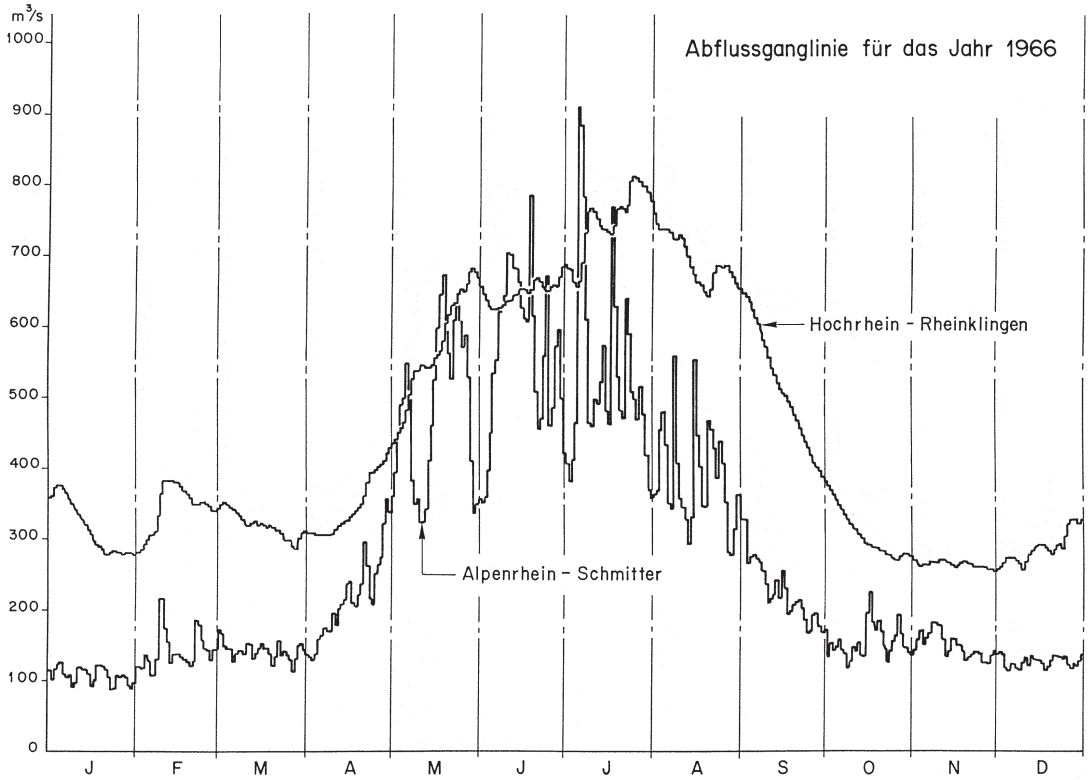


Abb. 2. Ganglinie der Abflüsse des Alpenrheins bei Schmitter und des Hochrheins bei Rheinklingen; gemessene Tagesmittel des Jahres 1966 (aus KHR, 1980).

Neuere und grossräumigere Untersuchungen spiegeln die aktuelle Klimaänderung wider. Das heisst, sie belegen den steigenden Trend der Gesamtniederschläge signifikant und deutlich. Bezogen auf das Einzugsgebiet des Alpenrheins manifestiert sich das in einer Zunahme der Winterniederschläge um rund 10% im 20. Jahrhundert. Die Sommerniederschläge sind in etwa gleich geblieben (BADER und KUNZ, 1998). Da ein Teil der Winterniederschläge als Schnee fällt, der in höheren Lagen erst im Sommer schmilzt, würde man entsprechend sowohl einen winterlichen wie einen sommerlichen Anstieg der Abflüsse erwarten. Ein solcher lässt sich jedoch nicht nachweisen. Wie eine einschlägige Arbeit des Bundesamtes für Wasser und Geologie zeigt, werden die erhöhten Niederschläge offenbar durch die erhöhte Verdunstung kompensiert (EMMENEGGER und SCHÄDLER, 1997). Das 20. Jahrhundert brachte ja nicht nur mehr Niederschläge, sondern auch eine Zunahme der mittleren Jahrestemperatur von etwa 1,3 Grad C in der Deutschschweiz (OCCC, 2002).

2.4 Längsprofile

Abb. 3 zeigt einige Längsprofile von Flussstrecken oberhalb von Ragaz. Auffällig ist die regelmässige Form beim Vorderrhein und der anschliessenden Rheinstrecke. Sie entspricht einer Exponentialfunktion, wie man sie auch bei andern Flussstrecken beobachten kann. Als Begründung werden in der Literatur verschiedene flussmorphologische Theorien angeführt. Hier soll ein Ansatz aus der Geschiebetheorie skizziert werden:

Das Geschiebe wird unterwegs durch chemische und mechanische Einwirkungen zerkleinert sowie durch Entmischungsvorgänge verringert. Das manifestiert sich augenfällig in der laufenden Abnahme der Korngrössen des Geschiebes. Setzt man diesen «Transportverlust» über einen kleinen Wegschritt proportional zur Geschiebe-

menge, erhält man eine Differentialgleichung, deren Lösung zu einer Exponentialfunktion führt. Bringt man über die Geschiebetheorie noch die Strömungskraft ins Spiel, die das Geschiebe bewegt, so ergibt sich für das Sohlengefälle ebenfalls eine Exponentialfunktion. Dasselbe gilt dann auch für die Sohlenkoten, was dem Längsprofil die erwähnte schöne Form gibt. Freilich fusst dieser Zusammenhang auf mehreren Vereinfachungen, die hier aber nicht näher erläutert werden sollen. Voraussetzung ist auf jeden Fall, dass der Fluss auf seinem eigenen Geschiebe abläuft.

Die regelmässige Form des Längsprofils des Vorderrheins und der anschliessenden Rheinstrecke bis Ragaz deutet also darauf hin, dass dieser Fluss weitgehend auf seinem Geschiebe abläuft. Im Vergleich dazu ist das Längsprofil des Hinterrheins bedeutend unregelmässiger. Durch die geschilderten Zusammenhänge etwas voreingenommen könnte man es zumindest als eine Sequenz von Exponentialkurven deuten, die von Stufen unterbrochen sind. Dort, wo die Exponentialkurven einigermassen passen, läuft der Hinterrhein weitgehend auf seinem Geschiebe ab. Im Gegensatz dazu fliesst er auf den Stufen mehrheitlich über Fels und auf Residualblöcken, das heisst über starke Hindernisse, die er mit einem steileren Gefälle überwindet. Es sind dies die Schluchtstrecken der Rofla zwischen Sufers und Andeer sowie der Via Mala zwischen Zillis und Thusis. Andere Seitenflüsse des Alpenrheins zeigen ähnliche Sequenzen.

Selbstverständlich lassen sich natürliche Prozesse nur unvollkommen durch Formeln erfassen. Aber es ist trotz allen Abstraktionen faszinierend, wie ein gut bekannter, weil leicht beobachtbarer natürlicher Zerfallsprozess in Form der Geschiebezerkleinerung sich in den Längsprofilen manifestiert. Dass die Verhältnisse im Detail komplizierter sind, lässt das nächste Kapitel erahnen.

2.5 Geschiebe und Schwebstoffe

Vom Geschiebe war ja bereits die Rede. Dabei stand vor allem der Vorderrhein im Brennpunkt. Hier soll nun der Alpenrhein von Reichenau zum Bodensee betrachtet werden. Für diese rund 90 km lange Flussstrecke liegen neuere Untersuchungsergebnisse vor (ZARN und HUNZIKER, 2001).

Grundsätzlich führt ein Fluss in seinem Wasser gelöste und ungelöste Stoffe mit sich. Zu den ungelösten gehören die Schwimm- und die Schwebstoffe sowie das Geschiebe. Dabei ist das Geschiebe in flussmorphologischer Hinsicht am wichtigsten. Denn der Geschiebehaushalt ist für die Stabilität des Flussbetts und für die Bettform massgebend. Freilich gibt es zwischen dem Geschiebe und den Schwebstoffen einen Zusammenhang. Die Geschiebekörner sind derart schwer, dass sie von der Strömung nur sporadisch von der Flusssohle aufgewirbelt werden und dann gleitend, rollend oder springend einen gewissen Weg zurücklegen,

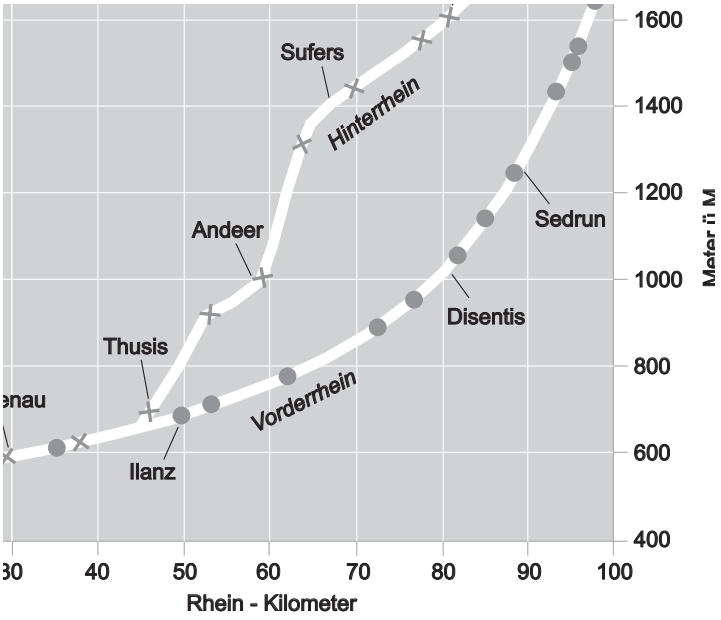


Abb. 3. Längsprofile des Vorder- und Hinterrheins sowie des Alpenrheins bis Chur (aus EHB, 1907).

um dann wieder zu ruhen. Damit ist auch gesagt, dass ihre Bewegung erst bei einer starken Verwirbelung (Turbulenz) einsetzt, das heisst vor allem bei Hochwasser. Ihre mittlere «Reisegeschwindigkeit» ist um Grössenordnungen kleiner als jene des Flusswassers. Anders ist es bei den Schwebstoffen. Diese werden von der Verwirbelung dauernd getragen und haben wie andere Bestandteile des Flusswassers praktisch die gleiche «Reisegeschwindigkeit» wie dieses. Sowohl das Geschiebe wie die Schwebstoffe stammen aber von den im Einzugsgebiet vorhandenen Gesteinsformationen. Ihr Unterschied hängt also nur vom Verwirbelungsgrad der Strömung ab, der natürlich nicht überall derselbe ist. Deshalb können an gewissen Orten Schwebstoffkörner zu Geschiebekörnern werden und umgekehrt. Infolge der Geschiebezerkleinerung geht auch grundsätzlich ein Teil des Geschiebes laufend in Schwebstoffe über.

Hinsichtlich seiner Korngrösse lässt sich das Geschiebe leicht untersuchen. Es genügt, Proben aus dem Flussbett zu nehmen und zu analysieren. Viel schwieriger ist es, die Geschiebeführung, das heisst die pro Zeiteinheit vom Fluss transportierte Menge zu messen. Gewöhnlich setzt man dafür Fangkästen ein, die man in einem bestimmten Flussquerschnitt eine vorgegebene Zeit lang auf die Flusssohle legt. Doch kann man aus der auf diese Weise gesammelten Geschiebemenge schlecht auf die Geschiebeführung schliessen. Denn erstens verläuft die Geschiebeführung örtlich und zeitlich sehr variabel – oft einer vom Winde verwirbelten Blätterwolke gleichend – und zweitens stören die Fangkästen diese Verwirbelung empfindlich. Deshalb verzichtet man heute meist darauf, die Geschiebeführung ähnlich wie die Wasserführung (den Abfluss) pro Sekunde anzugeben. Für Fragen der Stabilität des Flussbetts genügt eine Angabe pro Jahr: die so genannte Geschiebefracht!

Zur Abschätzung der Geschiebefracht bedient man sich numerischer Modelle, mit denen man sowohl die Wasserführung wie die Geschiebeführung für eine längere Flussstrecke und über Jahre simuliert. Dabei führt man die anfangs gemessene Sohlenlage sowie die Geschiebeentnahmen durch die Kieswerke als Anfangs- und Randbedingung ein. Selbstverständlich trägt man auch den örtlich bekannten Abmessungen der Geschiebekörner und deren Zerkleinerung längs dem Fluss Rechnung. Dann verändert man die Geschiebezufuhr so lange, bis man die am Ende der betrachteten Periode beobachtete Sohlenlage erhält. Aus diesem «Eichungsprozess» gewinnt man den Geschiebehaushalt des Flusses.

Konkrete Zahlen für die jährlichen Geschiebefrachten des Alpenrheins enthält die angeführte Literatur als Mittelwerte der Periode 1974–1995 (ZARN und HUNZIKER, 2001). Diese Zahlen ergeben sich aus zwei verschieden aufgebauten und geeichten numerischen Modellen und definieren damit eine gewisse Bandbreite, wie sie Abb. 4 wiedergibt. Die kleinste Geschiebefracht von rund 15 000 m^3/a führt der Alpenrhein am oberen Ende, also bei Reichenau. Die grösste Geschiebefracht von rund 50 000 bis 60 000 m^3/a transportiert er bei Kilometer 50, etwas flussaufwärts von Buchs. Dabei handelt es sich um Durchschnittswerte. Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind beträchtlich. Auch kann ein ausserordentliches Hochwasser Geschiebemassen bewegen, die in der Grössenordnung solcher Jahreswerte liegen.

Wegen der untersten Kiesentnahme an der Mündung trägt der Alpenrhein praktisch kein Geschiebe in den Bodensee ein. Hingegen führt er diesem grosse Mengen von Schwebstoffen zu. Aufgrund von periodischen Deltavermessungen errechnete man die mittlere Jahresfracht für die Periode 1911–1979 auf rund 3 Millionen m^3/a (LAMBERT, 1989).

2.6 Dramatische Sohlenänderungen

Die Sohle des Alpenrheins befindet sich nicht in einer Gleichgewichtslage. Es gibt heute Strecken mit Auflandungs- und andere mit Erosionserscheinungen. Selbstverständlich versuchte man seinerzeit mit den verschiedenen Etappen der Alpenrheinkorrektion das Erreichen einer Gleichgewichtslage zu begünstigen. Denn die Anwohner eines Flusses möchten gerne einen

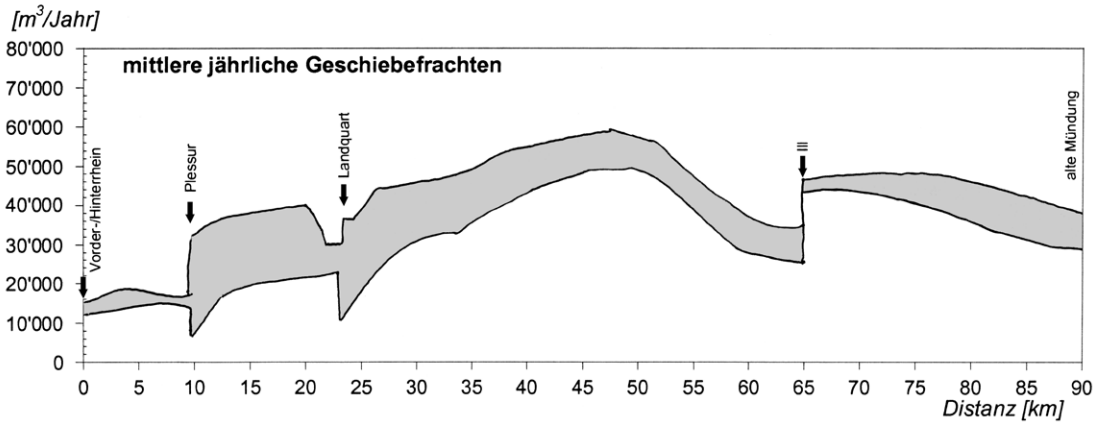


Abb. 4. Mittlere jährliche Geschiebefrachten im Alpenrhein für die Periode 1974–1995. Resultat aus der Simulation mit zwei verschiedenen numerischen Modellen (ZARN und HUNZIKER, 2001).

«Nachbarn», der «im Gleichgewicht» ist. Sohlenhebungen führen ja zu einer Verringerung des Freibords an den Ufern und damit zu einer Erhöhung der Überschwemmungsgefahr. Und Sohleneintiefungen können Ufereinbrüche und Brückeneinstürze bewirken, sowie den Spiegel nutzbarer Grundwasservorkommen absenken. Es ist aber grundsätzlich schwierig, sich mit festen baulichen Massnahmen – das heisst mit der Wahl bestimmter Abflussquerschnitte und Dammhöhen – den Schwankungen eines Abfluss- und Geschieberegimes langfristig anzupassen. Auch gibt es einen systeminhärenten Effekt, der Sohlenhebungen im unteren Teil gleichsam bedingt: die Verlängerung des Alpenrheins! Der geschilderte Schwebstoffeintrag in den Bodensee schüttet dort ein Delta auf, das in den See vorrückt. Von 1900 bis 1960 machte das jährlich im Mittel 23 m aus und damit gesamthaft 1,4 km. Seit 1960 geht dieser Prozess natürlich weiter, das heisst, die Verlängerung des Alpenrheins beträgt heute mehr. Zusammen mit der seit 1972 künstlich vorangetriebenen Vorstreckung macht sie mindestens 5 km aus. Gegenüber dem Zustand um 1900 liegt ein Flussquerschnitt bei Fussach also um 5 km weiter von der Mündung entfernt.

Es ist naheliegend, eine grössere und anhaltende Auflandung mit künstlichen Entnahmen zu mildern oder gar zu kompensieren. Das wird, wie im vorangehenden Kapitel vermerkt, an der Mündung des Alpenrheins sowie zwischen Reichenau und Landquart ja auch getan. Man hat diese Kiesgewinnung früher aber auch zwischen Landquart und der Mündung betrieben – etwa ab 1940 in zwei subventionierten Baggeranlagen und ab 1950 in immer mehr konzessionierten Kieswerken. Abnehmer des Kieses war die Bauindustrie bis nach Zürich. Dabei basierte die Konzessionserteilung auf der Annahme, dass die mittlere jährliche Geschiebefracht des Alpenrheins unterhalb der Landquartmündung rund 1,3 Millionen m^3 erreiche und unterhalb der Illmündung 350 000 m^3. Dementsprechend wurden dem Rheinbett beispielsweise zwischen Sargans und der Illmündung von 1940 bis 1972 insgesamt 17 Millionen m^3 Kies mit einer jährlichen Spitze von 1,6 Millionen m^3 Kies entnommen (ZARN und HUNZIKER, 2001). Tatsächlich war jedoch die anfallende Geschiebefracht – wie aus dem vorangehenden Kapitel ersichtlich – um eine gute Grössenordnung kleiner. Daher bewirkten die Baggerungen eine massive Sohleneintiefung, die bei Sargans und bei Buchs schliesslich rund 5 m ausmachte. Das führte unter anderem 1970 zum Einsturz der Brücke Buchs – Schaan. Die Gegenmassnahme bestand logischerweise in einer Einstellung sämtlicher Kiesentnahmen unterhalb von Landquart – und das innerhalb von zwei Jahren – sowie einer Betriebsbeschränkung für die heute noch bestehenden Kieswerke beim Zusammenfluss des

Vorder- mit dem Hinterrhein in Bonaduz, bei der Mündung der Plessur in Chur und bei der Mündung der Landquart in Landquart.

Seit 1973 verläuft die Entwicklung der Sohlenlage weniger dramatisch, erheischt aber, weil noch fast nirgends ein zumindest einige Jahrzehnte andauerndes Gleichgewicht herrscht, eine Überwachung sowie lokale Eingriffe – etwa in Form von Blockrampen. Im Zeichen der Naturierungsprogramme werden heute zudem Flussbettausweitungen realisiert und geplant, die selbstverständlich ebenfalls die Geschiebeführung beeinflussen und damit das Längsprofil.

2.7 Fliesst der Alpenrhein bald nach Zürich?

In Kapitel 1 war von der auffälligen Talverzweigung bei Sargans die Rede und von der Möglichkeit, dass der Alpenrhein dort nach links statt nach rechts abbiegen könnte. Offenbar hat er das in historischen Zeiten auch sporadisch getan. So bezeugt es jedenfalls ein Chronist für das 1580er Hochwasser (SCHLEGEL, 1992). Auch anfangs des 19. Jahrhunderts machte man sich diesbezüglich zumindest Sorgen (VISCHER, 2003). Vor allem das grosse Rheinhochwasser von 1817, das auch bei Sargans ausuferte, liess die um nur wenige Meter höher gelegene Wasserscheide zwischen Sargans und Mels sichtbar werden. Aber bereits vorher, das heisst 1808, hatte Hans Conrad Escher, der Leiter der Linthkorrektion von 1807–1816, ein Nivellement vom Alpenrhein bei Sargans bis Walenstadt erstellen lassen. Er befürchtete, der Alpenrhein könnte sich infolge von Geschiebeablagerungen bei Sargans ähnlich rasch heben, wie es die Linth bei Ziegelbrücke getan hatte, nämlich in 50 Jahren um rund 3 m. Dann wäre der Alpenrhein wahrscheinlich ganz in Richtung Walensee ausgebrochen und hätte mit seinen Wassermassen längs der Linth, dem Zürichsee und der Limmat – und damit auch im Weichbild der Stadt Zürich – eine Katastrophe verursacht.

Angesichts dieser Bedrohung entsandte die Eidgenössische Tagsatzung 1817 eine Kommission ins Rheintal, der neben Escher noch andere Fachleute angehörten. Ihr Bericht mit Situationsplan und Längsprofilen der Talverzweigung bewog die betroffenen Kantone Graubünden bis Aargau den Flussbauexperten Johann Gottfried Tulla von Karlsruhe kommen zu lassen. Dessen Gutachten von 1819 empfahl eine Korrektion des Alpenrheins von Landquart bis Trübbach, ein Aufschlämmen (Kolmation) der Ebene bei Sargans und die Errichtung eines starken Damms auf der Wasserscheide von Sargans bis Mels. Mangels Einigkeit und Geld wurde davon aber nichts verwirklicht. Später gab es weitere Projekte – auch wehrte sich Zürich noch gegen eine Idee, die einen Flosskanal über die Wasserscheide vorsah, sowie gegen einen von der Bahn um 1860 geplanten Einschnitt. Erst die in den 1860er Jahren begonnene, im Einvernehmen mit Liechtenstein und Österreich durchgeführte Alpenrheinkorrektion von Landquart bis zum Bodensee behob die Gefahr. Der Alpenrhein läuft bei Sargans seitdem zwischen Flussdämmen am rechten Talhang.

In den 1990er Jahren schlug ein Ingenieur diesbezüglich eine drastische Änderung vor (SCHLEGEL, 1992). Er plante eine grosszügige Umgestaltung des Alpenrheins unterhalb von Sargans, um Anliegen des Landschaftsschutzes, der Erholung und der Wasserkraftnutzung zu verwirklichen. Die erforderliche Handlungsfreiheit wollte er sich unter anderem durch die Verkleinerung der Hochwassergefahr erkaufen. Deshalb sah er die Ableitung eines Teils der Hochwasser des Alpenrheins vor. Von einer Fassung bei Trübbach sollten bis zu 1000 m^3/s Wasser samt dem Geschiebe durch einen 17 km langen Freilaufstollen unter der Alvierkette bis zum 50 m tiefer gelegenen Walensee geführt werden. Doch sagte er über die Weiterleitung der entsprechenden Wassermassen weiter talabwärts nichts Konkretes. Diese Wassermassen würden am dortigen Flusssystem zweifellos ausgedehnte Anpassungen erheischen. Wie das Jahr 1999 zeigte, können die Hochwasser der Linth und des Alpenrheins ja gleichzeitig auftreten. Damals wurde das System Walensee, Linthkanal und Zürichsee durch die Linth allein bis zur Grenze der Belastbarkeit und teilweise

sogar darüber hinaus beansprucht. Dieses System vermöchte also die weit grösseren Zuflüsse aus dem Alpenrhein nicht auch noch zu verkraften. Heute ist es um dieses Projekt, das eine Zeit lang viele Anhänger fand, still geworden (vgl. SCHLEGEL in diesem Werk).

3 DER BODENSEE, EIN STEHENDES, ABER DENNOCH DYNAMISCHES GEWÄSSER

3.1 Abmessungen und Spiegelschwankungen

Der Obersee weist von Bregenz bis Konstanz beziehungsweise bis Ludwigshafen eine Länge von rund 46 und 63 km auf. Seine grösste Breite erreicht er mit rund 12 km im Geviert Romanshorn-Friedrichshafen-Langenargen-Arbon. Die Uferlänge misst 167 km und die Oberfläche bei mittlerem Wasserstand 473 km^2.

Der Untersee ist wesentlich kleiner und wird zudem von der Reichenau markant unterteilt. Seine Uferlänge erreicht 81 km, seine Oberfläche 63 km^2 (beide Flächenangaben stammen vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 2004).

Damit weist der Bodensee also eine Gesamtfläche von 536 km^2 auf, ein Wert, in welchem die Inseln Lindau, Mainau und Reichenau enthalten sind. Zum Vergleich diene, dass der Genfersee eine Oberfläche von 580 km^2 hat und der Neuenburgersee eine solche von rund 220 km^2.

Die grösste Tiefe des Bodensee-Obersees misst 252 m und findet sich etwa zwischen Uttwil und Fischbach (Abb. 5). Die mittlere Tiefe beträgt 101 m. Die entsprechenden Werte für den Untersee sind 46 und 13 m. Die Topographie des Seebodens wurde zum letzten Mal 1986–1990 aufgenommen und in Karten 1:5000, 1:25000 und 1:50000 festgehalten (INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE, 1990).

Nun ist eine Wassertiefe von 252 m sehr beträchtlich. Man denke etwa an einige Meere, wie die Nordsee, die Ostsee oder die Adria, die – abgesehen von einigen örtlichen Senken – seichter sind. Vergleicht man die 252 m aber mit der halben Seelänge von 31 km oder der halben Seebreite bei Uttwil und Fischbach von 5 km (Abb. 5), so macht sie nur 0,8 oder 5% davon aus. So gesehen handelt es sich beim Bodenseebecken also bloss um eine schwache Mulde.

Das Volumen des Obersees wurde für einen mittleren Wasserstand zu 47,7 km^3 bestimmt, jenes des Untersees zu 0,84 km^3. Diese Zahlen widerspiegeln den Unterschied zwischen den beiden Seebecken wohl am deutlichsten. Insgesamt weist der Bodensee somit einen Wasserinhalt von 48,5 km^3 oder rund 50 km^3 (50 Milliarden m^3) auf. Ist das viel oder wenig? Es kommt auf den Vergleich an: Die Schweiz hat eine Oberfläche von etwa 41 000 km^2. Würde man das Bodenseewasser gleichmässig auf sie verteilen, ergäbe das eine Wasserschicht von 1,2 m. Das entspricht fast dem mittleren jährlichen Niederschlag von 1,4 m. Der Bodenseeinhalt ist also von derselben Grössenordnung wie die jährlich auf die Schweiz fallende Niederschlagsmenge.

Wie erwähnt dehnt sich die Uferlänge am Obersee auf 167 km und am Untersee auf 81

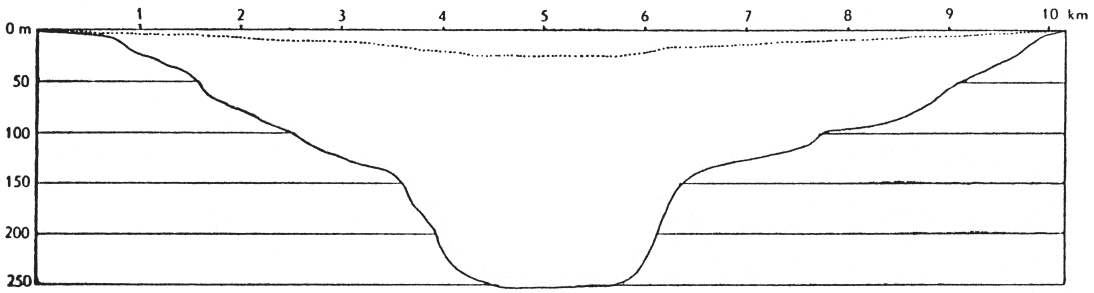


Abb. 5. Querschnitt durch den Obersee zwischen Uttwil und Fischbach, nicht überhöht dargestellt (punktiert) und zehnfach überhöht (ausgezogen). Die Maximaltiefe beträgt 252 m (aus KIEFER, 1972).

km aus. Dazu kommen noch die Uferlängen der Inseln von 19 km. Das führt insgesamt zu 267 km Uferlänge (INTERNATIONALER TECHNISCHER AUSSCHUSS, 1977), was unter anderem bedeutet, dass rund 270 km Ufer von den Wasserstandsschwankungen betroffen sind. Die mittleren und extremen Seestände für den Ober- und den Untersee zeigt Tab. 2 für die Messreihe 1930–2002. Zum Vergleich wird auch der Rekordstand von 1890 angeführt. Zunächst fällt auf, dass der Untersee immer um 20 bis 28 cm tiefer liegt als der Obersee. Das entspricht dem Fliessgefälle des Seerheins von Konstanz bis Gottlieben. Im Grossen und Ganzen schwanken die Spiegel beider Seen zeitlich parallel. Kleine Abweichungen belegen aber doch ein gewisses «Eigenleben». So trat beispielsweise der Höchststand 1999 im Obersee am 11. Juni auf, im Untersee jedoch am 14. Mai.

Die Saison der Höchststände und damit auch der allfälligen Ausuferungen liegt zwischen Mai und September. Hochstände im Winter sind selten. Die Tiefstände stellen sich zwischen Januar und März ein. Der Unterschied zwischen den jährlichen Extremwerten beträgt durchschnittlich 1,60 m. Der Rekordwert stammt mit 3,20 m von 1890 (KIEFER, 1972). Im Hochwasserjahr 1999 waren es mit 2,96 m nahezu 3 m.

Diese Spiegelschwankungen ergeben sich aus dem Umstand, dass der Bodensee nicht reguliert ist. Sein Abfluss erfolgt sowohl in Konstanz wie in Stein am Rhein frei. Dabei bewirkt ein Spiegelanstieg um 1 cm eine Erhöhung des Ausflusses um 2 bis 4 m^3/s. Das setzt natürlich voraus, dass der Gesamtsee entsprechend angefüllt wird – seiner Oberfläche von 536 km^2 gemäss also um 5,4 Millionen m^3. Ein Zufluss zum Bodensee vermag also den Ausfluss nur dann um 2 bis 4 m^3/s zu erhöhen, wenn ein Teil seiner Wassermassen, nämlich die erwähnten 5,4 Millionen m^3, den See um 1 cm zum Steigen bringen. Und dieser Füllvorgang braucht eine gewisse Zeit. Das führt zwangsläufig zu einer Verzögerung der Ausflussspitze gegenüber einer Zuflussspitze und bei kurzzeitigen Ereignissen auch zu einer starken Dämpfung.

Bezüglich seiner Retentionswirkung kann man den Bodensee geradezu als einen Tiefpassfilter bezeichnen. Er absorbiert die hochfrequenten (kurzzeitigen) Zuflussschwankungen, weil er sie ausglättet, und lässt bloss die niederfrequenten (langzeitigen) durch. Das verdeutlicht der Vergleich der Jahresganglinien von Abb. 2: Die täglichen und wöchentlichen Ausschläge im Alpenrheinabfluss sind im Seeausfluss nicht spürbar. Hingegen durchläuft die saisonale Schwankung des Alpenrheins, der ja noch durch die Zuflüsse der anderen Zubringer ergänzt wird, den See praktisch ungedämpft, jedoch um etwa 3 Wochen verzögert.

3.2 Tendenz zu Spiegeländerungen?

Wie bereits in Kapitel 2 gesagt, hat sich der mittlere jährliche Abfluss des Alpenrheins in den vergangenen 100 Jahren nicht signifikant verändert. Das scheint nach der schon zitierten Arbeit der Landesanstalt für Umweltschutz von Baden-Württemberg (LUFT und VIESER, 1990) auch für die anderen Bodenseezuflüsse zu gelten, und es trifft ebenfalls für den Ausfluss aus dem Bodensee, das heisst für den Hochrhein bis zum Rheinfall, zu.

Was bewirken die Trinkwasserentnahmen aus dem Bodensee? Es sind 18 Fassungen in Betrieb, die 1989 im Mittel etwa 5,3 m^3/s entnahmen (WIELAND, 1989; vgl. für den Alpenrhein auch TRÖSCH in diesem Werk). Davon flossen 1,1 m^3/s als gereinigtes Abwasser wieder in den See. Von den verbleibenden 4,2 m^3/s wurden rund 4 m^3/s vom Zweckverband Bodensee-Was-

Tab. 2. Mittlere und extreme Wasserstände des Bodensees (gemäss Hydrologischem Jahrbuch der Schweiz, 2002).

	Obersee m ü. M.	Untersee m ü. M.
Jahresmittel (Periode 1930–2002)	395,61	395,41
Sommermittel (Periode 1930–2002)	396,00	395,78
Tiefstwert (Januar 1949)	394,59	394,31
Höchststand (Juni/Mai 1999)	397,89	397,67
Höchststand (September 1890)	398,00	397,76

serversorgung aus dem Einzugsgebiet des Sees Richtung Stuttgart ausgeleitet. Heute, das heisst 15 Jahre später, dürften es gegen 5 m^3/s sein. Entsprechend der im vorangehenden Kapitel angeführten Abflussrelation, wonach eine Abflussänderung von 2 bis 4 m^3/s eine Spiegeländerung von 1 cm verursacht, resultiert aus dieser Entnahme eine Spiegelabsenkung von 1 bis 2 cm. Der Betrieb des Zweckverbands begann Ende 1958 und steigerte sich allmählich. Ab etwa derselben Zeit machten sich aber die Überleitungen der Wasserkraftwerke im Einzugsgebiet bemerkbar, die per Saldo den Alpenrhein im Mittel mit gut 8 m^3/s anreichern. Das überprägte den Einfluss der Entnahme. Das heisst, dass die anthropogenen jährlichen Zu- und Ableitungen die Wasserbilanz im Bodensee wenig berühren und Spiegeländerungen in der Grössenordnung von 1 bis 2 cm verursachen, die kaum messbar und sicher nicht spürbar sind (VISCHER, 1993).

Bei dieser gleich bleibenden natürlichen und anthropogen bedingten Wasserbilanz würde man erwarten, dass der mittlere jährliche Seestand in den vergangenen 100 Jahren ebenfalls gleich blieb. Das ist aber nur bedingt der Fall. Gemäss der erwähnten Arbeit (LUFT und VIESER, 1990) wies der mittlere jährliche Oberseestand einen fallenden Trend auf, während der entsprechende Unterseestand annähernd auf seiner bisherigen Kote verharrte. Das bedeutet, dass sich der Höhenunterschied zwischen dem Ober- und dem Untersee verringerte, und zwar je nach Darstellung um 12 bis 16 cm. Also reduzierte sich entsprechend das mittlere Fliessgefälle des rund 4 km langen Seerheins, was eine Veränderung seiner hydraulischen Parameter vermuten lässt. Durchflussberechnungen zeigen, dass sich wahrscheinlich das Flussbett ausgeweitet hat und das insbesondere in den so genannten Rheinrinnen bei Gottlieben und vielleicht auch im Konstanzer Trichter (ZURBRÜGG und FÄH, 1993). Freilich kann und wird diese Entwicklung der Oberseestände nicht beliebig weiterschreiten, weil der Seerhein zwangsläufig ein gewisses Fliessgefälle braucht.

Nun war bis jetzt bloss von den mittleren jährlichen Seeständen die Rede. Was ist mit den jährlichen Hoch- und Niedrigwasserständen? Sie belegen sehr deutlich den Einfluss des Speicherbetriebs der Wasserkraftwerke im Einzugsgebiet. Weil die Speicher im Sommer gefüllt werden, und die Hochwasserstände fast immer im Sommer auftreten, sind Letztere im Mittel niedriger als früher. Umgekehrt reichert das Speicherwasser den Bodensee im Winter an, was die durchwegs winterlichen Niedrigwasserstände erhöht. Aus der bereits erwähnten Trendanalyse für 1888–1987 (LUFT und VIESER, 1990) folgt eine Verringerung der Hochwasserstände im Obersee von 27 und im Untersee von 25 cm. Und für die Erhöhung der Niedrigwasserstände werden für den Obersee 2 und den Untersee 27 cm ausgewiesen. Dazu ist allerdings ein Zweifaches zu bemerken: Erstens muss bei den Werten für den Obersee die geschilderte generelle Seeabsenkung berücksichtigt werden. Rechnet man mit 16 cm, beträgt die zuflussbedingte Verringerung der Hochwasserstände nur 11 cm und die Erhöhung der Niedrigwasserstände 18 cm. Zweitens dürfte die Verringerung die Hochwasserstände in beiden Seen nicht bloss auf die Kraftwerke zurückzuführen sein, sondern auch auf den Rückgang der Hochwasser in der betrachteten Periode.

Die Kraftwerke bewirken jedenfalls, dass die Seespiegel im Sommer etwas niedriger sind, was sich bei sommerlichen Hochwasserzuflüssen günstig auswirkt. Daraus darf man freilich nicht folgern, dass die Kraftwerksspeicher Extremereignisse ausschliessen. Sie liegen ja verhältnismässig hoch und kontrollieren damit nur einen kleinen Teil des Einzugsgebiets. Damit haben sie auf den Abfluss von Starkniederschlägen im übrigen Teil des Einzugsgebiets keinen Einfluss. Überdies verringert sich der Freiraum der Speicher bei ihrer Füllung, so dass die Hochwasser-Rückhaltewirkung bis Ende Sommerhalbjahr laufend abnimmt.

3.3 Die Seewallungen

Sind Seestände ohne weiteres an einem Pegel ablesbar? Wer einen einfachen Pegel beobachtet, merkt schnell, dass der Wellengang stört. Darum werden die offiziellen und selbstregis-

trierenden Pegel so ausgeführt, dass sie von Windwellen nicht beeinflusst werden. An sich könnte dies so geschehen, dass man statt den Seespiegel den Druck des Wassers in einer Tiefe von über 20 m misst. Denn die durch das Auf und Ab der Windwellen erzeugten Druckschwankungen machen sich praktisch nur bis zu einer Tiefe im Ausmass der halben Wellenlänge bemerkbar – und im Bodensee ist wohl selbst die grösste Welle nicht länger als 40 m (siehe Messungen am Genfersee, GRAF, 1983).

Man behilft sich bei den offiziellen Pegeln aber anders. Man dämpft die Windwellen, deren Perioden im Bereich von mehreren Sekunden liegen, mechanisch oder elektronisch aus, das heisst, man misst und registriert nur die mittlere Spiegellage.

Nun gibt es in einem See aber einen Wellengang mit Perioden im Bereich von mehreren Minuten, der sich so nicht ausmerzen lässt. Es handelt sich um die «Seewallungen», ein Ausdruck, der im 19. Jahrhundert vom damaligen Chef des Eidgenössischen Hydrologischen Zentralbüros, Robert Lauterburg, verwendet wurde, aber kaum mehr bekannt ist. Am Bodensee soll man statt dessen von einem «An- und Auslaufen» des Sees oder kurzerhand vom «Laufen» sprechen (KIEFER, 1972). In Fachkreisen hat sich heute aber weltweit der in Genf gebräuchliche und vom Waadtländer Gelehrten François Alphonse Forel aufgenommene Begriff «Seiches» eingebürgert. Er bezeichnet Schaukelbewegungen des Seespiegels um dessen theoretische Ruhelage. Diese Schwingung entspricht Eigenfrequenzen des Sees, die durch irgendwelche Störungen in Form von Luftdruckunterschieden, starken Winden usw. angeregt werden.

Die Seewallungen treten sowohl in der Längs- wie in der Querrichtung auf. Dabei gibt es neben einer Schwingung erster Ordnung auch solche höherer Ordnung. Am besten lässt sich die Schwingung erster Ordnung in Längsrichtung beobachten. So zeigt beispielsweise ein Pegel in Ludwigshafen ein langsames Ansteigen des Spiegels an und ein Pegel in Bregenz ein gleichzeitiges Absinken. Dann setzt die umgekehrte Bewegung ein. Hingegen bleibt ein Pegel auf der Höhe von Uttwil-Immenstaad praktisch ruhig, weil dort der Knoten der Schwingung liegt. Schon Forel bestimmte durch Messungen in den Jahren 1874, 1890 und 1891 die entsprechende Periode zu rund 56 Minuten. Später widmeten sich andere Forscher auch noch den Schwingungen höherer Ordnung.

Eine umfassende Untersuchung vor Ort erfolgte 1967–1970 (MÜHLEISEN und KURTH, 1978). Für die Schwingung erster Ordnung in Längsrichtung wurden nur Ausschläge (doppelte Amplitude) von mehr als 1 cm berücksichtigt. Aus den rund 100 registrierten Ereignissen ging hervor, dass die Ausschläge in Ludwigshafen meist weniger als 10 cm betrugen; der grösste Ausschlag erreichte 20 cm. Die Ausschläge in Bregenz machten jeweils etwa 40% davon aus. Die Perioden für die Schwingungen erster, zweiter und dritter Ordnung lagen bei 56, 39 und 28 Minuten. Mit einer numerischen Simulation lassen sich noch Schwingungen höherer Ordnung bestimmen, wobei sich dann auch die Bewegungen in Querrichtung bemerkbar machen. Abb. 6 veranschaulicht das Ergebnis einer solchen Simulation (HOLLAN, 1984).

Im Bodensee-Untersee treten natürlich ähnliche Seewallungen auf, aber mit geringeren Ausschlägen. Auch sie sind meist sehr langsam und fallen darum dem Seeanlieger und -benützer nicht auf. Ihre Bedeutung liegt auch nicht in den Ausschlägen an sich, sondern in den beträchtlichen horizontalen Ausgleichsströmungen, die mit ihnen verbunden sind. Diese sind für das «Innenleben» des Sees äusserst wichtig. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass es neben den beschriebenen Schwingungen der Seeoberfläche auch solche in tieferen Grenzflächen gibt – namentlich in der Sprungschicht, die sich Ende Sommer zwischen dem Epilimnion und dem Hypolimnion ausbildet. Die zugehörigen Perioden liegen im Bereich von Stunden und Tagen (HEINZ, 1995).

Die bekannteste Seewallung im Bodensee trat am 23. Februar 1543 in Konstanz auf, als dort Ausschläge bis zu einer Elle (60 cm) beobachtet wurden, die sogar den Seerhein periodisch rückwärts fliessen liessen. Die Periode

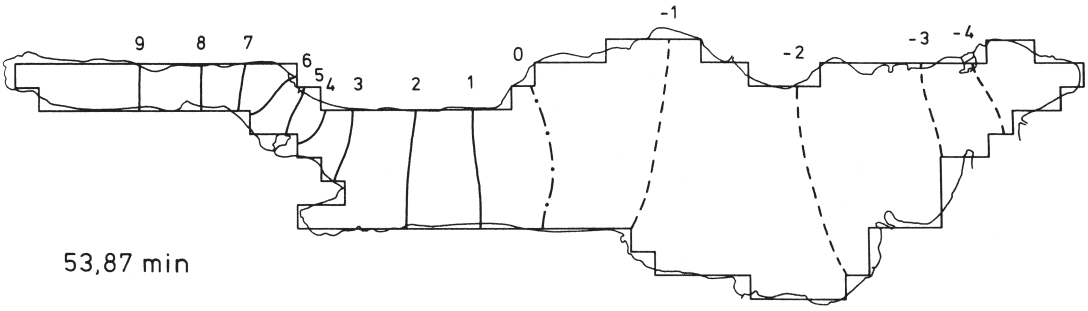


Abb. 6. Seewallung im Bodensee-Obersee. Rechnerische Werte für die Schwingung erster Ordnung in Längsrichtung. Amplituden in Zehnteln des höchsten Wertes angeschrieben (aus HOLLAN, 1984).

lag bei 12 bis 15 Minuten und entsprach damit aus heutiger Sicht einer Schwingung 7. bis 10. Ordnung, die offenbar eine Eigenschwingung der Konstanzer Bucht anregte (HOLLAN, 1984). Über die auslösende Störung ist nichts bekannt. Der Chronist Christian Schulthaiss von Konstanz hielt das Ereignis mit folgenden Worten fest: «Wunder anloffen des Wassers».

Uff disen tag … morgens frueh, ist der see an- und abgeloffen, wol einer elen hoch, … und so er … klain geworden, so ist er bald mit einem ruschen, als ob das gwoll von dem wind (welcher doch nit was) getriben wurd, wider angeloffen. Und sölchs ist etwa in ainer stund vier oder fünf mal geschehen (wie ich selbst gesehen hab). Das hat also bis nach mittag gewert, aber je speter es worden, je minder er an- und abgeloffen ist …» (aus HOLLAN, 1984).

3.4 Die Wasserbilanz in der Periode 1978–1990

Das Institut für Seenforschung in Langenargen hat ein Modell entwickelt, das eine zeitlich enge Verfolgung der Wasserbilanz des Bodensees ermöglicht. Es wurde durch eine Arbeit des Geographischen Instituts der ETH Zürich überprüft (GURTZ et al., 1997), auf die sich die nachfolgenden Angaben stützen. Im Sinne einer Zusammenfassung seien hier jedoch nur die jährlichen Mittelwerte der Periode 1978–1990 für den Obersee betrachtet.

Die grösseren Zuflüsse zum Obersee werden in einem Dutzend Abflussmessstellen erfasst. Sie brachten insgesamt 345 m^3/s. Dazu kamen noch die kleineren, nicht gemessenen Zuflüsse, deren Ergiebigkeit auf 17 m^3/s geschätzt wird. Die Jahresniederschläge auf die Seefläche betrugen 1070 mm oder 16 m^3/s. Davon verdunsteten 700 mm oder 10 m^3/s. In der erwähnten Periode erreichten die Ausleitungen der Wasserversorgungen gegen 4 m^3/s. Das Aus- und Einsickern von Grundwasser ist mengenmässig wohl vernachlässigbar. Folglich betrug die durchschnittliche Anreicherung des Obersees 364 m^3/s. Und diese 364 m^3/s entsprachen – weil keine periodenübergreifende Seeinhaltsänderung im Spiel war – auch dem Ausfluss bei Konstanz und damit dem Abfluss des Seerheins (Abb. 7).

Für den Untersee liefert die zitierte Arbeit keine entsprechende Wasserbilanz, aber doch einige Zahlen. Sie rechnet bis Neuhausen mit einem Zufluss der Radolfzeller Aach von 8 m^3/s und einem Dargebot von weiteren 3 m^3/s aus dem übrigen Einzugsgebiet. Folglich ergibt sich in Neuhausen ein mittlerer Rheinabfluss von 375 m^3/s. In der Periode 1978–1990 wurden dort im Mittel jedoch 383 m^3/s gemessen. Die Differenz von 8 m^3/s oder 2% zeigt die bei einer derart grossräumigen Wasserbilanz erzielbare Genauigkeit auf.

Gestützt auf diese Wasserbilanz hält Tab. 3 den Anteil der wichtigsten Bodenseezuflüsse am Abfluss des Hochrheins in Neuhausen fest. Der mit 62% grösste Anteil stammt vom Alpenrhein. Demgegenüber fällt die Entnahme durch die Wasserversorgungen nicht ins Gewicht – ja, sie liegt sogar innerhalb der Bandbreite der Mess- und Rechengenauigkeit.

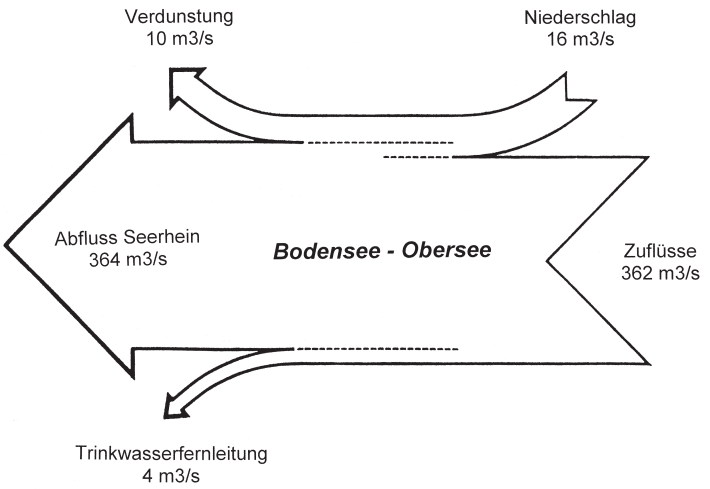


Abb. 7. Wasserbilanz für den Bodensee-Obersee, ausgedrückt durch die mittleren Zu- und Abflüsse der Periode 1978–1990.

Tab. 3. Anteil der wichtigsten Bodenseezuflüsse am Abfluss des Hochrheins in Neuhausen für die Periode 1978–1990.

Zufluss	Messstelle	m^3/s	%
Alpenrhein	Diepoldsau	233	62
Bregenzerach	Kennelbach	48	13
Argen	Giessen	20	5
Rheintaler Binnenkanal	St. Margrethen	12	3
Schussen	Gerbertshaus	11	3
Radolfzeller Aach	Rielasingen	8	2
Dornbirnerach	Lauterach	7	2
Restliche		34	9
Niederschläge minus Verdunstung		6	2
Entnahme für Wasserversorgung		–4	–1
Hochrhein	Neuhausen	375	100

3.5 Wie fliesst der Rhein durch den Bodensee?

Um diese Frage anzugehen, kann man sich zunächst zwei extreme Szenarien vorstellen. Das erste Szenario scheint in einer Karte aus dem 16. Jahrhundert auf (Abb. 8). Dort wird festgehalten, wie der Rhein als eigenständige und scharf begrenzte Strömung durch den Obersee fliesst. Dabei schlägt er von seiner damaligen Mündung unterhalb von Rheineck einen direkten Weg nach Konstanz ein. Diese alte Vorstellung hielt sich sehr lange; so findet man sie noch im 18. Jahrhundert auf einer Karte des Genfersees in Bezug auf die Rhone (VISCHER, 2003). Rechnet man für den Rhein im Obersee entsprechend mit einem Fliessweg von 35 km und einer mittleren Fliessgeschwindigkeit von beispielsweise 1 m/s, erhält man eine Fliesszeit von rund 10 Stunden. So lange wäre also ein Tropfen des Rheins im Obersee unterwegs.

Das zweite Szenario setzt eine vollständige und gleichmässige Einmischung des Rheins im Obersee voraus. Nimmt man dasselbe auch für die übrigen Zuflüsse an, kann man die Fliesszeit des Rheins durch den Obersee der mittleren Aufenthaltszeit des Seewassers gleichsetzen. Aufgrund der weiter oben behandelten Wasserbilanz der Periode 1978–1990 gilt ja Folgendes: Die Zuflüsse führen dem Obersee 364 m^3/s zu, das sind 11,5 km^3/a. Demgegenüber beträgt das durchschnittliche Volumen des Obersees 47,7 km^3. Also ergibt sich ein Quotient und daher eine mittlere Aufenthaltszeit von gut 4 Jahren. Gemäss diesem Szenario entspräche das folglich der mittleren Fliesszeit eines Tropfens des Rheins durch den Obersee.

Wie aber fliesst der Rhein tatsächlich durch den Bodensee? Diese Frage zielt auf die Zirkulation im See ab, die verschiedenen Einflüssen unterliegt. Die wichtigsten sind:

- Der Wind, der über den See streicht, Windwellen aufwirft und an der Seeoberfläche einen Schub in Windrichtung erzeugt.



Abb. 8. Karte des Bodensees von Sebastian Münster 1540. Nach der damaligen Vorstellung floss der Rhein als scharf begrenzte Strömung von seiner Mündung nach Konstanz (aus «Der Bodensee in der erhaltenswerten Landschaft». E. Löpfe-Benz, Rorschach, 1980).

- Luftdruckunterschiede längs und quer zum See, die Schaukelbewegungen anregen (siehe Seewallungen).
- Dichteunterschiede im Seewasser, bedingt durch Wärmeunterschiede oder unterschiedlichen Schwebstoffgehalt.
- Die Zuflüsse, deren Mündungsströmungen dem Seewasser einen Impuls vermitteln. Das gilt besonders für den Rhein, dem weitaus grössten Zufluss.
- Der Abfluss, der umgekehrt wie ein Zufluss wirkt.
- Die Erdrotation, die bei jeder freien Bewegung auf der nördlichen Erdhalbkugel eine Rechtsablenkung erzeugt und als so genannte Corioliskraft wahrgenommen wird. Diese ist in einem See zwar klein, macht sich aber doch bemerkbar, wenn die anderen Kräfte von einer ähnlichen oder geringeren Grössenordnung sind.

Welche Einflüsse wirken immer? Man kann sich vorstellen, dass auf dem See Windstille herrscht und Luftdruckunterschiede wegfallen. Ferner kann man eine Situation im Sommer betrachten, wo der See eine stabile Schichtung aufweist. Dann liegt nämlich eine warme Oberschicht (Epilimnion) von mehreren Metern Stärke auf einer kalten Unterschicht (Hypolimnion), und die Dichte des Rheins entspricht – falls dieser nicht gerade schwebstoffreiches Hochwasser führt – etwa jener der Oberschicht. Folglich breitet sich der Rhein vor allem in der Oberschicht aus, und die Zirkulation im See unterliegt bloss drei Einflüssen: den gerade im Sommer starken Strömungsimpulsen an der Rheinmündung und beim Seeausfluss, sowie der Corioliskraft!

Aufgrund dieser immerwährenden Einflüsse lässt sich gewissermassen ein «normales Strömungsmuster» angeben. Beim Obersee wird das in den See mündende Rheinwasser infolge der Corioliskraft nach rechts abgelenkt und streicht deshalb dem Seeufer im Gegenuhrzeigersinn entlang. Eine durch Messungen unterlegte Darstellung zeigt Abb. 9 (AUERBACH, 1939). Der Rhein zieht an Lindau, Langenargen, Friedrichshafen und Immenstaad vorbei. Natürlich mischt diese Strömung laufend Umgebungswasser ein, und sie wird immer breiter und langsamer. Kurz vor Meersburg beansprucht sie schon fast die gesamte Seebreite und verlässt bei Konstanz den Obersee. Doch wird sie unterwegs durch einige Abzweiger geschwächt. Der wichtigste wendet sich im Raum Langenargen vom deutschen Ufer weg hinüber nach Romanshorn ans Schweizer Ufer und streicht von dort seeaufwärts über Arbon und Rorschach bis fast zur Rheinmündung

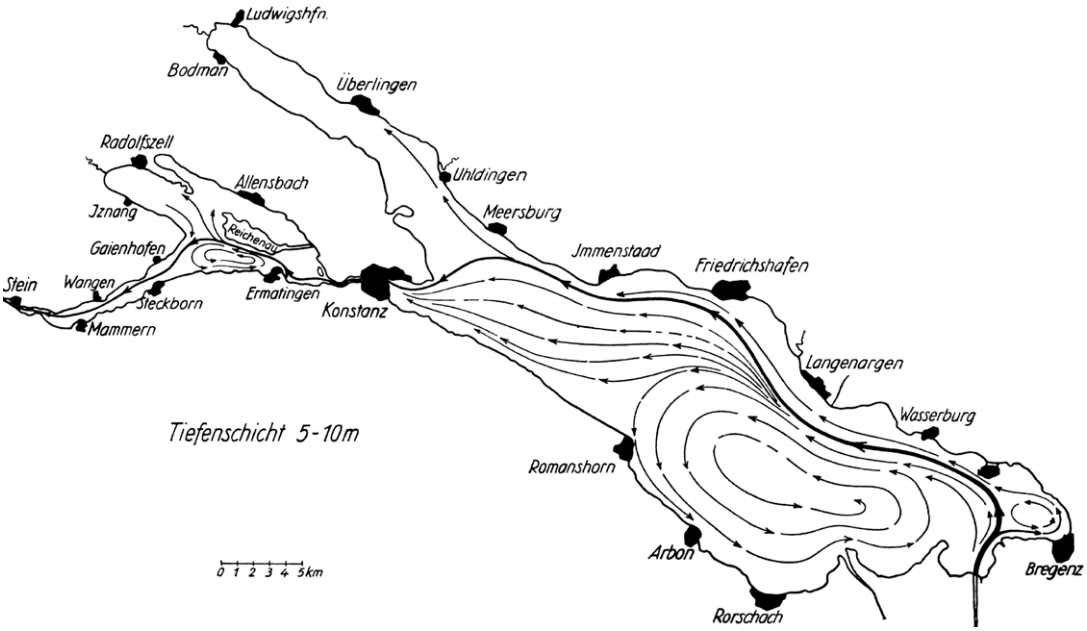


Abb. 9. Verlauf des Rheinwassers durch den Bodensee (Schema aus AUERBACH 1939). «Normales Strömungsmuster» im Sommer.

zurück, um wieder ans deutsche Ufer zu gelangen. Ein kleinerer Abzweiger dringt bei Meersburg und Uhldingen in den Überlinger See ein.

Selbstverständlich fliesst bei Konstanz nicht mehr Wasser ab, als die Zuflüsse in den Obersee eintragen. Die vom Rhein angeregte Strömung bewegt aber wesentlich grössere Wassermassen. Deshalb finden neben den beschriebenen Strömungen auch noch Kompensationsströmungen statt, die in Abb. 8 nicht dargestellt sind. Die gesamte Zirkulation im See ist recht kompliziert und vor allem dreidimensional. Die «Reisezeit» des Kerns des Rheinwassers beträgt von der Rheinmündung nach Konstanz etwa 60 Tage (AUERBACH, 1939). Das bedeutet, dass das «normale Strömungsmuster» kaum je in reiner Form auftritt. Denn es dürfte im Bodensee wohl keine 60 Tage dauernde Sommerperiode geben, in der Windstille herrscht und Luftdruckgradienten wegfallen. Also wird das «normale Strömungsmuster» immer wieder durch temporäre Einflüsse gestört oder gar von anderen Mustern überprägt. Ein Beispiel dafür lieferte eine Messkampagne von 1979 (HOLLAN, 1984).

In diesem Zusammenhang kann noch eine neuere Untersuchung des Instituts für Seenforschung in Langenargen angeführt werden (ROSSKNECHT, 2003). Weil der Alpenrhein bei grossen Abflüssen eine sehr viel geringere Chloridkonzentration aufweist als das Seewasser, lässt sich seine Spur im See anhand von Wasserproben und Mischrechnungen verfolgen. Anhaltend grosse Abflüsse gibt es im Alpenrhein aber nur im Sommer, so dass die Messkampagne von April bis September 2000 durchgeführt wurde, und zwar in den drei Seequerschnitten Wasserburg–Altenrhein, Langenargen–Arbon und Fischbach–Uttwil. Die Ergebnisse bestätigten in diesem Gebiet das «normale Strömungsmuster» im Wesentlichen und lassen erkennen, wie der Rhein sich in einer oberen Schicht einmischt, verbreitert und die Schicht Ende Sommer etwa zur Hälfte beansprucht. Interessanterweise ist diese 15 bis 20 m starke obere Schicht aber nicht identisch mit der warmen Oberschicht (Epilimnion), sondern umfasst neben jener auch noch die Sprungschicht und einen oberen Teil der Unterschicht (Hypolimnion).

Die Frage «wie fliesst der Rhein durch den Bodensee» ist damit für den Obersee und den Sommer weitgehend beantwortet. Für den Winter fehlen vergleichbare Untersuchungen

aber noch. Einige wichtige Hinweise lassen sich der bereits zitierten Arbeit entnehmen (ROSSKNECHT, 2003).

Abschliessend sei noch auf einen Sonderfall der Rheinströmung hingewiesen. Wenn der Alpenrhein bei starken sommerlichen Abflüssen trübe fliesst, taucht er kurz nach seiner Mündung in die Tiefe. Dabei erkennt man dort eine scharfe Abgrenzung zwischen dem Rhein- und dem Seewasser, die von den Anwohnern als «Rheinbrech» bezeichnet wird. Das schliesst aber nicht aus, dass sich das Rheinwasser weiter im See draussen in einer oberen Seeschicht einschichtet und somit dem «normalen Strömungsmuster» folgt. Es kann einen guten Teil seiner Schwebstoffe ja durch Sedimentation verlieren. Ist der Rhein bei mittleren und grossen Hochwassern aber sehr stark mit Schwebstoffen belastet, vermögen sich an der Mündung Trübeströme zu bilden, die wegen ihrer hohen Dichte in die untere Seeschicht abtauchen und dort auf dem Seeboden weiterfliessen. Sie erreichen schliesslich gefällsbedingt die tiefsten Stellen des Sees, wo sie zum Stillstand kommen. Diese Dichteströme können hohe Geschwindigkeiten erreichen. So wurde 1980 rund 1,6 km vor der Mündung in 35 m Tiefe und 6 m über dem Seeboden ein Spitzenwert von 1,4 m/s gemessen (LAMBERT, 1982). Im Vergleich dazu weisen gewöhnliche Seeströmungen Geschwindigkeiten auf, die im Bereich von einigen cm/s liegen. Bei einer Messkampagne im Überlingersee wurde ein Maximalwert von 20 cm/s in der See-Enge bei Mainau erhoben (HOLLAN, 1984).

3.6 Der Bodensee als Trinkwasserspeicher Europas?

Vor ein paar Jahren wurde der Bodensee als «Trinkwasserspeicher Europas» apostrophiert. Der Umstand, dass dieses Schlagwort von einem baden-württembergischen Minister verwendet wurde, verleiht ihm ein gewisses Gewicht. Der Minister dachte offensichtlich an eine Vermehrung oder Vergrösserung der Ausleitungen im Stil des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung, um noch andere Regionen Europas zu bedienen. Dabei stützte er sich wohl nicht auf konkrete Pläne. Dennoch ist es im vorliegenden Zusammenhang interessant, dieser Möglichkeit nachzugehen (VISCHER, 1997).

Wie bereits gesagt, erreicht die mittlere Entnahme des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung heute 5 m^3/s. Das sind 1,3% des Hochrheinabflusses in Neuhausen (in Tab. 3 auf 1% gerundet), was dort praktisch nicht spürbar ist. Aufgrund der massgeblichen internationalen Vereinbarung könnte der Zweckverband seine Entnahme auf 12 m^3/s steigern, was 3,2% des Hochrheinabflusses ausmachen würde. Das wäre in Neuhausen zwar auch nicht spürbar, aber doch messbar und würde die Produktion der Kraftwerke Schaffhausen und Rheinau entsprechend vermindern.

Die Entnahme des Zweckverbandes begann 1958, zunächst mit kleineren Werten. Es sei aber daran erinnert, dass andere deutsche Stellen 1969 noch eine zweite, weit kräftigere Entnahme von Bodenseewasser planten. Es handelte sich um die Anlage eines Stollens, der den Neckar mit Frischwasser anreichern sollte. Damit wäre die Wasserqualität dieses von Abwasser belasteten und mehrfach für Wasserkraftwerke und Schiffsschleusen aufgestauten Flusses verbessert worden. Das Projekt wurde aber wieder fallen gelassen, nicht zuletzt, weil sich dagegen aus dem Bodenseeraum eine starke Opposition erhob. Die Diskussionen drehten sich dort etwa um die übertriebene, aber einprägsame Formel: «der Bodensee als Spülkasten Europas?».

Doch zurück zur eingangs gestellten anderen Frage: «der Bodensee als Trinkwasserspeicher Europas?». Der Zweckverband Bodenseewasserversorgung entnimmt das Bodenseewasser in der Tiefe des Überlingersees und verteilt es bis an die nördliche Grenze des Landes Baden-Württemberg, das heisst bis in den Raum Mannheim und Heidelberg. Die letzten Äste des Leitungssystems, das einer Baumstruktur mit zwei Stämmen gleicht, enden in Tauberbischofsheim, mehr als 200 km Luftlinie vom Bodensee entfernt. Dementsprechend durchquert dieses System die Einzugsgebiete der Donau und des Neckars und führt bis ins Einzugsgebiet des Mains. Man kann sich nun vorstellen, dass

man das System sukzessive nach Norden und Nord-Nordwesten bis an die Nordsee ausweitet und verlängert. Sein Versorgungsgebiet würde schliesslich etwa das einstige Westdeutschland ohne Bayern und Berlin, aber mit Thüringen umfassen, sowie Lothringen, die Beneluxstaaten und Dänemark. Das wäre zwar noch lange nicht «Europa», aber immerhin ein Sektor davon.

Um eine Vorstellung über die zu transportierende Wassermenge zu erhalten, seien folgende Überlegungen wegweisend: Der Zweckverband Bodenseewasserversorgung kommt in seinem Versorgungsgebiet nicht für den gesamten Trink- und Brauchwasserbedarf auf. Er ergänzt bloss die örtlichen Wasserversorgungen eines Teils von Baden-Württemberg. Davon profitieren heute wohl 4 Millionen Einwohner mit durchschnittlich 100 Litern pro Einwohner und Tag. Im erwähnten Sektor von Europa dürfte die Einwohnerzahl wohl bald 100 Millionen erreichen. Um dorthin ebenfalls eine zusätzliche Wassermenge von 100 Litern pro Einwohner und Tag zu liefern, müsste man dem Bodensee also 25-mal mehr Wasser entnehmen als heute. Das sind 125 m^3/s, was nicht nur 33,3% und damit einen Drittel des mittleren Rheinabflusses in Neuhausen ausmacht, sondern dort auch den minimalen Rheinabfluss übersteigt. Der Tiefstwert seit 1959 betrug nämlich 115 m^3/s.

Daraus lässt sich ersehen, dass Entnahmen von einem solchen Ausmass prohibitiv und in Niederwasserzeiten sogar unmöglich sind. Der Hoch- und der Oberrhein würden damit zur «längsten Restwasserstrecke Europas». Am sichtbarsten wäre dieser Umstand am Rheinfall, der zeitweise trocken fiele. Am meisten würde wahrscheinlich die Schifffahrt auf dem Oberrhein leiden, am zweitmeisten die Kraftwerke am Hochrhein und am drittmeisten die Trink- und Brauchwasserfassungen am Hoch- und Oberrhein. Der Bodensee kommt als «Trinkwasserspeicher Europas» also nicht in Frage.

Es gibt freilich noch andere Ideen, um den Wasserreichtum der Alpen- und Voralpenregionen für andere Regionen zu nutzen. So erscheint in der Fach- und Tagespresse alle paar Jahre ein prätentiös aufgemachter Hinweis darauf, dass für die Trink- und Brauchwasserversorgung die grösseren alpinen Stauseen eingesetzt werden sollten. Entsprechende Studien gehen davon aus, dass das praktisch unverschmutzte Wasser der Kraftwerksspeicher mit Pipelines in die Ballungszentren Europas geleitet würde. Die Grössenordnung der Ausleitungen aus dem Rheineinzugsgebiet nach Norden wäre aber selbstverständlich etwa dieselbe, wie bei der geschilderten «europäischen» Bodenseewasserversorgung. Dementsprechend würde bei einer solchen Lösung nicht nur der gesamte Rhein zur Restwasserstrecke gemacht, sondern auch viele seiner alpinen Zubringer von der Ill bis zur Saane.

Die nachhaltige Lösung des Verteilproblems für das Trink- und Brauchwasser liegt in Europa eben nicht darin, dass weiträumige Pipeline-Netze erstellt werden, sondern dass man das natürliche Gewässernetz in Ordnung hält. So werden gerade im Einzugsgebiet des Hochrheins grosse gewässerschützerische Anstrengungen unternommen, damit dessen Wasser einigermassen sauber über Basel nach Norden und damit in den genannten Sektor Europas fliesst. Dort soll es mit einem vertretbaren Aufwand gefasst und aufbereitet werden können, um den örtlichen Trinkwasserbedarf zu decken oder mindestens zu ergänzen (vgl. für den Alpenrhein auch TRÖSCH, in diesem Werk).

4 EINIGE BESONDERHEITEN DES HOCHRHEINS BIS ZUM RHEINFALL

4.1 Abflussschwankungen

Zwischen dem Bodensee-Untersee und dem Rheinfall fliessen dem Hochrhein nur kleinere Bäche zu. Der grösste unter ihnen ist die rechtsufrig unterhalb von Hemmishofen einmündende Biber. Ihre Abflüsse wurden 1927–1983 in Ramsen erhoben und betrugen in dieser Periode im Mittel 1,5 m^3/s.

Wie bereits gesagt und in Tab. 1 festgehalten, erreichte der mittlere Abfluss des Hochrheins in Neuhausen für die Periode 1959–2002 den Wert von 374 m^3/s. Das grösste Jahresmittel trat mit 507 m^3/s im Jahr 1999 auf. Im selben Jahr wur-

den ja auch an den Stationen des Vorder- und des Alpenrheins die höchsten Jahresmittel beobachtet. Das kleinste Jahresmittel des Hochrheins liess sich mit 254 m^3/s im Jahr 1972 erheben. Der Schwankungsbereich der Jahresmittel liegt demnach zwischen +36 und –32%.

Die Schwankung der Abflüsse innerhalb eines Jahres zeigt Abb. 10 für die durchschnittlichen Monatsmittel der Periode 1957–1982. Neben der Ganglinie der gemessenen und statistisch bearbeiteten Werte ist noch eine interessante fiktive angegeben. Diese beruht auf einer rechnerischen Eliminierung des Bodensees (NAEF, 1989). Das heisst, sie veranschaulicht, wie die Ganglinie ohne die Rückhaltewirkung des Bodensees aussähe: Sie wäre um etwa 3 Wochen vorverschoben! Das bestätigt die in Kapitel 3 gemachte Aussage, dass der Bodensee die langzeitigen Schwankungen der Zuflüsse zwar nicht dämpft, aber doch verzögert. Und sie lässt gut erkennen, wie sich die oberste Bodenseeschicht vom Februar bis zum Juli auffüllt und anschliessend wieder entleert.

Die täglichen und wöchentlichen Schwankungen der Zuflüsse machen sich hingegen – wie schon erläutert und in Abb. 2 dargestellt – im Hochrheinabfluss bei Neuhausen nicht bemerkbar. Der Hochrhein ist dementsprechend frei von «nervösen» Abflussänderungen.

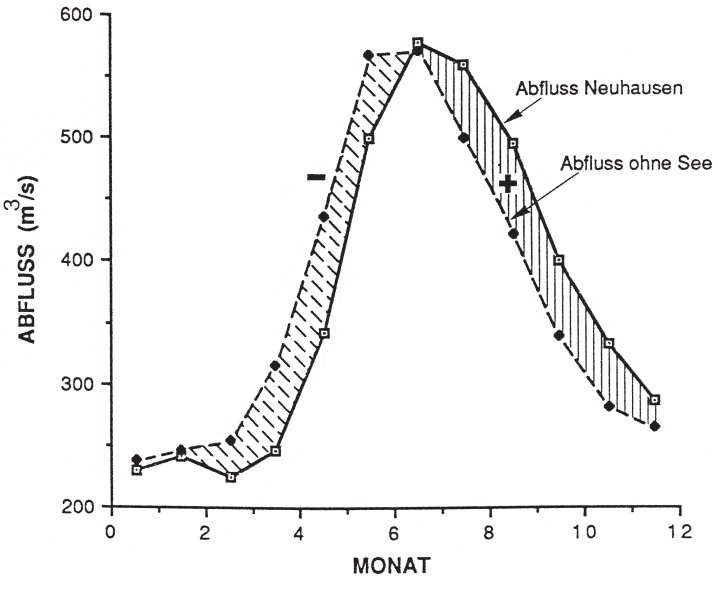


Abb. 10. Ganglinie der Abflüsse des Hochrheins bei Neuhausen: gemessene durchschnittliche Monatsmittel der Periode 1959–1982 sowie gerechnete Werte für den hypothetischen Fall, dass die Retention des Bodensees ausbleibt (NAEF, 1989).

4.2 Ein Verkrautungsproblem

In den 1950er Jahren begann man am Hochrhein zum ersten Mal von einem Verkrautungsproblem zu sprechen (KUNZ, 1976). Es war im Vorfeld der 1960 erteilten Konzession für den Bau des Kraftwerks Schaffhausen und betraf die Flussstrecke bei Geilingen und Büsingen. Man führte das Problem vor allem auf die Stauwirkung des Vorläuferkraftwerks «Moserdamm» zurück und sah sich in dieser These bestätigt, als auch in den Hilfsstauhaltungen des 1956 in Betrieb gegangenen Kraftwerks Rheinau ähnliche Erscheinungen auftraten. Ab 1960 verstärkte sich die Verkrautung und breitete sich in andern Stauhaltungen am Hochrhein aus, aber gleichzeitig auch in den frei fliessenden Flussstrecken.

Um 1968 setzte bei den Betroffenen ein Umdenken ein. Erstens sprach man bis dann von Veralgung oder Verkrautung etwa durch Fadenalgen, Laichkraut und andere bekannte Wasserpflanzen. Jetzt aber begann man als besonders störendes Gewächs den Flutenden Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans* Lam.) auszumachen und zu bekämpfen. Zweitens erkannte man als Hauptursache der bald massiv einsetzenden Wucherung die Gewässerverschmutzung – insbesondere durch die düngenden Phosphate.

Der Flutende Hahnenfuss ist zwar schon seit mindestens 1850 im Hochrhein heimisch, kam aber früher nicht in grossen Mengen vor. Die einzelne Pflanze wurzelt auf dem Flussbett und wächst bis an die Wasseroberfläche, wobei ihre Stängel bis zu 10 m lang wer-

den können. Sie treibt auf der Wasseroberfläche gut sichtbare kleine Blüten, die aber nur selten Samen bilden. Die Vermehrung erfolgt vor allem durch Ausläufer, die sich auf dem Flussbett rasch nach allen Seiten ausbreiten. Aber auch abgerissene oder abgeschnittene Stängelstücke, die abdriften und irgendwo hängen bleiben, fassen Wurzeln und bilden neue Kolonien. Der Flutende Hahnenfuss sondert einen Schaum ab und ist – wie alle Hahnenfussgewächse – giftig. In dichten Feldern und an der Wasseroberfläche als entsprechend dichter Teppich erscheinend, verdrängt er oft andere Wasserpflanzen (THOMAS, 1976).

Von den störenden Folgen sollen hier nur jene erwähnt werden, die den Abfluss der betrachteten Hochrheinstrecke betreffen. Vom Eschenzer Horn bis Hemishofen nahm das von Wasserpflanzen besiedelte Flussareal 1967 bis 1974 um 8 ha zu, von Hemishofen bis Schaffhausen um 21 ha. Dabei stieg der Anteil an Flutendem Hahnenfuss besonders unterhalb von Hemishofen stark an. 1974 erreichte die besiedelte Fläche oberhalb von Hemishofen 41% des Flussareals und unterhalb 22%. Dann kam die Ausbreitung zu einem gewissen Stillstand. Offenbar hatte der Flutende Hahnenfuss recht sprunghaft eine ihm bekömmliche ökologische Nische erobert (EICHENBERGER, 1976).

Kein Wunder, dass sich diese starke Verkrautung auch im Abfluss bemerkbar machte. Die Wasserpflanzen mehrten den Fliesswiderstand, was zu erhöhten Wasserspiegeln führte. Für die Abflussmessstationen am Hochrhein hatte das zwei Folgen. Zum einen konnten sie nur noch mit Messflügeln geeicht werden, wenn im Messquerschnitt vorgängig eine Schneise ausgemäht wurde. Zum andern hing der Wasserstand nicht mehr bloss von der Geometrie des Flussbetts ab, sondern vom Grad der Verkrautung. Das führte nebst anderen Gründen dazu, dass man Ende 1976 die Station Rhein-Rheinklingen als Abflussmessstelle aufgab. Als solche weiter betrieben wurde nur noch die Station Rhein-Neuhausen, die 1,6 km oberhalb des Rheinfalls bei der Flurlingerbrücke steht. Dort lässt sich der Einfluss der Verkrautung recht gut quantifizieren. Er ändert sich monatlich und erhöht den Wasserstand um 1 bis 18 cm – die tiefen Werte im Winter, die hohen in der Vegetationsperiode im Sommer mit einem Maximum im Mai und Juni. Das bedingt, dass man die aufgrund der Eichkurve (Pegelrelation) bestimmten Abflusswerte um jeweils 1 bis 15% nach unten korrigieren muss (HAGMANN, 1976). 15% eines Juniabflusses können immerhin 90 m^3/s ausmachen.

Es ist nicht auszuschliessen, dass die Verkrautung des Hochrheins auch zu einem leichten Aufstau des Bodensee-Untersees führt. Dort treten die Höchststände ja jeweils von Juni bis August auf (VISCHER, 1993), das heisst also zu einem Zeitpunkt, wenn 10 cm Spiegelanstieg stark ins Gewicht fallen. Selbstverständlich beeinträchtigt die Verkrautung auch die Produktion der Kraftwerke, da sie deren Nutzfallhöhe vermindert. Zum einen geschieht das durch eine Hebung des Unterwasserspiegels. Zum andern erfordert die Verkrautung eine stärkere Absenkung des Oberwasserspiegels. Denn sowohl beim Kraftwerk Schaffhausen wie beim Kraftwerk Eglisau muss die Staukote nicht unmittelbar oberhalb des Kraftwerks eingehalten werden, sondern an einem Pegel flussaufwärts. Das fällt vor allem beim Kraftwerk Eglisau ins Gewicht, das den Wasserstand am oberen Ende seiner rund 7 km langen Stauhaltung im Rheinfallbecken konstant zu halten hat. Erst ab einem Abfluss von 640 m^3/s überlässt es diesen Wasserstand der Natur, weil dann sein Stau nicht mehr dorthin reicht.

Der Umstand, dass der Flutende Hahnenfuss Schaum bildet, macht sich gerade am Rheinfall ab und zu bemerkbar (THOMAS, 1976). Der Schaum wird durch die starke Turbulenz im Rheinfallbecken offenbar intensiviert und fliesst dann als oberflächliche «Abwasserfahne» durch die erwähnte Stauhaltung von Rheinau.

4.3 Der Rheinfall als Abflusshindernis?

Aus der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts stammt das Gerücht, die Holländer hätten die für den Rheinfall so charakteristischen Felstürme (die «Rheinfallfelsen») sprengen wollen. Tatsächlich hegten holländische Kaufleute

damals Pläne, die Stadt Konstanz an die europäische Flussschifffahrt anzuschliessen. Dabei dachten sie als gestandene Wasserbauer wohl kaum an eine Beseitigung der Felstürme, sondern an eine kühne Schleusentreppe am Rand des Falles. Ein solches Auf- und Abstiegsbauwerk schlugen sie ja auch für den 1638 baulich in Angriff genommenen Schifffahrtskanal vom Neuenburger- zum Genfersee vor (den «Canal d'Entreroches»). Auf jeden Fall ging es diesen Holländern nicht um die Beseitigung eines Abflusshindernisses im Hochrhein.

Hingegen wurden solche Gedanken ab und zu von den Seeanliegern gehegt. Man glaubte, die Ausräumung oder Umgehung des felsigen Flussbetts bei den Stromschnellen in Schaffhausen (den «Lächen») und beim Rheinfall müsste dem Hochrhein einen besseren «Zug» verleihen. Dementsprechend würde der Bodensee insbesondere bei Hochwasser schneller entleert, so dass er nicht mehr ausufern könnte. 1821 sah eine kühne Konkretisierung dieser Gedanken den Ausbruch eines Umleitstollens vor, der zumindest einen Teil des Hochrheins oberhalb der Schaffhauser Rheinbrücke fassen und unter den Lächen sowie dem Rheinfall hindurch ins Rheinfallbecken führen wollte (WARTH, 1992). Abb. 11 zeigt den zugehörigen Projektplan mit zwei verschiedenen Bauphasen: den Ausbruch des Stollens von einem Zwischenschacht aus und die Aussprengung der Einlaufpartie mit einer Minenkammer. Diese Art der «Anzapfung» eines Gewässers durch eine Minenkammer wandte man beispielsweise 1836 beim Lungernsee an, um diesen um 35 m abzusenken (VISCHER, 1995).

Beim Projekt 1821 ging es übrigens nicht um die Tieferlegung der Bodenseespiegel als Selbstzweck, sondern um eine zwangsläufig damit verbundene Gefällserhöhung im Alpenrhein, der damals noch bei Rheineck mündete. Der Verfasser J.J. Waibel (Vorname und Lebensdaten unbekannt) stammte möglicherweise von Felsberg bei Chur (OSPELT, 1990) und strebte

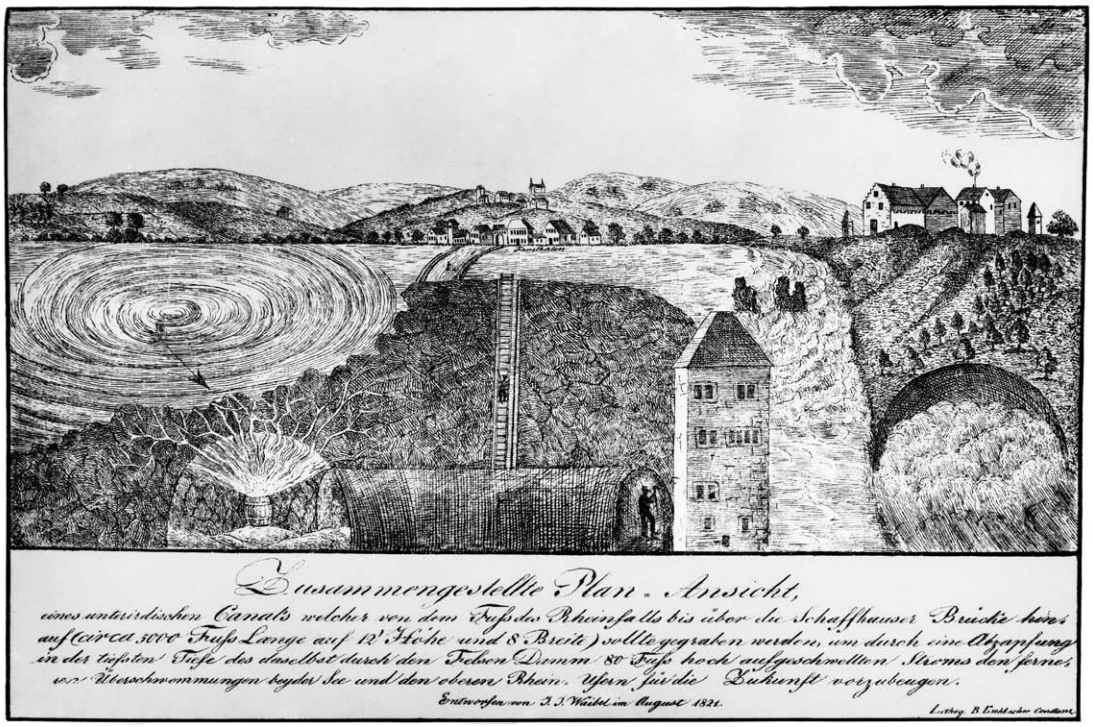


Abb. 11. Idee zur Ergänzung des Rheinbetts von Schaffhausen bis zum Rheinfall durch einen tiefliegenden Stollen von 1,5 km Länge. Durch die entsprechende Verbesserung des Abflusses sollte der Bodenseespiegel abgesenkt werden. Zeichnung von J.J. Waibel, 1821 (Staatsarchiv SG, KA R 68 D1.2).

eigentlich eine Alpenrheinkorrektion an. Es ist nicht anzunehmen, dass er sich damals mit den Schaffhausern und Neuhausern absprach. Denn diese hätten sich gegen eine solche Veränderung am Hochrhein sicher vehement gewehrt. Sie besassen an den Lächen und am Rheinfall ja schon seit Hunderten von Jahren mehrere Mühlen und andere Einrichtungen, die sie nicht einfach aufgeben konnten.

Später wurde der Rheinfall aber gerade durch die Wasserkraftnutzung bedroht. Zunächst ersetzten die Schaffhauser und Neuhauser ihre Wasserräder durch Turbinen. Dann begannen sie ihre Anlagen zu vergrössern. So entstand 1864–1866 bei Schaffhausen der rheinquerende «Moserdamm», der einen Teil des Rheinwassers einem eigentlichen Kraftwerk zuleitete. Auch am Rheinfall wurden rechtsufrig einige Kleinkraftwerke erstellt. Die sich in Neuhausen entwickelnde Industrie wollte den Rheinfall aber bald umfassender nutzen. Deshalb reichte sie der Schaffhauser Kantonsregierung 1886 ein Konzessionsprojekt für ein Kraftwerk ein, das die bisherige Triebwasserführung verdreifachen sollte. Vorgesehen war, dass unmittelbar rechts oberhalb des Rheinfalls ein Kanal vom Rheinbett abgetrennt würde, um ein stattliches, mit 15 Turbinen ausgerüstetes Maschinenhaus im rechten Teil des Rheinfallbeckens zu beschicken. Seit etwa 1800 blühte am Rheinfall aber auch schon der Tourismus in verschiedenen Formen. Seine Anhänger befürchteten, das attraktive Naturschauspiel würde nicht mehr von Fremden besucht, wenn sich das Rheinwasser «statt in Regenbogen in Pferdestärken auflöste». Neben der Tourismusbranche sprachen sich aber auch Naturfreunde gegen das Projekt aus. Die Interessenabwägung führte schliesslich zu einer Ablehnung des Konzessionsgesuchs (VISCHER, 2000).

Seitdem wird der Rheinfall nur noch von der Natur selbst bedroht. Falls man geologische Zeiträume ausschliesst, betrifft diese Gefahr freilich bloss die Felstürme. Denn diese sind der unermüdlichen Kraft des Rheinfalls ganz besonders ausgesetzt und werden – obwohl das überwiegend aus dem Bodensee stammende Wasser nur wenig harte Schwebstoffe enthält – durch Erosion unterkolkt. Deshalb bedurften sie Ende des 19. Jahrhunderts und erneut im Winter 1983/84 einer Verstärkung durch bauliche Massnahmen (HÄRRI, 1985).

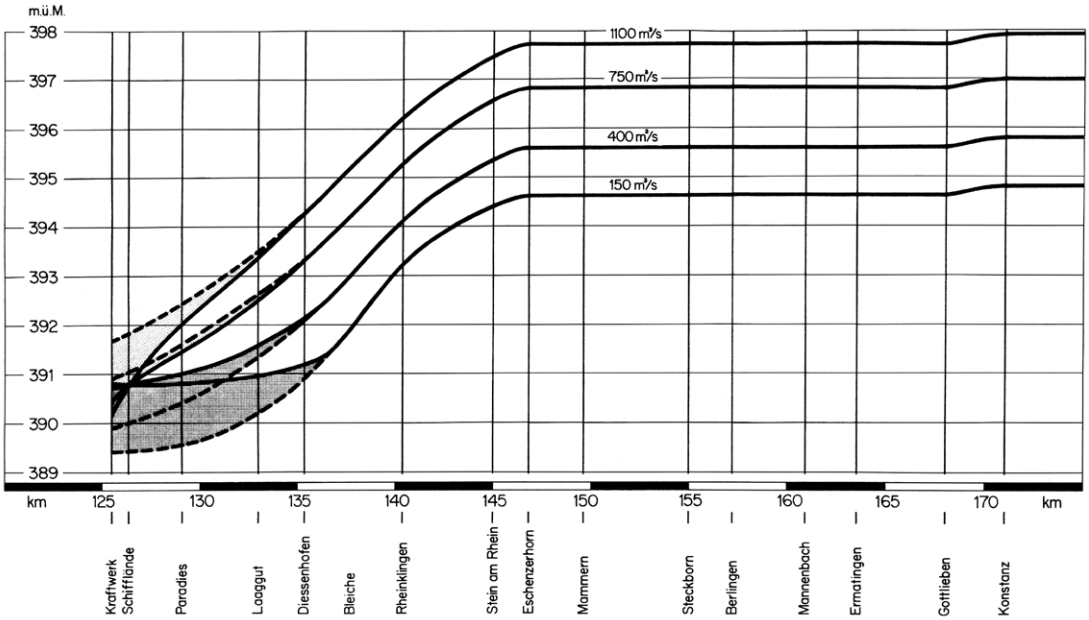


Abb. 12. Wasserspiegel oberhalb des Kraftwerks Schaffhausen im Hochrhein bei Nieder-, Mittel- und Hochwasser. Mit Kraftwerk ausgezogene Linie, ohne Kraftwerk strichlierte (VAW, 2003).

Abschliessend sei nochmals auf die Vermutungen eingegangen, wonach eine Veränderung des Flussbetts in Schaffhausen oder am Rheinfall die Bodenseestände beeinflusse. Das trifft nicht zu. Der für den Abfluss aus dem Untersee massgebende Flussabschnitt liegt zwischen Stein und Hemmishofen. Er bestimmt die Spiegel des Untersees. Deshalb ist alles, was unterhalb davon an Ausweitungen des Flussbetts geschieht, irrelevant. Ja, selbst der Stau, den das 1960 bis 1963 erstellte Rheinkraftwerk Schaffhausen ausübt, ist belanglos, weil er kurz oberhalb von Diessenhofen ausläuft und damit den erwähnten Flussabschnitt nicht berührt. Letzteres wurde 2003 durch eine Arbeit der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETHZ erneut bestätigt (Abb. 12, VAW, 2003).

5 LITERATUR

AUERBACH, M. 1939. Die Oberflächen- und Tiefenströme im Bodensee. Deutsche Wasserwirtschaft 34, 5, München, 193–202; 8, 358–366.

BADER, ST. & P. KUNZ 1998. Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz. vdf-Hochschulverlag, Zürich, 43 pp.

EHB (Eidgenössisches hydrographisches Bureau) 1907. Rheingebiet von den Quellen bis zur Taminamündung, zweiter Teil, dritter Teil, erster Nachtrag, Bern, Tafel 1.

EICHENBERGER, E. 1976. Biologische und ernährungsphysiologische Gesichtspunkte zur Ausbreitung des Flutenden Hahnenfusses im Oberrhein. Wasser, Energie, Luft, 10, Baden, 234–239.

EMMENEGGER, CH. & SCHÄDLER, B. 1997. Einfluss von Klimaänderungen auf die Hydrologie des Rheines. In: 25 Jahre KHR. Kolloquium in Doorwerth vom 30.11.1995. Bericht I–14 der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), Lelystad, 18–33.

GRAF, W.H. 1983. Beobachtete Wellen am und im Genfersee. In: Studienrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur: 100 Jahre Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Wien, 29–54.

GURTZ, J., LANG, H., LUFT, G., STROBEL, F., WAGNER, G. 1997. Untersuchungen der Wasserbilanz des Bodensees. Hrsg. Geographisches Institut der ETH Zürich, Berichte und Skripte 61, 82 pp.

HAGMANN, A. 1976. Erschwerte Bestimmung der Abflussmengen am Hochrhein zufolge Verkrautung. Wasser, Energie, Luft, 10, Baden, 243–245.

HÄRRI, R. 1985. Sanierung der beiden Rheinfallfelsen. Schweizer Ingenieur und Architekt, 20, Zürich, 453–457.

HEINZ, G. 1995. Strömungen im Bodensee. Ergebnisse einer Messkampagne im Herbst 1993. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilung 135, 237 pp.

HOLLAN, E. 1984. Strömungen im Bodensee. Informationsbericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Teil A: Strömungen im Bodensee, 22 pp.; Teil C: Die Eigenschwingungen des Bodensee-Obersees und eine Deutung des «Wasserwunders von Konstanz», Karlsruhe, 17 pp.

INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE 1990. Internationale Bodensee-Tiefenvermessung. Karte 1:50 000, Sonderdruck 25 m Wassertiefe. Druck Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Stuttgart.

INTERNATIONALER TECHNISCHER AUSSCHUSS 1977. Bodenseeregulierung. Projekt 1973, Gesamtbericht. Deutschland, Österreich, Schweiz. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern, 30 pp.

KHR, Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets 1980. Das Rheingebiet. Monographie KHR, Tafel C19.2, Den Haag.

KIEFER, F. 1972. Naturkunde des Bodensees. Jan Torbecke, Sigmaringen, 55–84.

KUNZ, E. 1976. Die Verkrautung des Hoch- und Oberrheins. Wasser, Energie, Luft 10, Baden, 224–229.

LAMBERT, A. 1982. Trübeströme des Rheins am Grund des Bodensees. Wasserwirtschaft 72, 4, Stuttgart, 4 pp.

LAMBERT, A. 1989. Das Rheindelta im See. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 1, Baden, 29–32.

LUFT, G. & VIESER, H. 1990. Veränderungen der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 34, 5/6, Koblenz, 146–156.

Mühleisen, R. & Kurth, W. 1978. Experimental investigations on seiches of Lake Constance. Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie 40/1, Zürich, 155–168.

Naef, F. 1989. Hydrologie des Bodensees und seiner Zuflüsse. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 1, Baden, 15–17.

Ospelt, A. 1990. Die Rheinkorrektion entlang der st. gallisch-liechtensteinischen Grenze. In: Werdenberger Jahrbuch. Buchsdruck, Buchs, 105.

OcCC 2002. Das Klima ändert – auch in der Schweiz. Die wichtigsten Ergebnisse des dritten Wissensstandsberichts des IPCC aus der Sicht der Schweiz. Hrsg. OcCC, Bern, 48 pp.

Rossknecht, H. 2003. Der Alpenrhein im Bodensee; chemische Indikatoren zur Aufklärung physikalischer Prozesse im Bodensee-Obersee. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung, 3, Karlsruhe, 42 pp.

Schlegel, F. 1992. Naturnahe Gestaltung des Alpenrheins – eine Utopie? Schweizer Ingenieur und Architekt, 37, Zürich, 678–683.

Thomas, E. 1976. Der Flutende Hahnenfuss (Ranunculus fluitans Lam.), ein neues limnologisches Problem am Rhein. Wasser, Energie, Luft, 10, Baden, 230–233.

VAW 2003. Jahresbericht 2002 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 24–25.

Vischer, D. 1990. Der Bodensee, seine Zuflüsse, seine Schwankungen, sein Abfluss. Wasser, Energie, Luft 82, 7/8, Baden, 137–141.

Vischer, D. 1993. Der Zeitpunkt der jährlichen Höchststände im Bodensee-Untersee und im Hochrhein oberhalb der Thurmündung. Wasser, Energie, Luft, 7/8, Baden, 133–135.

Vischer, D. 1993. Die Trink- und Brauchwasserableitungen aus dem Bodensee; ihr Einfluss auf den Seespiegel und den Hochrhein. Wasser, Energie, Luft 85, 3/4, Baden, 45–47.

Vischer, D. 1995. Die Schweizer Seen in der Wasserbaugeschichte. Schriften der Frontinus Gesellschaft, Bergisch-Gladbach, 19, 33–58.

Vischer, D. 1997. Nachhaltige Gewässernutzung am Beispiel der überregionalen Wasserversorgung. Ökoforum Bregenz 1997 «Lebensquell Wasser», 1–7.

Vischer, D. 2000. Von der Wasserstrasse zur Energieachse. Der Bürger im Staat, 50, 2, Stuttgart, 93–98.

Vischer, D. 2003. Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz; von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bericht 5, Bern, 207 pp.

Warth, W. 1992. Die Schweiz, der Kanton St. Gallen, die Rheintalgemeinden und die Rheinkorrektion vor 1848. In: Internationale Rheinregulierung: Der Alpenrhein und seine Regulierung. Buchs Druck, Buchs, 152–157.

Wieland, Ch. 1989. Der Bodensee als Trinkwasserspeicher. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 87, 1, Baden, 43–44.

Zarn, B. & Hunziker, R. 2003. Morphologie und Geschiebehaushalt Alpenrhein. Zusammenfassender Bericht über die Untersuchungen zwischen 1985 und 2000. Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Flussbau. Aarau/Domat-Ems, 34 pp.

Zurbrügg, Ch. & Fäh, R. 1993. Hydraulisch-mathematische Modellrechnung zum Ausfluss des Bodensees. Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 78 pp.

Prof. Dr. Dr. h.c. Daniel Vischer, Im Waldheim 4, CH-8304 Wallisellen,
E-Mail: vischer@vaw.baug.ethz.ch

Das Rheingebiet als Grundwasserträger

Jürg Trösch (Zürich)

1 GRUNDWASSER-DYNAMIK

Der Grundwasserträger des Alpenrheintales erstreckt sich von Reichenau bis zum Bodensee, über eine Länge von fast 100 km. Insgesamt beträgt die Fläche des Grundwasserträgers rund 450 km^2. Durch natürliche Hindernisse und Engnisse ist er in verschiedene Becken unterteilt (WEBER, 1978):

- **Reichenau – Haldenstein**
  Wechselnde Rheinablagerungen, seitlich verzahnt mit schlecht durchlässigem Rüfenmaterial (z. B. Maschänserrüfe)
- **Trimmis bis Ellhorn – Trübbach**
  Wechselnde Ablagerungen von Rhein und Landquart, verzahnt mit Schuttfächern der Tamina und des Glecktobels
- **Buchs – Schaan bis Sennwald-Eschen**
  Kiesige/sandige Ablagerungen von teilweise ausgezeichneter Durchlässigkeit
- **Sennwald – Eschen bis Oberriet – Koblach**
  Der Ill-Frutz-Schwemmfächer mit gut durchlässigen Schottern drängt den Rhein auf die linke Talseite.
- **Oberriet – Koblach bis Bodensee**
  Gut durchlässige alte Rheinläufe in gering durchlässigen Schichten und torfigen Ablagerungen, gegen den Bodensee mit groben Kiesen der Bregenzerach.

Der natürliche Grundwasserhaushalt wird durch folgende Mechanismen geprägt:

- Direkte Niederschlagsversickerung im Bereich der Talebene
- In- und Exfiltration aus dem Rhein, aber auch aus Bächen und Giessen
- Unterirdische Hangwasserzuflüsse
- Exfiltration in den Bodensee

Im Grundwasserhaushalt kommt vor allem der Rheininfiltration grosse Bedeutung zu. Infiltration und Exfiltration aus dem Rhein wechseln sich ab. Zu Beginn eines Grundwasserbeckens infiltriert der Rhein meistens, ebenso wenn der Grundwasserspiegel unter dem Flussspiegel liegt. Oberhalb von Engnissen fliesst das Grundwasser wieder in den Rhein zurück. Die ausgetauschten Wassermengen auf der gesamten Länge liegen bei mittleren Wasserständen des Rheins zwischen 5 bis 10 m^3/s, während Hochwassern können jedoch wesentlich grössere Mengen exfiltrieren. Berechnungen für das Fürstentum Liechtenstein zeigen, dass bei Hochwasser im Rhein bis zu 40 m^3/s zusätzlich an Sickerwasser anfällt. Für den Rhein mit einem mittleren Abfluss bei Diepoldsau von 230 m^3/s sind diese Mengen nicht von Bedeutung, sie sind auch nicht durch Messungen nachweisbar.

Gegenüber dem natürlichen Zustand des Alpenrheins mit einem in der Talebene verzweigten und mäandrierenden Fluss stellt die heutige Zähmung des Rheins mit Dämmen für den Grundwasserhaushalt eine einschneidende Änderung dar. Doch ist auch der heutige Zustand nicht stabil, die Sohlenlage des Rheins ändert sich drastisch in Funktion des Geschiebehaushaltes. So hat sich seit 1950, als Folge von Geschiebeentnahmen, die Sohle stark gesenkt. Unterhalb des Ellhorns senkte sich die Rheinsohle bis 1970 um über 5 m, bei Ruggell noch 1–2 m. Erosionen traten auch oberhalb der Ellhornschwelle auf. Als Folge davon senkte sich auch der mit dem Rhein gekoppelte Grundwasserspiegel. Dies führte zu einer Verringerung der Speisung des Grundwassers, die Wasserqualität verschlechterte sich. Zudem trockneten viele Giessen aus, die ursprünglich der Drainage des Grundwassers dienten. Daher wird mit dem Entwicklungskonzept Alpenrhein angestrebt, die Lage der Rheinsohle wieder zu erhöhen (vgl. VISCHER und KALT, in diesem Buch).

Zusammenfassend präsentiert sich der Einfluss des Rheins wie folgt:

Südlich von Landquart bis Ragaz infiltriert der Rhein ins Grundwasser. Weiter nördlich

kehren sich rechtsrheinisch die Verhältnisse um, und Grundwasser exfiltriert in den Fluss. Linksrheinisch setzt sich die Infiltration bis zur Sohlenschwelle von Ellhorn fort.

Ein Teil des Infiltrationswassers tritt nördlich von Bad Ragaz in die Saar über und wird durch diese oberflächlich abgeleitet.

Unterhalb der Sohlschwelle Ellhorn bis etwa Sevelen wirkt der Rhein als Vorfluter, in den das Grundwasser exfiltriert. Ein Teil fliesst unter dem Rhein durch nach Liechtenstein. Die deutlich tiefere Rheinsohle unterhalb der Schwelle begünstigt die erwähnte Exfiltration. Zudem erfolgte nach dem Schwellenbau eine Sohlenerosion, die bis auf die Höhe der Saarableitung eine Tieferlegung der Rheinsohle von rund 0,6 Meter bewirkte. Von der Saarableitung bis zur Brücke Sevelen – Vaduz hat sich die Rheinsohle im gleichen Zeitraum immerhin noch um rund 0,4 Meter abgesenkt. Diese Vorgänge begünstigen ebenfalls die Exfiltration von Grundwasser in den Rhein.

Zwischen Sevelen und der Sohlschwelle Buchs ist dann wieder durchgehend eine Infiltration von Rheinwasser zu beobachten. In diesem Abschnitt hat sich die Rheinsohle seit 1972 insgesamt um rund 0,5 Meter angehoben, was sicherlich die Infiltrationstendenz begünstigt.

Auf einem Abschnitt von rund sechs Kilometern Länge unterhalb der Sohlschwelle Buchs findet dann infolge der sprunghaften Verringerung der Höhenkote der Rheinsohle von rund zwei Metern eine Exfiltration von Grundwasser in den Rhein statt. Weiter flussabwärts kehren sich die Verhältnisse um. Bis Bendern infiltriert der Rhein wiederum in den Grundwasserträger.

Der Schellenberg und auch der Bergsturz von Sennwald verengen den Grundwasserleiter bei Ruggell und verhindern den Abfluss des Grundwassers in nördlicher Richtung. Im Abstrombereich des Schellenberges kommt es deshalb bis etwa zur Illmündung wieder zu einer Exfiltration von Grundwasser.

Zwischen der Ill- und der Frutzmündung liegt der Grundwasserspiegel im Ill-Schwemmfächer (rechtsrheinisch) über dem Flussniveau. Somit wirkt der Rhein als Vorfluter. Links des Rheins liegt die Grundwasserspiegelkote jedoch deutlich tiefer, so dass eine Infiltration von Rheinwasser erfolgt.

Unterhalb der Illmündung beträgt die Eintiefung seit 1972 rund 0,5 Meter. Dies hat vermutlich die Exfiltration von Grundwasser zwischen der Frutzmündung und dem Kummaberg begünstigt.

Weiter nördlich kommt es allerdings wieder zu einer Infiltration von Rheinwasser in das Grundwasser. Im Bereich des Diepoldsauer Durchstichs werden die Verhältnisse sehr kompliziert, da zusätzlich Wechselwirkungen mit der alten Rheinschlaufe auftreten. Generell kann aber von einer Infiltration ausgegangen werden.

Auch weiter flussabwärts liegt der Grundwasserspiegel generell unterhalb des Flussniveaus. Somit erfolgt eine Infiltration. Diese ist jedoch gering, da der Rhein über weite Strecken im Bereich von schlecht durchlässigen feinkörnigen Sedimenten fliesst und die Rheinsohle wegen des Feinsedimentanteils im Flusswasser stark kolmatiert ist.

Neben dem Rhein als Hauptgewässer sind auch die anderen Oberflächengewässer von Bedeutung, da diese verhindern, dass die Ebene vernässt. Die Binnenkanäle nehmen dabei das Wasser der Seitenbäche aus den Talhängen auf und führen es an geeigneter Stelle in den Rhein. Die Giessen drainieren die Ebene und ermöglichen erst eine Nutzung des Landes. In den Giessen, die ursprünglich reine Grundwasseraufstösse mit kühlem, klarem Wasser waren, schwanken die Abflüsse direkt in Abhängigkeit des Grundwasserspiegels. Während Rheinhochwassern muss in diesen Nebengewässern ebenfalls mit hohen Abflüssen gerechnet werden, wegen der grossen Mengen von Rheininfiltrat. Viele Giessen werden jedoch heute künstlich bewässert, entweder mit Rheinwasser oder aus anderen Oberflächengewässern.

Die direkte Grundwasserneubildung aus der Infiltration von Niederschlagswasser liegt im Jahresmittel bei etwa 4 m^3/s. Die unterirdischen Hangwasserzuflüsse aus den seitlichen Einzugsgebieten betragen etwa 5 m^3/s. In den Bodensee

exfiltriert nur noch eine geringe Menge von etwa 0,5 m^3/s.

Die Grundwassermächtigkeit liegt oberhalb von Chur bis Sargans bei über 60 m, bei Landquart wird sogar eine Mächtigkeit von gegen 200 m erreicht. Die rechts des Rheins liegenden Schwemmkegel der grossen Rüfen weisen eine schlechte Durchlässigkeit auf, im Gegensatz zu den Schottern der alten Rheinläufe. Unterhalb der Ellhornschwelle nimmt die Mächtigkeit bis Ruggell auf etwa 20 m ab, die Durchlässigkeit der Kiese ist jedoch hoch. Von Ruggell bis zum Bodensee schwankt die Mächtigkeit um 10 bis 20 m. In den Randzonen ist sie teilweise wesentlich geringer, ausser beim Schwemmfächer der Bregenzerache, wo mächtige, gut durchlässige Kiesschichten bis zu 50 m Mächtigkeit angetroffen werden.

Mit einem Grundwassermodell des ganzen Rheintales wurden die Zusammenhänge eingehend untersucht und wertvolle Planungsunterlagen erarbeitet. Beteiligt sind alle betroffenen Länder und Kantone (Vorarlberg, Fürstentum Liechtenstein, St. Gallen und Graubünden), koordiniert durch die Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). Das Modell ist ein so genanntes Finite-Elemente-Modell, horizontal-zweidimensional, zur Diskretisierung der Oberfläche des Grundwasserträgers. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters wird als Parameter ebenfalls berücksichtigt. Der Rhein, die Binnenkanäle sowie alle kleineren Oberflächengewässer sind im Modell eingebaut, die In- und Exfiltration erfolgt wegen der meist starken Abdichtung der Gewässersohlen (Kolmation), gedämpft mittels eines Leakagekoeffizienten. Das Modell wurde an Daten einer Simultanmesskampagne (rund 500 Pegelmesspunkte) kalibriert und kann nun für weitere Untersuchungen verwendet werden. Ein wichtiges Beispiel ist die Untersuchung der im Rahmen des Entwicklungskonzeptes Alpenrhein geplanten Massnahmen, wie etwa Flussaufweitungen, auf den Grundwasserhaushalt.

2 ZUR WASSERQUALITÄT DES RHEINS UND SEINER NUTZUNG ALS TRINKWASSERRESERVOIR

Grundwasser ist im Rheintal die bedeutendste Ressource für Trinkwasser. Ausser im Kanton St. Gallen, wo etwa 30% des Trinkwassers aus dem Bodensee gewonnen werden, kommt das Trinkwasser sonst gänzlich aus Quell- und Grundwasser. Die Sicherstellung der Grundwasserqualität und der -quantität hat daher hohe Priorität. Im gesamten Rheintal ist heute ein Bedarf von etwa 130 000 m^3/d Trinkwasser bereitzustellen, der zu 60% aus Grundwasser gedeckt wird. Die konzessionierten Wassermengen sind jedoch bedeutend höher. Für Vorarlberg sind dies 230 000 m^3/d, St. Gallen 200 000 m^3/d, Liechtenstein 60 000 m^3/d und Graubünden 50 000 m^3/d. Zusätzlich wird das Grundwasser thermisch genutzt. Dazu werden rund 90 000 m^3/d entnommen, das Wasser muss jedoch im Allgemeinen wieder in den Grundwasserträger zurückgeführt werden, mit veränderter Temperatur. Würden überall die konzessionierten Wassermengen genutzt, könnte dies lokal zu einer Übernutzung führen.

Die Grundwasserqualität im Rheintal ist im Allgemeinen gut. In Rheinnähe ist der Einfluss des Rheins ausschlaggebend. Inhaltsstoffe des Rheinwassers finden sich innert Kürze in den rheinnahen Grundwasserfassungen wieder, sofern sie nicht abgebaut oder adsorbiert werden. Fassungen mit geringem Rheineinfluss zeigen hingegen ein konstanteres Verhalten, langfristige Einflüsse aus der Landwirtschaft (vor allem Nitrat) und Besiedlung überwiegen. Die Nitratbelastung übersteigt jedoch selten 10 mg/l, meistens liegt der Wert darunter. Nicht alle Belastungen des Grundwassers sind durch den Menschen verursacht. In der Nähe von Riedgebieten, verursacht durch torfhaltige Schichten, weist das Grundwasser meist einen erhöhten Gehalt an organisch gelöstem Kohlenstoff (DOC) auf und ist oft sauerstoffarm. Belastungsquellen sind zudem Altlasten (Deponien), die weiterhin verschiedene Schadstoffe in die Umgebung abgeben. Entlang Hauptstrassen

und Autobahnen muss während des Winters zudem mit einem erhöhten Anteil von Streusalz gerechnet werden.

Viele Grundwasserbrunnen befinden sich in der Nähe des Rheins, um direkt das infiltrierende Rheinwasser nutzen zu können. Entgegen der oft vertretenen Meinung ist jedoch der Rhein keine Wasserscheide, wo das Wasser entweder nach links oder rechts wegfliesst. Im Allgemeinen wird der Rhein vom Grundwasser unterströmt, eine rheinnahe Fassung kann daher auch Wasser von der gegenüberliegenden Rheinseite anziehen. Typische Zonen mit Unterströmung sind beispielsweise das Ellhorn, wo der linksrheinische Grundwasserstrom der Sarganserebene unterhalb der Ellhornschwelle nach Liechtenstein strömt, oder unterhalb des Kummaberges, wo die Grundwasserbrunnen in Mäder teilweise linksrheinisches Wasser pumpen. Zudem ist zu beachten, dass durch eine verstärkte Rheininfiltration die lokale Kolmation der Sohle erhöht wird, wodurch sich die Infiltrationsmenge verringert.

3 LITERATUR

Büro für Hydrogeologie Dr. Peter P. Angehrn AG, TK Consult AG, Rudhardt+Gasser 2000. Grundwasserhaushalt Alpenrhein. Grundwassermodellierung für den Abschnitt Landquart bis Bodensee. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Bregenz.

Weber, E. 1978. Der Grundwasserstrom des Alpenrheins. Wasser, Energie, Luft 70/5, 95–172.

Dr. sc. techn. Jürg Trösch, TK Consult AG, Siewerdtstrasse 7, CH-8050 Zürich
E-Mail: troesch@tkconsult.ch

Kalkablagerungen in Untersee und Rhein

August Schläfli (Frauenfeld)

1 EINLEITUNG

Es gibt viele Autoren, die sich wissenschaftlich mit dem Phänomen der Kalkablagerungen in Untersee und Hochrhein befasst haben. Die zwei wichtigsten, auf die sich der folgende Beitrag stützt, sind: der Botaniker Dr. Eugen BAUMANN (1911) in seinem Werk über «Die Vegetation des Untersees (Bodensee)» und der Hydrobiologe Prof. Dr. Otto JAAG (1970) in seinem Aufsatz «Hydrobiologische Besonderheiten des Untersees und des Hochrheins bis Schaffhausen». Auch Friedrich KIEFER kommt 1972 in seiner «Naturkunde des Bodensees» zusammenfassend auf die Kalkablagerungen zu sprechen. In jüngerer Zeit wurde im Zusammenhang vor allem mit Wasservogelbeobachtungen und mit floristischen und vegetationskundlichen Arbeiten im Wollmatinger Ried auf diese «bisher nirgends auf der Welt» (O. Jaag) so ausgeprägt beobachteten Erscheinungen wieder vermehrt hingewiesen. Ich erwähne: LEUZINGER, 1972; SUTER, 1982; JACOBY, 2000 und in diesem Buch; DIENST et al., 2004 und in diesem Buch). Auch die langjährige Diskussion um die 1970er Jahre über die Bodenseeregulierung und Hochrheinschifffahrt hat die Kalkablagerungen immer wieder in die Schlagzeilen gebracht und sie als wichtige Argumente gegen diese Projektabsichten verwendet.

1 KALKTUFFBILDUNGEN (Abb. 1)

Für die Bildung von Kalktuffen im Süsswasser sind vor allem Blaualgen (Cyanobakterien), in geringerem Masse auch Moose und Köcherfliegenlarven, verantwortlich. Bei den Blaualgen handelt es sich um Mikroorganismen, die eine Photosynthese durchführen können. Sie vermögen bei diesem Prozess dem im Wasser gelösten Calciumhydrogencarbonat Kohlendioxid zu entziehen, was zum Ausfällen von Calciumcarbonat (Kalk) führt. Dieser hüllt die Unterlagen (z. B. kleine oder grössere Steine) mitsamt den unteren Teilen der Blaualgenfäden ein. Die aus der Kalkschicht ragenden Zellfäden wachsen aber weiter. Die Folge davon sind dünne bis sehr dicke Überzüge von schwammigem Kalk, die entweder als einzelne Kalktuffgerölle verschiedener Grösse auf dem Gewässerboden liegen oder zu ausgedehnten Kalktuffbänken und -platten zusammenwachsen. Mehr zur Bildung von Kalktuffablagerungen siehe bei Baumann.

Für die Photosynthese brauchen die Blaualgen kohlensäurehaltiges Wasser, dessen ständige Zufuhr im fliessenden Wasser besser gesichert ist. Dieser Standortsfaktor verweist die Kalktuffablagerungen an Seeufer mit grösseren Wasserströmungen, an den Ausfluss des Obersees bei Konstanz, in den Seerhein bis unterhalb Gottlieben, in den Hochrhein von Eschenz bis Stein am Rhein und von Stein am Rhein abwärts bis Hemishofen.

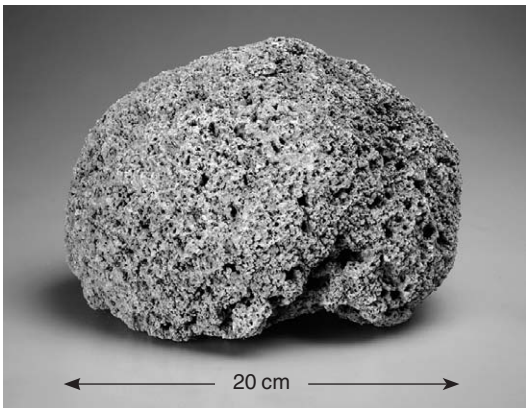


Abb. 1. Kalktuffgeröll aus dem Hochrhein. Foto: Naturmuseum Thurgau, Frauenfeld.

Bei starkem Niedrigwasser lassen sich diese Kalkablagerungen z. B. bei den Inseln Werd (Eschenz) oder bei der Eisenbahnbrücke Etzwilen – Singen gut beobachten. Allerdings zerbröckeln Kalktuffgerölle und Kalktuffbänke bei Niederwasser an der Luft und vor allem bei starkem Frost schnell zu graugrünem, schmie-

rigem Sand oder zu gröberem Grus, welche im Winter den Aspekt auf dem trockengefallenen Seeboden, z. B. zwischen den drei Werd-Inseln, bestimmen. Erst ein höherer Wasserstand fegt diese Verwitterungsprodukte in den See oder verfrachtet sie mit der Flussströmung. Den winterlichen Gang – trockenen Fusses – von Insel zu Insel lassen sich Besucher nicht entgehen. Dass dieses Erlebnis noch heute möglich ist, darf nicht als selbstverständlich hingenommen werden. Die in den 1970er Jahren stark propagierten Projekte zur Bodenseeregulierung durch ein Wehr bei Hemishofen und die einst ernsthaft diskutierten Pläne zur Schiffbarmachung des Hochrheins bis zum Bodensee hätten bedeutet, dass die zwei kleineren Inseln dem Baggerzahn zur Vertiefung einer Schifffahrtsrinne zum Opfer gefallen wären. Diverse Publikationen in Zeitschriften und Zeitungsartikeln machten damals auf diese hydrobiologischen Besonderheiten aufmerksam und forderten deren Erhaltung (SCHLÄFLI, 1970. Vgl. dazu auch SCHNEIDER, 2004 und den Beitrag VISCHER in diesem Buch).

Die Kalktuffbildungen (ähnlich wie die seltenen Stromatolithen) sind aber nicht nur ein interessantes geologisches Phänomen, sie sind Grundlage von nahrungsökologischen Zusammenhängen, die vor allem in den letzten Jahrzehnten intensiv erforscht und in zahlreichen (vor allem ornithologischen) Publikationen beschrieben wurden. Einer der ersten war Hans LEUZINGER (1972), der den Tagesplatz der Schellente (*Bucephalus clangula* «fast ausschliesslich im fliessenden Wasser des See-Endes und des Rheins») entdeckte und auf die Zusammenhänge zwischen Kalktuff mit den Larven der Köcherfliege *Hydropsyche* und den Überwinterungsplätzen der Schellente aufmerksam machte. Auch JAAG (1970) schilderte eindrücklich, wie er mit seinen Studenten jahrelang faunistische und quantitative Analysen an Kalktuffgeröllen gemacht hat. «Fassen wir solche Gerölle mit dem Steingreifer oder holt sie ein Taucher ins Boot, so kriechen aus dem Innern der Tuffkruste tierische Organismen unterschiedlichster Art zu Hunderten heraus.»

SUTER (1982) war es dann, der die Zusammenhänge zwischen der speziellen Schnabelform, dem Nahrungserwerb und den Kalktuffunterlagen (ab 1968/69 zusammen mit dem Massenauftreten der Wandermuschel *Dreissena polymorpha)* erforschte. (Vergleiche dazu auch den Beitrag JACOBY, in diesem Buch.)

2 FURCHENSTEINE

Vor allem an Ufern, wo die Brandung verstärkt einwirken kann, findet man abgerundete Gerölle, die mit bräunlichen bis schwärzlichen Kalkkrusten überzogen sind. Liegen diese Steine ausserhalb des Wassers, erscheinen sie grau bis weiss. Diese Krusten sind meistens dünne Kalküberzüge, die aber mit der Zeit durch Anlagerung neuer Schichten dicker werden können und in seltenen Fällen 1 oder 2 cm erreichen. Auch an diesen kompakteren Bildungen sind kalkausscheidende Algen mitbeteiligt, wie wir es von den Kalktuffen her kennen.

Schon bei dünnen Krusten kann man hie und da oberflächlich dunklere Striche und kleine Furchen erkennen, die sich mit der Zeit zu gewundenen Gängen entwickeln, zu deren Bildung und Abbau wohl auch Tiere beitragen. Die Bezeichnung «Hirnstein» gibt gute Vorstellungen vom Aussehen dieser reifen, aber seltenen Furchensteine. Die Kalkschichten können bei starkem Wellengang oder bei Niederwasser ebenfalls zu einer sandigen Masse zerfallen.

3 SCHNEGGLISANDE (Abb. 2)

LAUTERBORN (1916, zitiert nach KIEFER, 1972) hat die Schnegglisande, diese eigenartigen Uferablagerungen organischen Ursprungs, die sich vor allem im Untersee finden, gut beschrieben. «Dies sind erbsen- bis nussgrosse, rundliche oder flache, oft durchbohrte Kalkkrustationen, die meist um Schneckengehäuse als Kern von kalkabscheidenden Algen der Gattungen *Schizothrix, Calothrix, Plectonema, Gongrosira* und anderen in konzentrischen Schichten abgelagert werden. Die Schnegglisande bilden in seichtem Wasser weite Geröllbänke und ganze

Inseln, die im Winter meist trockenfallen.» Im Gegensatz zu den Kalktuffen können die Schnegglisande im stehenden bis langsam sich bewegenden Wasser oder bei amphibischen Bedingungen aufgebaut werden. Ältere Autoren schätzen die Dauer der lebenden Algenphase der Schnegglisande für grössere Stücke auf gegen 20 Jahre. Mehrere Meter mächtige tote Schnegglisand-Ablagerungen, wie sie etwa die dem Wollmatinger Ried vorgelagerte, schilfbestandene Insel Langenrain aufbauen, weisen auf Prozesse hin, die über Jahrtausende andauerten. Baumann kommt geradezu ins Schwärmen, wenn er diese vegetabilischen Inseln in Analogie zu den Koralleninseln der Ozeane setzt. Kalktuffablagerungen, Schnegglisandbänke und Erosionstrümmer sollen den «Hauptteil des Seeschlammes und der Seekreide» ausmachen und haben die Morphologie des Unterseebeckens (besonders dessen allmähliches Ausfüllen und die Ufergestaltung) wesentlich mitgeprägt. Bemerkenswert ist auch die Angabe von Baumann, der damals auf Schnegglisandufern der Insel Langenrain die heute bedrohte, vivipare Bodensee-Charakterart Strand-Schmiele «in grosser Menge» fand (Dienst et al., 2004 und in diesem Buch). Interessant ist allerdings, dass Strandrasen-Gesellschaften heute nicht mehr auf Schnegglisanden vorzukommen scheinen (Dienst mündl.). Als indirekte Ursache vermutet er die Schilfausbreitung und sein dichteres Wachstum auf diesen Standorten.



Abb. 2. Schnegglisande in der Uferzone der Insel Werd. Foto: A. Schläfli.

Auch das Naturschutzgebiet Wollmatinger Ried hat seine naturkundliche Bedeutung teilweise den zu Strandwällen geformten Schnegglisand-Ablagerungen mit Tier- und Pflanzenarten der Steppenheide zu verdanken (Lang, G., 1967; Herrmann, 2004 und in diesem Buch).

4 «MÜSS»

Die durch Verkalkung der Zellwände starren und brüchigen Armleuchteralgen der Gattung *Chara* wurden früher mit Rechen aus dem See gezogen, zu Haufen geschichtet, getrocknet und als Kalkdünger («Müss») auf Felder und in Gärten verteilt oder in den Boden eingearbeitet. Die *Chara*-Wiesen bedeckten anfangs des 20. Jahrhunderts noch ausgedehnte Flächen im Ober- und Untersee an der untersten Grenzzone der Wasservegetation. Sie boten einer überaus reichen Tierwelt Nahrung und Unterschlupf. Baumann schildert, wie diese Unterwasserwiesen dem «Wasser von weitem eine prächtige braunrötlich schimmernde Farbe verliehen». Bei Niederwasser hingegen boten die ausgetrockneten Characeen von weitem «den Anblick eines Schneefeldes». Jacoby (in diesem Buch) beschreibt eindrücklich das Schicksal dieser *Chara*-Wiesen in neuerer Zeit und die damit verbundenen Folgen für die Tierwelt.

5 LITERATUR

Baumann, E. 1911. Die Vegetation des Untersees (Bodensee). Arch. Hydrobiol. Suppl. 1, 555 pp., 15 Tafeln; Stuttgart.

Dienst, M., Strang, I. & Peintinger, M. 2004. Entdeckung und Verlust botanischer Raritäten am Bodenseeufer – das Leiner-Herbar und die Strandrasen. Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschl. Beiheft 1, 209–230.

Herrmann, M. 2004. Alte Pflanzenbelege aus Feuchtgebieten am Stadtrand von Konstanz. Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschl. Beiheft 1, 231–240.

Jaag, O. 1970. Rheinfahrt von Schaffhausen nach Stein am Rhein. Flugblatt Serie II, Nr. 10, Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen.

JACOBY, H. 2000. Schnegglisande, Armleuchteralgen und Belchenjagd. Das Delphin-Buch 6, 81–101. Labhard-Verlag Konstanz.

KIEFER, F. 1972. Naturkunde des Bodensees. 210 pp. Thorbecke-Verlag Sigmaringen.

LANG, G. 1967. Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. Arch. Hydrobiol. Suppl. 32, Stuttgart.

LEUZINGER, H. 1972. Zur Ökologie der Schellente *Bucephala clangula* am wichtigsten Überwinterungsplatz des nördlichen Alpenvorlandes. Ornithologischer Beobachter 69, 207–223.

SCHLÄFLI, A. 1972. Pflanzenökologische Probleme im Zusammenhang mit der Bodenseeregulierung. Natur und Mensch, Nr. 5, 230–232.

SCHNEIDER, R. 2004. Die Schiffbarmachung des Hochrheins – eine Chronik. Natur und Mensch. Nr. 3, 20–29.

SUTER, W. 1982. Vergleichende Nahrungsökologie von überwinternden Tauchenten *(Bucephala, Aythya)* und Blässhuhn *(Fulica atrata)* am Untersee-Ende/Hochrhein (Bodensee). Ornithologischer Beobachter 79, 73–96.

Dr. August Schläfli, Talstrasse 16, CH-8500 Frauenfeld, E-Mail: amschlaefli@freesurf.ch

Klima Rheingebiet

Jacques Burnand (Zürich)

Allgemein gesehen steigen die Niederschlagssummen und sinken die Durchschnittstemperaturen mit ansteigender Höhe über Meer. Dies kann man im grossen Massstab beobachten: Die hohen Lagen der Alpen sind niederschlagsreicher als die tief liegenden Gebiete rundherum. Die Regel gilt auch für jeden Berghang unabhängig von der Exposition. Im mittleren Massstab, wenn einzelne Täler und Talabschnitte miteinander verglichen werden, können andere Verhältnisse beobachtet werden.

Die Klimaverhältnisse an einem Ort werden gut von den Klimadiagrammen von WALTER und LIETH (1960–1967) wiedergegeben (Abb. 1 bis 8)[1]. Die linke Achse stellt die Niederschläge in 20 mm-Schritten, die rechte die Temperatur in 10 °C-Schritten dar. Darin verbindet die obere Linie die monatlichen Niederschlagssummen, die untere die monatlichen Temperaturmittel. Die schwarz eingefärbte Fläche zeigt niederschlagsreiche Monate mit Niederschlagssummen über 100 Millimeter, und zwar auf einer auf $^1/_{10}$ reduzierten Skala. Temperaturen unter der Basislinie bedeuten Monatsdurchschnitte unter 0 °C. Rechts oben sind die Jahresmitteltemperatur und der Jahresniederschlag in mm angegeben.

Verschiebt man sich zum Beispiel dem Rhein entlang von Schaffhausen und Diessenhofen (Abb. 1, Jahresniederschlag 930 mm) zum Bodensee und weiter in die Alpen hinein, so steigen die Niederschläge zwar bis zum oberen Bodenseeende (Abb. 2, Rorschach 1128 mm), sinken dann im Rheintal ob St. Margrethen aber wieder (Vaduz 891 mm). Dies ist auf die Wirkung des Grossreliefs zurückzuführen. Auf der dem Wind zugewandten Seite von Bergen oder Gebirgen fallen im Verhältnis mehr, im «Regenschatten» weniger Niederschläge als im Durchschnitt.

In unserem Gebiet, wo die Niederschläge meistens von West- und Nordwestwinden herangeführt werden, ist die Alpennordflanke (Alp-

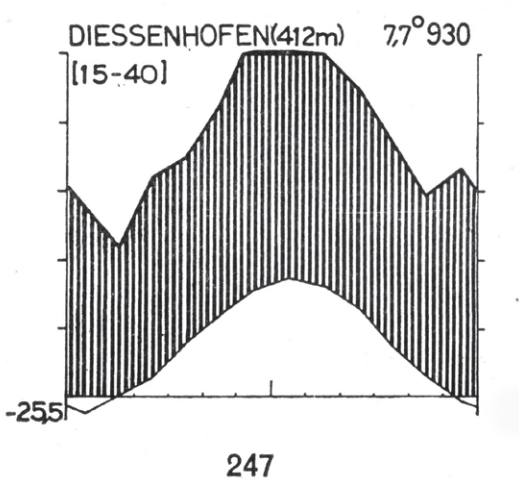


Abb. 1. Diessenhofen

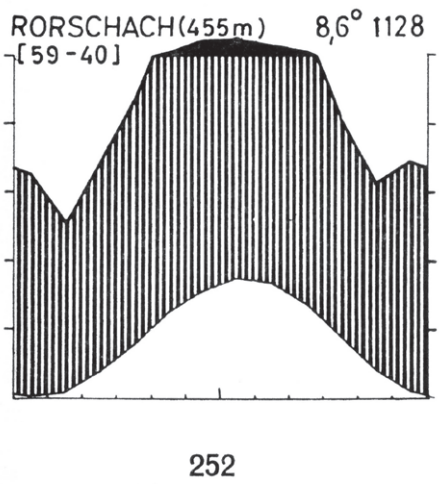


Abb. 2. Rorschach

[1] Auch wenn die zugrunde gelegten Messwerte aus der Mitte des 20. Jahrhunderts stammen und deshalb insbesondere die Temperaturen nicht mehr mit den heutigen übereinstimmen, so geben diese grafischen Darstellungen doch einen Eindruck der Klimaverhältnisse und erlauben eindrückliche Vergleiche zwischen den Stationen.

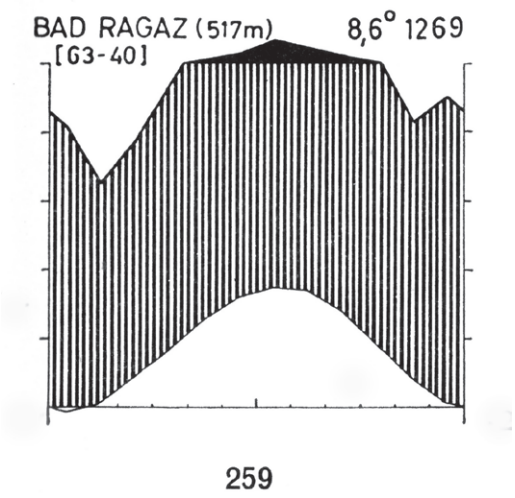


Abb. 3. Bad Ragaz

stein und Vorarlberg) am niederschlagsreichsten. Dagegen sind Täler und Niederungen im Südosten von Bergmassiven im Verhältnis zur Umgebung trockener, und zwar je weiter vom Alpenrand entfernt, desto deutlicher.

Das untere Alpenrheintal ist also im Schutze des Alpstein-Massivs relativ trocken; weiter oben können aber durch das Toggenburg und den Walensee-Durchbruch wiederum feuchtere Luftmassen bis nach Sargans und weiter ins Prättigau vordringen (Abb. 3, Bad Ragaz 1269 mm). Erst oberhalb Landquart werden die Niederschläge erneut rarer. Chur (Abb. 4, 831 mm), das Domleschg (Thusis, Abb. 5) und das Albulatal sowie die untere Surselva (Ilanz, Abb. 6) sind relativ niederschlagsarme Gebiete. Zuoberst in diesen Tälern überwiegt der feuchte Charakter des Gebirgsklimas (Platta bei Disentis, Abb. 7, und Splügen, Abb. 8).

In den trockeneren Regenschatten-Gebieten ist die Bewölkung schwächer, die Sonneneinstrahlung entsprechend höher. Dies wirkt sich auf die Abstrahlung in der Nacht aus. Die Temperaturgegensätze sind deshalb hier grösser, und zwar sowohl im Tagesverlauf als auch im Laufe des Jahres (vgl. Chur Abb. 4, Thusis Abb. 5 und Rorschach Abb. 2). Ein solches trockenes Klima mit grösseren Temperaturextremen bezeichnet man als *kontinental;* im Gegensatz dazu heisst ein feuchtes Klima mit mehr ausgeglichenen Temperaturverhältnissen *ozeanisch*.

Auch ausserhalb der Alpen kann die stauende Wirkung von Gebirgen beobachtet werden. Im unteren Teil des Gebietes, zwischen Konstanz und Schaffhausen, hält das Schwarzwaldmassiv die Wolken und die Niederschläge fern. In Singen, dem Zentrum dieses Gebietes, ist die jährliche Niederschlagsmenge tiefer als in Mittelbünden.

Im regionalen Kontext wirken grosse Seen temperaturmässig ausgleichend auf das Klima

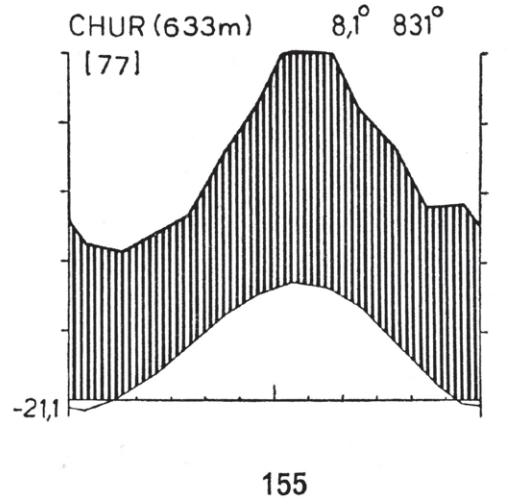


Abb. 4. Chur

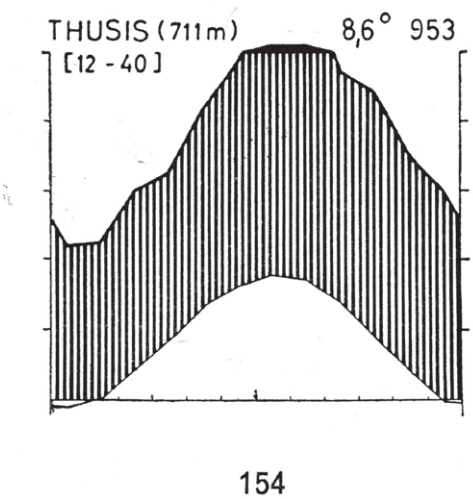


Abb. 5. Thusis

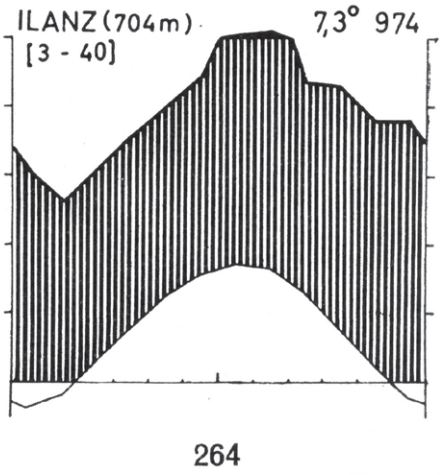


Abb. 6. Ilanz

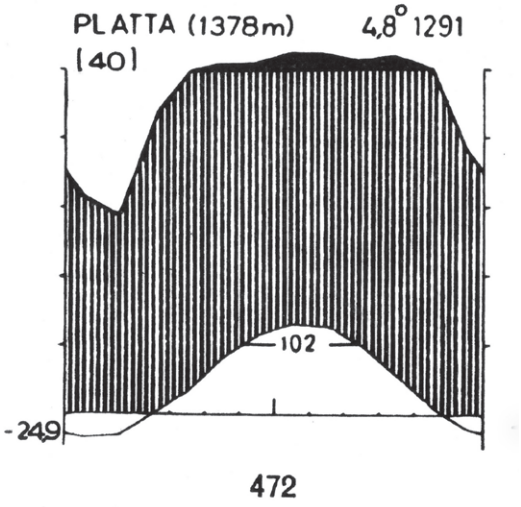


Abb. 7. Platta bei Disentis

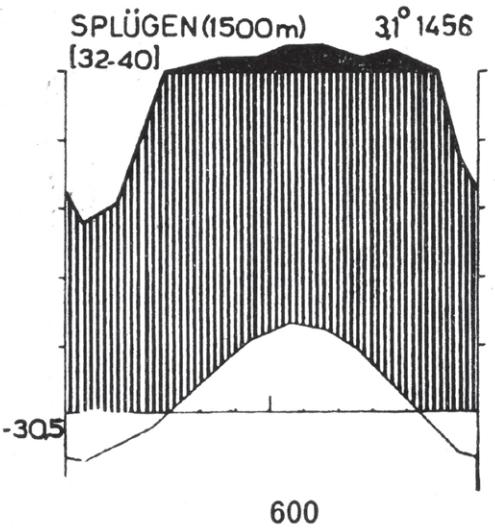


Abb. 8. Splügen

der Umgebung. Die grosse Wassermasse kühlt im Sommer die Luft der Umgebung und wärmt sie bei kalten Wetterlagen. Im Bereich des Alpenrheins ist dies am Bodensee zu beobachten, dessen mildes Klima bekannt ist (Rorschach, Abb. 2).

Ein weiteres Merkmal des Alpenrheintales sind die häufigen Wetterlagen mit Föhn im Frühling und im Herbst, z. T. auch im Winter. Der warmtrockene Südwind hat sich eines grossen Teils seiner Feuchtigkeit auf der Alpensüdseite entledigt; er bewirkt in den Nordalpentälern eine starke Erwärmung, die im Frühling die Entwicklung der Vegetation um mehrere Tage beschleunigen kann. Der wärmende Föhn trocknet auch die Böden stark aus. Zugleich kann er feuchte Luftmassen zurückhalten und beschert den Alpentälern trockene Tage, wenn es weiter im Westen und ausserhalb der Alpen schon regnet. Zwischen Chur und Vaduz ist die Föhnwirkung am grössten, doch auch das Tal weiter hinunter bis zum Bodensee ist sie ein wesentlicher Klimafaktor. (Vgl. mit der Verbreitung der Vegetation in BURNAND et al.).

LITERATUR

WALTER, H. & LIETH, H. 1960. Klimadiagramm-Weltatlas. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

Dr. Jacques Burnand, Zähringerstrasse 9, CH-8001 Zürich, E-Mail: burnandja@bluewin.ch

2 Flora und Vegetation

Synopsis: Flora und Vegetation am Rhein

Die Herausgeber

Wie hat sich nach diesen Vorgaben von Erdgeschichte, Klima und Boden und hydrologischen Gegebenheiten die nacheiszeitliche Vegetation entwickelt? Wie kam es zur Ausbildung unserer verschiedenartigen Wälder? Wie entstand und wie bildete sich Offenland?

Einen Einblick in dieses Geschehen liefern die jeweils vorkommenden Blütenpflanzen in Form der ihnen eigenen Pollenkörner, die sich in wachsenden Mooren während Jahrtausenden abgelagert hatten. Der Beitrag von BURGA erläutert die **Vegetationsgeschichte** des Rheintales, basierend auf solchen Pollenanalysen von Bohrstellen in Mooren vom San Bernardino-Gebiet bis zum Bodenseegebiet wieder.

Nach dem Rückzug der Gletscher aus den Stellungen der grössten Vereisung während der Würm-Eiszeit, also im **Spätglazial** (ab ca. 15 000 B.P. (before present) nach ^{14}C-Datierung), sind als Erstes einige typische Gräser und Kräuter sowie wenige Büsche auf die nun offenen Stellen eingewandert (Profil-Basis: Auswertung von Pollen-Prozent-Kurven). Im Verlaufe dieser Vorgänge, der **spätglazialen Sukzession** am Anfang der **Ältesten Dryas** (15 000–13 500 B.P.), bildete sich eine offene Tundren- und Steppen-Landschaft mit den Leitpflanzen *Artemisia* (Wermut), einigen Gänsefuss-Gewächsen (Chenopodiaceen) u. a. Arten.

Als erste Holzpflanzen erschienen nebst Weiden Wacholder und Sanddorn, die aus Refugialgebieten ausserhalb der Eisflächen (Apennin, Balkan, Karpaten) einwandern konnten. Sie bildeten kleine Busch-Gruppen in Steppe und Tundra. Auch einige Kräuter (z. B. Wiesenraute und Sonnenröschen) nahmen ihre Nischen wahr. In der nachfolgenden Zeit, dem **Bölling,** erfolgte ein Wiederbewaldungs-Versuch zunächst mit Birken, dann auch mit einzelnen Föhren, die erste **lichte Wälder** bildeten, ähnlich den lichten, trockeneren Auenbeständen in kontinentaleren Tälern. Im Alleröd stockten bereits geschlossene Wälder bis in ca. 1600 m ü. M.

Gegen den Schluss des Spätglazials, nach kleineren Rückschlägen in der Jüngeren Dryas, nahm der Baumwuchs im **Präboreal** stark zu (ähnliche Form wie auf Kies-Terrassen im heutigen Wallis und Graubünden). Im Süden rückten Arve und Lärche aus den Refugial-Gebieten in die inneralpinen Höhenbereiche vor. Und in den tieferen Lagen erschienen die ersten Vorboten des Eichenmischwaldes (EMW), vor allem an der Wende Präboreal/Boreal, die sich am Bodensee und am Hochrhein ausbreiteten und bereits das Prättigau und die Gegend von Chur erreichten.

Im **Boreal** war der Eichenmischwald mit reichlich Hasel etabliert. In den Alpen bildeten sich später die auch heute noch aktuellen **Höhenstufenfolgen** (etabliert ab 5000 B.P., Subboreal).

Im **Postglazial** ergab sich ein zusätzlicher Aspekt in der Vegetationsdynamik unter dem verstärkten Einfluss des Menschen. Dabei bildete sich ein Baumartengefüge, das im Wesentlichen dem heutigen gleicht.

Mit zunehmender Wärme im **Atlantikum** stieg die Waldgrenze etwas über die aktuelle Lage, bewegte sich aber auch noch im Rahmen von ± 100 m.

Im Boreal/Älteren Atlantikum wanderte die **Tanne** ein: Sie hatte die Eiszeiten in südlichen Gebieten (SW bis SE) überdauert und stieg aus dieser Himmelsrichtung über die Alpen, so auch von der Leventina über den Lukmanier-Pass ins Vorderrheintal und weiter nordwärts (8500–7000 B.P.; Feldkirch erst 3500 B.P.).

Die **Fichte** dagegen stiess von Osten her vor (ab ca. 8500–8000 B.P.) und erreichte um 6500

B.P. die Linie Bodensee – St. Galler Oberland – Oberalp-Pass, schliesslich den San Bernardino und fand ihre optimale Verbreitung in den kontinentaleren Alpen bei 900–1300 m (Chur, Rheintal um 7000 B.P.). Für die kurze Strecke über die Viamala ins Hinterrheingebiet brauchte sie ca. 500 Jahre.

Erst viel später, ab ca. 6000 B.P., zeigte sich auch die **Buche,** die sich vor allem von NE in die Gegend von Hochrhein und Bodensee vorarbeitete, schliesslich ins St. Galler Rheintal und um 5500 B.P. bis ins Bündner Oberland ausbreitete.

In derselben Zeit wie die Fichte hatte sich die lokal in den Bündner Alpen überdauernde Grünerle nordwärts ausgebreitet. Wesentlich früher (ab 9000 B.P.) rückten Weiss- und auch Schwarzerle in die Alpentäler vor, dies in Abhängigkeit von der Entwicklung der Auen und menschlicher Einwirkungen.

In einem Überblick über die gesamte östliche Schweiz zeigen BURNAND et al. die aktuelle Verbreitung der Baumarten und deren Wälder. Jedem Reisenden, der vom Bodensee über das Rheintal in die Bündner Alpen fährt, fällt auf, dass der Grünton und die Struktur der Hangwälder ändert, dass Laubholz durch Nadelholz ersetzt wird. Bei genauerem Hinsehen ändern sich die Anteile der einzelnen Grüntöne und auch die der herbstlichen Farbtöne. Allerdings wird dies nur deutlich, falls der Reisende das Glück hat, naturnähere, vom Menschen wenig beeinflusste Wälder zu sehen (s. unten!).

Die Abfolge der höhenabhängigen einzelnen Waldtypen mit vorwiegend Buche, Tanne und Fichte, z. T. Föhre und Eiche, beschreiben die Autoren anhand verschiedener Querschnitte durch die Täler vom Bodensee bis zu den beiden Hauptquellen des Rheins. Abgesehen von künstlich angelegten Fichten-Forsten können am Bodensee Nadelhölzer nur stufen- oder punktweise erscheinen. Erst im kontinentaleren Alpeninnern herrscht Nadelholz vom Talboden bis zur Waldgrenze. Jeder Querschnitt zeigt zudem weitere Eigentümlichkeiten und Veränderungen in der Zusammensetzung der sog. Waldgesellschaften, so bei Chur, Ilanz und in den Quellgebieten. Ein Klima-Gradient von den stärker ozeanischen («Buchen-Klima») zu den kontinentaleren nordalpinen Gebirgen («Fichten-Klima») wird parallel dazu von einem Vegetations-Gradienten befolgt mittels physiologischer Adaptationen an die ständig extremer werdenden klimatischen Verhältnisse. Auch in der Nähe der Talböden zeigen sich deutliche Änderungen: Die Buche wird zunächst durch Edellaubholz (Esche, Ahorn-Arten, Ulme), dann durch Eichen und Föhren ersetzt.

Während am Bodensee alle Lagen und Höhenstufen natürlicherweise von Laubholz beherrscht werden, zeigt sich alpenwärts eine Höhenstufung von ganz oder mehrheitlich Nadelhölzern, gelegentlich unterbrochen von pionierhaft auftretenden Birken, Weiden oder Vogelbeeren und Aspen.

Auch auf den Talböden erkennt man teils nadelholzbeherrschte, teils flussnähere Auenvegetation mit Weiden, Erlen und z. T. Edellaubholz bis in die Gegend von Disentis (bzw. bis oberhalb Thusis), später beschränken sich die wenigen noch vorhandenen Arten auf Weiden und Erlen, z. T. Nadelholz, z. T. Sträucher.

Im Quellbereich sind dann auch keine Pionierbäume mehr vorhanden: es zeigt sich lediglich noch Grünerlen- und Weiden-Gebüsch; oft auch im Mosaik mit alpinen Rasen, Quellsümpfen und Mooren.

Schon früh wurden grosse Flächen der Gebirgswälder gerodet, dies v. a. in der Römerzeit und im Mittelalter. Dabei bildete sich Grasland verschiedenster Art, Matten und Weiden, Streuwiesen und Heiden (GRABHER). So wurden die meisten Talböden und ebeneren Flächen vielfach schon im älteren Holozän oft recht intensiv landwirtschaftlich genutzt. Mit der Zeit entstehen durchgehende Korridore auch ausserhalb der **Lavinare** und Runsen von der alpinen Stufe zu den menschgeschaffenen Grasbändern der Talböden. Wenn schon vor den Rodungen die oft offenen Talböden eine Lebensader für die Verbreitung von Organismen bildeten, so vereinfacht sich nun auch der Zugang alpiner Organismen zu jenen der tieferen Lagen. Es ist klar, dass sich in ähnlicher Weise auch Öffnungen für tierische Organismen gebildet haben (s. bei «Fauna»). Gleichzeitig haben sich Gruppen

von Organismen aus dem alpinen Bereich an Streuland-Bedingungen angepasst. Diese Adaptationen umfassen Pflanzen aller Art, aber z. T. auch Insekten, teilweise unter Verdrängung von Tiefland-Organismen. Verschiedene «Rosinen» aus den Schutzgebieten sind im Kapitel 5 «Naturschutz und Renaturierungen» aufzusuchen.

Der spezielle Rang der **Auengebiete** wird durch ROULIER gewürdigt. Der Autor hat sich in den 90er Jahren intensiv mit der Vegetationsdynamik in den Alluvionen befasst, später die Inventarisierung in der Schweiz durchgeführt und schliesslich in vielen Gebieten eine Vegetations-Kartierung dieser komplexen Mosaike. An speziellen Objekten veranschaulicht er das Gefüge dieser Schutzgebiete vom Tomasee bis zum Bodensee (6 Objekte im Vorderrheintal, 5 am Alpenrhein; Bemerkungen zum Hinterrhein siehe bei BURNAND et al., zur Greina bei STÄHLI).

In der gesamten Schweiz sind die **Auengebiete** mit ihrer typischen Vegetation sehr selten geworden und heute weitgehend unter Schutz gestellt (Flusskorrektionen s. bei VISCHER und KALT). Der Vorderrhein aber ist, wie oben erwähnt, noch reich an Auen. Immerhin zählt er von der Quelle bis zu seiner Vereinigung mit dem Hinterrhein sieben Objekte von nationaler Bedeutung. Bis zur Mündung des Rheins in den Bodensee sind es noch deren drei. Im sanktgallischen Rheintal bewegt sich der Fluss streng geradlinig zwischen den Dämmen. Nach dem Bau der beiden grossen «Rheindurchstiche» blieben an den alten Flussläufen wertvolle Auenlandschaften erhalten, eine an den alten Mäandern bei Diepoldsau/Rheineck, die andere beim Delta Altenrhein.

Auch die übrige **Waldvegetation** des Rheingebietes wurde durch den Menschen mitgeprägt. Vielerorts wurden aus wirtschaftlichen Gründen Baumarten (z. B. die Fichte) gepflanzt, die von Natur aus am betreffenden Standort nicht vorkommen würden. Trotzdem lassen sich die ursprünglichen Verhältnisse noch heute aus den Waldgesellschaften unter Einbezug von Strauch- und Krautarten erkennen. Die vorliegenden Arbeiten stützen sich auf Waldstandort-Kartierungen der letzten 25 Jahre, welche die potentielle natürliche Vegetation anzeigen.

Ausserhalb des Waldes sind die Standorteinflüsse vielerorts nur noch schwer aus der aktuellen Vegetation herauszulesen. Zu sehr hat der Mensch die Landwirtschaftsflächen für seine Ziele umgestaltet. Die Vegetation des **Offenlandes,** insbesondere des Graslandes im Vorarlberger Rheintal, ist aus ökologischer Sicht geprägt von Gegensätzen (vgl. Beitrag GRABHER). Die ehemals blütenreichen traditionellen Futterwiesen wurden immer intensiver genutzt; heute erinnern nur noch kleine Flächen – auch an den Dämmen – an die frühere Kulturlandschaft. Erstaunlich für eine dicht besiedelte Wirtschaftsregion mit zugleich intensiver Landwirtschaft ist aber die Vielfalt und die Grossflächigkeit der schützenswerten Streuwiesen von über 1000 ha. Vier Fünftel davon sind Pfeifengraswiesen. Auf mineralreichen Böden sind sie besonders arten- und blumenreich. Spezielle Beachtung verdienen die Übergangsmoore, die lokal sogar in Hochmoore überleiten. Leider sind sie auf etwa 3% der ursprünglichen Vorkommen geschrumpft.

In dieselbe Richtung weisen auch die **Wassermoose** am thurgauischen Rheinufer (vgl. Beitrag HILFIKER). Die unscheinbaren Vertreter der Kryptogamenflora sind fähig, als Pioniere äusserst unwirtliche Unterlagen wie beispielsweise Betonmauern zu besiedeln und mit weichen Teppichen zu überziehen, so dass hier später auch andere Organismen Lebensraum finden können. Neben den Uferbefestigungen besiedeln die teilweise gefährdeten Wassermoose manchmal auch Steine im Flussbett oder Ablagerungen von Kalktuff (vgl. Kapitel 1).

Damit hat sich eine Verlagerung der schützenswerten Organismen ergeben. Primäre Standorte, nasse und trockene, gingen verloren. Indessen konnten sich viele bemerkenswerte und seltene Arten auf sekundären Standorten wieder ansiedeln – zunächst im Streuland, dann auch auf Dämmen und dergleichen, später auf renaturierten Flächen (vgl. Kapitel 4).

Dies macht die Verluste an Natur-Standorten nicht wett. Aber immerhin gelang es seltenen Arten sich anzupassen.

Der Rhein – Lebensader einer Region: 124–134

Hauptetappen der Vegetationsentwicklung im Rhein-Gebiet seit dem Würm-Spätglazial (ab ca. 17 000 Jahre B.P.)

Conradin A. Burga (Zürich)

1 EINLEITUNG

Ausgehend vom Würm-Maximum (Eisrandkomplex Schaffhausen/Killwangen) schmolz der Rhein-Linth-Gletscher um 17 000 B.P. von der Eisrandlage Weissbad/Koblach endgültig ins inneralpine Gebiet zurück (KELLER und KRAYSS, 2005; vgl. auch HANTKE, 1970 a, b; vgl. auch HANTKE bzw. KELLER in diesem Buch). Damit konnte auf den eisfreien Arealen etappenweise die Vegetation das Gebiet des Bodensees und Alpenrheins zurückerobern. Allgemein verliefen die Primärsukzessionen so, indem sich zunächst im Würm-Spätglazial klimatisch und standörtlich anspruchslose, meist heliophile Gras-, Kraut- und Holzpflanzen (oft Pionierpflanzen) etablierten (Pioniervegetation der Gletschervorfelder, Tundra, Steppe, Strauchtundra, Moore, Nadelwald); im Verlauf des Holozäns kehrten nach 10 000 B.P. alle meso- bis thermophilen Arten, insbes. auch die Bäume, aus ihren kaltzeitlichen Refugien (Apennin-Halbinsel, Balkan, Karpaten, Osteuropa) zurück (Laub- und Nadelwälder, natürliche Rasen, Moore). Möglicherweise konnten im Gebiet des Alpsteins, der Speer-Churfirsten-Alvier-Kette und im St. Galler Oberland einige Pflanzenarten als jüngsttertiäre Florenrelikte (z. B. *Draba incana, Petrocallis pyrenaica, Crepis mollis, Oxytropis halleri* ssp. *velutina, Hypericum coris* sowie rund 300 weitere Arten) die Eiszeiten auf Nunataks überdauern (SEITTER und HANTKE, 1988; vgl. auch SEITTER und CONRAD, 1984; SEITTER, 1989).

Moorbildungen und Seesedimente dienen als die wichtigsten Archive zur Floren- und Vegetationsgeschichte. So kann der Beginn der organischen Sedimentation an der Profilbasis radiometrisch datiert werden und damit ein Minimum-Alter zum Schmelzen der Eisströme und zum Beginn der Wiederbesiedlung eines Gebiets durch Vegetation liefern; dies war im betrachteten Gebiet der Fall ab der Ältesten Dryas, ca. 15 000 bis 13 000 B.P. (BURGA, 1981; BURGA und PERRET, 1998).

2 ÜBERBLICK ZUR VEGETATIONSENTWICKLUNG VOM WÜRM-SPÄTGLAZIAL BIS ZUM BEGINN DES HOLOZÄNS

Als Überblick zur Vegetationsentwicklung im Würm-Spätglazial bis zum Beginn des Holozäns soll nachfolgend anhand eines Nord-Süd-Profils zwölf ausgewählter Moor-Bohrstellen vom Nordufer des Bodensees bis zur Quelle des Hinterrheins (Abb. 1) der Verlauf der generalisierten Pollenprozent-Kurven einiger wichtiger botanischer Taxa von der Ältesten Dryas bis zum Präboreal dargestellt werden (Abb. 2–7).

Abb. 2 zeigt die generalisierten Schattenriss-Kurven der prozentualen Anteile der BP/NBP (=Baumpollen/Nichtbaumpollen-Verhältnis) und der Poaceae (Gramineae, Süssgräser). Dabei nimmt der BP-Anteil in allen Höhenlagen im Verlauf des Böllings zu und bleibt, abgesehen von einem in den Tieflagen nur mässigen Rückgang während der Jüngeren Dryas, bis zu Beginn des Präboreals hoch. Reziprok dazu verhalten sich die Poaceae-Anteile: Rückgang im Bölling und Alleröd infolge zunehmender Bewaldung sowie kurzes, v. a. in den Alpen markantes zweites Maximum in der Jüngeren Dryas aufgrund der klimatisch bedingten Waldauflichtung.

In Abb. 3 sind mit Wermut *(Artemisia)* und den Gänsefussgewächsen (Chenopodiaceae) zwei sehr typische Taxa der spätglazialen Tundra-, Steppen- und Rohbodenvegetation dargestellt. Beide Taxa weisen in allen Höhenlagen

meist ein erstes Maximum in der Ältesten Dryas und ein zweites schwächeres in der Jüngeren Dryas auf. Diese Verhältnisse widerspiegeln die ab dem Bölling signifikant günstigeren Klimabedingungen, welche nach einer «Vorwaldphase» aus Wacholder *(Juniperus)* und Sanddorn *(Hippophaë)* (vgl. Abb. 5) zur spätglazialen Wiederbewaldung durch Birke und Föhren führten und damit unterhalb der Waldgrenze (ca. 1500–1700 m) den Rückgang von *Artemisia* und den Chenopodiaceae bedingten. Oberhalb der Waldgrenze nehmen erwartungsgemäss die Wermut-Anteile weniger ab als in Tieflagen.

In Abb. 4 sind mit Sonnenröschen *(Helianthemum)* und Wiesenraute *(Thalictrum)* zwei weitere sehr charakteristische protokratische spätglaziale Sippen dargestellt. Im Gegensatz zum Wermut und den Gänsefussgewächsen, die hauptsächlich Rohboden-Pioniere darstellen, ist das Sonnenröschen v. a. in Trockenrasen, auf Rohböden und felsigen Standorten, die Wiesenraute je nach Art in Hochstaudenfluren, Wiesen bis Trockenrasen und auf felsigen Stellen verbreitet. Während in Tieflagen die Pollenprozent-Kurven von *Helianthemum* und *Thalictrum* aufgrund der bölling- und allerödzeitlichen Wiederbewaldung ähnlich wie bei *Artemisia* und den Chenopodiaceae verlaufen, d. h. ihr Maximum während der Ältesten Dryas erreichen und danach stark zurückgehen, weisen die Alpenstandorte im gesamten Spätglazial infolge der länger andauernden Gletscherbedeckung insgesamt nur geringe Prozentwerte auf. Die gegen das Alpeninnere mit der Höhe leicht später auftretenden *Helianthemum*-Maxima widerspiegeln geradezu die in Richtung Alpen schwindende Eisfront.

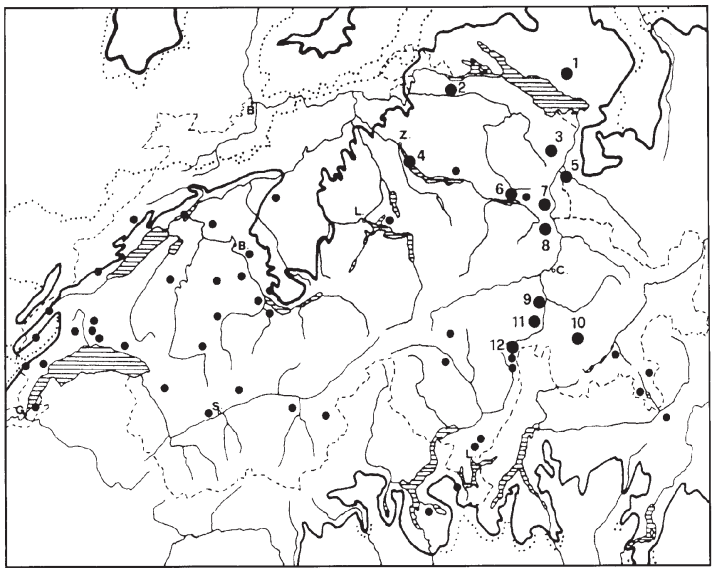


Abb. 1. Lage der Moor-Bohrstellen im N-S-Profil vom Bodensee bis zum Alpenhauptkamm (nach BURGA und PERRET, 1998).

Abb. 5 zeigt die Entwicklung von Sanddorn *(Hippophaë)* und Wacholder *(Juniperus)*. Während der Sanddorn hauptsächlich wechselfeuchte Alluvial-Areale (Pionierstandorte) besiedelt, ist der Wacholder vor allem auf trockenen, mageren Böden verbreitet. Beide Taxa weisen im Bölling-Interstadial an allen Lokalitäten einen sehr typischen Gipfel eines «Vorwaldstadiums» auf, jedoch mit teilweise ganz unterschiedlichen Maximalwerten. Da dieser böllingzeitliche Anstieg beider Straucharten auch in den meisten übrigen Profilen der Schweiz und den angrenzenden Gebieten nachweisbar ist, stellt er ein charakteristisches biostratigraphi-

sches Merkmal dieses Zeitabschnitts dar. Beide Taxa zeigen in einigen Fällen ein komplementäres Verhalten, indem hohe Wacholder-Anteile meist mit relativ tiefen Sanddorn-Prozentwerten und umgekehrt verbunden sind (vgl. z. B. die Lokalitäten Nussbaumersee, Ballmoos, Mariagrün-Feldkirch, Oberschan oder Crapteig/Viamala). Infolge Wiederbewaldung mit Birken und Föhren und der damit zunehmenden Schliessung der waldfreien Gebiete gehen beide Taxa Ende des Böllings zurück, wobei aber der Wacholder als Unterwuchs in den Birken-Föhren-Wäldern gemäss den höheren Pollenwerten teilweise bis ins ausgehende Präboreal noch häufiger auftrat. Die Wacholder- und Sanddorn-Anteile nehmen Ende Bölling auch in den oberhalb der Waldgrenze gelegenen Profilen ab. Während der Kaltphase der Jüngeren Dryas steigen die *Juniperus*- und *Hippophaë*-Prozentanteile v. a. in einigen tiefer gelegenen Profilen aufgrund der damals erneut entstandenen Pionierstandorte und Waldauflichtungen kurzzeitig wieder etwas an.

Abb. 6 stellt mit Birke *(Betula)* und Wald-/Bergföhre *(Pinus sylvestris/mugo)* die Entwicklung von zwei durch ein weites Verbreitungsspektrum gekennzeichnete Baumarten dar. Während sich die Birke im nördlichen Alpenvorland und in den Voralpen sowie in der Viamala (Profil Crapteig) während des Böllings ausbreitete, kann in den hoch gelegenen Profilen der Zentralalpen für diese Zeit (aber auch später) keine deutliche Zunahme der Birken-Anteile registriert werden; dafür treten hier teilweise hohe spät- bis postglaziale (Berg-)Föhren-Werte auf. Die Föhren werden dagegen im nördlichen Alpenvorland und z. T. in den Voralpen erst später in der zweiten Hälfte des Böllings oder am Übergang Bölling/Alleröd häufiger. Die oben erwähnte Verteilung der Pollenfunde weist darauf hin, dass die Birken (Hänge- und Moorbirke/*Betula pendula* und *B. pubescens,* jedoch nicht die Zwergbirke/*Betula nana)* im nördlichen Alpenvorland vor der Föhre, in den Voralpen etwa gleichzeitig mit derselben und in den Zentralalpen später einwanderten. Während die Föhren-Anteile bis zur Einwanderung der Eichenmischwald-Elemente und der Hasel überall relativ unverändert bleiben, nehmen die Birken-Prozentwerte (ausgenommen

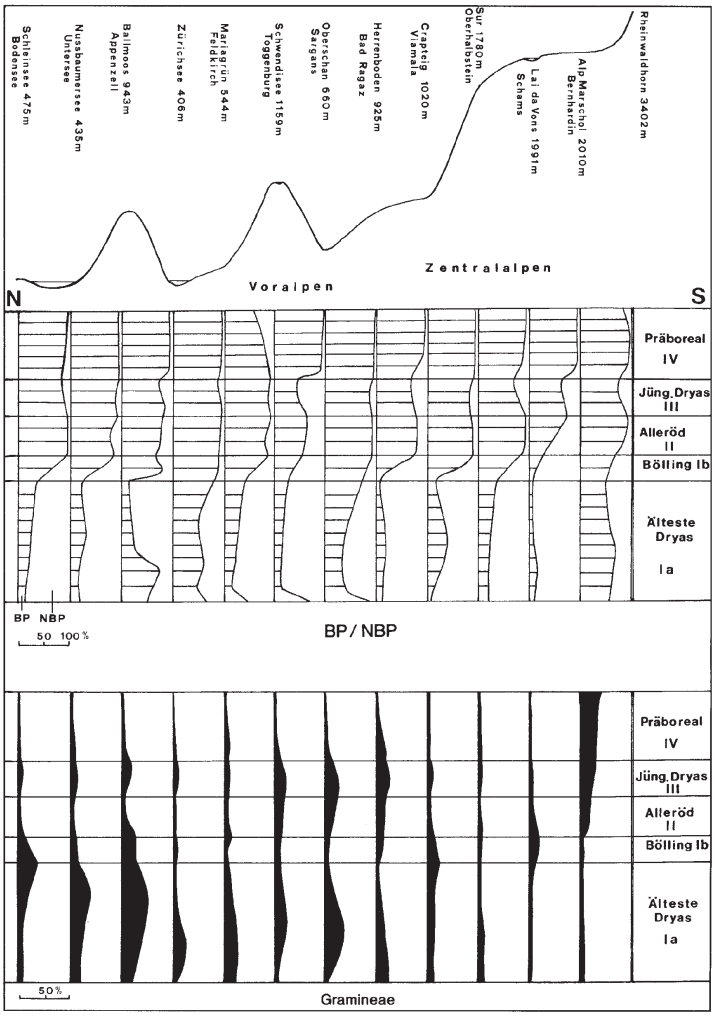


Abb. 2. Baumpollen (BP)/Nichtbaumpollen (NBP)-Verhältnis und Süssgräser (Gramineae, Poaceae) (nach BURGA und PERRET, 1998).

an den höchstgelegenen Lokalitäten) infolge der Föhren-Ausbreitung am Ende des Bölling oder im frühen Alleröd ab. Zu Beginn des Präboreals ist v. a. im Rheintal und Toggenburg erneut eine Birken-Zunahme festzustellen.

In Abb. 7 werden ökologisch bzw. arealkundlich sich ausschliessende Baumarten einander gegenübergestellt, nämlich die zentralalpine Arve *(Pinus cembra)* und der Eichenmischwald (EMW: Eiche, Ulme, Linde, Ahorn, Esche) mit Hauptareal im Jura, Mittelland sowie in den Vor- und Südalpen. Die Einwanderung der Arve (und der Lärche *[Larix decidua]*) ist aufgrund der in den Zentralalpen- und in den Voralpen-Profilen im Bölling oder zu Beginn des Alleröds zunehmenden Anteile in diesem Zeitbereich anzusetzen. Die heutigen voralpinen Vorkommen des Churfirsten- und Säntis-Gebiets sowie des St. Galler Oberlandes können als spätglaziale Reliktstandorte betrachtet werden (vgl. BURGA, 1991; PERRET, 1993). Die spätwürmeiszeitlichen und frühpostglazialen Arven-Prozentkurven weisen ausserdem, wie dies mit zunehmender Massenerhebung und Kontinentalität zu erwarten ist, gegen das Alpeninnere hin steigende Werte auf. SEITTER und CONRAD (1984) nehmen für das Churfirsten-Alvier-Gebiet rund 30 Glazialrelikte an. Die zunehmenden EMW-Anteile dokumentieren die in der zweiten Hälfte des Präboreals im Bodensee- und Rheingebiet eingewanderten Eichenmischwald-Elemente (Eiche, Ulme, Linde, Esche und Ahorn, ferner Hasel).

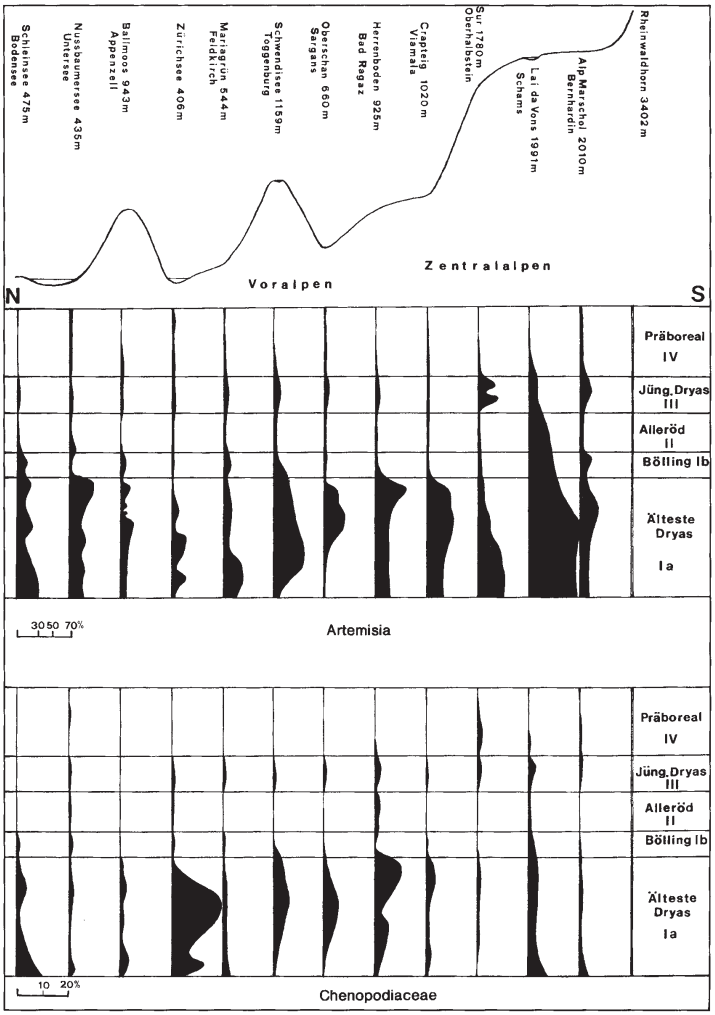


Abb. 3. Wermut *(Artemisia)* und Gänsefussgewächse (Chenopodiaceae) (nach BURGA und PERRET, 1998).

3 DAS HOLOZÄN

Das Holozän (Postglazial) ist im Vergleich zum Spätwürm durch deutlich höhere Temperaturen und allgemein feuchterem Klima sowie geringeren Klimaschwankungen gekennzeichnet. So lagen die postglazialen Schwankungen der Waldgrenze im Vergleich zu heute im Bereich von ± 100 Höhenmeter, woraus Schwankungen der Sommermitteltemperaturen von ca. ± 0,6°–0,7 °C abzuleiten sind. Während des mittelholozänen Wärmeoptimums (ca. 8500 bis 5500 B.P.) lag die Waldgrenze im Mittel um 100 m höher als die heutige potenziell-natürliche Grenze.

Vor dem Auftreten menschlicher Vegetationsbeeinflussungen kann allgemein eine mehr oder weniger dichte

Bewaldung angenommen werden (vgl. aber ZOLLER und HAAS, 1994). Über der Waldgrenze waren auf den nun eisfreien Arealen alpine Zwergstrauch- und Grasheiden sowie in höheren Lagen auch vermehrt Pionier-, Schutt- und Felsspaltengesellschaften verbreitet. Im Waldbereich setzte im Zuge der nacheiszeitlichen Einwanderung der thermophilen Baumarten aus ihren Glazialrefugien eine starke Vegetationsdynamik ein. Die heutigen Vegetationshöhenstufen konstituierten sich jedoch erst relativ spät im Subboreal um ca. 5000 B.P.

Das Holozän weist im Gegensatz zum Würm-Spätglazial als Folge der grossen Wanderbewegungen der Gehölze und Kräuter, aber auch als Folge der menschlichen Einflüsse (Rodungen, Ackerbau, Alp- und Weidewirtschaft) eine wesentlich vielfältigere und komplexere Vegetationsdynamik auf. Im Folgenden soll die holozäne Floren- und Vegetationsgeschichte des Rheingebiets anhand der wichtigsten Holzarten (Eichenmischwald, Hasel, Tanne, Fichte, Buche und Erlen) kurz dargestellt werden (Ausführlicheres in MÜLLER, 1972; WEGMÜLLER, 1976; BURGA, 1980, 1986, 1987, 1991; RÖSCH, 1983; CHÉDEL, 1986; BURGA und PERRET, 1998). Zu Beginn des Holozäns (Präboreal, Wende Präboreal/Boreal) wanderten die wärmeliebenden Holzarten des Eichenmischwaldes (Eiche, Ulme, Linde, Esche, Ahorn) zusammen mit der Hasel *(Corylus avellana)* ein. In Tief- und N-Lagen dominierte Ulmen-Eichen-Wald mit Ahorn und Esche; in der Montanstufe herrschte die Winterlinde vor. Trockene Standorte der kollinen und montanen Stufe waren weiterhin von Waldföhre *(Pinus sylvestris)* bestockt. Im Boreal erreichte um 8200 B.P. die Hasel in den Thuralpen ihre höchste Dominanz, indem sich in den Edellaub- und Föhrenwäldern ein dichter Haselunterwuchs bzw. Haselforste entwickelten; diese starke Dominanz der Hasel dauerte noch gut 1000 Jahre weiter. Etwa um 7200 B.P. breitete sich im Rheintal der zu Beginn des Holozäns konstituierte Eichenmischwald verstärkt aus, indem v. a. Linde, Ahorn und Esche eine grössere Rolle spielten. Die Entwicklung des Eichen-Linden-Ahorn-Laubmischwald-Gürtels in Nord- und Mittelbünden kann kurz wie

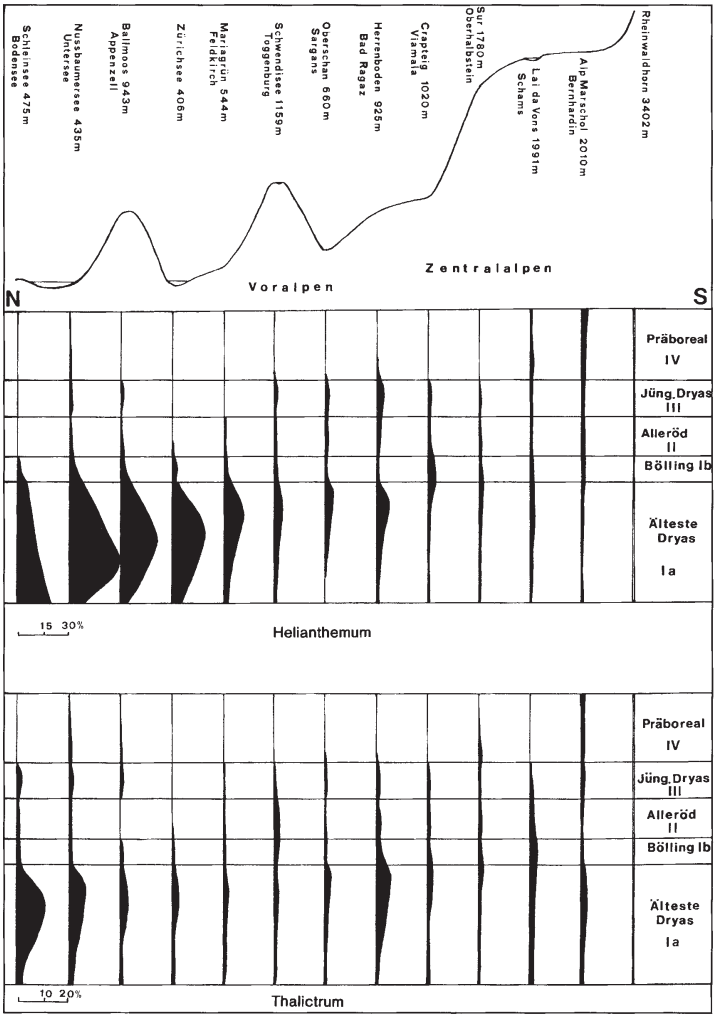


Abb. 4. Sonnenröschen *(Helianthemum)* und Wiesenraute *(Thalictrum)* (nach BURGA und PERRET, 1998).

folgt zusammengefasst werden: a) Im Prättigau bildeten sich ab etwa 9000 B.P. Eichenmischwälder, wobei Ulme, Linde, Ahorn und Hasel zeitweise die Hauptrolle spielten und meist eine grössere Höhenverbreitung als heute aufwiesen (WEGMÜLLER, 1976); der Edellaubgürtel endet heute als Waldinseln etwa bei Küblis. b) Im Vorderrheintal wanderten schon früh um 9300 B.P. die EMW-Elemente ein, wobei die Ahorn-Linden-Mischwälder mit Esche (Ahorn-Dominanz bis ca. 2000 m) und Ulmen-Linden-Wälder (Linden-Dominanz bis ca. 1900 m) vorherrschten (MÜLLER, 1972). Heute endet dieser Gürtel etwa bei Truns. c) Im Domleschg/Hinterrheintal waren die um 9000 B.P. eingewanderten Eichenmischwald-Elemente aus klimatischen und konkurrenzbedingten Gründen (Trockenheit, Flussalluvionen, Waldföhre, Tanne) von Anfang an nur schwach vertreten (BURGA, 1980). Lokal spielten Linde, Esche, Bergahorn und Hasel eine gewisse Rolle. Der Eichen-Linden-Ahorn-Laubmischwald-Gürtel endet heute bei Thusis bzw. als einzelne Waldinseln im Albulatal. (Vgl. die heutige Verbreitung und ökologische Funktion der EMW-Elemente sowie von Birke, Föhre, dann auch von Tanne und Fichte in BURNAND et al. in diesem Buch.)

Die Tanne *(Abies alba)* wanderte aus ihren würmeiszeitlichen Refugien (südlicher Apennin, Balkan, Pyrenäen?) generell aus S bzw. SO bzw. SW in die Schweiz ein (Einzelheiten in BURGA und PERRET, 1998; BURGA und HUSSENDÖRFER, 2001). Ins Bündner Rheingebiet gelangte die Tanne zwischen 8500 und 7000 B.P. Speziell zu erwähnen ist die Tannen-Einwanderung um 8500 B.P. aus der Leventina über den Lukmanier-Pass ins Vorderrheintal und von dort weiter nordwärts (MÜLLER, 1972). Im Gegensatz dazu gelangte die Fichte *(Picea abies)* allgemein aus östlicher Richtung von ihren Glazialrefugien (Balkan, evtl. östlicher Alpenrand) um 8500–8000 B.P. in die östlichen Schweizer Alpen (Unterengadin, Puschlav, Bergell; nördlicher, zentralalpiner bzw. südlicher Alpenrandweg; BURGA, 1987; BURGA und PERRET, 1998) und um 8500–7500 B.P. ins Bündner Rheingebiet. Besonders zu erwähnen ist die Fichten-Einwanderung um 8500 B.P. von N ins Hinterrheingebiet und anschliessend

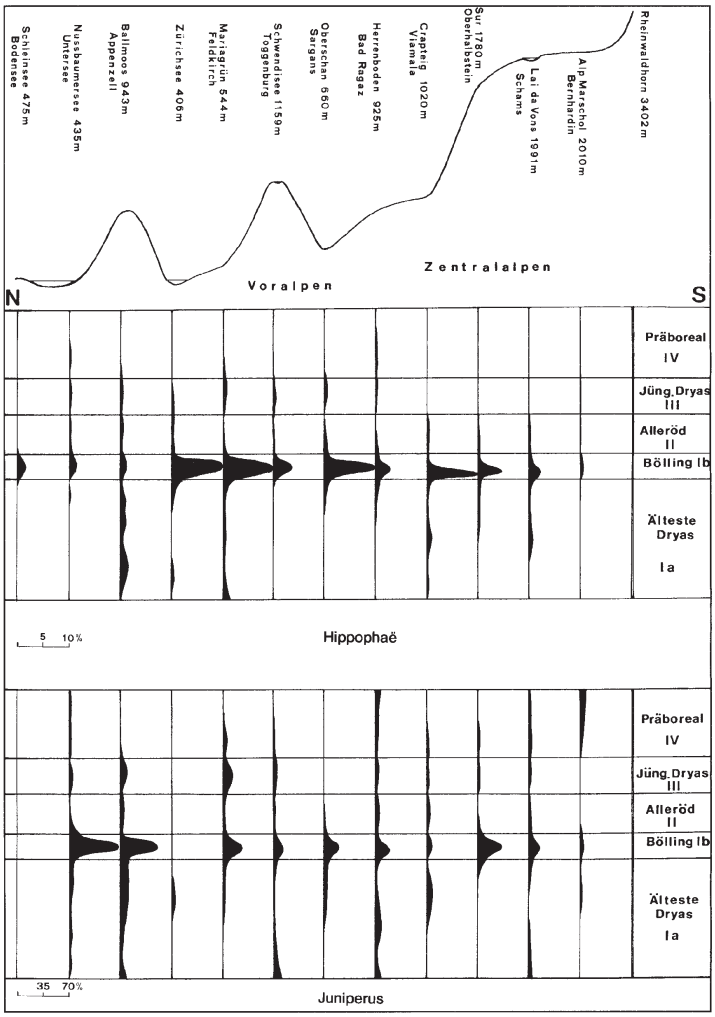


Abb. 5. Sanddorn *(Hippophaë)* und Wacholder *(Juniperus)* (nach BURGA und PERRET, 1998).

die Überquerung des Alpenhauptkamms am San Bernardino-Pass nach S ins Misox um 6500 B.P. (ZOLLER, 1960; HEITZ, 1975; BURGA, 1980; Abb. 8). Für die Migration von der Viamala bis Hinterrhein (N-Seite des San Bernardino-Passes) benötigte die Fichte rund 500 Jahre (Wandergeschwindigkeit: ca. 50 m/Jahr); die Passüberquerung erfolgte deutlich langsamer, d. h. in ca. 1000 Jahren (ca. 7 m/Jahr); südlich des Passes vermochte die Fichte infolge der Tannen- und Laubhölzer-Konkurrenz nur langsam vorzudringen, indem sie von Suossa bis Pian di Signano (unteres Misox/Eingang Calancatal) rund 1000 Jahre brauchte (25–30 m/Jahr, Abb. 8). Heute keilt der Fichtengürtel im Gebiet der Val Morobbia östlich Bellinzona aus, indem die Fichte in der subalpinen Stufe im Wesentlichen von der Lärche abgelöst wird.

Einige Gebiete der Schweiz wurden von Fichte und Tanne praktisch gleichzeitig erreicht, was zu einer Konkurrenzsituation führte, wie z. B. um 6500 B.P. im N-bündnerischen und St. Gallischen Rheingebiet, auf dem Flumserberg, im oberen Toggenburg sowie im Appenzellerland. Um diese Zeit hatte die Fichte die Linie Bodensee – St. Galler Oberland – Oberalp – San Bernardino erreicht und konnte sich in 900 bis 1300 m ü. M. optimal verbreiten (die Linie Chur – Rheintal wurde früher um 7500 B.P. erreicht; WEGMÜLLER, 1976; BURGA, 1980; BURGA und PERRET, 1998). Östlich der Rheinlinie wanderte allgemein die Fichte vor der Tanne ein. Obwohl beide Nadelhölzer im Raum Feldkirch rasch aufeinander einwanderten (Tanne um 5300 B.P., Fichte um 5000 B.P.), gelangte nur die Tanne rund 4000 Jahre lang zur Dominanz (CHÉDEL, 1986; BURGA, CHÉDEL und JORDI, 2005), trotz der im St. Galler Rheintal, dem Toggenburg und dem inneren Appenzell anzunehmenden Ausbreitungsverzögerung der Tanne von S nach N infolge Laubholzkonkurrenz (Buche, Erlen, Hasel), schmalen Wandermöglichkeiten, Trockenheit und Föhnabnahme (WEGMÜLLER, 1976).

Die Rotbuche *(Fagus sylvatica)* wanderte aus ihren Glazialrefugien (Balkan, Karpaten?) um 6000 B.P. generell aus Nordosten in die Region Bodensee – Rheintal – St. Gallen – Appenzell – Zürcher Oberland – Höhronen ein (BURGA und PERRET, 1998). Ins Gebiet von Feldkirch

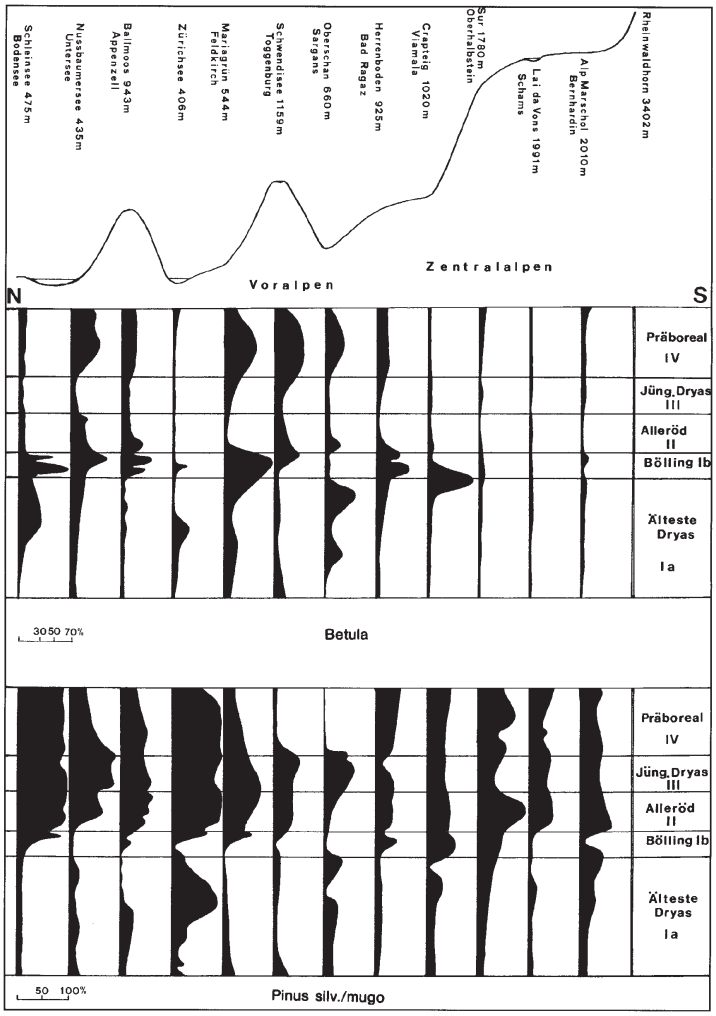


Abb. 6. Birke *(Betula)* und Wald-/Bergföhre *(Pinus sylvestris/mugo)* (nach BURGA und PERRET, 1998).

– Vorarlberg gelangte die Rotbuche wohl infolge der Tannen-Konkurrenz erst spät um 3500 B.P. In Nordbünden (Prättigau) erfolgte im Verlauf des Jüngeren Atlantikums die Einwanderung der Rotbuche (mit heutiger Obergrenze bei Klosters) um 5500 B.P., während sie im Vorderrheintal (heute bis Ilanz–Trun verbreitet) etwas später an der Wende Jüngeres Atlantikum/Subboreal einwanderte (MÜLLER, 1972). Im Domleschg/Hinterrheintal war die im Verlauf des Jüngeren Atlantikums eingewanderte Buche auf Grund des kontinentalen Klimas nur sehr schwach vertreten (BURGA, 1980); das heutige zusammenhängende Buchenareal endet bei Rothenbrunnen.

Die Einwanderungs- und Ausbreitungsgeschichte der Erlen *(Alnus viridis, A. incana* und *A. glutinosa)* ist einerseits florengeschichtlich, anderseits mit der Entwicklung der Flussalluvionen und Auenwälder bzw. mit den Rodungstätigkeiten des Menschen gekoppelt. Spätglaziale Grünerlen-Pollenfunde im nördlichen und südlichen Alpenvorland lassen ein Überdauern der letzten Eiszeit vermuten. Im Verlauf des Würm-Spätglazials vermochte sich die Grünerle an edaphisch günstigen Stellen bereits im Alpenraum auszubreiten (BURGA und PERRET, 1998). In Nord- und Mittelbünden (wie in vielen anderen Gebieten der Schweizer Alpen) erfolgte die Grünerlen-Einwanderung und -Ausbreitung um 6500–5500 B.P. meist gleichzeitig mit der Fichte (BURGA, 1980; BURGA und PERRET, 1998). Zudem breiteten sich gleichzeitig die heute typischen Hochstaudenpflanzen bzw. -fluren des Grünerlenbuschs aus (BURGA, 1980). Ab 5000 B.P. ist eine starke klima- (kühleres, feuchteres Klima) und z. T. rodungsbedingte Grünerlen-Zunahme festzustellen. Die Ausbreitung der Schwarz- und Grauerle ist vor allem durch die lokale und regionale Entwicklung der Flussalluvionen und Auenwälder des Rheins bedingt. So stellte WEGMÜLLER (1976) für das Prättigau um 5500 B.P. bis in 2100 m ü. M. eine starke Grauerlen-Ausbreitung fest, während die Grünerle erst mit zunehmenden Alpweiderodungen im Subboreal häufiger wurde. Im Vorderrheintal trat der *Alnus glutinosa/incana*-Pollentyp bereits an der Wende Präboreal/Boreal (ca. 9000 B.P.), z. T. auch später im Älteren Atlantikum (8000–6000 B.P.) auf (MÜLLER, 1972),

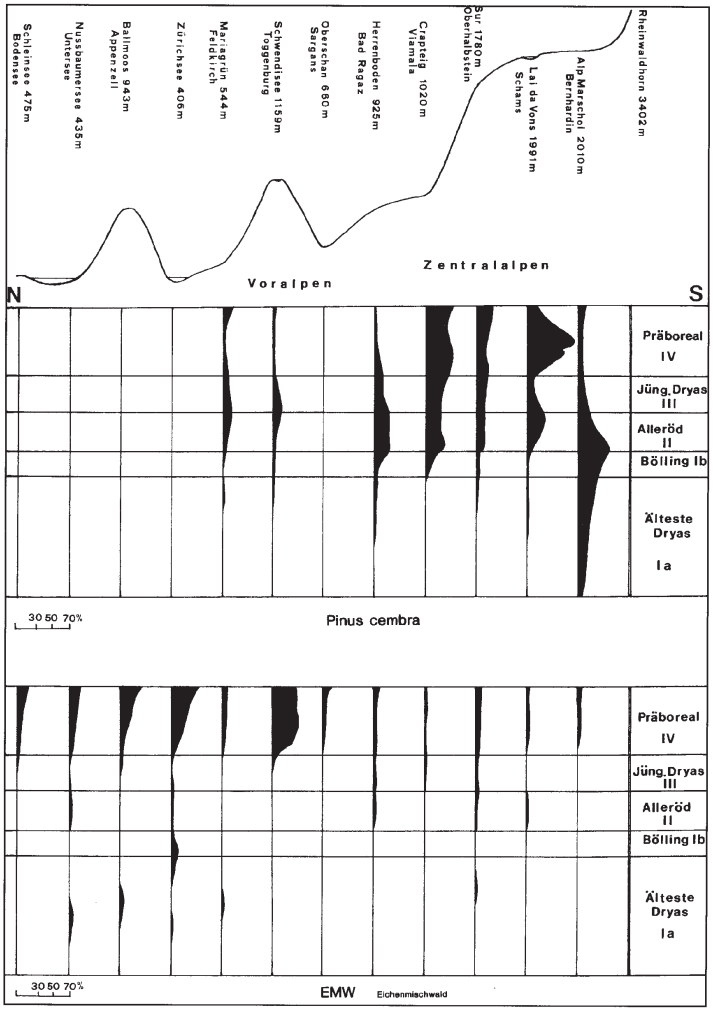


Abb. 7. Arve *(Pinus cembra)* und Eichenmischwald (EMW) (nach BURGA und PERRET, 1998).

wobei es sich v. a. um die Grauerle mit einer früheren Höhengrenze in 1700–1900 m handelte. (Ansprüche der Erlen vgl. auch ROULIER in diesem Buch.)

4 ZUSAMMENFASSUNG

Anhand einer Pollendiagramm-Sequenz von 12 ausgewählten Moor-Bohrstellen in einem N-S-Profil vom Bodensee bis zum Alpenhauptkamm wird ein florengeschichtlicher Überblick vom Würm-Spätglazial bis anfangs Holozän folgender Taxa vermittelt: Poaceae, *Artemisia,* Chenopodiaceae, *Helianthemum, Thalictrum, Hippophaë, Juniperus, Betula, Pinus sylvestris/mugo, Pinus cembra* und Eichenmischwald. Die natürliche nacheiszeitliche Floren- und Waldgeschichte ist durch die Einwanderung und Ausbreitung der wärmeliebenden Laubhölzer, Sträucher und Kräuter sowie der Tanne und Fichte gekennzeichnet. Erläutert werden Eichenmischwald, Hasel, Tanne, Fichte, Rotbuche und die Erlen. Die zu Beginn des Holozäns (Präboreal/Boreal) eingewanderten Edellaubholzarten wiesen untereinander je nach Zeitpunkt und Gebiet verschiedene Dominanzen auf. Die Tanne wanderte um 8500–7000 B.P. aus südlichen Richtungen ins Rheingebiet ein, während die Fichte um 8500–7500 B.P. generell von Osten nach Westen einwanderte. Tanne und Fichte erreichten um 6500 B.P. fast gleichzeitig das N-bündnerische und St. Gallische Rheingebiet. Die Rotbuche erschien um 6000 B.P. aus NO in der Region Bodensee-Rheintal, um 5500 B.P. in Nordbünden und um 5000 B.P. im Vorderrheintal; im Domleschg/Hinterrheintal war die Rotbuche ab 5500 B.P. infolge Kontinentalität nur schwach bis kaum verbreitet. Die Einwanderungs- und Ausbreitungsgeschichte der Erlen ist einerseits florengeschichtlich, anderseits mit der Entwicklung der Flussalluvionen und Auenwälder bzw. mit den Rodungstätigkeiten des

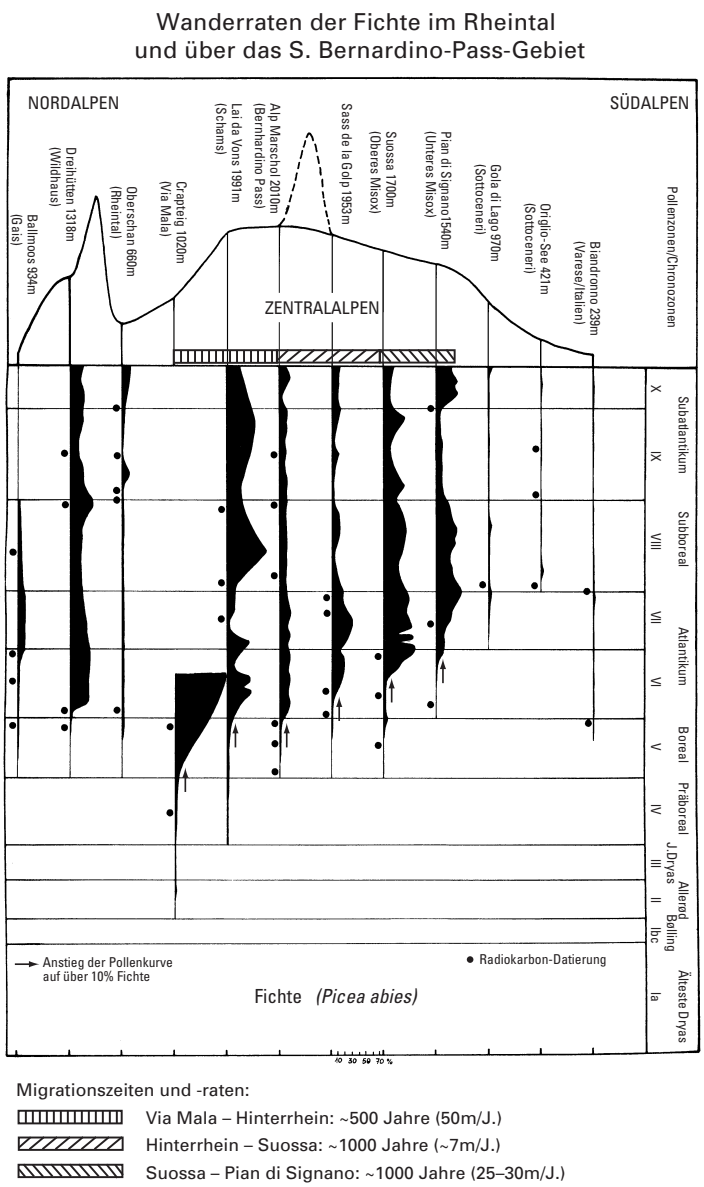


Abb. 8. Wanderraten der Fichte im Rheintal und über das San Bernardino-Passgebiet nach Süden (Original BURGA, 2005).

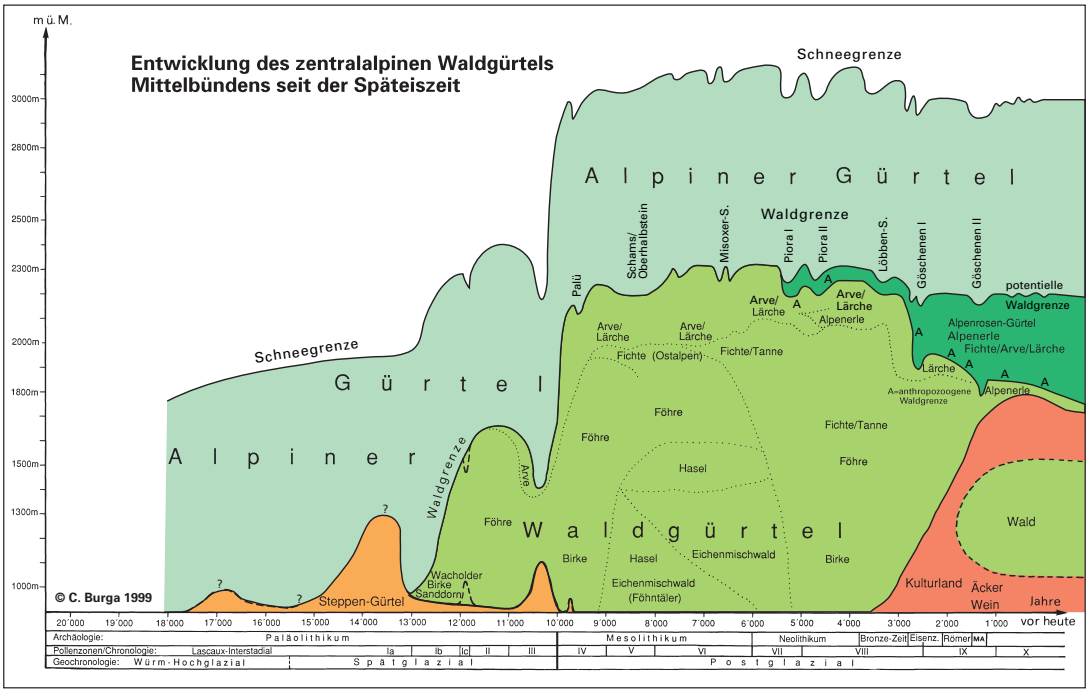


Abb. 9. Höhenzeit-Diagramm zur Entwicklung des zentralalpinen Waldgürtels Mittelbündens seit dem Würm-Spätglazial (nach BURGA und PERRET, 1998).

Menschen gekoppelt. Nachdem die Grünerle lokal bereits im Würm-Spätglazial aufgetreten war, erfolgte um 6500–5500 B.P. in Nord- und Mittelbünden deren Ausbreitung, und zwar oft gleichzeitig mit der Fichte. Die Ausbreitung der Schwarz- und Grauerle war meist von der lokalen Fluss- und Auenentwicklung abhängig. Das Höhenzeit-Diagramm (Abb. 9) fasst die floren- und vegetationsgeschichtliche Entwicklung des Waldgürtels Mittelbündens seit der Würm-Späteiszeit zusammen.

5 LITERATUR

BURGA, C.A. 1980. Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schams und des San Bernardino-Passgebietes (Graubünden, Schweiz). Dissertationes Botanicae 56, 1–194.

BURGA, C.A. 1981. Glazialmorphologische Untersuchungen im Hinterrhein-Tal und am Bernhardin-Pass. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 126 (4), 237–267.

BURGA, C.A. 1986. Pollenanalytische Untersuchungen Herrenboden (Bad Ragaz). In: «Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch», U. JORDI 1986. Dissertation Universität Bern. Geographica Bernensia G 27, 45–47.

BURGA, C.A. 1987. Gletscher- und Vegetationsgeschichte der Südrätischen Alpen seit der Späteiszeit (Puschlav, Livigno, Bormiese). Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges. 101, 162 S.

BURGA, C.A. 1991. Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsentwicklung im oberen Toggenburg, Kanton St. Gallen. Ber. St. Gall. Naturwiss. Ges. 85, 25–43.

BURGA, C.A. & PERRET, R. 1998. Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun. 805 pp.

BURGA, C.A. & HUSSENDÖRFER, E. 2001. Vegetation history of *Abies alba* Mill. (silver fir) in Switzerland – pollen analytical and genetic surveys related to aspects of vegetation history of *Picea abies* (L.) H. Karsten (Norway spruce). Veget Hist Archaeobot 10, 151–159.

BURGA, C.A., CHÉDEL, M. & JORDI, U. 2005. The Peat Bog Profile «Mariagrün» near Feldkirch (Vorarlberg, Austria). Palyno-Bulletin 1 (1–2), 33–39.

CHÉDEL, M. 1986. Pollenanalytische und moorkundliche Untersuchungen am Flachmoor Mariagrün bei Feldkirch/Vorarlberg (A). Diplomarbeit Geographisches Institut der Universität Zürich, 100 pp.

HANTKE, R. 1970a. Aufbau und Zerfall des würmeiszeitlichen Eisstromnetzes in der zentralen und östlichen Schweiz. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 60, 5–33.

HANTKE, R. 1970b. Zur Diffluenz des würmeiszeitlichen Rheingletschers bei Sargans und die spätglazialen Gletscherstände in der Walensee-Talung und im Rheintal. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 115 (1), 101–126.

HEITZ, C. 1975. Vegetationsentwicklung und Waldgrenzschwankungen des Spät- und Postglazials im Oberhalbstein (Graubünden/Schweiz) mit besonderer Berücksichtigung der Fichteneinwanderung. Beitr. z. geobot. Landesaufn. d. Schweiz 55, 1–63.

KELLER, O. & KRAYSS, E. 2005. Der Rhein-Linth-Gletscher im letzten Hochglazial. 1. Teil: Einleitung; Aufbau und Abschmelzen des Rhein-Linth-Gletschers im Oberen Würm. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 150 (1–2), 19–32.

LANG, G. 1952. Zur späteiszeitlichen Vegetations- und Florengeschichte Südwestdeutschlands. Flora 139, 243–294.

MÜLLER, H.J. 1972. Pollenanalytische Untersuchungen zum Eisrückzug und zur Vegetationsgeschichte im Vorderrhein- und Lukmaniergebiet. Flora 161, 333–382.

PERRET, R. 1993. Klima- und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen im südlichen Walenseegebiet (St. Gallen/Glarus). Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Zürich, 131 pp.

RÖSCH, M. 1983. Geschichte der Nussbaumer Seen (Kanton Thurgau) und ihrer Umgebung seit dem Ausgang der letzten Eiszeit aufgrund quartärbotanischer, stratigraphischer und sedimentologischer Untersuchungen. Mitt. Thurg. Naturf. Ges. 45, 3–110.

SEITTER, H. & CONRAD, H. 1984. Florengeschichte des Sarganserlandes. Alpha-Druck, Bad Ragaz, 59 pp.

SEITTER, H. & HANTKE, R. 1988. Mögliche jüngsttertiäre Florenrelikte in der Speer–Churfirsten–Alvier-Kette und im St. Galler Oberland. Ber. St. Gall. Naturwiss. Ges. 83, 129–160.

SEITTER, H. 1989. Flora der Kantone St. Gallen und beider Appenzell. St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft. 2 Bände, 977 pp. und Anhänge.

SIDLER, C. 1988. Signification de la palynologie appliquée aux sédiments détritiques et organogènes du Pléistocène supérieur: Eem-Tardiglaciaire würmien et de l'Holocène entre Zoug, Zurich et Baden (Suisse). Mitt. Geolog. Institut ETH u. Universität Zürich 280, 217 pp.

WEGMÜLLER, H.P. 1976. Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den Thuralpen und im Faningebiet (Kantone Appenzell, St. Gallen, Graubünden/Schweiz). Bot. Jahrb. Syst. 97 (2), 226–307.

ZOLLER, H. 1960. Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. Denkschr. Schweiz. Natf. Ges. 83 (2), 45–156.

ZOLLER, H. & HAAS, J.N. 1994. War Mitteleuropa ursprünglich eine halboffene Weidelandschaft oder von geschlossenen Wäldern bedeckt? Schweiz. Z. Forstwesen 146 (5), 321–354.

Prof. Dr. Conradin A. Burga, Geographisches Institut der Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich, E-Mail: cburga@geo.unizh.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region: 135–160

Die Waldvegetation des Rheingebietes

Jacques Burnand (Zürich), Hans-Ulrich Frey (Vättis), Peter Schmider (Zürich)

1 EINFÜHRUNG

In der Naturlandschaft würde die Vegetation die Standortsverhältnisse (ohne natürliche Störungen) genau widerspiegeln. Diese umfassen die Oberflächengestalt, die Geologie, das Klima sowie den Einfluss der Zeit (Möglichkeiten der Entwicklung über die letzten Jahrtausende) und der Lebewelt. Diesen Bedingungen entsprechend würden der Boden und die Vegetation (und die Fauna) ausgebildet sein. (Zur spät- und nacheiszeitlichen Waldgeschichte vgl. den Beitrag BURGA in diesem Buch).

In der bis zum 19. Jahrhundert fast überall herrschenden Nutzung der Landschaft, in welcher der Nährstoffaustrag als Holz und Streue (auch aus den Wäldern) und als Viehfutter und Nahrungsmittel überwog, war an der Vegetation viel vom Standort abzulesen. Die geologischen Unterschiede wurden sogar hervorgehoben, da die Austragsnutzung die Humusanteile reduzierte und somit der «Bodenteppich» teilweise dünner wurde.

Ausserhalb des Waldes hat die weit verbreitete starke Düngung der Landwirtschaftsflächen alle anderen Standortseinflüsse übertüncht, und heute sind diese schwer aus der Wiesenvegetation herauszulesen. Im Wald sind aber die Verhältnisse im Allgemeinen noch so naturnah, dass der Standort in der Vegetation zum Ausdruck kommt, auch wenn vielerorts Baumarten aus wirtschaftlichen Gründen angepflanzt wurden, die in der Natur nicht dort vorkommen würden. Das bekannteste und am weitesten verbreitete Beispiel sind die Fichtenpflanzungen auf Laubwaldstandorten im Alpenvorland. Von Natur aus würde diese Baumart hier fast vollständig fehlen. Diese grossen Pflanzungen haben zwar den ursprünglichen Boden oft stark beeinflusst, doch sind die ursprünglichen Verhältnisse für Fachleute meist noch erkennbar. Wenn ein Laubholzbestand wieder eingebracht wird, regeneriert sich der Boden auch mehr oder weniger schnell, und die ursprüngliche Bodenvegetation stellt sich mit der Zeit wieder ein. Über die Natürlichkeit (Hemerobie) von Buchenwäldern des Mittellandes vgl. z. B. BURGA und BEER (2004).

Je nach Standort sind unterschiedliche Baumarten, aber auch unterschiedliche Strauch- und Krautarten vertreten. Die den verschiedenen Standorten entsprechenden «Waldgesellschaften» haben jeweils charakteristische Arten, die immer wieder gemeinsam vorkommen. Bei den Bäumen sind es meist eine oder zwei Arten, die in einer Waldgesellschaft vorherrschen; deshalb werden diese zunächst (Haupteinteilung) nach den dominierenden Baumarten (Hauptbaumarten) benannt. Für die feinere Unterteilung werden die Namen der anderen typischen Pflanzen eingebracht.

Von der Vegetation her gesehen können die Waldgesellschaften zunächst in Laub- und Nadelwälder, diese dann je weiter unterteilt werden. Zur Illustration der weiteren Unterteilung wird im Folgenden die Einteilung innerhalb der Laubwälder kurz mit typischen Beispielen dargestellt: Eschen- und Erlenwälder kommen auf feuchten bis nassen, Eichenwälder dagegen auf sehr trockenen Böden vor, und Ahorn- und Lindenwälder wachsen vorwiegend auf lockeren Schuttböden an Hängen (vgl. auch ROULIER in diesem Werk). Standorte ohne solche extremen Bodenverhältnisse («mittlere Standorte») sind von buchendominierten Wäldern besiedelt. Diese können wiederum nach lokalklimatischen Einflüssen und Bodeneigenschaften unterteilt werden. In kühleren Mittellandlagen (über 550 bis 700 m ü. M.) kommen Waldhirsen-Buchenwälder auf neutralen bis sauren Böden und Zahnwurz- oder Bingelkraut-Buchenwälder auf Kalkböden vor. In wärmeren Lagen entsprechen die Waldmeister- und die Lungenkraut- bzw. Platterbsen-Buchenwälder diesen Einheiten.

Eine andere Art der Grobeinteilung unterscheidet zwischen Waldgesellschaften, welche

nur vom Klima (Grossklima und Höhenstufe) abhängen, und den anderen, welche ausserdem von anderen Standortsfaktoren geprägt sind. Erstere werden zonale Wälder, Klimaxwälder oder Hauptwaldstandorte genannt; die erwähnten Buchenwälder sind das klassische Beispiel dafür. Beispiele für die andere Kategorie der nicht zonalen Wälder (Sonderwaldstandorte) sind die Auenwälder, die massgeblich von den periodischen Überschwemmungen beeinflusst sind, die Wälder auf Blockschutt oder die Eichenwälder der trockensten Felsgrate. Man spricht auch vom zonalen Verbreitungsgebiet einer Baumart, wo sie massgeblich am Aufbau des zonalen Waldes beteiligt ist, und ihrer extrazonalen Verbreitung, wo sie als Nebenbaumart auftritt.

Da nicht zonale Waldgesellschaften stärker von anderen Einflüssen als vom Klima abhängig sind, reicht ihre Verbreitung oft über zwei oder gar drei Höhenstufen hinaus, mit jeweils nur relativ kleinen Unterschieden. So sind die Ahorn-Eschenwälder, welche feuchte Böden in Hangfusslagen besiedeln, von der submontanen bis in die obere montane Stufe anzutreffen. (Einzelheiten für die ganze Schweiz in ELLENBERG und KLÖTZLI, 1972).

2 EXKURS: WALDSTANDORTSKARTIERUNGEN

Die grosse Übereinstimmung zwischen Standort und Vegetation macht man sich zunutze, um Standortskarten der Wälder zu erstellen – Karten, die dem Förster Entscheidungsgrundlagen für einen naturgemässen Waldbau bilden. Karten im Massstab 1:5000 oder 1:10 000 haben sich in der Praxis bewährt.

In den letzten 25 Jahren wurden vielerorts solche Kartierungen durchgeführt. In der Ostschweiz sind die Wälder der Kantone Zürich (SCHMIDER et al., 1993), Schaffhausen (KANTONALES FORSTAMT o. J., KELLER, 1989), Thurgau (SCHMIDER et al., 2003) vollständig, in St. Gallen zum grösseren Teil (bis 2008 fertig, FREY, 1995; BURNAND et al., 1999/2000, Beispiel Karte 1) kartiert; in Graubünden (FREY et al., 1998–2004) sind die Grundlagen und einzelne exemplarische Gebietskartierungen vorhanden. Auch das Fürstentum Liechtenstein besitzt eine Waldstandortskarte (SCHMIDER und BURNAND, 1988). In Baden-Württemberg (ALDINGER et al., 1998) und in Bayern sind die meisten öffentlichen Wälder kartiert worden (vgl. Karten 1 und 2 sowie Karte bei ROULIER in diesem Werk).

3 VEGETATIONSHÖHENSTUFEN

Die Abhängigkeit der Vegetation von den mit der Meereshöhe abnehmenden Temperaturmittel findet ihren Ausdruck in den Vegetations-Höhenstufen. Wenn auch in Mitteleuropa mehr oder weniger Einigkeit herrscht über ihre Grobeinteilung, so wird die Benennung der einzelnen Stufen je nach Autor unterschiedlich gehandhabt.

Die Stufengrenzen sind grossklimatisch bestimmt, verschieben sich jedoch je nach Exposition, Steilheit des Geländes und Nähe des Gegenhanges nach oben oder unten. Für die Charakterisierung der Höhenstufen werden die zonalen Waldgesellschaften, beziehungsweise die dort wachsenden Baumarten verwendet.

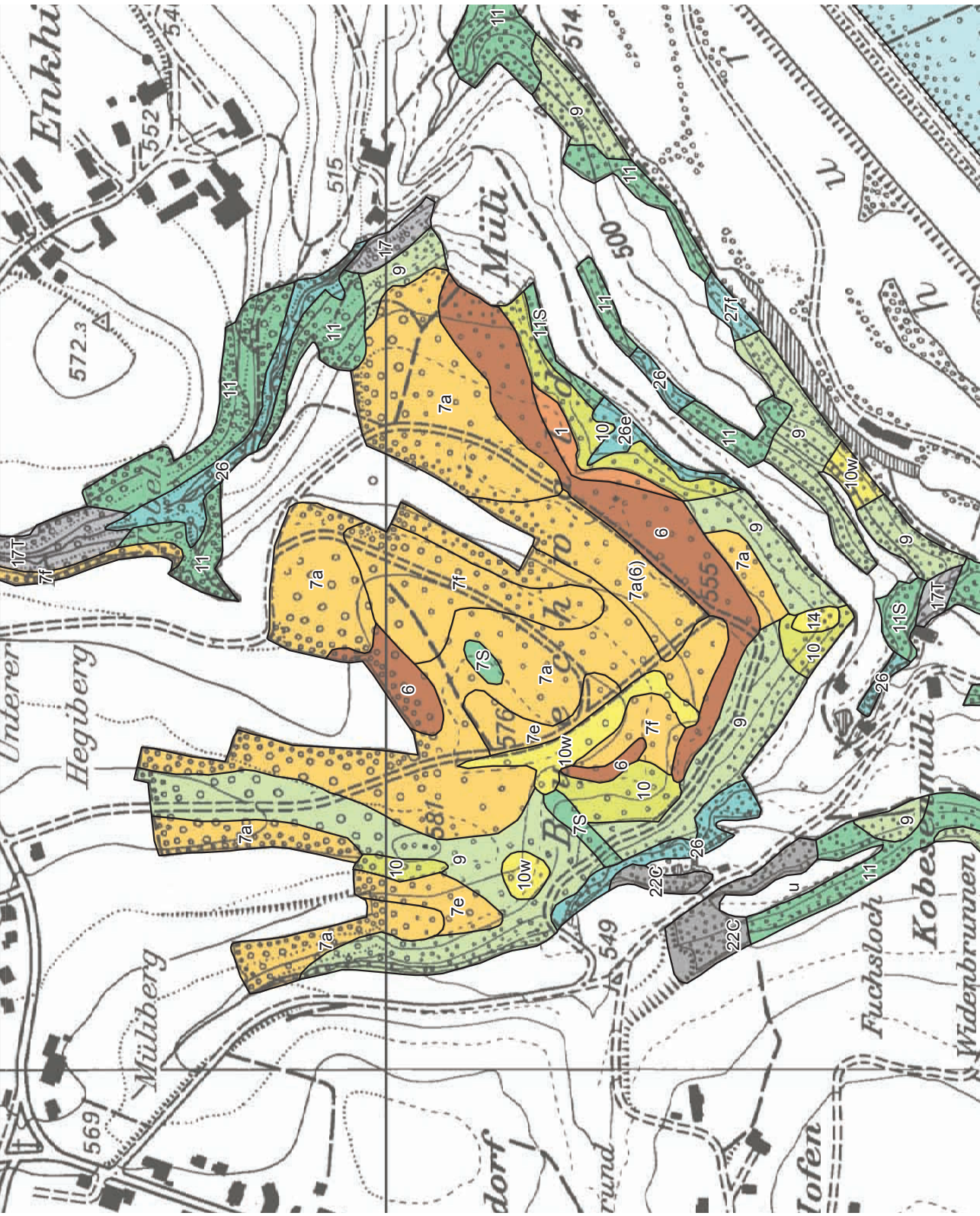
In Tab. 1 werden für die unteren Lagen die Einteilung nach ELLENBERG (1996), für die oberen Waldlagen diejenige von OTT et al. (1997) übernommen.

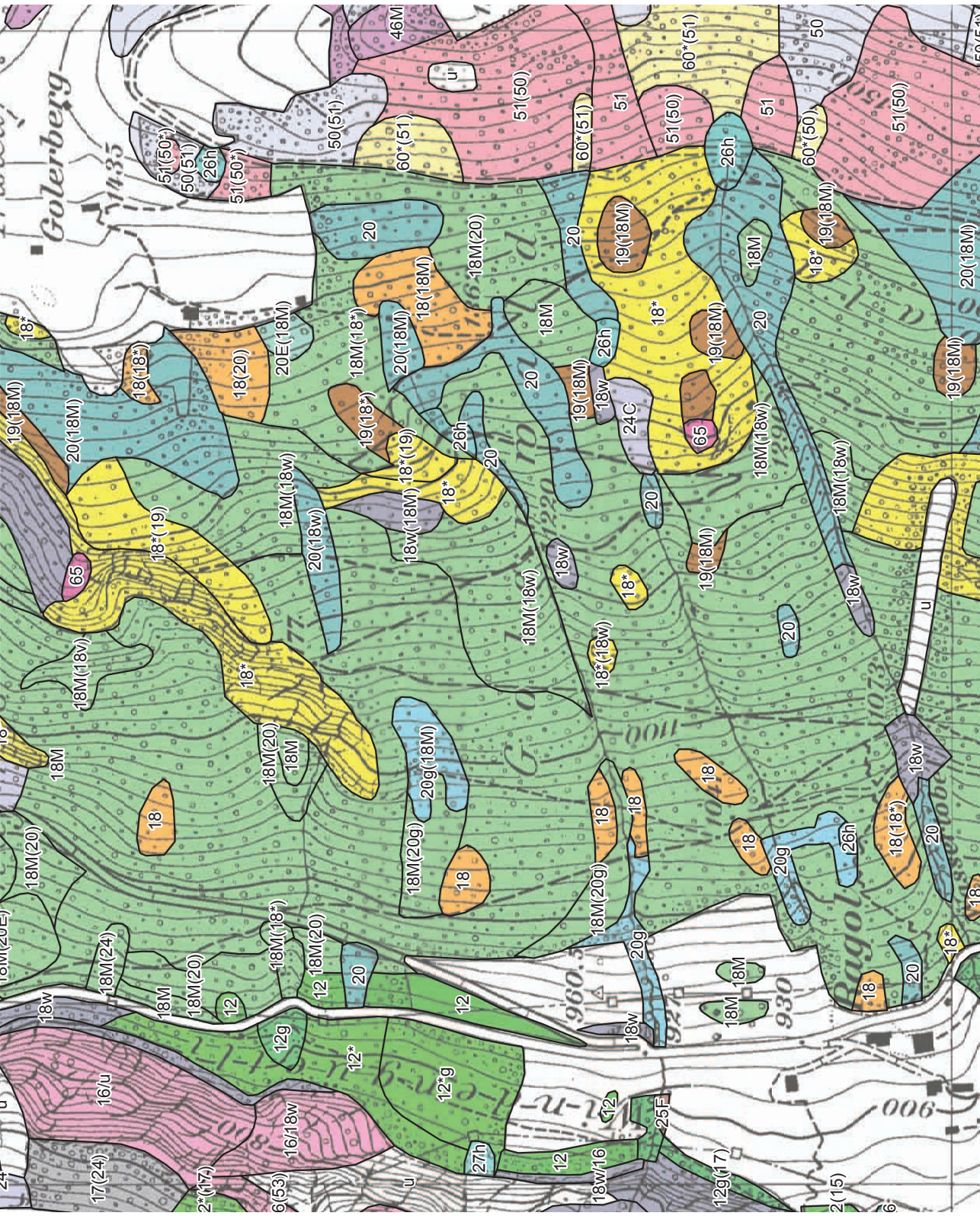
4 BÖDEN

An anderer Stelle in diesem Buch beschreibt LÜSCHER die Bodenentwicklung und die Bodeneigenschaften eingehend. Hier werden einige Aspekte der Bodenkunde in Bezug auf die Waldstandorte nochmals kurz dargestellt.

Wie ihre kennzeichnenden Pflanzenarten ist für eine Waldgesellschaft auch der Boden charakteristisch.

Die Eigenschaften eines Bodens hängen stark von dessen Entwicklungsgrad ab. Die Bodenentwicklung beginnt mit einem humusarmen Rohboden. Bei den meisten Böden war dieser Zustand beim Abschmelzen der Gletscher am Ende der Eiszeit vorhanden. In Flussauen und in anderen Spezialsituationen wie an Rutschhängen können jederzeit neue Rohböden entstehen.


Enkhi
552
515
514
572.3
Müli
500
Hegiberg
Unterer
Mülberg
569
549
555
576
581
Fuchsloch
Kobesmüli
Widenbrunnen
11
9
17
17T
7f
26
11S
27f
1
6
7a
7a(6)
7f
7S
7e
10w
10
26e
14
22C
u


Golerberg
1035
960.5
930
900
46M
u
50(51)
51(50*)
26h
51(50)
60*(51)
60*(50)
20
18M(20)
18(18M)
18M(18*)
19(18M)
18M
18*
18(18*)
18(20)
20E(18M)
20(18M)
18M(18w)
20(18w)
18*(19)
18w(18M)
18w
24C
65
20g(18M)
20g
18M(20g)
18M(18*)
18M(24)
12
12g
12*
12*g
16/u
16/18w
17(24)
27h
25F
18w/16
12g(17)
2(15)
18(18*)
19(18M)
20(18M)
18M(18w)
18*(18w)
18*(19)
18M(18v)
18M(20)
18M
18
18w
20
26h
18*
51
50
60*(51)
60*(50)
51(50)
19(18M)
18M
18*
18w
20
26h
24C
65
18M(18w)
18*(18w)
18w
u
18
20g
26h
18(18*)
20
18*
18M
18M
18
20
18
18w
18M
18M
18
20g
18
18
18M(20g)
20g
18w
12
12
12
12
12*
12*g
12g
18M(18*)
18M(20)
18M(24)
18M(20)
18M
18w
16/u
16/18w
17(24)
6(53)
2*(17)
u
27h
25F
18w/16
12g(17)
2(15)
6

Karte 1. Ausschnitt aus der Waldstandortskartierung St. Gallen, Gemeinde Niederhelfenschwil. Massstab 1:5000, Kartenmittelpunkt 732 400/259 000. Reproduziert mit Bewilligung des kant. Vermessungsamtes St. Gallen, 4. November 2005.

Legende zu Karte 1

1	Typischer Hainsimsen-Buchenwald
6	Waldmeister-Buchenwald mit Hainsimse
7a	Typischer Waldmeister-Buchenwald
7e	Waldmeister-Buchenwald mit Hornstrauch
7f	Waldmeister-Buchenwald mit Bingelkraut
7S	Waldmeister-Buchenwald mit Waldziest
9	Typischer Platterbsen-Buchenwald
10	Platterbsen-Buchenwald mit Weisssegge
10w	Platterbsen-Buchenwald mit Schlaffer Segge
11	Typischer Aronstab-Buchenwald
11S	Aronstab-Buchenwald mit Waldziest
14	Seggen-Buchenwald mit Weisssegge
17	Steilhang-Buchenwald mit Buntreitgras
17T	Eiben-Buchenwald
22C	Lärchensporn-Ahornwald
26	Typischer Ahorn-Eschenwald
26e	Ahorn-Eschenwald mit Weisssegge
27f	Bach-Eschenwald mit Riesenschachtelhalm
29	Typischer Ulmen-Eschen-Auenwald

Karte 2. Ausschnitt aus der Standortskartierung St. Gallen, Ragol, Gemeinde Pfäfers. Massstab 1:5000, Kartenmittelpunkt 756 500/204 400. Reproduziert mit Bewilligung des kant. Vermessungsamtes St. Gallen, 4. November 2005.

Legende zu Karte 2

12	Typischer Bingelkraut-Buchenwald
12g	Bingelkraut-Buchenwald mit Bärlauch
16	Blaugras-Buchenwald
17	Steilhang-Buchenwald mit Buntreitgras
18	Waldschwingel-Tannen-Buchenwald
18M	Typischer Karbonat-Tannen-Buchenwald
18w	Buntreitgras-Tannen-Buchenwald
18*	Karbonat-Tannen-Buchenwald mit Weisssegge
19	Typischer Waldsimsen-Tannen-Buchenwald
20	Typischer Hochstauden-Tannen-Buchenwald
20g	Hochstauden-Tannen-Buchenwald mit Bärlauch
24	Turinermeister-Ahornwald
24C	Ulmen-Ahornwald mit Reitgras
25F	Eschen-Lindenwald
26h	Ahorn-Eschenwald, Höhenausbildung
27h	Bach-Eschenwald, Höhenausbildung
50	Alpendost-Tannen-Fichtenwald
51	Labkraut-Tannen-Fichtenwald
60*	Reitgras-Tannen-Fichtenwald
65	Erika-Föhrenwald

Tab. 1. Vegetations-Höhenstufen

Stufe	Höhenlage	Hauptbaumarten auf mittleren Standorten, Merkmale ausgewachsener Bestände	andere Bezeichnungen
colline Stufe	lokal in tiefen Lagen an klimatisch bes. begünstigten Stellen	Eichen, Hagebuche, kaum Buche	
submontane Stufe	unter 600 m ü. M. (± 100 m)	Buche, beigemischt Eiche, Süsskirsche, andere Laubbäume, vereinzelt Weisstanne	kollin (z. B. LANDOLT, 1983)
untere montane Stufe	600–950 m ü. M. (± 150 m)	Buche, Bergahorn, Weisstanne, keine Eichen	
obere montane Stufe	950–1350 m ü. M. (± 100 m)	Buche, Weisstanne, Bergahorn, vereinzelt Fichte	
hochmontane Stufe	1350–1600 m ü. M. (± 100 m)	Fichte, Weisstanne; Bestände geschlossen	subalpin (z. B. LANDOLT, 1983)
subalpine Stufe	1600 m ü. M. bis alpine Waldgrenze	Fichte, vereinzelt Weisstanne; Bestände offen (Bäume in Gruppen)	

Zwei Aspekte sind besonders wichtig für die Charakterisierung der Waldgesellschaften: der Grad der Bodenreifung und die Entwicklung des Humus.

Im Rohboden sind die Gesteine bis an die Oberfläche noch im mehr oder weniger ursprünglichen Zustand, es können noch keine unterschiedliche Bodenschichten (so genannte Bodenhorizonte) beobachtet werden.

Ist das «Muttergestein» (das unter den Bodenschichten noch unveränderte Ausgangsgestein) mehr oder weniger kalkhaltig – was im Alpenvorland und in den nördlichen Alpen sehr häufig der Fall ist, entwickelt sich der Boden zunächst zu einer **Rendzina** (auf kompaktem Karbonatgestein), einer **Pararendzina** (auf mergelreichem Gestein) oder einem **Regosol** (auf Lockergestein wie Schotter); allen gemeinsam ist ein karbonat- und humusreicher Oberboden. Im Laufe der Zeit wird in durchlässigen Böden durch das einsickernde Niederschlagswasser zunächst das Karbonat von oben nach unten ausgespült. Gleichzeitig beginnen Eisenverbindungen in den Mineralien der oberen Bodenschichten zu verwittern, was dem Boden eine rostbraune Farbe verleiht – neben einem oberflächennahen Humushorizont kann ein brauner Verwitterungshorizont festgestellt werden. Dies ist das Stadium der **Braunerde** genannten Böden, die heute unter vielen Waldgesellschaften beobachtet werden können. Nach Auswaschung der Karbonate senkt sich der pH-Wert im Oberboden. Sinkt er unter pH 5,5, spült das Sickerwasser die Tonteilchen von den oberen in die tieferen, etwas weniger sauren Bodenschichten, wo sie wieder ausgefällt werden, und sich auch neue Mineralien bilden. Neben einem Auswaschungs- besteht auch ein Tonanreicherungshorizont. Dies ist der Zustand, in dem sich die **Parabraunerden** befinden. Die Entwicklung dahin braucht einige tausend Jahre – die Parabraunerden sind insbesondere in den Gegenden, welche schon lange eisfrei waren (auch in der letzten Eiszeit wie in der Gegend von Schaffhausen), verbreitet. Weiter ist die Bodenentwicklung nördlich der Alpen und in den Teilen der Alpen, wo Karbonatgesteine den Untergrund bilden, nicht gegangen.

Wo in dichten Böden oder unter dem Einfluss von Grund- oder Hangwasser die Versickerung und damit die Auswaschung des Bodens nicht oder nur beschränkt stattfinden kann, sind Merkmale wie Oxidations- und Reduktionsflecken oder bleiche Bodenhorizonte kennzeichnend **(Gleye** und **Pseudogleye)**.

Neben diesen Prozessen – und stark auf sie einwirkend – ist der Prozess der Humusbildung,

der je nach Muttergestein und Klima, aber auch Baumbewuchs, unterschiedlich ablaufen kann. Die anfallende Pflanzenstreu wird an der Bodenoberfläche zersetzt, und je nach Aktivität der Bodenorganismen (vor allem der Regenwürmer) mit dem Mineralteil des Bodens schwächer oder stärker vermischt. In neutralen und basischen Böden ist das Bodenleben aktiv und dementsprechend die Durchmischung stark und innig (Bildung von Mull, was einer innigen Mischung von Humussubstanzen und Mineralpartikeln entspricht).

In sauren Böden ist das Bodenleben reduziert, und an der Bodenoberfläche häuft sich der saure Humus an. Dieser Vorgang wird von niedrigen Temperaturen unterstützt. In Berglagen auf kalkarmen Gesteinen geht der Bodenbildungsprozess deshalb weiter als bis zur Tonauswaschung. Der pH sinkt weiter, nach dem Ton werden Eisenverbindungen und später auch gelöste (und nicht mit den Mineralteilchen vermengte) Humusstoffe in tiefere Horizonte gewaschen. Dieser horizontreiche Boden wird **Podsol** genannt.

Werden auf Laubwaldstandorten, die schon saure (Para-)Braunerden aufweisen, Fichten gepflanzt, deren Streu von Anfang an sauer ist, vermögen die Bodenorganismen diese nicht mehr zu verarbeiten, und es kommt zu einer Streuauflage, die sonst im Laubwaldgebiet wenig verbreitet ist. Die Nährstoffkreisläufe im Wald werden unterbrochen oder mindestens gedämpft.

5 ÜBERSICHT ÜBER DIE WALDVEGETATION NACH REGIONEN

Nachfolgend werden die Waldverhältnisse in den Regionen Mittelland/Alpenvorland, Schaffhausen (als Sonderfall im Mittelland), nördliche Randalpen, Churer Becken, untere Surselva und Domleschg, Schams und Hinterrhein sowie Tujetsch gesondert vorgestellt. Innerhalb eines Abschnittes werden – jeweils in einem gesonderten Rahmen – eine oder zwei besonders typische Waldgesellschaften im Detail beschrieben, in der Art, wie sie in den Kommentaren der Waldkartierungen der Kantone Thurgau, St. Gallen und Graubünden erscheinen.

5.1 Molassegebiet des Alpenvorlandes (Schweizer Mittelland): Ozeanischer Klimabereich

In diesem Abschnitt werden die Wälder des Untersuchungsgebietes nördlich der geologischen Alpengrenze, mit Ausnahme der Gegend von Schaffhausen, betrachtet. Der geologische Untergrund besteht aus Molasse, die an steileren Hängen an der Oberfläche sichtbar ist, sonst aber meistens von eiszeitlichem Moränenmaterial überdeckt ist. Wie im Beitrag «Klima Rheingebiet» erwähnt, ist die Gegend dem Westwindwetter ausgesetzt. Die Niederschlagssummen sind relativ hoch, die Temperaturverhältnisse im Vergleich zu den Alpentälern ausgeglichen.

Die höchsten Gipfel der Region sind um 1500 m ü. M. hoch und ragen somit in die hochmontane Stufe.

5.1.1 Der Buchenwald als zonale Waldvegetation

Die zonalen Wälder nehmen in der Region über 90% der Waldfläche ein. In der submontanen Stufe vermögen sich neben der vorherrschenden Buche immer wieder einzelne Exemplare von wärmeliebenden Baumarten durchzusetzen: Einzelne Trauben- und Stieleichen, Winterlinden, Wildkirschen und Hagebuchen gehören zum Waldbild. Daneben sind auch Bergahorn und Esche verbreitet, oft als Erstbesiedler auf Kahlflächen. Eine der am weitesten verbreiteten Gesellschaften ist der typische Waldmeister-Buchenwald (Kästchen 1). Die dominierende Rolle der Buche wurde erstmals im Bodenseebuch von KLÖTZLI und SCHLÄFLI (1980) veranschaulicht.

In der etwas kühleren unteren montanen Stufe finden sich die erwähnten Wärmearten höchstens noch am Waldrand. Im Waldesinnern herrscht die Buche fast uneingeschränkt; Bergahorn und Esche spielen eine ähnliche Rolle wie weiter unten. Dazu vermag aber die Weisstanne immer wieder aufzuwachsen und sich zu behaupten.

Kästchen 1

Typischer Waldmeister-Buchenwald

Standort: Der typische «mittlere» Standort der submontanen Stufe im Alpenvorland. Weder austrocknend noch vernässt (höchstens im Unterboden zeigen sich manchmal schwache Zeichen von Vernässung), weder stark sauer noch kalkhaltig, bieten die meist tiefgründigen Braunerden und Parabraunerden mit einem biologisch aktiven Oberboden optimale Wuchsbedingungen für Bäume, Sträucher und Kräuter. Der typische Waldmeister-Buchenwald wächst auf leicht gewelltem Gelände, in ebenen Lagen ausserhalb des Grundwasserbereichs und an schwach geneigten Hängen.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Der typische Waldmeister-Buchenwald ist ein sehr wüchsiger Wald, der von Buchen dominiert ist. Oberhöhe der Bäume 30 bis 40 Meter. Der Buchennachwuchs kann bei genügendem Lichteinfall dicht sein; wegen der Dunkelheit unter dem dichten Kronendach sind Strauch- und Krautschicht oft nur schwach entwickelt.

Verbreitete Arten: Mullzeiger wie Berggoldnessel (*Lamium montanum*), Waldsegge *(Carex sylvatica)*, Waldmeister *(Galium odoratum*), Gemeiner Wurmfarn *(Dryopteris filix-mas).* Sanikel *(Sanicula europaea)* und Waldveilchen *(Viola reichenbachiana)* sind stete Bewohner des typischen Waldmeister-Buchenwaldes. Weitere typische Arten sind Buschwindröschen *(Anemone nemorosa*), Gemeiner Waldfarn *(Athyrium filix-femina),* Waldzwenke *(Brachypodium silvaticum)* und Ruprechtskraut *(Geranium robertianum).*

Idealisiertes Bestandesprofil:



Waldbau – Chancen und Gefahren: Der sehr wüchsige Standort erlaubt allen Baumarten gutes Wachstum; gerade deswegen ist jedoch das Aufbringen von Lichtbaumarten nur mit grossem Pflegeaufwand möglich, da sie sonst bald unter der Lichtkonkurrenz (v. a. der Buche) leiden. Die Buche kann schöne Hallenbestände bilden.

In den biologisch aktiven Böden wird auch Nadelstreu bis zu einer gewissen Menge schnell abgebaut; bei sehr hohem Nadelholzanteil bildet sich dennoch (auch wegen dem oft tiefen pH) eine Streuauflage, welche die biologische Bodenaktivität hemmt.

Anthropogene Ausbildungen: Unter Nadelbaumbeständen können sich dichte Teppiche von Brombeeren bilden, wo kaum andere Kräuter Platz finden. Oft sind der Sauerklee (*Oxalis acetosella*) und säureliebende Moose auf der Moderauflage verbreitet. Unter Fichten sind der Gegensatz von Moderauflage und doch mächtigem Vermischungshorizont charakteristische Merkmale für den Waldmeister-Buchenwald, auch wenn Mullbodenpflanzen fehlen.

In der oberen montanen Stufe ist die Buche nicht ganz so konkurrenzstark wie weiter unten. Dafür entfaltet die Weisstanne ihre Stärke, und oft bilden die beiden Arten Mischbestände (Kästchen 2). Auf kalkreichen Böden ist die Buche eher vorherrschend, auf sauren Böden die Tanne. Stark saure und zugleich nasse Böden sind die Domäne der Tannen und Fichten; sie sind im Bereich der Molasse aber selten.

Über 1300 m ü. M., in der hochmontanen Stufe, sind die Fichte und Tanne allein herrschend; eingestreut ist auf neutralen und basischen Böden der Bergahorn (Einwanderung der Baumarten s. bei BURGA in diesem Werk).

Unter diesen zonalen Waldgesellschaften finden sich fast ausschliesslich Braun- und Parabraunerden. In ebenen Lagen und auf Kuppen sind diese oft stark versauert, an steileren Hängen sind die Böden oft basenreich.

5.1.2 Nicht zonale Wälder

Solche Waldgesellschaften würden in der Naturlandschaft einen weit grösseren Flächenanteil bedecken, da sie in den heute gerodeten Feuchtgebieten und Auen grossflächig vorkommen würden, und die dort verbleibenden Wälder oft drainiert wurden.

Die Auenwälder sind Laubmischwälder, wo wegen der einzigartigen Wasserverhältnisse die Buche nicht bestehen kann; Eschen, Ahorne, Ulmen und, auf nässeren Partien, Erlen und Weiden beherrschen das Bild.

Entlang von kleinen Bächen und an quelligen Stellen sowie in feuchten Hangfusslagen wachsen Bacheschenwälder und Ahorn-Eschenwälder (Kästchen 3).

Im Molassegebiet nehmen Ahorn- und Lindenwälder auf Hangschutt nur sehr kleine Flächen ein, da das Gestein schnell zerfällt und grössere Blöcke kaum Bestand haben.

Ebenfalls sehr selten sind Eichen- und Föhrenwälder auf Graten und Sonnenhängen, die für die Buche zu trocken sind.

Etwas weiter verbreitet sind Mergelsteilhänge, an denen die Buche die Wechsel von trocken und nass nicht erträgt; hier wachsen Föhrenwälder, in die oft Mehlbeerbäume eingestreut sind.

5.2 Gegend von Schaffhausen – Singen und Bodenseeregion

Im Becken zwischen Bodensee und Rheinfall präsentiert sich die Waldvegetation ähnlich wie im umgebenden Schweizer Mittelland. Da die Niederschläge geringer sind als dort, kommt eine weitere kolline Waldgesellschaft dazu. Auf besonders durchlässigen und auf wechseltrockenen Böden vermag sich die Buche nur schwer zu halten, und die dort auftretende Waldgesellschaft ist der Hagebuchenmischwald (KELLER, 1975, 1989; SCHMIDER et al., 2003, Kästchen 4). Neben der Hainbuche sind die Trauben- und die Stieleiche stark vertreten, daneben noch etliche thermophile Baumarten. An vielen Orten ist der potentiell vorhandene Mischwald gerodet und durch Acker- und Wiesenvegetation ersetzt.

Am Bodensee wirkt sich das milde Seeklima auch auf die Waldvegetation aus (KLÖTZLI und SCHLÄFLI, 1980). In Südlagen sind an felsigen Stellen Eichenbuschwälder, an rutschigen Hängen Föhrenwälder kleinflächig von Natur aus vorhanden (Kronwicken-Flaumeichenbuschwald und Geissklee-Föhrenwald). Die Vegetation der übrigen milden Lagen in Seenähe ist meist durch Menschenhand stark verändert worden: Um Meersburg bedecken heute Rebberge die warmen Sonnenhänge, und in Seenähe sind auffallend viele Parkanlagen angelegt worden, die oft mit frostempfindlichen fremdländischen Pflanzenarten bereichert wurden – das hervorragendste Beispiel dafür ist die Insel Mainau.

5.3 Nördliche Randalpen

Das Gebiet reicht vom Alpstein- und vom Dreischwestern-Gebiet bis in die Gegend von Bad Ragaz; die Höhenstufung erstreckt sich von der submontanen bis in die subalpine Stufe; die obere Waldgrenze liegt zwischen 1600 und 1800 m ü. M.

Vom Talboden bis zur hochmontanen Stufe sind die zonalen Waldgesellschaften im Wesentlichen die gleichen wie im Molassegebiet. Einige Unterschiede sind jedoch auszumachen:

Weil der geologische Untergrund im Unterschied zum Alpenvorland im Wesentlichen aus Karbonatgesteinen (Ausnahme: Verrucano im

Kästchen 2

Waldschwingel-Tannen-Buchenwald

Standort: Dieser Tannen-Buchenwald kommt an Hängen der obermontanen Stufe in allen Expositionen vor. Die Böden sind gut entwickelte (Para-)Braunerden mit deutlicher Tendenz zur Versauerung (keine Basen im Oberboden, Humusform moderartiger Mull). Der Waldschwingel-Tannen-Buchenwald kommt in der Region III vor.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Gut wüchsige Tannen-Buchen-Bestände, wo oft auch Fichte und Bergahorn eingestreut sind; Oberhöhen 25–35 m. Die Strauchschicht ist wenig entwickelt. Gräser und Farne beherrschen oft das Erscheinungsbild.

Verbreitete Arten: Waldschwingel *(Festuca altissima)*, Sauerklee *(Oxalis acetosella),* Quirlblättriges Salomonssiegel *(Polygonatum verticillatum*), Hasenlattich *(Prenanthes purpurea)*, Gemeiner Waldfarn (*Athyrium filix-femina*), Gemeiner Wurmfarn (*Dryopteris filix-mas*), Breiter Wurmfarn (*Dryopteris dilatata*), Waldsegge (*Carex sylvatica*), Breitblättriger Ehrenpreis (*Veronica urticifolia*), selten Waldsimse (*Luzula sylvatica*).

Idealisiertes Bestandesprofil:



Waldbau – Chancen und Gefahren: Gute Wüchsigkeit. Buche, Tanne und Fichte zeigen gute Wuchsformen. Die Tanne ist im Allgemeinen konkurrenzstark. Bei einem hohen Fichtenanteil ist die Borkenkäfergefahr gross, die Fichten sind dann auch vermehrt rotfaul. Stufige Bestandesstrukturen sind leicht möglich.

Anthropogene Ausbildungen: Oft stehen auf dem Standort des Waldschwingel-Tannen-Buchenwaldes fast reine Fichtenbestände, wo die Krautschicht sehr spärlich ist und die Moose üppiger sein können. Durch die Höhenlage und die nicht extremen Standortverhältnisse im Allgemeinen erkennbar.

Kästchen 3

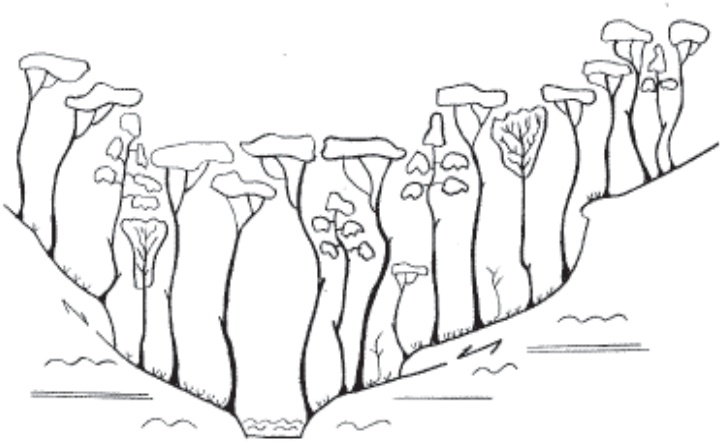
Typischer Ahorn-Eschenwald

Standort: Der Ahorn-Eschenwald wächst auf feuchten Böden in Hangfusslagen der submontanen und unteren montanen Stufe. Der Boden ist tiefgründig. Die oberen Bodenschichten sind periodisch gut durchlüftet, die unteren nass (für die Buche zu nass).

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Sehr wüchsige Eschen- und Ahornbestände; Oberhöhen 30–38 m. Die Krautschicht mit Nässezeigern kann üppig ausgebildet sein.

Verbreitete Arten: Kohldistel (*Cirsium oleraceum*), Wechselblättriges Milzkraut (*Chrysosplenium alternifolium*), Hängende Segge (*Carex pendula*), Riesenschwingel (*Festuca gigantea*), Engelwurz (*Angelica sylvestris*) und andere Nässezeiger. Der Winter-Schachtelhalm (*Equisetum hyemale*) kann entlang von Wasserläufen vorhanden sein und bildet dann dichte Teppiche.

Idealisiertes Bestandesprofil:



Waldbau – Chancen und Gefahren: Der Standort ist ideal für nässeertragende Edellaubbäume: Esche, Bergahorn, Bergulme, Spitzahorn sowie in wärmeren Lagen Stieleiche und Kirsche. Nadelhölzer werden grobastig; Fichten sind stark windwurfgefährdet. Das Befahren bei feuchter Witterung verdichtet den Oberboden stark.

Anthropogene Ausbildungen: Der Ahorn-Eschenwald wird manchmal mit standortsfremden Baumarten bepflanzt; er ist dann meistens an den noch vorhandenen Nässezeigern und an den flach ausgebreiteten Fichtenwurzeln zu erkennen.

Gebiet zwischen Weisstannental und Walensee) und das Relief mehr steile Hänge (und damit weniger gereifte Böden) aufweist, sind Waldgesellschaften auf Karbonat im Verhältnis häufiger als im Vorland. Dies äussert sich speziell in den

Kästchen 4

Waldlabkraut-Hainbuchenmischwald

Standort: Kollin. Warme, niederschlagsarme Gebiete. Durchlässige Schotterebenen mit tiefem Grundwasserspiegel, wo Trockenheit und eventuell Spätfrost die Buche gefährdet. Oberboden: Mullformen, sauer. Boden: Braunerden (Ausnahme Parabraunerde) oft über Schotter, sauer bis neutral. Besondere Bodeneigenschaften: Oft mehrschichtiger Profilaufbau, oberflächennah austrocknend, z. T. geringe Wasserspeicherleistung, Schotter oft karbonathaltig.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Eichen-Laubmischwald mit Hainbuche, Trauben- und Stieleiche, viele andere Laubbäume beigemischt.

Verbreitete Arten: Weissdorn (*Crataegus*-Arten), Hornstrauch (*Cornus sanguinea*), Liguster (*Ligustrum vulgare*), Waldlabkraut *(Galium silvaticum),* Busch-Hainsimse (*Luzula luzuloides*), Wald-Veilchen *(Viola reichenbachiana*), Busch-Windröschen (*Anemone nemorosa*), Erdbeerähnliches Fingerkraut (*Potentilla sterilis*), Nickendes Perlgras (*Melica nutans*), Lungenkraut (*Pulmonaria*-Arten), Frühlings-Platterbse (*Lathyrus vernus*), Berg-Segge (*Carex montana*). Auffallendes Nebeneinander von Säure- und Basenzeigern!

Waldbau: Baumartenauswahl infolge Bodentrockenheit eingeschränkt: Traubeneiche (Stieleiche), Kirsche, Esche, Elsbeerbaum; im Nebenbestand Hainbuche, Feldahorn, Feldulme, Winterlinde, Mehlbeerbaum. Dazu Föhre und evtl. Lärche. Wuchsleistung, Gesamtzuwachs und Höhenbonität mittel. Oberhöhe im Alter 50: Fö 20–22 m, Lä 20–22 m, Ei 19–21 m, Ah/Es 22–25 m. Verjüngung: Naturverjüngung meist gut. Kleinflächige Schirmhiebe zur Verjüngung der Eichen. Pflege: Eichen grossflächig verjüngen. Unterwuchs und Nebenbestand fördern als Schutz vor Bodenaustrocknung.

Naturkundliche Besonderheiten: Die sehr seltenen «echten» Eichen-Hainbuchenwälder sollten naturnah erhalten bleiben. Die früher auf diesen Standorten verbreitete Niederwaldbewirtschaftung (teilweise auch Mittelwaldbewirtschaftung) schafft biologisch sehr wertvolle Lebensräume für lichtbedürftige Pflanzen, Tagfalter und Vogelarten. Mit gefährdeten und geschützten Pflanzen, z. B. Gewöhnliche Akelei, Gewöhnlicher Seidelbast, Türkenbund-Lilie, Vogelnestwurz, Maiglöckchen, Schwalbenwurz.

reinen Buchenwäldern der submontanen und unteren montanen Stufe (Beispiel Kästchen 5).

An den steilen Hängen sind die Strahlungsverhältnisse extremer. An felsigen Südhängen ist an einigen Stellen wegen der Trockenheit und Wärme die Grenze der Buchenverbreitung erreicht, und man findet dort lichte artenreiche Eichenwälder, die manchmal mehr einem Buschwald gleichen. Die Trockenheit wird durch die Wirkung des häufig auftretenden Föhns verstärkt. Diese Eichenwälder können als kolline Inseln in der submontanen Stufe angesehen werden.

Laubmischwälder auf Karbonat-Hangschutt sind verbreitet. Auf trockenem Schutt sind sie oft von Linden und Bergahornen beherrscht (Kästchen 6); ist das Material feiner und feuchter, dominiert meistens die Esche.

5.4 Die Bündner Rheintäler

Vegetationskundlich stellt der oberste Abschnitt des Rheins eine besonders grosse Vielfalt dar. Verschiedenste geologische Formationen mit den unterschiedlichsten Gesteinen wirken sich besonders stark auf das Erscheinen und Verschwinden einzelner Arten aus. Weit stärker

Kästchen 5

Typischer Bingelkraut- oder Zahnwurz-Buchenwald

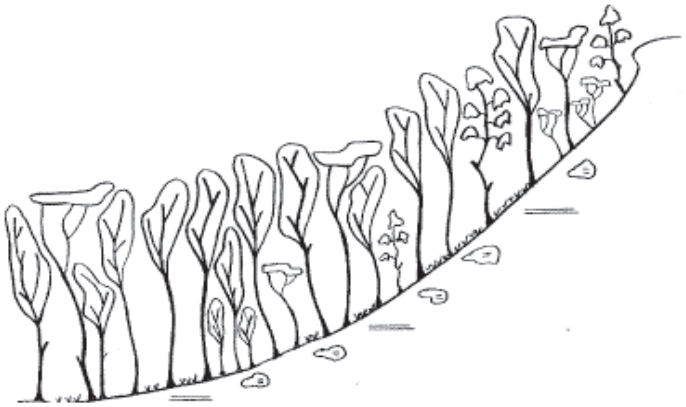
Die Waldgesellschaft wurde zuerst im Jura unter dem Namen Zahnwurz-Buchenwald beschrieben, da der gleiche Waldtyp oberhalb des Bodensees jedoch nur selten Zahnwurz enthält, wurde in den Kantonen St. Gallen und Graubünden der andere Name eingeführt.

Standort: Der typische Bingelkraut-Buchenwald ist der wichtigste Hauptwaldstandort auf Kalkböden der untermontanen Stufe. Der biologisch aktive Mullboden (entwickelte (Para-) Rendzinen oder Kalk-Braunerden) ist oft tiefgründig und nicht vernässt. Die Wuchsbedingungen sind gut für die meisten Baumarten, welche das kühlere montane Klima ertragen. Der typische Bingelkraut-Buchenwald wächst an schwach bis stärker geneigten Hängen. In tieferen Lagen wächst er eher in Schattenlagen, weiter oben ist er in allen Expositionen verbreitet.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Wüchsige Buchenbestände, mit eingestreuten Bergahornen, Eschen und Tannen mit Oberhöhen von 30 bis 35 Metern. Die Strauchschicht ist oft kaum vorhanden oder besteht zur Hauptsache aus der Buchen-, Eschen- oder Bergahorn-Verjüngung. Die Krautschicht ist meist wenig dicht, mit dem Bingelkraut als dominierender Art.

Verbreitete Arten: Viel Bingelkraut (*Mercurialis perennis*), weiter Türkenbund (*Lilium martagon*), Haselwurz (*Asarum europaeum*), neben Mullpflanzen wie Berggoldnessel (*Lamium montanum*), Waldsegge (*Carex sylvatica*), Waldmeister (*Galium odoratum*). Dazu Montanzeiger wie Schildfarn (*Polystichum aculeatum*), Christophskraut (*Actaea spicata*), Alpenhagrose (*Rosa pendulina*), manchmal auch Waldschwingel (*Festuca altissima*).
(lokal **ohne** Zahnwurz!)

Idealisiertes Bestandesprofil:



Waldbau – Chancen und Gefahren: Die Wüchsigkeit ist gut. Das montane Klima schliesst wärmeliebende Arten aus. Die Buche ist im Optimum, sie bildet lange, gerade Stämme und wächst leicht in Hallenbeständen. Fichten und Tannen gedeihen gut, wie auch Bergahorn, Eschen und Linden.

Anthropogene Ausbildungen: Auch unter Nadelbaumbeständen ist die Einheit meist an einigen Kalkzeigern erkennbar. Wo keine Bodenpflanzen vorhanden sind, ist die Anwesenheit von Kalk in den obern Bodenhorizonten für die Bestimmung ausschlaggebend.

Kästchen 6

Ulmen-Ahornwald mit Bingelkraut

Standort: Sonderwaldstandort der oberen montanen Stufe. Der Ulmen-Ahornwald mit Bingelkraut wächst in der obermontanen Stufe an schattigen Hängen, meist unterhalb von Felswänden, auf bewegten Schutthalden mit eher feinkörnigem Material. Die Vermischung von mineralischem und organischem Material lässt einen tiefgründigen Mull entstehen. Der Boden ist feucht, zeitenweise sogar nass, vor allem im Frühling.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Der Ahornbestand ist meistens eher locker, die Bäume sind oft grosskronig und säbelwüchsig; Oberhöhen 15–25 m. Eine Strauchschicht fehlt meistens; die hochstaudenreiche Krautschicht ist umso üppiger.

Verbreitete Arten: Mondviole (*Lunaria rediviva*), Weisse Pestwurz (*Petasites albus*), Kitaibels Zahnwurz (*Cardamine kitaibelii*), Berggoldnessel (*Lamium montanum*), Bingelkraut (*Mercurialis perennis*), Waldmeister (*Galium odoratum*), Gelappter Schildfarn (*Polystichum aculeatum*), Gemeiner Wurmfarn (*Dryopteris filix-mas*), Fuchs' Greiskraut (*Senecio ovatum*), Wechselblättriges Milzkraut (*Chrysosplenium alternifolium*).

Idealisiertes Bestandesprofil:



Waldbau – Chancen und Gefahren: Die feuchten Hangschuttböden in kühlen Lagen eignen sich für Bergahorn und Esche. Die üppige Krautschicht behindert das Aufkommen von jungen Bäumen. Als Naturwald belassen.

Anthropogene Ausbildungen: Auf den Standorten des Ulmen-Ahornwaldes stehen meistens naturnahe Bestände.

wirkt sich jedoch der relativ steile Gradient von mässig ozeanischem Randalpenklima bis zum Klima der kontinentalen Hochalpen aus. In diesem kurzen Abschnitt durchquert der

Rhein auch sämtliche Höhenstufen: ausgehend von der alpinen Stufe im Quellbereich bis zu den letzten Ausläufern einer collin-thermophilen Laubmischwaldstufe im unteren Churer Rheintal. Diese standörtlichen Unterschiede sind derart stark, dass sie sich auch direkt auf die natürliche Baumartenzusammensetzung der Wälder auswirken. In einer umfassenden Arbeit über die Waldgesellschaften und Waldstandorte des Kantons Graubünden wurde versucht, einen Überblick über die Waldtypen des Kantons Graubünden zu geben (FREY et al., 1998–2004). Ihre Gliederung basiert in erster Linie auf dem natürlichen Verbreitungsmuster der einzelnen Baumarten. Die nachfolgenden Überlegungen basieren weitgehend auf dieser Arbeit.

Im Folgenden wird nun versucht, die Waldvegetation in den Bündner Rheintälern zu charakterisieren. Um ein Bild der gesamten Rheinlandschaft zu vermitteln, wird bewusst die gesamte Waldvegetation vom Rheinlauf bis hinauf zur Waldgrenze beschrieben.

Entsprechend dem Auftreten bzw. Verschwinden einzelner Baumarten lassen sich die Bündner Rheintäler in die Abschnitte gemäss Abb. 1 gliedern.

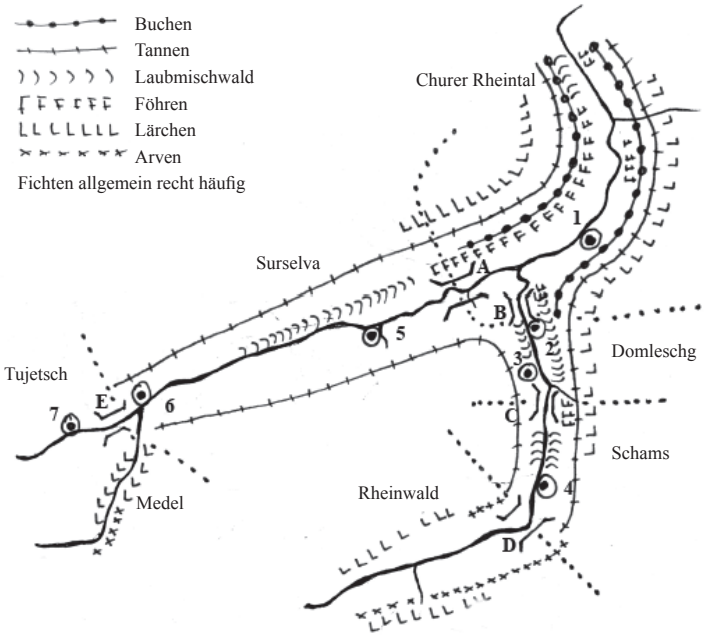
5.5 Churer Rheintal

Entlang des Rheines reicht die Region des Churer Rheintals von der Kantonsgrenze bis zum Riegel des Flimser Bergsturzes am Vorderrhein und bis zur Talenge zwischen Rhäzüns und Rothenbrunnen.

5.5.1 Die einzigartige Stellung der Buche

Auf dem Kontinentalitätsgradienten vom ozeanischen Voralpenklima zum kontinentalen Klima der Zentralalpen umfasst diese Region den letzten Talabschnitt, der noch eine mehr oder weniger zonale Buchenverbreitung zeigt.

An den der direkten Sonneneinstrahlung abgewandten Hängen mit feinerdereichen und mehr oder weniger tiefgründigen Böden nimmt die Buche in den unteren Lagen der Talflanken eine zentrale Stellung ein (Beispiel Kästchen 7). Die im Mittelland und in den Voralpen leicht zu findende Abgrenzung zwischen einer buchendominierten submontanen bzw. untermontanen Höhenstufe und einer obermontanen Tannen-Buchenwaldstufe wird zunehmend verwischt. An der klimatischen Grenze der Buche wird ihre Wüchsigkeit immer geringer. Die Stämme sind nicht mehr geradschaftig und zeigen deutlich mehr Verzweigungen und Verwachsungen als im Mittelland und in den ozeanischen Randalpen. Dagegen vermag sie sich mancherorts aus Stockausschlägen zu verjüngen. Ein Anwuchs ist oft nur in Interzeptionslöchern gewährleistet: trockenheitsbedingtes Absterben der Keimlinge



A Flimser Bergsturz
B Talenge von Rhäzüns
C Viamala
D Roflaschlucht
E Talstufe zwischen Disentis und Sedrun

1 Chur
2 Rothenbrunnen
3 Thusis
4 Andeer
5 Ilanz
6 Disentis
7 Sedrun

Abb. 1. Die verschiedenen Regionen der Bündner Rheintäler und die Verbreitung einiger wichtiger Baumarten.

Kästchen 7

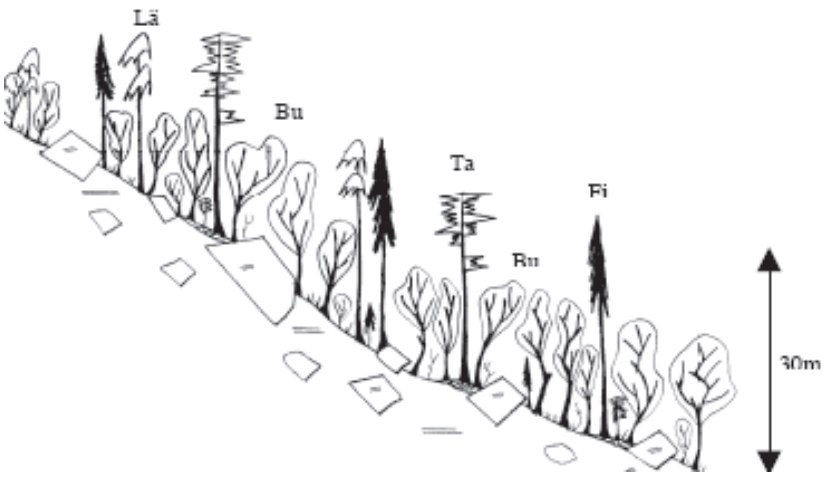
Seggen-Buchenwald mit Wachtelweizen

Standort: Weitverbreiteter Standortstyp der obermontanen Stufe im kontinentaleren Teil des Gebietes. An Südhängen mit hoher Einstrahlung gelegen. Mässig bis stark geneigte Hänge, auf skelett- und karbonatreichem Untergrund vor allem des Flimser Bergsturzes sowie an der südexponierten Calandaflanke. Die Böden sind flachgründig und nur wenig verwittert. Sie zeigen eine durchgehende organische Auflage. Während längeren niederschlagsfreien Perioden trocknen sie sehr stark aus, was den Abbau der Streu behindert. Der Standort zeigt einen breiten Übergangsbereich zu den zwischenalpinen Nadelwäldern (Weissseggen-Tannen-Fichtenwald).

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Schlecht bis mässig wüchsige Buchenbestände, die kaum über 20 m hoch wachsen. Sie werden von zahlreichen Fichten und Tannen von oft beachtlicher Höhe durchwachsen. Die Buchen bilden nur noch stark verzweigte Stammachsen und grosse, weit herabreichende Kronen. Mit ihrer geschwächten Konkurrenzkraft vermögen sie sich nicht mehr vollständig gegen die Nadelbäume durchzusetzen. Diese verjüngen sich auf der organischen Auflage des Bodens relativ gut. Die Buchen sind oft aus Stockausschlägen hervorgegangen. Die natürliche Buchenverjüngung hat meist etwas Mühe, sie gedeiht vor allem in Bestandeslücken, die wenig direkte Sonneneinstrahlung, dafür ungehindert Niederschlag erhalten. Unter Schirm und in zu grossen Lücken wird die Verjüngung stark durch die Trockenheit beeinträchtigt. Die Strauchschicht ist deshalb oft nur spärlich ausgebildet, dafür ist meist eine durchgehende Krautschicht vorhanden, deren Aspekt durch die Weisse Segge geprägt ist. An Stellen, wo wenig Laub abgelagert ist, finden sich auch Zwergsträucher und einzelne kleine Polster säurezeigender Moose.

Typische Arten: Weisse Segge (*Carex alba*), Fingersegge (*Carex digitata*), Schneeweisse Hainsimse (*Luzula nivea*), Wald-Wachtelweizen (*Melampyrum sylvaticum*), Wintergrün (*Orthilia secunda*), Frühlings-Platterbse (*Lathyrus vernus*), Leberblümchen (*Hepatica nobilis*), Buchsblättrige Kreuzblume (*Polygala chamaebuxus*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Waldhabichtskraut (*Hieracium silvaticum*), Waldveilchen (*Viola reichenbachiana*), Waldvöglein (*Cephalanthera*-Arten), Etagenmoos (*Hylocomium splendens*) usw.

Idealisiertes Bestandesprofil:



kann häufig beobachtet werden. Oberhöhen von mehr als 30 m werden kaum mehr erreicht. Am besten gedeihen die Buchen auf tonig-skelettarmen Böden in schattig-kühlen Tobeleinhängen ohne direkte Strahlungs- bzw. Föhneinwirkung. Die weitaus grösste Fläche nehmen Bestände mit geringerer Wuchskraft ein. Es dominieren Bestände, die den trockenheitsbeständigen Orchideen-Buchenwäldern zuzuordnen sind. Auch auf kalkreichen Skelettböden ist der Abbau der Nadelstreu trockenheitsbedingt oft recht schlecht, so dass Partien mit organischer Auflage entstehen. Dies begünstigt die Verjüngung von Tanne und Fichte auch in tiefen Lagen. Deshalb sind den Beständen auch in der eigentlichen Buchenstufe mehr oder weniger Nadelbäume natürlicherweise beigemischt. Sie sind den Buchen in ihrer Wüchsigkeit z. T. deutlich überlegen. Am südlichen und westlichen Rand des Churer Rheintals erreichen die zonal verbreiteten Buchenbestände ihre physiologisch-klimatischen Grenzen. Wasserstress und grössere Temperaturamplituden drängen die Buche immer mehr in klar abgegrenzte Lokalstandorte und Nischen zurück. So erscheint sie regelmässig auf den erstaunlichsten Sonderstandorten: Ihre Fähigkeit, säbelwüchsige Stämme und Stockausschläge zu bilden, sowie ihre durchlässige Krone ermöglichen ihr ein Gedeihen in Lawinenzügen. Die Exemplare sind wohl sehr krüppelig, den extremen Standortsbedingungen jedoch besser angepasst als Fichte und Tanne. Ausgedehntere Bestände finden sich ebenfalls im Durchflussbereich von Geröll und Blöcken. Die im Mittelland so einzigartig grosse Konkurrenzkraft verbunden mit hohen Standortsansprüchen geht der Buche an ihrer Arealgrenze zusehends verloren. Damit verliert sie auch ihren ökologisch wichtigen Indikatorwert: Einzelexemplare dürfen nicht mehr a priori als Beweis einer potentiellen zonalen Verbreitung gewertet werden.

5.5.2 Wechsel zwischen Eichen- und Föhrenwäldern

Während im St. Galler Rheintal die Trockengrenze des Waldes in tieferen Lagen durch Eichen-Mischwälder eingenommen wird und kaum ein einziger Waldföhrenbestand beobachtet werden kann, ändern sich die Bestandesbilder der Trockenstandorte im Churer Becken vollständig. Eichenbestände finden sich nur noch in tiefsten Lagen am Fusse des Calanda. Bei genauerem Hinsehen entpuppen sich aber viele dieser meist lückigen und erstaunlich wüchsigen Eichenbestände als anthropogen geförderte ehemalige Waldweiden auf gar nicht so trockenen Buchenstandorten. Die Trockenstandorte im Churer Rheintal werden vielmehr durch Waldföhrenbestände eingenommen. Die starke Verbreitung der Föhre entspricht nur bedingt dem Bild des Naturwaldes. Viele Bestände sind durch Waldbrände und starke Beweidung entstanden und sind somit als Entwicklungsstadien zu werten. Waldföhrenwälder mit Oberhöhen von weniger als 18 m sind vor allem auf den südexponierten Erosionsflächen des Flimser Bergsturzes und auf anstehenden steilen Felsrippen, die einer hohen Einstrahlung und Föhneinwirkung ausgesetzt sind, anzutreffen. Diese Bestände können als Dauerstadien angesehen werden. Ehemals stark beweidete Föhrenbestände unter 1000 m ü. M. zeigen heute oft eine üppige und sehr artenreiche Strauchschicht, die von Hasel, aufkommender Esche und stellenweise auch von Eichen dominiert wird. Da die Föhre zur Verjüngung Rohboden benötigt, werden sich diese Bestände im Laufe der Zeit in Richtung Laubmischwälder weiterentwickeln, sofern stärkere Störungen ausbleiben. Im ganzen Gebiet finden sich auf der rechten Rheinseite einige grosse, nur sanft geneigte Schuttfächer, die durch Bäche und regelmässige Murgänge in der Zeit seit der letzten Vergletscherung entstanden sind. Die wenig verwitterten und sehr skelettreichen Böden sind für eine intensivere Landwirtschaft ungeeignet. Eine mehr oder weniger extensive Beweidung führte über die Jahrhunderte zu stark lückigen Föhren-Weidewäldern, die sich als Dauerstadien erhalten konnten. Seit die Beweidung stark zurückgegangen oder eingestellt worden ist, entwickeln sich diese Bestände zu den zonal verbreiteten schlechtwüchsigen Buchenwäldern der Orchideen-Buchenwälder weiter. Eine ähnliche Entwicklung lässt sich auch im Bereich der

flacheren, weniger der Einstrahlung ausgesetzten Partien des Flimser Bergsturzes beobachten. Hier werden die Föhren weniger durch Buchen als vielmehr durch Fichten und Tannen verdrängt.

5.5.3 Fichten und Tannen

Bei ca. 1300 m ü. M. erreicht die Buche ihre klimatische Höhengrenze und macht eigentlichen Nadelwäldern Platz. Die Fichte ist im Gebiet besonders stark vertreten. Sie vermag sowohl die Rolle einer Pionierbaumart wie auch jene einer Schlusswaldbaumart einzunehmen. Sie besiedelt einerseits trockene Standorte im Grenzbereich zu den eigentlichen Föhrenwäldern, aber auch feucht-kühle Nordlagen mit Hochstaudenvegetation. Anders die Weisstanne: Ihr eigentliches Wuchsoptimum findet sich in mittlerer Höhenlage im Bereich der ozeanischen Voralpen. Im gesamten Churer Rheintal können immer wieder Tannenvorkommen beobachtet werden. Bei genauerem Hinsehen fällt aber auf, dass – im Gegensatz zur Fichte – die Tanne bereits die Tendenz zur Ausbildung inselartiger Bestände zeigt – ein charakteristisches Muster an der kontinentalen Grenze der Tannenverbreitung. Wie zu erwarten, finden sich Tannen in abgewandter Lage an steilen Tobelflanken sowie an Nordhängen mit lokal ozeanischem Klima. Immer wieder erstaunt allerdings, dass sich z. T. auch stattliche Tannenbestände auf trockenen Standorten mit erhöhter Einstrahlung eingestellt haben (vgl. Geschichte der Ausbreitung bei BURGA, in diesem Buch).

5.5.4 Lärchen

Beim Verlassen des Kantons Graubünden im nördlichen Teil des Churer Rheintales durchquert der Rhein die ozeanische Verbreitungsgrenze des autochthonen Lärchenareals. Sowohl auf Bündnerschiefer wie auch auf den Kalken des Helveticums erscheint die Lärche spontan als Pionierbaumart, die sich über recht lange Zeit im Bestand erhalten kann und so wertvolle Hinweise über die Waldgeschichte liefert. Grössere z. T. völlig lärchendominierte Bestände finden sich in mittleren bis höchsten Lagen im Bereich von Weiden. Ein lockerer Lärchenschirm über Weideflächen wurde von früheren Bauern geschätzt und z. T. aktiv gefördert. Mit ihrer für Staublawinen durchlässigen Winterkrone und ihrer Fähigkeit rasch Rohboden zu besiedeln, ist sie prädestinierte Baumart für lawinenbeeinflusste Talflanken. Besonders während ihrer charakteristischen gelben Herbstfärbung verrät sie auch noch nach Jahrhunderten, wo eine Lawine den Wald in Mitleidenschaft gezogen hat. Nahe der Waldgrenze, an schattig-kühlen Nordlagen mit starkem Alpenrosenbewuchs, können lockere Lärchenbestände eine Art Dauerstadien bilden; parasitische Pilze mit einem Wirtswechsel zwischen Alpenrose und Fichte schränken die sonst wesentlich konkurrenzstärkere Fichte bedeutend ein.

5.5.5 Auenwälder

Sehr ausgedehnte und häufig überflutete Auenwälder prägten bis weit ins 19. Jahrhundert die Talsohle des Churer Rheintales. Schönste mehr oder weniger unberührte Relikte dieser einzigartigen Auenlandschaften finden sich noch heute im Gebiet von Mastrils bei Landquart sowie in der Talenge zwischen Rhäzüns und Rothenbrunnen. An diesen Beispielen kann die gesamte Zonierung der Auevegetation exemplarisch abgelesen werden. Auch heute noch weit verbreitet sind Weisserlen-Bestände, die jedoch kaum mehr überflutet werden; sie erscheinen überall dort, wo feines nährstoffreiches Material abgelagert worden ist. Wo die Böden aus gröberem Kies und Blöcken bestehen, gedeihen schlechtwüchsige Föhrenbestände, so namentlich entlang der Landquart, bei Rhäzüns sowie im Vorfeld des Flimser Bergsturzes bei Bonaduz. Letztere Bestände stocken auf alten Flussterrassen, die kurz nach der letzten Vergletscherung abgelagert worden sind. In diesem Buch geht ROULIER näher auf das Thema Auenwald ein.

5.6 Die Talbecken der unteren Surselva und des Domleschg

5.6.1 Was geschieht, wenn die Buchen fehlen?

Obwohl die Talsohle dieser beiden Täler noch weitgehend unterhalb 700 m ü. M. liegt, sind sie weitgehend buchenfrei. Einzelne Buchenrelikte finden sich beispielsweise in der Gegend von Trun, zwischen Ilanz und Obersaxen, sowie eingangs der Viamala zwischen Thusis und Rongellen. Wie bereits erwähnt, sind diese Vorkommen jedoch nicht Indiz für eine zonale Verbreitung der Buche. Manche der erstaunlichen Vorkommen in der unteren Surselva sind sogar nachweislich gepflanzt worden. Es stellt sich nun die Frage, welche Waldgesellschaften sich in diesen Tieflagen einstellen, wenn die Buchen aus klimatischen Gründen ausfallen (Kästchen 8).

Fichten-Tannenbestände steigen als Schlusswaldbaumarten bis in die Talsohle hinunter. Beständen unter 1000 m ü. M. ist ein oft recht üppig ausgebildeter Haselbewuchs eigen. Unter diesen Haselsträuchern stellt sich die charakteristische Bodenvegetation der montanen Nadelwälder ein, wobei immer wieder Arten der anspruchsvollen Buchenwälder eingestreut sind. Besonders in Nadelholzbeständen in der Zerfallsphase erreichen die Haselsträucher eine Üppigkeit, die der Fichtenverjüngung zum Hindernis wird. Im Naturwald springt die schattentolerante Tanne in diese Nische. Nach flächigen Zusammenbrüchen stellt sich rasch eine schnellwüchsige Pionierphase aus verschiedenen Edellaubbäumen wie Esche, Berg- und Spitzahorn, Kirsche sowie Aspe, Birke und Weisserlen usw. ein. Bleiben Störungen aus, so können sich diese Baumarten nicht gegen den Druck der Nadelbäume durchsetzen; sie werden langsam von Tannen und Fichten unterwandert und mit der Zeit verdrängt. Namentlich im Domleschg sind diesen Tieflagen-Tannenwälder immer einzelne Winterlinden beigemischt, die sich wegen ihrer relativen Schattentoleranz über längere Zeit im Nebenbestand halten können. Bis vor einigen Jahrzehnten hat der Mensch diese Entwicklung durch seine mannigfaltigen Nutzungen wie Ziegenweide, Schneiteln, Streurechen und Niederwaldbewirtschaftung aufgehalten. Solchermassen sind die ausgedehnten Laubwälder auf der rechten Talseite der Surselva und im Domleschg zu verstehen. Augenfällig ist ihre stete Nähe zu auch heute noch landwirtschaftlich genutzten Flächen. Sie sind zudem meist in privater Hand, und sehr häufig fällt die Grenze vom privaten zum öffentlichen Wald auch mit dem Übergang von Laubholzbeständen zu den Nadelwäldern zusammen. Mancherorts sind die für die Ausbildung laubholzreicher Bestände notwendigen Störungen jedoch durchaus natürlich: Ablagerungen von Gehängeschutt im Hangfussbereich sowie die zahlreichen regelmässig wiederkehrenden Murgänge fördern Laubmischwälder als Dauerstadien. Besonders auf lose abgelagertem Schutt spielt die Winterlinde eine bedeutende Rolle als bestandesbildende Baumart. In der Surselva, und hier besonders im Mündungsbereich des Lugnez, halten sich weisserlenreiche Bestände auf tiefgründigen, z. T. vernässten Rutschgebieten.

5.6.2 Eichen oder Föhren?

Im Gegensatz zum Churer Rheintal und zum Domleschg fehlen in der Surselva Föhren weitgehend. In tieferen Lagen werden trockene Felsstandorte durch Eichenbestände eingenommen. Im Naturwald sind solche schlechtwüchsigen Eichenwäldchen wohl nur sehr klein. Weitaus häufiger sind aber z. T. recht stattliche Eichenbestände auf gründigeren Böden; diese dürften auch durch landwirtschaftliche Nutzung gefördert worden sein. So sind wohl auch die sehr hoch gelegenen Eichenbestände am Südhang unterhalb Feldis als anthropogene Stadien zu betrachten, die sich nach einem Ausbleiben der traditionellen Nutzung mehr oder weniger rasch in fichtendominierte Bestände weiterentwickeln werden, da Fichten im Gebiet auch auf trockenen Standorten die grössere Konkurrenzkraft haben.

Im Domleschg sind föhrenreiche Bestände etwas häufiger. Ausgedehntere Bestände finden sich in der Gegend von Rothenbrunnen. Allerdings sind manche dieser Bestände als Pionierphasen auf einwachsenden Weideflächen zu verstehen und werden sich auch in Richtung der

Kästchen 8

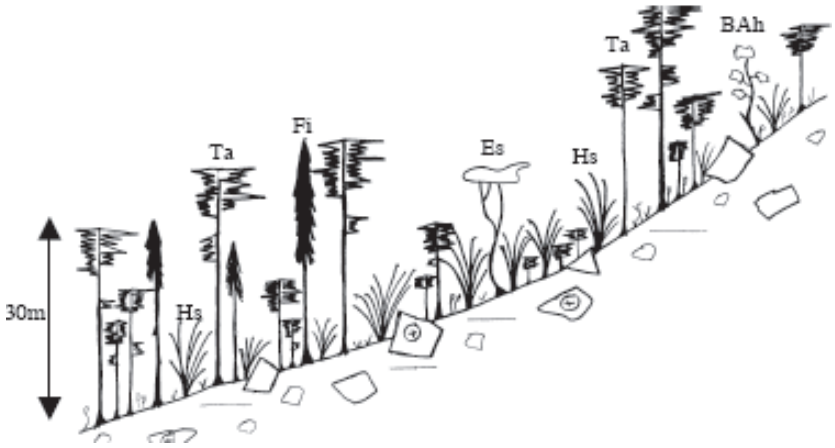
Labkraut-Fichtenwald mit Hasel

Standort: Nur die allertiefsten Lagen der hochmontanen Stufe entlang des Rheines auf der Schattenseite zwischen Ilanz und Tavanasa werden von diesem Standortstyp eingenommen. Er erscheint in grosser Ausdehnung auf den konsolidierten Schutthalden, die zwischen den untersten Felspartien und der flachen Sohle des Trogtales liegen. Mit seinen tiefgründigen, recht aktiven und nur mässig sauren, skelettreichen Böden weist dieser Standort eine grosse Verwandtschaft mit Laubwäldern auf. Dies wird in erster Linie durch die Zusammensetzung der Krautschicht deutlich. Im Buchenareal gelegen, würden auf diesen Böden und dieser Meereshöhe wüchsige Buchenbestände stocken. Wohl durch die hier besonders stark wirkenden Fröste können die tiefsten Lagen jedoch nicht mehr von der Buche besiedelt werden.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: In der Optimalphase der Waldentwicklung werden die Bestände durch mächtige Tannen (30–40 m) dominiert. Setzen Zerfallserscheinungen ein, so entstehen in den entstandenen Lücken und Blössen üppige Haselgebüsche. Gleichzeitig können sich auch Edellaubhölzer wie Esche, Bergahorn, Bergulme etablieren. Unter dem überaus dichten Schirm der Haselgebüsche verjüngt sich die Tanne bestens und vermag nach anfänglicher Unterdrückung durch den Haselschirm durchzudringen und wiederum in die Oberschicht aufzuwachsen. Sie ist den Edellaubhölzern mit ihrer Schattentoleranz und ihrer Konkurrenzkraft weit überlegen und kann sie verdrängen. Der Fichte genügen die Lichtverhältnisse unter den Haselgebüschen meistens nicht, um in grösserer Zahl aufwachsen zu können.

Typische Arten: Hasel (*Corylus avellana*), Sauerklee (*Oxalis acetosella*), Gewöhnlicher Waldfarn (*Athyrium filix-femina*), Finger-Zahnwurz (*Cardamine pentaphyllos*), Eichenfarn (*Gymnocarpium dryopteris*), Hasenlattich (*Prenanthes purpurea*), Breitblättriger Ehrenpreis (*Veronica urticifolia*), Quirlblättrige Weisswurz (*Polygonatum verticillatum*), Schattenblume (*Majanthemum bifolium*), Goldnessel (*Lamium montanum*), Einbeere (*Paris quadrifolia*), Waldmeister (*Galium odoratum*), Waldveilchen (*Viola reichenbachiana*), Klebrige Salbei (*Salvia glutinosa*), Waldhirse (*Milium effusum*), Christophskraut (*Actaea spicata*) usw., hier mit wenig Labkraut *(Galium rotundifolium).*

Idealisiertes Bestandesprofil:



zonalen Fichtenwälder weiterentwickeln. Föhrenwälder als Dauerstadien sind in Form von zahlreichen, meist nur schmalen Beständen oberhalb von Felswänden, sowie auf felsigen Graten und Rippen anzutreffen. Auch hier reichen Fichten- und Tannenbestände bis nahe an die Trockengrenze des Waldes. Besonders augenfällig sind die Weisstannen, die sich auch noch auf felsigsten Standorten zu halten vermögen. Während die Fichte im Domleschg wie auch in der Surselva mehr oder weniger überall gedeiht, beschränkt sich die zonale Verbreitung der Tanne auf Lagen unter 1450 m ü. M. und auf Schattenhänge. Immer wieder sind aber auch klar abgegrenzte tannenreiche Bestände auf stark eingestrahlten Standorten an Südhängen anzutreffen. Es handelt sich hierbei wohl um Relikte einer ehemals ozeanischen Zeitepoche (Subboreal). Dass nicht der Mensch alleine für das Fehlen der Tanne an den Südhängen verantwortlich ist, zeigen einige äusserst tannenreiche Relikte in unmittelbarer Nähe zu landwirtschaftlich genutzten Flächen wie beispielsweise oberhalb Sumvitg (Salvaplauna, 1430 m ü. M.).

5.6.3 Die erstaunliche Verbreitung der Lärche

Im Domleschg sind manchen Fichten- bzw. Fichtentannenwäldern mehr oder weniger zahlreiche Lärchen beigemischt. Ausgedehnte Lärchenwälder finden wir auf der Terrasse von Feldis. Dieser Lärchenreichtum wurde allerdings durch die Waldweide gefördert. Entlang des Vorderrheines verschwindet die Lärche etwa im Bereich von Laax, um in der gesamten Surselva und im Tujetsch mehr oder weniger zu fehlen. Erst im Val Medel, gegen den Lukmanier hin, erscheinen wieder vermehrt Lärchen. Was Ursache für dieses Ausklingen der Lärche sein kann, harrt noch einer vertieften Untersuchung. Auffällig ist jedoch, dass die Grenze der Lärchenverbreitung mit dem Übergang von den Helvetischen Kalken zum Verrucano bzw. vom kalkreichen Bündnerschiefer zu den basenärmeren Schichten des Tavetscher Zwischenmassives zusammenfällt. So scheint die Ursache der Verbreitungsgrenzen bei der Lärche nicht nur klimatisch, sondern auch substratbedingt zu sein.

5.7 Schams und Hinterrhein

5.7.1 Die letzten Laubwälder

Mit dem Durchqueren der engen Viamalaschlucht verlassen wir die thermophil-kontinental getönten Laubmischwälder mit Linden und Eichen des Domleschg endgültig. Die Rheinschlucht direkt oberhalb Thusis zeigt eine lokale Ozeanitätsinsel: Das erneute Auftreten der Buche sowie Bergahorn-Bestände (und Eibe) mit Hirschzunge, Waldmeister und Turiner Waldmeister sind völlig überraschend und erinnern an ozeanisch getönte Klimaverhältnisse. Die felsigen Steilhänge der Viamala-Schlucht sind erstaunlich reich an Weisstannen. Nur gerade an der Oberkante steil aufsteigender Felswände sind schmale Säume von echten Föhrenwäldern auszumachen. Im Becken von Andeer sind in tiefer Lage wiederum zahlreiche Laubmischwälder (Lindenmischwald) anzutreffen. Sie finden sich auch hier im Einfluss der Landwirtschaft und im Auslaufbereich grösserer stets wiederkehrender Lawinen. Im Gegensatz zum Domleschg fehlen thermophile Arten wie Eichen, Kirschen, Spitzahorne weitgehend, und Linden sind auch eher selten. Im Talgrund werden die Bestände von Esche und Weisserle dominiert. Oberhalb von ca. 1200 m ü. M. erreichen die Eschen auch hier ihre klimatische Höhengrenze.

5.7.2 Eine exemplarische Tannengrenze

Im Schams nähern wir uns der Arealgrenze der Tanne. Ähnlich dem bereits erwähnten Phänomen des Ausklingens der Buche zeigt auch die Tanne keine scharfe Arealgrenze. Das in der Viamala in seiner Höhenausdehnung noch mehrere hundert Meter breite Band der mehr oder weniger zonal verbreiteten Tannen löst sich in südlicher Richtung zunehmend in inselartige Relikte auf. Über weite Distanzen fehlen Tannen vollständig, um in scharf abgegrenzten Beständen plötzlich wieder in erstaunlicher Anzahl aufzutreten.

Diese im ganzen kontinentalen Alpenraum zu beobachtenden Inseln können als Relikte eines schrumpfenden Tannenareals mit einer ehemals – in tannenfreundlicheren Klimaperioden (Atlantikum und Subboreal, vgl. BURGA und PERRET, 1998) – wesentlich grösseren Ausdehnung verstanden werden. Der limitierende Faktor der Tanne scheint nicht in erster Linie in der hygrischen Kontinentalität als vielmehr in den im kontinentalen Raum immer grösser werdenden jahres- und tageszeitlichen Temperaturschwankungen zu liegen. Kontinentalste Tannenvorkommen finden sich in tief eingeschnittenen Tälern mit Talsohlen, die unter 1000 m ü. M. liegen. Meist finden sich die Tannenrelikte an stärker geneigten Hängen, in felsigen Schluchtlagen und im Einmündungsbereich von Seitentälern. Diese weit herum zu beobachtenden Gesetzmässigkeiten sind auch bei der Tannengrenze entlang des Hinterrheins exemplarisch zu beobachten. Die Talsohle des zahlreiche Tannenrelikte zeigenden Schamser Hochtalbeckens liegt auf knapp 1000 m ü. M. Kurz hinter Andeer steigt das Tal im Bereich der Schwelle der Roflaschlucht auf einer Distanz von nur gerade 6 km um etwa 400 Höhenmeter an, um dann ins wiederum flache Hochtal des Rheinwald zu münden. Während der untere Teil der Roflaschlucht noch einen erstaunlichen Tannenreichtum zeigt, fehlt dieser Baum ab dort, wo sich die Schlucht ins flache Hochtal mit häufig wiederkehrendem Kältesee öffnet, vollständig. In weniger frostgefährdeten Tälern mit tieferliegender Talsohle und der Möglichkeit eines Abfliessens kalter Luft vermag die Tanne an den Talflanken durchaus bis 1700 m ü. M. hinaufzusteigen. Erwähnenswert ist die floristische Verwandtschaft der Tannenrelikte aus der Roflaschlucht mit Tannen-Gesellschaften der südlichen Randalpen: So ist beispielsweise der vor allem in der Südschweiz stark verbreitete Keilblättrige Steinbrech *(Saxifraga cuneifolia)* regelmässig eingestreut.

Weit verbreitet sind in der subalpinen Höhenstufe die Fichtenwälder, ein Beispiel davon ist in Kästchen 9 dargestellt. Auf grobem Silikatblockschutt ist die Fichte auch in tieferen Lagen die dominierende Baumart (Kästchen 10).

5.7.3 Auswirkung der verschiedenen Gesteine auf die Baumartenverbreitung

Etwa im Bereich von Zillis-Andeer wechseln auch die Gesteine von kalkhaltigen Sedimenten (Bündnerschiefer) zu granitischen Gesteinen (Roffnaporphyr). Dieser Wechsel wirkt sich auch auf die Baumarten aus: Während auf Bündnerschiefer stets einige Lärchen eingestreut sind und ein eigentlicher Arvengürtel fehlt, verschwinden die Lärchen auf dem massigen Roffnaporphyr der Roflaschlucht vollständig, um einem breiten, oft weit hinunterreichenden Arvengürtel Platz zu machen. Im Bereich der weicheren Tambo-/Adula-Gneise und basenreicheren Schichten des Rheinwald sind wieder Lärchen vorhanden.

5.7.4 Auflösung des Waldareals gegen die Rheinquellen

Gegen die Rheinquelle des Vorderrheintals hin werden die Talflanken immer waldärmer. Einerseits nehmen die waldzerstörenden Lawinen und der Druck der Berglandwirtschaft immer stärker zu, andererseits werden die klimatischen Bedingungen für das Waldwachstum immer ungünstiger. Im Bereich der Talenge zwischen Medel und Nufenen verschwinden die dichtstehenden, wenig strukturierten Wälder der hochmontanen Stufe vollständig.

Die Fichtenwälder zeigen nun bis zum Talgrund die Merkmale der waldgrenznahen subalpinen Wälder: Die Bestände lösen sich in kleine Gruppen mit bis zum Boden reichenden Kronen auf. Kurz hinter dem Dorf Hinterrhein sind diese Einwirkungen dann derart stark, dass keine Baumbestände mehr aufwachsen können. Lediglich einzelne Exemplare an geschützter Spalierlage wachsen noch etwas weiter in Richtung der Rheinquelle am Zapport-/Paradiesgletscher.

5.8 Tujetsch und Val Medel

Ähnliche Gesetzmässigkeiten können wir auch in etwas wenig deutlicher Ausprägung entlang des Vorderrheins beobachten. Die in der unteren Surselva weit verbreiteten Eschen-Ahorn-Weisserlenwälder erreichen im Raum Disentis ihre westliche Grenze. In der Talenge zwischen

Kästchen 9

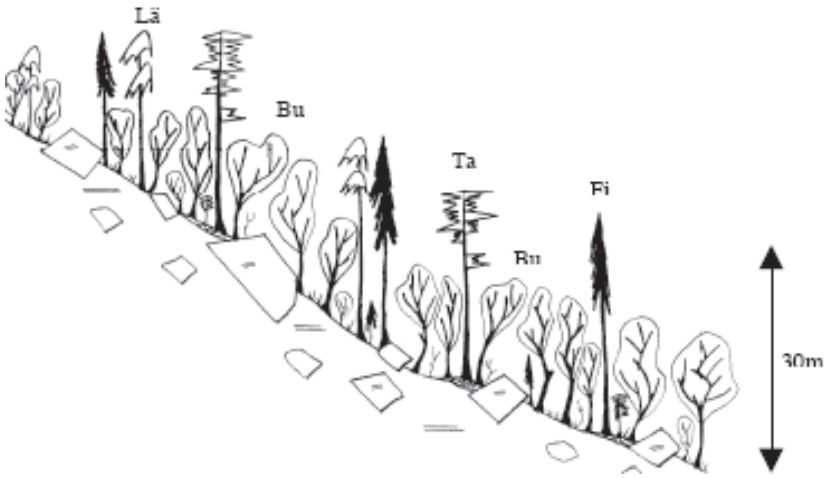
Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere

Standort: Relativ verbreiteter Standortstyp der subalpinen Stufe. Er erscheint in erster Linie in flachen Lagen oder an nicht allzu stark geneigten, eher schattigen Hängen aller Expositionen. Die Einheit erscheint auf silikatischem Untergrund und auf basenarmen Moränen sowie auch auf basenhaltigen Gesteinen, sofern das Gelände flach genug ist und der Oberboden nicht durch Hangerosion laufend mit Basen versorgt wird. Die meist mittelgründigen Böden sind gut verwittert, stark verbraunt und reagieren mindestens oberflächlich sehr sauer. Meist ist ein für podsolierte Böden charakteristischer weisser Auswaschungshorizont deutlich sichtbar. Die Bodenoberfläche ist flächig von einer mächtigen Humusauflage bedeckt. Die Böden sind meist sehr kalt und trocknen selten vollständig aus.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Frisch und kühl anmutende Fichtenbestände, die deutlich rottig und etwas stufig strukturiert sind. Die Fichten sind schlank, lang bekront und meist nur mässig wüchsig (25 m). Zwischen den einzelnen Rotten sind immer wieder Blössen vorhanden, die von einer oft kniehoch gedeihenden, dicht geschlossenen Heidelbeervegetation bewachsen sind. Darunter findet sich eine fast durchgehende Moosschicht. Stellenweise sind die Zwergsträucher von einem spärlichen Wollreitgras-Rasen durchsetzt. Namentlich nach Holzschlägen, flächigen Zusammenbrüchen, starker Beweidung usw. kann das Wollreitgras jedoch aspektbestimmend werden und lässt den Aspekt jenem des steileren Alpenlattich-Fichtenwaldes mit Wollreitgras sehr ähnlich werden. Die Bestände sind meist verjüngungsarm, kann doch die Verjüngung erst aufwachsen, wenn genügend Wärme vorhanden ist. Im Naturwald spielt die Vogelbeere eine wichtige Rolle im Verjüngungsablauf.

Typische Arten: Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*), Wald-Wachtelweizen (*Melampyrum sylvaticum*), Alpenlattich (*Homogyne alpina*), Breiter Wurmfarn (*Dryopteris dilatata*), Wolliges Reitgras (*Calamagrostis villosa*), Sauerklee (*Oxalis acetosella*), Waldschmiele (*Avenella flexuosa*), Bergbärlapp (*Lycopodium annotinum*), viele Moose (*Hylocomium splendens, Dicranum scoparium, Pleurozium schreberi, Rhyti diadelphus triquetrus* u. a.).

Idealisiertes Bestandesprofil:



Kästchen 10

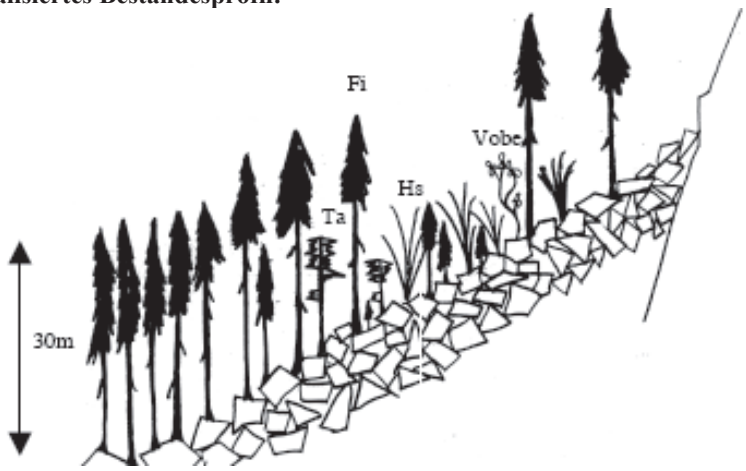
Zypressenschlafmoos-Blockschutt-Fichtenwald

Standort: Sonderwaldstandort auf grobem Silikatblockschutt in der hochmontanen Stufe. Die Einheit erscheint mit Vorliebe im Hangfussbereich, immer dort, wo grobblockiges Bergsturzmaterial abgelagert worden ist. Weit verbreitet ist die Einheit im Bereich der granitischen Gesteine zwischen Sufers und Clugin sowie im Avers. Die Schutthalden sind seit längerer Zeit nicht mehr tätig. Zwischen den Blöcken findet sich ein Hohlraumsystem, das im Gegensatz zum Blockschutt-Tannen-Fichtenwald (48) kaum Kälte speichert. Die Bodenbildung ist rudimentär: Zwischen den Blöcken wird organisches Material abgelagert, das Moder- bzw. Rohhumustaschen bildet. Immer wieder sind auch etwas feinerdereichere Kleinstandorte vorhanden: Die Hohlräume zwischen den Blöcken sind mit einer gut verwitterten, sandig-siltigen Feinerde angefüllt, die meist deutliche Podsolierungsmerkmale zeigt. Der Gesamtaspekt des Bestandes bleibt aber in jedem Falle deutlich blockig. Blockschutthalden mit etwas kühlerem und frischerem Lokalklima sind durchaus tannenfähig.

Erscheinungsbild des Naturwaldes: Meist gleichförmige, oft etwas lockere Fichtenbestände, denen namentlich in etwas abgewandter Lage durchaus Tannen beigemischt sein können. Die Bestände sind trotz des problematischen Standortes meist recht wüchsig (25–30 m). Etwas lockerere Bestände zeigen immer wieder spärliche Verjüngung und wirken deshalb oft leicht stufig; sonst fehlt die Strauchschicht weitgehend. Die Krautschicht ist meist nur schwach ausgebildet und wird von Zwergsträuchern mit geringer Wuchshöhe sowie Grasartigen geprägt. Die Blöcke sind von einer meist dünnen, jedoch flächigen Moosschicht bedeckt. Die Moose haften meist direkt auf den Blöcken. Die für kältespeichernde Blockhalden typischen, mächtigen organischen Auflagen fehlen hier meist. Lediglich zwischen den Blöcken finden sich mächtigere Moospolster. Der Gesamtaspekt der Flächen wirkt stark moosig.

Typische Arten: Schneeweisse Hainsimse (*Luzula nivea*), Wolliges Reitgras (*Calamagrostis villosa*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Tüpfelfarn (*Polypodium vulgare*), Keilblättriger Steinbrech (*Saxifraga cuneifolia*), Sauerklee (*Oxalis acetosella*), Moose (*Hylocomium splendens, Paraleucobryum longifolium, Hypnum cupressiforme, Isothecium alopecuroides, Ptilium crista-castrensis, Polytrichum juniperinum, Polytrichum formosum, Dicranum scoparium, Pleurozium schreberi* usw.).

Idealisiertes Bestandesprofil:



Disentis und Sedrun finden wir ähnlich wie in der Roflaschlucht die letzten Tannenrelikte. Mit der Einmündung ins klimatisch rauere und flachere Hochtal von Sedrun mit einer Talsohle von 1300–1400 m ü. M. verschwinden auch die letzten Tannen aus dem Waldbild. Die dunkel und monoton wirkenden Fichtenwälder sind frei von Lärchen. Ein eigentlicher Arvengürtel fehlt vollständig.

Erst im seitlich einmündenden Val Medel mit dem Medelser Rhein sind wieder vermehrt Lärchen beigemischt, und gegen den Lukmanier, mit dem Übergang in den massigen Granit, sind plötzlich wieder ausgedehnte Arvenbestände anzutreffen.

6 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Mit ihrem tiefen Einschnitt in den Alpenbogen zeigt das System der Bündner Rheintäler exemplarisch die klimatische und substratmässige Abhängigkeit einiger wichtiger Hauptbaumarten der Alpen auf. Wenn durch reliktisches Auftreten verwischt, lassen sich mehr oder weniger deutliche Grenzen immer im Bereich der Talengen und Talstufen ausmachen. Bei Baumarten wie Tanne und Buche sind die Grenzen mehrheitlich durch klimatische Faktoren bestimmt. Dabei ist den im kontinentalen Raum immer grösser werdenden tages- und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen aber mindestens eine ebenbürtige Wirkung beizumessen wie jener der geringer werdenden Niederschläge. Beim Auftreten bzw. Verschwinden von Arve, Föhre, Lärche und Eiche scheinen substratbedingte Eigenschaften neben klimatischen Faktoren eine wichtige Bedeutung zu haben.

In den ozeanisch geprägten Nordalpen und im Alpenvorland dagegen sind zonale, klimabedingte Verbreitungsgrenzen bei den Hauptbaumarten nicht sichtbar. In der Nadelwaldstufe sind Tannen und Fichten zonal verbreitet. In den submontanen bis obermontanen Höhenstufen wird die Verbreitung der allgegenwärtigen Buche ausschliesslich durch ungünstige Bodenbedingungen eingeschränkt; in niederschlagsarmen Gebieten ist diese Baumart ebenfalls die dominierende, auch wenn sie auf trockenen Böden schneller an ihre Grenze stösst.

7 LITERATUR

ALDINGER, E., HÜBNER, W., MICHIELS, H.G., MÜHLHÄUSSER, G., SCHREINER, M. & WIEBEL, M. 1998. Überarbeitung der standortskundlichen regionalen Gliederung im Südwestdeutschen standortskundlichen Verfahren. Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde u. Forstpflanzenzüchtung 39, 5–71.

BURGA, C. A. & PERRET, R. 1998. Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun, 805 pp.

BURGA, C. A. & BEER, P. 2004. Zur Natürlichkeit von Laubwäldern des Schweizer Mittellands. Hemerobie und Biodiversität von Buchenwäldern bei Zürich und Zofingen. Schweiz. Z. Forstwes. 155 (2004) 10, 441–449.

BURNAND, J., FREHNER, M., FREY, H.U., PREISWERK, T. & LÜSCHER, P. 1999. Projekt Waldstandortskartierung St. Gallen-Mittelland: Bericht zum Teilprojekt Kartierungsschlüssel und Beschreibung der Standorte – Katalog der Standortstypen. Kantonsforstamt, St. Gallen, Polykopie.

BURNAND, J. & SCHMIDER, P. 1987. Zur standortskundlichen Waldkartierung im Fürstentum Liechtenstein. Bergheimat (Liechtensteiner Alpenverein) 1987, 33–49.

ELLENBERG, H. & KLÖTZLI, F. 1972. Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anstalt forstl. Versuchswesen, 48, 589–930.

ELLENBERG, H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart 5. Aufl. Ulmer, UTB, Stuttgart, 1096 pp.

FREY, H.U. 1995. Waldgesellschaften und Waldstandorte im St. Galler Berggebiet. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stift. Rübel, Zürich, 126, 278 pp.

FREY, H.U., BICHSEL, M. & PREISWERK, T. 1998. Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubünden – Teile 1 bis 8. Amt für Wald Graubünden, Chur, 8 Ringordner.

KANTONALES FORSTAMT, o. J. Waldstandortkarten Kanton Schaffhausen – Umfassende Legende. Schaffhausen, Polykopie, 3 pp.

KELLER, W. 1975. Querco-Carpinetum calcareum Stamm 1938 redivivum? Vegetationskundliche Noti-

zen aus dem Schaffhauser Reiat. Schweiz. Z. Forstw. 126 (10), 729–749.

KELLER, W. 1989. Die natürlichen Waldgesellschaften des Kantons Schaffhausen. Schaffhauser Magazin 12 (3), 29–31.

KLÖTZLI, F. & SCHLÄFLI, A. 1980. Vegetation und Fauna des Festlandes. In: Vereinigung für Bodensee-Uferreinigung (Hrsg.): Der Bodensee in der erhaltenswerten Landschaft. Verlag E. Loepf-Benz, Rorschach, 27–32.

LANDOLT, E. 1983. Probleme der Höhenstufen in den Alpen. Bot. Helv. 93, 255–268.

OTT, E., FREHNER, M., FREY, H.U. & LÜSCHER, P. 1997. Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortsgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 287 pp.

SCHMIDER, P. & BURNAND, J. 1988. Waldgesellschaften im Fürstentum Liechtenstein – Kommentar zur vegetationskundlichen Kartierung der Wälder. Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 10, 188 pp.

SCHMIDER, P., KÜPER, M., TSCHANDER, B. & KÄSER, B. 1993. Die Waldstandorte im Kanton Zürich – Waldgesellschaften, Waldbau, Naturkunde. vdf, Zürich, 287 pp.

SCHMIDER, P., WINTER, D. & LÜSCHER, P. 2003. Wälder im Kanton Thurgau – Waldgesellschaften, Waldstandorte, Waldbau. Mitt. Natf. Ges. Thurgau 58, 268 pp., Übersichtskarte.

Dr. Jacques Burnand, Zähringerstrasse 9, CH-8001 Zürich,
E-Mail: burnandja@bluewin.ch

Dr. Hans-Ulrich Frey, dipl. Forsting. ETH, Unterdorf 2, CH-7315 Vättis,
E-Mail: parnassia@bluewin.ch

Peter Schmider, dipl. Forsting. ETH, Zähringerstrasse 9, CH-8001 Zürich,
E-Mail: bgupschmider@smile.ch

Die Auenvegetation des Rheins

Christian Roulier (Yverdon-les-Bains)
Übersetzung: Regula Benz (Neuenburg)

1 EINFÜHRUNG

1.1 Die Auen der Schweiz

Anfang der 1980er Jahre wurden im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft die Auen der Schweiz durch die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL, Birmensdorf) aufgenommen und abgegrenzt. Eine allgemeine Übersicht zu den Auengebieten der Schweiz wurde veröffentlicht (KUHN und AMIET, 1988). 165 Objekte dieses provisorischen Inventars wurden durch das «Laboratoire d'écologie végétale» der Universität Neuenburg kartiert (GALLANDAT et al., 1993). Die Vegetationskarten und deren Anwendungen lieferten detaillierte Informationen zu Inhalt und Qualität der Objekte. Die Eidgenössische Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung ist am 15. November 1992 in Kraft getreten. Diverse Untersuchungen über die Vegetationsdynamik wurden im Folgenden durchgeführt, insbesondere durch ROULIER (1998) und WERFFELI (2004).

Dank der wissenschaftlichen Daten, die während den zum Auenschutz führenden Untersuchungen gesammelt wurden, sind die vorhandenen Kenntnisse über die Rhein-Auen und deren Vegetation von guter Qualität. Der Rhein ist reich an Auengebieten. Sieben Auengebiete von nationaler Bedeutung können entlang des Vorderrheins beobachtet werden und deren zwei entlang des Hinterrheins. In der Ebene zwischen dem Zusammenfluss der beiden Flussläufe und dem Bodensee wurden drei Auengebiete aufgenommen und zwischen dem Bodensee und Basel deren vier. Zehn in der Abb. 1 eingezeichneten Auengebiete werden im Folgenden beschrieben.

1.2 Die Auenvegetation

Die Pflanzengemeinschaften werden gemäss dynamischen Serien (Sukzessionen) aus der Studie *«Typologie et dynamique des zones alluviales de Suisse»* (ROULIER, 1998) beschrieben. Im vorliegenden Kapitel werden nur einige Pflanzengesellschaften benannt, um damit die charakteristischen und dominanten Arten vorzustellen. Die bekanntesten dominanten Arten werden gelegentlich auch aufgelistet. Die Vegetationstabellen werden nicht aufgeführt. Die vollständigen pflanzensoziologischen Aufnahmen können in oben genannter Studie nachgeschlagen werden. Deren Veranschaulichung anhand von Fotos wurde bevorzugt.

Die Vegetationsaufnahmen wurden grösstenteils 1991, d. h. 4 Jahre nach dem ausserordentlichen Hochwasser von 1987, durchgeführt. Es ist unbestreitbar, dass dieses bedeutende Ereignis Auswirkungen auf die botanische Zusammensetzung der beschriebenen Gesellschaften gehabt hat. Die untersuchten Standorte wurden grösstenteils durch Erosion verjüngt oder von

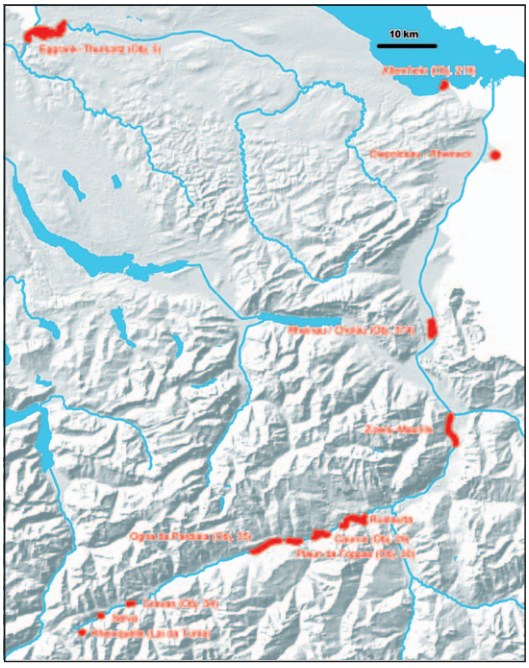


Abb. 1. Karte der in diesem Kapitel beschriebenen Auengebiete.

unterschiedlich mächtigen Ablagerungen überdeckt. Die pflanzensoziologische Systematik auf der Basis der Synusie, d. h. die im Folgenden genannten Gesellschaften, wurde durch dieses Ereignis beeinflusst.

Für die Objekte, deren Dynamik durch ROULIER (1998; s. z. B. Appendix 1 bei Pflanzengesellschaften in Abschnitt 2.1; nachgestellte Nummern auch aus ROULIER) untersucht wurde, gilt die Nomenklatur gemäss der Pflanzensoziologie auf der Basis der Synusie (GILLET et al., 1991; JULVE, 1993), während für die weiteren Standorte die Nomenklatur gemäss der klassischen Pflanzensoziologie (MOOR, 1958; ELLENBERG und KLÖTZLI, 1972) gilt. Die allgemeine Vegetationsbeschreibung wurde bevorzugt und möglichst wenig auf die lateinische binominale Benennung der Pflanzengesellschaften zurückgegriffen (siehe auch BURNAND et al. in diesem Buch).

2 RHEIN-AUENGEBIETE

Die zehn entlang des Rheins beschriebenen Auengebiete liegen zwischen der Quelle und der Flussmündung der Thur. Die Beschreibung der Standorte ist nicht einheitlich und variiert je nachdem, ob die Grunddaten für die Studie zur Auendynamik (1991–1994), für die Revision des Inventars (1996–1998) oder für die Kartierung der Vegetation (1987–1988 und 2002–2004) gesammelt wurden.

2.1 Rheinquelle (Lai da Tuma)

Eine von mehreren Vorderrheinquellen liegt im Lai da Tuma in der Region des Oberalppasses auf 2345 m ü. M. Diese flache Mulde beherbergt eine idyllische Landschaft (Abb. 2): Der Rhein fliesst zwischen dem Blockwerk stumm dahin. Nach einigen Wasserfällen mäandert er durch ein Flachmoor (Abb. 3), bevor er einen, durch Gletschergeschiebe gestauten natürlichen See speist.

Ende des Sommers säumen blühende Scheuchzers Wollgräser (Eriophoretum scheuchzeri h285[1]) den Bachlauf (Abb. 4).

Die periodisch überschwemmte Fadenbinsen-Gesellschaft (Juncetum filiformis h268) bildet ein Flachmoor, das mosaikartig mit alpinen Schneetälchen (Alchemillo pentaphylleae – Salicetum herbaceae h266, Caricetum foetidae h267) verzahnt ist. Die letztgenannte Gesellschaft ist artenarm und an ihrem Heizölgeruch leicht erkennbar.

Am Ufer des Lai da Tuma hängt eine Bronzetafel mit dem Hinweis «Rheinquelle: 1350 km bis zur Mündung». Der Wanderweg gibt in Richtung Nord-Ost den Blick auf das Vorderrheintal frei.

Nun durchquert der Rein da Tuma einige Feuchtgebiete und verfolgt seinen Lauf als wilder Gebirgsbach bis zu den Weilern Tschamut und Selva (Abb. 5).



Abb. 2. Lai da Tuma



Abb. 3. Flachmoor und Mäander

[1] Die Syntaxon- und Coenotaxon-Nummern berufen sich auf die Publikation von ROULIER (1998).



Abb. 4. Scheuchzers Wollgräser



Abb. 5. Vorderrheintal

2.2 Selva

Der tief eingeschnittene Rheinlauf bei Selva (1532 m ü. M.) weist einige grobkörnige Sedimentbänke auf, die von Hochstaudenfluren mit Gemeiner Pestwurz, Alpen-Ampfer, Wald-Weidenröschen und Kohldistel *(Petasites hybridus, Rumex alpinus, Epilobium angustifolium, Cirsium oleraceum)* bewachsen sind. Mit Ausnahme von einigen am Ufer verankerten Weiden wachsen im Flussbett kaum Holzarten. Dies ist auf die mechanische Kraft des Wassers im Wildbach zurückzuführen. Die Grünerle *(Alnus viridis)* besiedelt zusammen mit der Gebirgs-Weide *(Salix appendiculata)* die umliegenden Steilhänge.

2.3 Gravas (Objekt 34)

Bei Sedrun erreicht der zunehmend schluchtige Rhein die obere montane Stufe (1250 m ü. M.). Ein Auengebiet von 8 Hektaren wurde beim Zusammenfluss vom Rein Anteriur und vom Rein da Nalps abgegrenzt (Abb. 7).

Der etwa hundert Meter breite Talboden ermöglicht die Ablagerung von Kiesbänken, die von Pionier-Krautfluren (Rumici scutati – Agrostietum giganteae dactyletosum glomeratae h278) und Weidengebüsch (mit Salix daphnoides, Salix elaeagnos) besiedelt werden (siehe Einzelheiten in Abb. 6, 8 und 9). In diesen Höhenlagen ist die Aue durch den montanen Grauerlenwald (Galeopsio tetrahit – Alnocoenetum incanae CoE1024) charakterisiert. Seine Baumschicht ist durch die Grauerle *(Alnus incana)* geprägt, während im Unterwuchs Hochstaudenfluren mit Gemeiner Pestwurz *(Petasites hybridus)* und Gewöhnlichem Hohlzahn *(Galeopsis tetrahit)* als dominante bzw. faziesbildende Arten zu beobachten sind. Einige Weiden beteiligen sich ebenfalls am Kronendach. Auf den höher gelegenen und durch stabile Standortbedingungen charakterisierten Auenterrassen bildet die Fichte zusammen mit der Grauerle einen gemischten Baumbestand. Dieser «Fichten-Auenwald» beherbergt die montane Strauchgesellschaft Sorbo aucupariae – Loniceretum nigrae (b133) und die Unterholz-Krautflur Calamagrostietum villosae (H215).

Die anlässlich der grössten Hochwasser (wie z. B. Hochwasser von 1987) abgelagerten und am höchsten liegenden grobkörnigen Sedimentbänke sind von Trockenrasen (Campanulo cochleariifoliae-Echietum vulgare H274) und lichtem Lavendelweiden-Gebüsch (mit *Salix elaeagnos)* besiedelt. In diesem Fall wird von einer Auensteppe gesprochen (Bezeichnung nach Klötzli (1963), anlässlich von Forschungsarbeiten an der Maggia definiert).

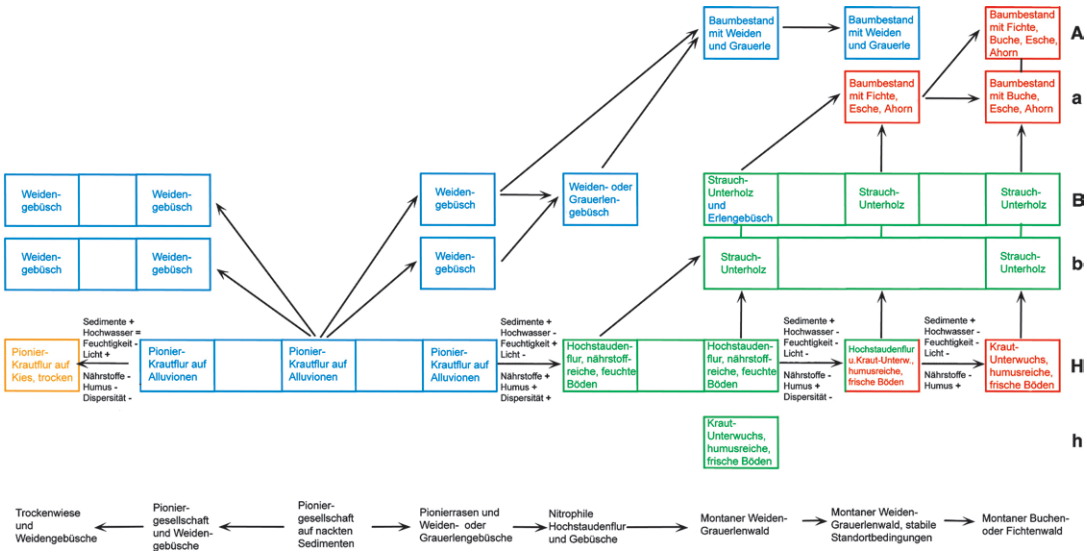


Abb. 6. Verallgemeinertes qualitatives Dynamikmodell des Objektes 34 Gravas GR (ROULIER 1998). Die nach links gerichtete Serie führt zur Auensteppe. Die nach rechts gerichtete Serie führt zur montanen Waldklimax. Legende: Die Rahmen entsprechen den Pflanzengemeinschaften gemäss Stratifikation der Vegetation: Krautschicht (H, h), Strauchschicht (B, b) und Baumschicht (A, a). Die Farben entsprechen den Pioniergesellschaften (blau), hygrophilen Gesellschaften (grün), Klimax- (A und a: rot) oder mesophilen Gesellschaften (H: rot) und xerophilen Gesellschaften (H: orange). Die Veränderungen der Standorte (+, -) gehen aus den ökologischen Zeigerwerten der Krautarten (nach LANDOLT 1977) und den Feldbeobachtungen (Sedimente: Höhe der Alluvialterrassen; +/-; Hochwasser: Auswirkungen der Hochwasser: +/-) hervor. Die Pfeile symbolisieren die zeitlichen Umwandlungen. Die Namen der Phytozönosen werden unter der Figur erwähnt.



Abb. 7. Übersicht (Autor N. KUHN), Flusslauf und Grauerlen-Auenwald.

2.4 Ogna da Pardiala (Objekt 35) und Plaun da Foppas (Objekt 30)

Diese weitläufigen Auen von 115 und 102 Hektaren liegen auf 750 m ü. M. Durch den Zufluss von mehreren Nebenflüssen ist der Rhein zu einem grossen Fliessgewässer angewachsen, das aber eng und stark eingedämmt wurde; nur vereinzelte nackte Kiesbänke können im Flussbett bei Niederwasser beobachtet werden.

Die hinter den Dämmen liegenden Auenterrassen sind von einem Grauerlenwald besiedelt. Der 4 bis 5 m höher als das eingetiefte Hauptbett gelegene Auenwald liegt ausserhalb des Überflutungsbereichs des Rheins. Er bildet ein Mosaik mit Wiesen, Weiden (mehrere davon mit steppenartigem Charakter) und Flachmooren, welche die vor der Rhein-Eindämmung entstandenen Altarme besiedeln.

Die dem Rhein seitlich zufliessenden Wildbäche spielen im eingedämmten System eine bedeutende Rolle. Sie wirken, in einem gewissen Masse, der durch die Eintiefung der Flusssohle ausgelösten Entwässerung entgegen; sie versorgen die Auenwälder und die Moore mit Wasser, wodurch diese ihren feuchten Charakter bewahren und somit die Entwicklung zur Klimax gebremst wird.

Die Zusammensetzung der Krautschicht (Galio aparines – Poetum trivialis H214: meso-



Abb. 8. Fluss und Grauerlenwald



Abb. 9. Eine ungebetene Pionierpflanze auf den Kiesbänken: *Mimulus guttatus.*

phile Gesellschaft) zeigt, dass sich der Grauerlen-Auenwald, ohne bedeutende Massnahmen (Revitalisierung) und als Folge der stabilen Standortbedingungen, zu einem klimaxnahen Wald entwickelt (Übergangsstadium von Grauerlenwald zu Fichtenwald; gealterte Au).

2.5 Cauma (Objekt 29) und Rheinschlucht

Der Rhein, der sich in Ilanz mit der Glenner vereint, weist einen Durchfluss von 70 m^3/s auf (auf diesem Teilabschnitt beeinträchtigt die Wasserkraftnutzung den Durchfluss nur wenig). Sein Hauptbett erreicht eine Breite von 120 bis 150 m. Das schwache Gefälle begünstigt die Verbreiterung des Flussbettes und die Bildung von Inseln im Flusslauf. Die Auendynamik bleibt bei Hochwasser ausgeprägt. Kiesige und sandige Ablagerungen dominieren.

Das Objekt Cauma, das in der Ebene nach Ilanz auf 690 m ü. M. liegt, bildet eine wilde Auenlandschaft. Dank des breiten Hauptbettes entwickelt sich eine grosse Vielfalt an Pioniergesellschaften (Pionier-Krautfluren auf Alluvialflächen und Pionier-Gebüsche). Grauerlen- oder Lavendelweiden-Bestände bedecken ausgedehnte Flächen, insbesondere auf den Inseln und auf den Auenterrassen des Hochwasserbettes.

Auf der Hauptinsel des Rheins, nach dem Objekt weiter flussabwärts liegend, wurde folgende dynamische Serie beschrieben. Die *Epilobietum fleischeri*-Gesellschaft (H273) besiedelt Kies- und Sandbänke. Die treuen Arten dieser Gesellschaft sind insbesondere Fleischers Weidenröschen, Kriechendes Gipskraut, Florentiner Habichtskraut und Alpen-Knorpelsalat *(Epilobium fleischeri, Gypsophila repens, Hieracium piloselloides, Chondrilla chondrilloides)*. Gehölzpionierarten, wie Lavendel-Weide, Reif-Weide, Purpur-Weide *(Salix elaeagnos, S. daphnoides, S. purpurea)* und Grauerle *(Alnus incana)*, können ebenfalls beobachtet werden



Abb. 10. Weidengebüsche

(Abb. 10). Wenn das Hochwasser deren Entwicklung nicht beeinträchtigt, werden sie dichte Weiden- und Grauerlen-Auengebüsche ausbilden, wo vereinzelt gar die Deutsche Tamariske *(Myricaria germanica)* vorkommen kann. Eine 10- bis 15-jährige Stabilitätsperiode würde die Ausbildung eines geschlossenen und einheitlichen Grauerlenbestandes ermöglichen (Abb. 11). Auf der Hauptinsel des Rheins wurde der bestehende Auenwald dem Cirsio arvensis-Alnocoenetum incanae (CoE1047) zugeordnet. Er besteht aus einem geschlossenen und homogenen Grauerlenbestand mit Weiden *(Salix elaeagnos, S. daphnoides* und *S. appendiculata)* und, im Unterwuchs, aus Hochstauden, wie Grosse Brennnessel, Schilfähnliches und Buntes Reitgras, Akeleiblättrige Wiesenraute, Bergdistel und Acker-Kratzdistel *(Urtica dioica, Calamagrostis pseudophragmites, C. varia, Thalictrum aquilegiifolium, Carduus defloratus, Cirsium arvense).*

Ebenfalls in der Nähe der Rheininsel, am Ufer eines Seitenarms mit schimmerndem stehendem Wasser, kann ein primäres Vorkommen des Kleinen Rohrkolbens *(Typha minima)* beobachtet werden (Abb. 12). Diese Pionierart ist sehr selten in der Schweiz; sie besiedelt die am Ufer abgelagerten dunkelgrauen Sandbänke.

Die Auensteppe ist durch lichte Pionier-Krautfluren und xerophile Gebüsche charakterisiert. In Cauma besteht diese aus offenen Kiesflächen, die von xerophilen Arten, wie Schaf-Schwingel, Vogelfuss-Segge, Arznei-Thymian und Zottiger Spitzkiel *(Festuca ovina, Carex ornithopoda, Thymus pulegioides, Oxytropis pilosa),* bewachsen sind. Diese Pflanzengemeinschaft gehört zum Epilobietum fleischeri (H273), obwohl Fleischers Weidenröschen fehlt. Sie wandelt sich allmählich in eine dem Wald vorgelagerte Saumgesellschaft (Euphorbio cyparissias-Melicetum nutantis H275) um, die ihrerseits von einem niedrigen, stacheligen Gebüsch (Hippophaeo rhamnoidis-Berberidetum vulgaris b112) mit Sanddorn und Berberitze, aber auch einer Reihe von Weidenarten und ei-



Abb. 11. Grauerlen-Auenwald



Abb. 12. Kleine Rohrkolben-Gesellschaft

nigen jungen Wald-Föhren besiedelt wird (Abb. 13). Der von der Wald-Föhre gebildete Bestand wird Melico nutantis – Pinocoenetum sylvestris (CoE1036) genannt.



Abb. 13. Auensteppe: Sanddorn-Gesellschaft

Unterhalb von Cauma fliesst der Rhein in die Ruinaulta. Diese Schlucht des Vorderrheins ist eine der ungezähmtesten und eindruckvollsten Auenlandschaften der Schweiz (Abb. 14). Diese überwältigende Landschaft kann in aller Ruhe mit dem Zug oder zu Fuss zwischen Ilanz und Domat/Ems bewundert werden.

2.6 Zizers-Mastrils

In Zizers-Mastrils sind der Vorder- und der Hinterrhein vereint. Der Fluss breitet sich in einer mehrere Kilometer weiten Ebene aus. Dieses auf 520 m ü. M. liegende und 178 Hektaren umfassende Auengebiet ist am rechten Ufer wegen der angrenzenden und für die Anwohner lauten Autobahn eingedeicht; dank seines natürlichen linken Ufers und der starken Auendynamik wird das Gebiet wohl schon bald in das eidgenössische Inventar der Auengebiete aufgenommen. Von der am Hang liegenden Kirche von Mastrils aus beobachtet, sind die Dimension und der überwältigende Anblick dieser Auenlandschaft besonders markant (Abb. 15).

Die Anfangsgesellschaft der dynamischen Serie der Auenvegetation ist das Festuco arundinaceae – Calamagrostietum pseudophragmitis galietosum albi (H286), das sich auf den Ablage-



Abb. 14. Rheinschlucht Ruinaulta



Abb. 15. Überblick ab Mastrils

rungen im Hauptbett entwickelt (Abb. 16). Diese Krautvegetation setzt sich, nebst den 2 Arten, die der Gesellschaft den Namen geben (Rohr-Schwingel, Schilfähnliches Reitgras), aus einer Reihe von Pionierpflanzen, wie Brunnenkresseblättrige Rampe, Huflattich, Kriechendes Gipskraut *(Erucastrum nasturtiifolium, Tussilago farfara, Gypsophila repens),* sowie einiger alpinen Arten, wie Alpen-Leinkraut *(Linaria alpina)* und Bewimperter Steinbrech *(Saxifraga aizoides),* zusammen. Diese lichte Pionierformation wird allmählich von Grauerle, Weiden, Deutscher Tamariske und Sanddorn besiedelt, die dank mineralischem Substrat und lichtreichen Bedingungen gut keimen; in wenigen Jahren entwickeln sie sich zu Auengebüschen



Abb. 16. Pionier-Krautfluren



Abb. 17. Grauerlen-Auenwald

von unterschiedlicher Höhe und Deckung. Wie in Cauma, dominiert auch hier der Erlen-Auenwald (Abb. 17), der die Pioniergebüsche allmählich ersetzt. Der Grauerlenwald und die oberen Geschiebebänke liegen 1 bis 2 m höher als der Rhein-Wasserstand. Je nach botanischer Zusammensetzung der Krautschicht wird der Grauerlenwald dem Poo trivialis – Alnocoenetum incanae oder dem Geranio robertiani – Alnocoenetum incanae (CoE1048 und 1021) zugeordnet. Nahe beim Hangfuss, auf den weiter vom Fluss liegenden und 3 bis 4 m höher als der Rhein gelegenen Terrassen, löst der Eschenwald den Grauerlenwald ab (Abb. 18). An einigen Stellen ist die Zonation der Vegetation gut entwickelt (Abb. 19).

In der xerischen oder Föhrenwald-Serie entwickeln sich zu Beginn, wie auch in der Eschenwald-Serie, typische Auengebüsche. Deren weitere Entwicklung verläuft dann aber, aufgrund allmählicher Erhöhung des Substrats durch Ablagerungen bei ausserordentlichen Hochwassern, unterschiedlich. Die xerophilen Pioniergesellschaften sind durch Astragalo onobrychidis – Artemisietum vulgaris (H272) und Campanulo cochleariifoliae – Echietum vulgaris (H274), sowie durch Sanddorn- und Weidengebüsche (Melico nutantis-Hippophaeocoenetum rhamnoidis CoE1055) geprägt (Abb. 20). Der Föhrenwald löst die Auengebüsche ab und stellt das



Abb. 19. Zonation: offene Weidengebüsche, junger Grauerlen-Auenwald, Eschenwald.



Abb. 18. Eschenwald



Abb. 20. Trockenheitsertragende Krautflur

Endstadium der dynamischen Serie dar (Melico nutantis – Pinocoenetum sylvestris CoE1036). Der Föhrentrockenwald mit Schwarz-Pappel *(Populus nigra)* und Lavendel-Weide *(Salix elaeagnos),* die an den alluvialen Ursprung des Standortes erinnern, ist durch ein tiefes Kronendach (etwa 15 m) charakterisiert; unter den Föhren entwickelt sich ein lichtes Unterholz mit Mehlbeerbaum, Wolligem Schneeball, Berberitze und Liguster *(Sorbus aria, Viburnum lantana, Berberis vulgaris, Ligustrum vulgare).* Die Krautschicht ist dank lichtreichen Bedingungen artenreich; so können insbesondere Nickendes Perlgras, Weisse Segge, Aufrechte Trespe, Echtes Salomonssiegel und Edel-Gamander *(Melica nutans, Carex alba, Bromus erectus, Polygonatum odoratum, Teucrium chamaedrys)* beobachtet werden (Abb. 21).

Die 2002 durch die Auenberatungsstelle (F. TEUSCHER) erhobene Vegetationskarte zeigt den Aufbau des alluvialen Mosaiks (siehe Figuren 22 und 23).



Abb. 21. Föhrenwald

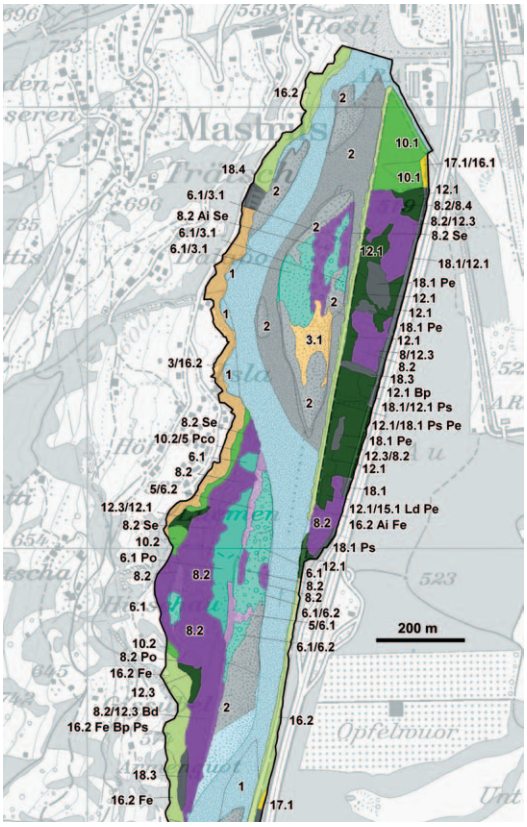


Abb. 22. Auszug der Vegetationskarte Zizers-Mastrils



Abb. 23. Legende der Vegetationskarte Zizers-Mastrils

2.7 Rheinau-Cholau (Objekt 374)

Das Auengebiet Rheinau/Cholau SG liegt 460 m ü. M. und umfasst 72 Hektar. In der Aue werden zwei Sektoren deutlich unterschieden:

- der ehemalige Rhein-Auenwald, durch Damm und Autobahn vom Flusslauf abgetrennt;
- der den Mühlbach säumende Auenwald, ein klares Wasser führender Rheinzufluss.

Die von S. LUSSI erhobene Vegetationskarte zeigt einen Uferwald, der dem Übergangsstadium zwischen einem Eschenwald und einem klimaxnahen Wald entspricht; der Kartograph hat hier eine pflanzensoziologische Aufnahme durchgeführt. Der beschriebene Eschenwald entspricht dem Übergangsstadium zwischen dem typischen Eschen-Auenwald (Ulmo-Fraxinetum, nach MOOR (1958)) und demselben Waldtyp, jedoch mit stabileren und trockeneren Standortbedingungen (Einheit 12: Ulmen-Eschenwald im Übergangsstadium, nach GALLANDAT (1993)). Die Baumschicht wird von Esche, Berg-Ulme und Grauerle *(Fraxinus excelsior, Ulmus glabra, Alnus incana)* dominiert; die Strauchschicht wird insbesondere von Schwarzem Holder *(Sambucus nigra)* und Hopfen *(Humulus lupulus)* geprägt. Die frischen bis feuchten Standortbedingungen in der Krautschicht werden durch Geissfuss, Blaue Brombeere, Grosses Hexenkraut, Rasen-Schmiele, Kohldistel und Gemeine Nelkenwurz *(Aegopodium podagraria, Rubus caesius, Circaea lutetiana, Deschampsia cespitosa, Cirsium oleraceum, Geum urbanum),* zusammen mit Efeu *(Hedera helix)* und Gewöhnlichem Hohlzahn *(Galeopsis tetrahit),* charakterisiert. Einige Eschenwaldflächen sind reich an Silber-Pappel *(Populus alba),* Lianen *(Clematis vitalba)* und Scharfkantiger Segge *(Carex acutiformis).*

Aufgrund ihrer Gehölzzusammensetzung und ihrer komplexen Architektur, sind solche Wälder im Zusammenhang mit den Auen noch von grossem Interesse (Abb. 24). Die Krautschicht zeigt jedoch, dass der Entwicklungsprozess des Lebensraums zu stabileren und weniger typischen Wäldern führt; eine bessere Wasserspeisung könnte in diesem Fall vorübergehend Abhilfe leisten.

Die Ufervegetation des Mühlbachs ist vielfältiger als jene des Rheins (Abb. 25). Die geringe



Abb. 24. Komplex strukturierter Eschenwald



Abb. 25. Mühlbach und Ufervegetation

Fliessgeschwindigkeit und die Klarheit des Wassers erinnern an die «Giessen» des elsässischen Rheintals (CARBIENER 1983); diese Standortbedingungen ermöglichen die Entwicklung von an Fliessgewässer gebundene Wasserpflanzen, Röhrichte und Feuchtwiesen (Molinion). Der Auenwald-Mantel, reich an Gemeinem Schneeball *(Viburnum opulus),* folgt auf den üppigen Grauerlen-Auenwald mit Hochstaudenfluren (Einheit 8) und dem typischen Eschen-Auenwald (Einheit 10) (GALLANDAT et al., 1993). Zwei kleine Föhrenwaldflächen (Einheit 15.1), reich an Weisser Segge *(Carex alba),* säumen den Mühlbach.

Das Gebiet von Rheinau, nach Rheinau/Cholau 8 km flussabwärts gelegen, ist nicht ins eidgenössische Inventar der Auengebiete aufgenommen; das Gebiet umfasst einen gut erhaltenen und auf der Nationalkarte gut sichtbaren Altarm des Rheins, besiedelt durch Grossseggenriede (Magnocaricion) und Röhrichte. Am Ort «Wisenfurt» durchquert dieser Altarm einen Eschen- sowie einen Grauerlen-Auenwald (Abb. 26).

2.8 Diepoldsau und Rheineck

Bis zur Gewässerkorrektion bildete der Rhein weite Mäander in der Schwemmebene kurz vor der Mündung in den Bodensee. Der Diepoldsauer Mäander, der sich 7 km weit ausbreitet, deutet nur spurenweise auf die ursprüngliche Landschaft hin. Der östlich von Rheineck gelegene Mäander des Alten Rheins, der so genannte «Eselsschwanz», ist wohl von kleinerer Dimension, aber vom botanischen und landschaftlichen Gesichtspunkt aus gesehen auch sehr interessant. Diese Mäander werden wohl noch mit Wasser versorgt, sind aber nicht mehr aktiv (sie wandern nicht mehr); sie zeigen jedoch ein für den Unterlauf charakteristisches Bild der Auenvegetation (Abb. 27; vgl. auch VISCHER und KALT in diesem Buch).

Die geringe Fliessgeschwindigkeit ermöglicht das Gedeihen von Unterwasser- oder schwimmenden Wasserpflanzen. Am Ufer reihen sich landwärts Röhrichte aus Schilf *(Phragmites australis)* oder Rohr-Glanzgras *(Phalaris arundinacea)* und Grossseggenriede, die sich bis hin zum Silberweiden-Auenwald ausdehnen (Salicetum albo-fragilis). Der Silberweidenwald ist sowohl floristisch wie auch architektonisch arm. Das Kronendach wird von der Silberweide dominiert, vereinzelt auch zusammen mit einigen Silberpappeln; im strauchlosen Unterholz entwickelt sich eine eintönige Hochstaudenflur mit Rohr-Glanzgras oder Goldrute (*Solidago* sp.). Auf den höher gelegenen Terrassen bildet sich ein dem Ulmo-Fraxinetum naher Waldbestand mit Esche, Ulme und Grauerle, dessen Unterwuchs reich an Traubenkirsche *(Prunus padus)* und Hopfen *(Humulus lupulus)* ist, sowie ein dem Pruno-Fraxinetum naher Eschenwald (Einheit 11) auf feinem Substrat.

2.9 Altenrhein (Objekt 219)

Die Rheinmündung weist verschiedene räumliche Massstäbe auf, je nachdem, ob das gesamte



Abb. 26. Altarm im Auenland



Abb. 27. Diepoldsauer Mäander: Stehendes Gewässer, Röhrichte und Silberweiden-Auenwald zeigen ein charakteristisches Bild des Rheinunterlaufs, oberhalb des Bodensees.

Delta zwischen Bregenz (A) und Altenrhein (CH) einbezogen wird oder nur das schweizerische Gebiet. Das österreichische Gebiet bedeckt 95% der gesamten Deltafläche; die Landschaft ist unberührter als auf schweizerischem Gebiet. Ausgedehnte Röhrichtbestände besiedeln das Seeufer; Sand- und Kiesbänke kommen beim Absinken des Wasserstandes zum Vorschein.

Das Auengebiet von nationaler Bedeutung «Altenrhein» umfasst 30 Hektar. Seine Vegetation und seine Flora wurden 1972 von KLÖTZLI beschrieben und 2003 von S. LUSSI kartiert. Die Aue weist eher einen Seeufer- als einen Deltacharakter auf; Stillwasser- und Landschilfröhrichte, Grossseggenriede (Magnocaricion) und Pfeifengraswiesen (Molinion) bilden ein Vegetationsmosaik. Weidenreihen unterstreichen die Anwesenheit von Gräben und Kanälen und umsäumen die natürliche Zone (siehe auch Beiträge von KLÖTZLI bzw. GRABHER in diesem Buch) (Abb. 28).



Abb. 28. Kopfweiden erinnern an die Nutzung dieser Sumpflandschaft durch den Menschen.

2.10 Eggrank-Thurspitz (Objekt 5)

Beim Zusammenfluss von der Thur mit dem Rhein kann eines der grössten Auengebiete der Schweiz beobachtet werden (433 Hektar). Beide Wasserläufe wurden Ende des 19. Jahrhunderts eingedämmt. Die natürliche Dynamik der Flussebene wurde somit unterdrückt.

Die zum Eschenwald führende dynamische Serie besetzt den grössten Teil des Auenwaldes. Die Anfangsgesellschaft ist das Korb-Weidengebüsch *(Salix viminalis),* gefolgt von der nur sehr gering verbreiteten Pionier-Formation Silberweiden-Hochwald. Der Silberweiden-Auenwald, vor der Gewässerkorrektion wahrscheinlich stark verbreitet, kann heute nur noch nahe der Thurmündung (linkes Ufer) und auf dem rechten Rheinufer beobachtet werden (Quelle: Vegetationskarte von 1995, F. TEUSCHER, A. GANDER und C. ROULIER). Mehrere tote Arme der Thur, die nach der Verlandung von Röhrichten und Feuchtwiesen besiedelt wurden, erinnern an die Mäander, die der Thurunterlauf vor seiner Korrektion bildete.

Die hohen Eschen-Hochwälder mit vereinzelten Schwarz-Pappeln (Poo trivialis – Fraxinocoenetum excelsioris CoE1094) sind stärker verbreitet; sie prägen die 1 bis 2 m über dem Grundwasserstand liegenden mittleren Alluvialterrassen. Diese Eschen-Hochwälder sind besonders imposant und üppig; das 30 m hohe Kronendach ist genügend locker (wie bei Überständern des Tropenwaldes), damit sich mehrere komplexe und verflochtene Baum- und Strauchschichten und Lianen entwickeln können (siehe auch Kapitel 2 von HIRT/HOFMANN sowie KEEL in diesem Buch) (Abb. 29).

Die 3–4 m über dem Grundwasserstand liegenden oberen Terrassen sind von einem mesophilen stratifizierten Wald mit Stiel-Eiche und Esche besiedelt.

Die trockenere Variante des Föhrenwaldes (Hedero helicis – Pinocoenetum sylvestris CoE1096) besiedelt die alten überhöhten Kiesbänke, die vor der Eindämmung bei starken Hochwassern abgelagert wurden. Sie entspricht einem lockeren und kleinwüchsigen Föhrenbestand, reich an thermophilen Strauch- und

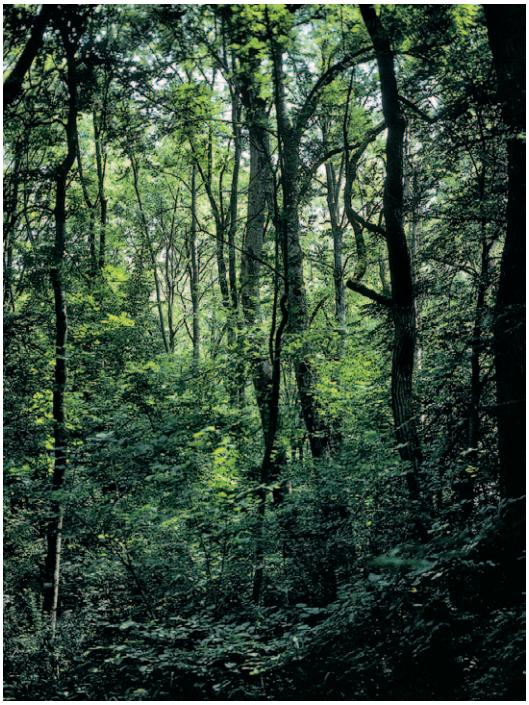


Abb. 29. Ein üppiger Eschen-Auenwald säumt den Rhein und die Thur.

Krautarten. Die Wald-Föhre *(Pinus sylvestris)* dominiert den lichten Bestand zusammen mit Lavendel-Weiden *(Salix elaeagnos).*

Die Forstwirtschaft ist sehr aktiv. So wurden Dutzende von Hektaren in Fichtenwald umgewandelt. Heute werden in den Verjüngungsflächen vorwiegend Laubbäume (Esche, Ahorn) bevorzugt.

An der Thur läuft ein umfassendes Revitalisierungsprojekt (Baudirektion Kanton Zürich 2003), worin die letzten 5 Kilometer der Thur einbezogen werden. Das Leitbild sieht einen mäandrierenden Wasserlauf und ein breiteres Niederwasserbett mit einer Folge von Sedimentbänken vor (siehe auch Kapitel 2 von HIRT/HOFMANN sowie KEEL bzw. BAUMANN et al. in diesem Buch).

3 BEDEUTUNG UND SCHUTZ DER RHEINAUEN

Die Auen des Rheins und dessen Nebenflüsse haben, sowohl auf Schweizer als auch auf Europaebene, einen bedeutenden natürlichen Wert. Unter 9 schweizerischen Uferlandschaften von internationaler Bedeutung führt AMIET (1980) zwei Rheinauen (Ogna da Pardiala und Rhäzünser Auen, Objekte 35 und 27) auf.

Die Auen von Cauma (Objekt 29) und von Zizers-Mastrils (nicht im Inventar) sind natürliche kolline Auensysteme der Zentralalpen, wie auch die Rhäzünser Auen (Objekt 27) und der Pfynwald (Objekt 133 VS). Zusammen mit den kollinen Systemen der Südalpen und des westlichen Mittellandes, Maggia (Objekt 171 TI) und Vallon de l'Allondon (Objekt 113 GE), sind diese Gebiete die bedeutendsten Auen unseres Landes. Sie weisen folgende Eigenschaften auf:

- die **starke Dynamik** erzeugt ein komplexes Mosaik von jungen bis alten Lebensräumen;
- die **Dimension** dieser Objekte verleiht ihnen Stabilität, oder besser Resilienz, gegenüber grossen Hochwassern; bei solchen Ereignissen findet jede Pflanzengemeinschaft einen Zufluchtsort, von wo aus sich die Besiedlung der neuen Standorte neu organisiert;
- dank verfügbarem Platz und vielfältigem Substrat entwickelt sich eine grosse Vielfalt an **typischen Arten und Pflanzengesellschaften;**
- diese Systeme gewähren für zahlreiche seltene Arten einen **Zufluchtsort,** so zum Beispiel für den Kleinen Rohrkolben *(Typha minima)* und den Flussuferläufer *(Actitis hypoleucos).*

Im St. Galler Rheintal folgt der Rhein bis zum Bodensee einem beidseitig eingedämmten Flusslauf. Trotz dieser strengen Gewässerkorrektionen sind noch umfangreiche Auengebiete mit bedeutendem natürlichem Wert vorhanden. Nach dem Bodensee flussabwärts bestehen nur noch wenige kleine Auen (siehe auch Beitrag von LEUTERT und PFÄNDLER in diesem Buch), mit Ausnahme des umfangreichen Auengebietes der Thurmündung.

Die Eidgenössische Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung beauftragt die Kantone, die Objekte zu begrenzen, sie intakt zu erhalten oder, wenn nötig, die Wasser- und Geschiebedynamik wieder herzustellen (Revitalisierung). Das Inventar

umfasst 282 Auen in der Schweiz, die zwischen 190 und 2930 m ü. M. liegen. Die Verordnung unterstützt die Kantone bei der Durchführung der Schutzmassnahmen und bei der Lösung von Problemen. Zu den grössten Problemen zählt die Beeinträchtigung der Gewässerdynamik; dies in Form von Eindämmung, ungenügenden Restwassermengen und infolge des Geschiebedefizits. Die Auenverordnung stellt eine solide Grundlage für die Revitalisierung von korrigierten Auengebieten dar. Die zweckmässige Kombination von Sicherheit und Revitalisierung wird in den folgenden Jahren immer öfters im Vordergrund stehen.

Der Tourismus muss ebenfalls neue Ziele setzen, damit diese Naturmonumente von einem weiten Publikum neu entdeckt werden können, ohne dass das Ökosystem zu Schaden kommt.

4 LITERATUR

AMIET, R. 1980. Paysages riverains de la Suisse d'importance internationale. In: «Colloques phytosociologiques, IX. La végétation des forêts alluviales», J. CRAMER eds, Vaduz, pp. 615–626.

BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH, 2003. Hochwasserschutz und Auenlandschaft Thurmündung – Projektüberblick. Zürich. 17 pp.

CONFEDERATION SUISSE, 1992. Ordonnance sur la protection des zones alluviales d'importance nationale (Ordonnance sur les zones alluviales) du 28 octobre 1992. 13 pp.

CARBIENER, R. 1983. Le Grand Ried central d'Alsace: écologie et évolution d'une zone humide d'origine fluviale rhénane. Bull. Ecol., 14 (4), 249–277.

CARBIENER, R., SCHNITZLER, A. & WALTER, J.-M. 1985. Problèmes de dynamique forestière et de définition des stations en milieu alluvial. In: «Colloques phytosociologiques, XIV. Phytosociologie et foresterie», J. CRAMER eds, Nancy, pp. 655–686.

ELLENBERG, H. & KLÖTZLI, F. 1972. Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes., 48 (4). 588–930.

GALLANDAT, J.-D., GOBAT, J.-M. & ROULIER, C. 1993. Kartierung der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Schriftenreihe Umwelt. Bern. 115 pp.

GILLET, F., DE FOUCAULT, B. & JULVE, P. 1991. La phytosociologie synusiale intégrée: objets et concepts. Candollea, 46. 315–340.

JULVE, P. 1993. Synopsis phytosociologique de la France (communautés de plantes vasculaires). Lejeunia. Liège. 160 pp.

KLÖTZLI, F. 1972. Die Seeufer- und Riedgebiete bei Altenrhein. ETHZ, Geobotanisches Institut. Zürich. 6 pp. Interner Bericht.

KUHN, N. & AMIET, R. 1988. Inventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Eidg. Departement des Innern. Bern. 41 pp.

LANDOLT, E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. Eidgenöss. Techn. Hochsch., Stiftung Rübel, 64. 1–208.

LUTZ, M. & ZAHNER, M. 1987. Die Auen am Vorderrhein und Glenner. Untersuchungen zur Vegetation und Fauna unter dem Aspekt ihrer Bedeutung, Gefährdung und Erhaltung. Curaglia-Gutenswil. 57 pp. Interner Bericht.

MOOR, M. 1958. Pflanzengesellschaften schweizerischer Flussauen. Mitt. der Schweiz. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 34 (4). 221–360.

ROULIER, C. 1998. Typologie et dynamique de la végétation des zones alluviales de Suisse. Volume I: texte, tableaux, figures. Volume II: annexes (tableaux de végétation). Matériaux pour le levé géobotanique de la Suisse, 72. 138 pp. und Anhänge.

WERFFELI, B. 2004. La végétation muscinale des zones alluviales de la Sarine et de l'Aar (Suisse). Typologie. Stratégies adaptatives. Organisation et dynamique de la végétation. Eléments d'un indice d'alluvialité. Volume I: texte, tableaux, figures. Volume II: annexes. Thèse de l'Université de Neuchâtel. 163 pp. und Anhänge.

Dr. Christian Roulier, Service conseil Zones alluviales, Auenberatungsstelle, rue des Pêcheurs 8, CH-1400 Yverdon-les-Bains, E-Mail: scza@bluewin.ch, www.auen.ch.

Übersetzung: Regula Benz, Botanisches Institut, Universität Neuenburg, rue Emile Argand 11, CH-2007 Neuchâtel 7.

Auen- und Mittelwälder am Zürcher Rhein und an der Thur

Fritz Hirt und André Hofmann (Zürich)

Im Bereich der Mündung der Thur in den Rhein trifft man in den Gemeinden Flaach, Rheinau und Marthalen auf zwei besonders markante und vielfältige Lebensräume: das Niderholz auf der Rheinschotterterrasse mit seinen acht Quadratkilometern grossen zusammenhängenden Eichen-Hagebuchenwäldern – über Jahrhunderte als Mittelwälder bewirtschaftet – und die Thurauen, dem grössten nationalen Auengebiet der Schweiz.

1 DAS NIDERHOLZ: EXTREMER STANDORT MIT BESONDERER WALDNUTZUNG

Die ausgedehnten Waldungen in fast ebener Lage mit dem Lokalnamen Niderholz verdanken ihre hohe Wertschätzung unter Naturinteressierten verschiedenen spezifischen Ursachen.

Der Rhein schotterte unterhalb des Rheinfalls bis zur Thurmündung eine breite Niederterrasse auf und grub sich dann in seinen heutigen Lauf ein. Typischerweise wurde das alluviale Material unregelmässig abgelagert, weshalb auf kleinen Flächen zwanzig Zentimeter bis einen Meter mächtige tonreiche, sandige und kiesige Schichten abwechseln und wasserdurchlässige Böden bilden, die zu grosser Trockenheit und Nährstoffarmut neigen.

Ein nächster besonderer Faktor ist das Klima. Das Gebiet südlich von Rheinau ist mit einer Jahresmitteltemperatur von mehr als 9 °C und einer Jahresniederschlagsmenge von 80 cm nicht nur die trockenste und wärmste Gegend des Kantons Zürich, sondern einzigartig für die ganze Schweiz nördlich der Alpen (LANDOLT, 1980).

Unter diesen besonderen Standorts- und Klimaverhältnissen entwickelte sich eine sehr interessante Vegetation, der Eichen-Hagebuchenwald mit Labkraut (Galio silvatici-Carpinetum, ELLENBERG und KLÖTZLI, Nr. 35). Diese Vegetationseinheit ist in der Schweiz ausserhalb des Kantons Genf sehr selten. Das Gebiet des Niderholz ist die grösste und am besten ausgebildete Fläche. Hier stockt von Natur aus ein Eichenmischwald. Die Buche kann auf den sehr durchlässigen Böden schlecht aufkommen und leidet unter längeren Trockenperioden. Die Vielfalt von Baumarten wird durch die Hagebuche, Trauben- und Stieleiche, Vogelkirsche, Espe, Sommerlinde und Birke gebildet. Ebenso vielfältig ist die Strauch- und Krautschicht.

Zu dieser naturbedingten Gegebenheit kommt als entscheidender Faktor die Bewirtschaftung über Jahrhunderte bis zum Zweiten Weltkrieg als Mittelwald. Mit dieser Bewirtschaftung entsteht ein zweistufiger Wald mit einer «Oberschicht» (Überhälter: Eiche, vereinzelt Fichte) und einer «Hauschicht» vornehmlich aus Hagebuchen, die alle 15–30 Jahre als Brennholz geschlagen wurden (Abb. 1). Die Oberschicht lieferte das begehrte Bauholz. Mit dieser Bewirtschaftung entstand vom 13. bis ins 20. Jahrhundert ein sehr artenreicher, lichter Wald, der eine



Abb. 1. Mittelwaldschlag. Die frühere Mittelwaldbewirtschaftung wird durch das Schlagen der Hauschicht wieder aufgenommen (Foto: André Hofmann).

Fülle von botanischen, entomologischen und ornithologischen Kostbarkeiten umfasst.

Das mittelalterliche Dorf hatte einen sehr grossen Holzbedarf, überhaupt war der Wald das eigentliche «Shoppingcenter» der Dorfbewohner. Er lieferte das Bauholz für die Häuser, die Unmengen von Brennholz zum Heizen, Kochen, Waschen und Schnapsbrennen, die Stickel für die ungezählten Zäune: den Dorfetter und die Abtrennung der drei Zelgen und der Allmend. Der Wald lieferte auch Nahrung für den Menschen (Beeren, Pilze, Honig, Kräuter) und Futter für die Tiere. Ganze Verordnungen regelten die Weide (Eckericht oder Akeret) für Schweine («Hard» mit Eichel- und Buchennüsschenmast, «auf den Eichen wachsen die besten Schinken»), Ziegen und Rindvieh. Im Mai wurden die Eschen «geschneitelt», die frisch ausgetriebenen Zweige wurden geschnitten und gedörrt, sie dienten zusätzlich zum spärlichen Heu als Viehfutter. Kleinere Eichen wurden geschält («rintschen») und die Rinde an die Gerberei geliefert. Zu dieser «Austragsnutzung» gehörte auch das Sammeln von Laub für die Bettdecken (Laubsack).

In Anbetracht dieser charakteristischen Waldnutzungsform kam auch der ehemalige Oberforstmeister Ernst Krebs zum Schluss: «Es ist äusserst erwünscht oder sogar nötig, dass in geeigneten Gebieten auch in Zukunft gewisse Mittelwaldflächen erhalten und weiterhin auch als solche bewirtschaftet werden. Derartige Bestände sind ein Kulturdokument für eine jahrhundertelange, vielseitige Nutzung und Bewirtschaftung des Laubwaldes. Auch aus Gründen des Landschaftsschutzes, der Landschaftspflege und des Naturschutzes drängt sich die Beibehaltung der Mittelwaldbewirtschaftung auf geeigneten Flächen auf» (Krebs, 1980).

Dieses Juwel der Zürcher Landschaft, das Niderholz, wurde 1971 durch Ornithologen der Ornithologischen Gesellschaft Zürich wiederentdeckt, als diesen der beachtliche Mittelspecht-Bestand auffiel. In der Folge reiht sich eine Kette von Bestandesaufnahmen, Schutzbestrebungen, Gutachten und Verhandlungen aneinander, die schliesslich 1997 zu einem ersten Eichenförderungsprojekt führte. Anschliessend wurde unter der Leitung der Abteilung Wald und der Fachstelle Naturschutz mit Beteiligung der Waldbesitzer und interessierter Wissenschafts- und Schutzkreise ein umfassendes Folgeprojekt «Entwicklungsprojekt Eichenwälder Niderholz 2005» erarbeitet. Dieses Projekt umschreibt die Ziele und Massnahmen für die Bewirtschaftung des Niderholzes in den nächsten zehn Jahren. Ein Vertrag zwischen den Gemeinden Rheinau und Marthalen, der Winzelerkorporation sowie der Fachstelle Naturschutz und der Abteilung Wald des Amtes für Landschaft und Natur sichert die Durchführung und Finanzierung der Massnahmen für die Fünfjahresperiode 2005–2009.

Als Zwischenresultat der bisherigen Bestrebungen zeigen sich bei Flora und Fauna folgende Ergebnisse: Das ornithologische Flaggschiff, der Mittelspecht (Abb. 2), wies in den Jahren 2001–2004 einen schwankenden Bestand zwischen 31 und 52 Revieren auf (Bühlmann, 2004). Das Niderholz beherbergt nicht nur die grösste Mittelspechtpopulation des Kantons Zürich, sondern ist auch ein schweizerischer Stützpunkt.



Abb. 2. Mittelspecht *(Dendrocops medius)*. Der Mittelspecht ist eine bedrohte Vogelart, für die schweizerische und zürcherische Aktionspläne zu dessen Förderung erarbeitet wurden (Foto: Schweizer Vogelschutz SVS, Zürich).



Abb. 3. Mächtige Eiche mit ausladenden, gut besonnten Ästen. Hier findet der Mittelspecht in der grobborkigen Baumrinde kleine Gliedertiere als Nahrung (Foto: SVS Schweizer Vogelschutz, Zürich).

Die Mittelwaldbewirtschaftung kommt den Habitatansprüchen des Mittelspechtes in besonderer Weise entgegen. Er bevorzugt alte Eichenüberhälter mit grossen, gut besonnten Kronen (Abb. 3) und einer bestimmten Dichte der dicken Eichen (MÜLLER, 1982).

Der Eichen-Hagebuchenwald weist zudem die reichhaltigste Vogelgemeinschaft auf, von 71 Waldarten brüten deren 55 im Niderholz, darunter Hohl- und Turteltaube, Mittelspecht, Grauspecht, Grünspecht, Kleinspecht und Wespenbussard, ausserdem kann im Frühjahr gelegentlich der Schnepfenstrich, die Balz der Waldschnepfe, beobachtet werden.

Nicht nur die Vögel, sondern auch die Tagfalter und die wärmeliebende Zauneidechse profitieren vom Mittelwald. Die Mittelwaldbewirtschaftung kombiniert in idealer Weise die beiden Anliegen «Eichen erhalten und lichte Waldbiotope schaffen: mächtige Eichen für den Mittelspecht, Offenwaldflächen für die Tagfalter».

Die Schlagflora und -fauna profitiert von den rotierenden Schlagflächen der Hauschicht: Alle Stadien von frisch geschlagenem bis 30-jährigem Aufwuchs sind vorhanden (Abb. 4). Auch aus diesem Grund soll mindestens eine möglichst zusammenhängende Fläche von 30 ha Mittelwaldbewirtschaftung erreicht werden.

Unter den Tagfaltern zählt der Eichenzipfelfalter, der seine Eier auf Eichenbüsche legt, zu den Zielarten (Abb. 5). Er kommt im Kanton Zürich nur noch im Niderholz vor. Ebenso lieben der Perlgrasfalter und der Märzveilchenfalter die lichte, trockene Buschlandschaft (Abb. 6). Insgesamt kommen nicht weniger als acht Tagfalterarten der Roten Liste vor.



Abb. 4. Mittelwaldfläche im Niderholz. Auf der offenen Schlagfläche gedeiht der Rote Fingerhut *(Digitalis purpurea)* (Foto: André Hofmann).



Abb. 5. Der Braune Eichenzipfelfalter *(Neozephyrus quercus)* legt seine Eier auf Eichenbüsche. Im Niderholz profitiert er von der Mittelwaldbewirtschaftung und den Eichenjungwüchsen (Foto: Emil Stierli).



Abb. 6. Im Niderholz bildet der Mittelwald in der Gebüschphase einen günstigen Lebensraum für den Braunen Eichenzipfelfalter (Foto: André Hofmann).

Das Niderholz beherbergt auch die grösste Zauneidechsenpopulation im Kanton Zürich (DUŠEJ, 1992).

Dank den Schlagflächen wurden nicht weniger als 292 Pflanzenarten, davon 18 der Roten Liste, gefunden (NOTZ, 1995). Stellvertretend sei die Borstige Glockenblume *(Campanula cervicaria)* erwähnt, die vom erhöhten Lichteinfall profitiert. Von ihr existieren im Kanton Zürich nur noch wenige Populationen, die meisten im Niderholz.

Inzwischen hat auch der Mensch die Faszination des Mittelwaldes wieder entdeckt. Nicht nur Ornithologen, Forstleute und Naturschützer besuchen den Mittelwald: Im Sommer 2004 sass ein Mann auf einem Feldstuhl und las im schönsten Mittelwaldbereich ein Buch!

Dass wir diese Parklandschaft des Mittelwaldes als besonders liebliche Umgebung empfinden, mag vielleicht doch auf die menschliche Stammesentwicklung zurückgehen, als sich vor Jahrmillionen im Grasland der Savannen Afrikas der Mensch als Wesen mit dem aufrechten Gang, der *Homo erectus,* entwickelte.

2 LICHTE AUENWÄLDER IM THURMÜNDUNGSGEBIET

Vor der Thurkorrektion im 19. Jahrhundert ging es in der Flussaue oft drunter und drüber. Hochwasser überschwemmten den halben Wald und rissen sogar Teile von ihm mit. Dafür lagerten sie meterdicke Sandpolster und Kiesbänke ab. Auf solchen Rohböden siedelten sich als erste Gehölze Weiden an. In der Aue gab es deshalb von Natur aus – wegen der Dynamik des Flusses – immer wieder Pionierwälder, junge lückige Bestände aus Weiden, Erlen, Pappeln und einigen anderen Bäumen und Sträuchern.

Die bäuerlichen Waldnutzungen in früheren Jahrhunderten haben solche lichte Waldbestände zusätzlich gefördert. Die Aue wurde als Allmend genutzt. Davon zeugt der grosse Grundbesitz der Gemeinde Flaach in den Thurauen. Bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts beweidete man noch die lückigen Waldbestände. Auf Waldblössen schnitten die Bauern Gras und Streue, vereinzelt bis zum 2. Weltkrieg.

Die erste forstliche Einrichtung erfolgte 1853 durch Forst-Adjunkt Landolt. Dabei beschrieb er anschaulich den damaligen Zustand der Thurauenwälder: «Währenddem der kräftige Lehmboden des Mühlbergs (eine Abteilung der Gemeindewaldungen ausserhalb der Thurebene) stolze Eichen, kräftige Forren und schlanke Fichten erzeugt, nährt der Sandboden an der Thur die auf ihm stehenden Forren nur kümmerlich, sie bleiben kurzschäftig, und während der Schlickboden der alten Thurläufe einer aussergewöhnlich reichen Laubholz- und Grasvegetation Nahrung im Überfluss bietet, nährt der trockene Sand auf den Kiesbänken die nur vereinzelt stehenden, äusserst genügsamen Sanddorn-, Wacholderbeeren und Preusselbeer-Sträucher nur dürftig, oder liegt wohl auch ganz vide (leer). ... Die Eiche kommt im angeschwemmten Land der Ebene nur vereinzelt vor, teils als Schlagholz, teils als Oberständer und zeigt in beiden Eigenschaften kein sonderliches Gedeihen. ... Die Eschen und Ahorne zeigen auf Schlickboden und frischem Sand ein recht gutes Gedeihen, sind aber leider nur in sehr untergeordneter Zahl vorhanden. ... Pappeln, Weiden und Erlen gedeihen besonders üppig in den schlickreichen Vertiefungen, ihre Ausschlags- und Verjüngungsfähigkeit ist so gross, dass sie einen Materialertrag liefern, der von den besten Hochwaldungen kaum übertroffen wird.»

Die Wälder wurden damals als Nieder- und Mittelwälder genutzt. Daneben gab es magere Föhrenbestockungen auf trockenen Sandböden. Bis in die 50er Jahre des 20. Jahrhunderts hat man periodisch das Unterholz geschlagen. Davon zeugen Namen wie Wolauerhau, Thurhau, Forenhau. Hau bezeichnet einen Haufen Staudenholz. Die Gemeinde verkaufte die Holzhaufen an speziellen Staudenholzganten an die Einwohner, welche daraus Wellen machten.

In einer Beschreibung der Thurauen von Ris aus dem Jahre 1929 heisst es: «Im Gebiet südlich vom Thursteg ist auf weiten Strecken Unterholz ausgehauen und liegen massenhaft Wellen aufgeschichtet. Die noch nicht alten Föhren- und Eschenbestände sind damit sehr licht geworden.»

Die Thurauenwälder waren also seit jeher lückig, hell, buschreich, stark strukturiert und vielfältig.

Aus alten Berichten von Botanikern und Entomologen (Biedermann, 1888/90; Ris, 1917–1930) wissen wir, dass die Flaacher Thurauen damals ausserordentlich artenreich waren. Eine wertvolle Informationsquelle ist das Tagebuch von Ris. Friederich Ris war bis 1930 Direktor der Psychiatrischen Klinik Rheinau und daneben ein weltbekannter Entomologe. Zu seinen beliebtesten Exkursionszielen gehörten die Thurauenwälder, insbesondere der Wolauerhau und die Wolauwiese. Dort interessierten ihn vor allem die Tagfalter. In seinen entomologischen Tagebüchern von 1917–1930 finden sich Einträge von insgesamt 80 verschiedenen Tagfalterarten aus diesem Gebiet. Damals beobachtete er noch das Waldwiesenvögelchen *(Coenonympha hero)*, das inzwischen in der Schweiz ausgestorben ist, sowie weitere Arten, welche im Kanton Zürich nicht mehr vorkommen wie Segelfalter *(Iphiclides podalirius)*, Baumweissling *(Aporia crataegi)*, Stiefmütterchen-Perlmutterfalter *(Fabriciana niobe)*, Gemeiner Scheckenfalter *(Melitaea cinxia)*, Steinkleebläuling *(Plebicula dorylas)*.

Auch in botanischer Hinsicht waren vor allem die trockenen Bereiche der Thurauenwälder einzigartig (vgl. Forrer, 1897; Koelliker, 1839; Kehlhofer, 1920; Kummer, 1937–1946). Viele der heute verschollenen Arten sind eigentliche Trockenstandortpflanzen wie Feinblättriger Lein *(Linum tenuifolium)* und Berg-Gamander *(Teucrium montanum)* oder gehören zu den Saumarten wie Kreuzenzian *(Gentiana cruciata)* oder zu den wechseltrockenen Pflanzen wie die Sechskronblättrige Rüsterstaude *(Filipendula hexapetala)*.

In den letzten Jahrzehnten verlor die Brennholznutzung ihre Bedeutung immer mehr. So ab 1950 hörten die flächigen Unterholzschläge auf. Die Ausschlagwälder überführte man immer mehr in Hochwälder, die einträglicheres Stammholz liefern. Im Wirtschaftsplan 1962 wurde der Femelschlag als Betriebsart für den gesamten Wald erklärt. Damit schloss sich das Kronendach der Bäume immer mehr, und die

Wälder wurden dunkler. Das uns vertraute Bild des Hochwaldes trat an Stelle der Föhrenwiesen und Blössen des Nieder- und Mittelwaldes. Die licht- und wärmeliebenden Arten, wie Orchideen und Schmetterlinge, wurden zunehmend verdrängt.

Doch konnten sich in den Flaacher Thurwäldern auf den trockenen und mageren Standorten beachtliche Überreste des einstigen Artenreichtums halten. Corina und Heiri Schiess untersuchten von 1986 bis 1991 auf den Spuren von Ris die Tagfalter der Thurauen und verglichen seine Tagebucheintragungen rund 65 Jahre später. So konnten sie immerhin noch 53 Tagfalterarten, das sind rund zwei Drittel der Arten von Ris (80 Arten), bestätigen (SCHIESS und SCHIESS-BÜHLER, 1997). Allerdings flogen sie in viel kleineren Beständen als damals. Das Biologenpaar fand die Falter vor allem noch an Wegrändern und in Föhren-Jungwüchsen auf Windwurfflächen, die vorübergehend günstige Lebensräume boten.

1995 untersuchte Fredi Leutert die seltenen Farn- und Blütenpflanzen im Thurmündungsgebiet und verglich seine Funde mit früheren Angaben. Diese Aufnahmen brachten immer noch zahlreiche botanische Kostbarkeiten in den Auenwäldern zum Vorschein. Beispiele sind Schlangen-Lauch *(Allium scorodoprasum)*, Spitzorchis *(Anacamptis pyramidalis)*, Astlose Graslilie *(Anthericum liliago)*, Schwarzwerdender Geissklee *(Cytisus nigricans)*, Frauenschuh *(Cypripedium calceolus)*, Dunkelrote Sumpfwurz *(Epipactis atropurpurea)*, Weisses Fingerkraut *(Potentilla alba)*, Gelbe Wiesenraute *(Thalictrum flavum)*. Viele dieser Arten haben nur noch als Einzelexemplare an den magersten Standorten überlebt, die nur sehr langsam zuwachsen.

Auf natürliche Weise entstehen wegen mangelnder Flussdynamik aufgrund der Thurkorrektion keine neuen offenen Pionierwälder mehr. Wenn wir aber den Reichtum an Schmetterlingen, Orchideen und anderen lichtbedürftigen Arten nicht verlieren wollen, müssen wir gezielt pflegen, das heisst lichte Verhältnisse schaffen. Aus dieser Erkenntnis heraus haben der Forstkreis 5, die Fachstelle Naturschutz und die Gemeinde Flaach im nationalen Auengebiet Eggrank-Thurspitz 1998 ein Waldnaturschutzprojekt gestartet. Dabei schuf der Forstdienst Flaach in einer ersten 5-Jahres-Etappe über 15 ha lichte Wälder. Es wurden unzählige Sträucher geschlagen und beschattende Bäume gefällt. So kam mehr Licht und Wärme auf den Waldboden zugunsten der Krautschicht. Etwa die Hälfte davon wird als Föhrenwiesen jährlich gemäht, die übrigen Flächen periodisch entbuscht (Abb. 7). Seit 1993 läuft ein Folgeprojekt, in dem die lichten Wälder nahezu verdoppelt werden sollen.

Erste Erfolge lassen sich sehen. Am schnellsten reagierten der Gefranste Enzian *(Gentiana ciliata)* und der Perlgrasfalter *(Coenonympha arcania,* Abb. 8). Seit 1940 war der Gefranste Enzian in den Flaacher Thurauen verschollen. 1995 veranlasste die Fachstelle Naturschutz



Abb. 7. Lichter Thurauenwald: Frühlingsaspekt mit Zypressen-Wolfsmilch (Foto: André Hofmann).



Abb. 8. Der Perlgrasfalter *(Coenonympha arcania)* liebt trockene Buschlandschaften und lichte, warme Laubwälder. Diese Art hat vom Auflichten der Thurwälder und des Niderholzes stark profitiert (Foto: Emil Stierli).



Abb. 9. Die letzte Angabe der Berg-Aster *(Aster amellus)* in den Thurauen stammt von Ris 1927. Seit 2003 blüht wieder ein Exemplar im aufgelichteten Wolauerhau (Foto: Fachstelle Naturschutz).



Abb. 10. Der Grossblütige Fingerhut *(Digitalis grandiflora)*, eine Zielart des lichten Waldes, gedeiht auf den aufgelichteten Waldflächen der Thurauen und des Niderholzes (Foto: André Hofmann).

im Wolauerhau die ersten Auflichtungen. 1997 blühten auf einer rund 2 ha grossen Untersuchungsfläche 32 Enziane. Diese Anzahl steigerte sich bis im Jahr 2005 auf 388 Exemplare. Auf derselben Waldfläche flogen 1987–1991 nachweislich keine Perlgrasfalter. 1997 zählte man 4 und im Jahr 2003 ein vorläufiges Maximum von 44 Faltern.

Mehr verzögert reagierte der Hainveilchen-Perlmutterfalter *(Clossiana dia)*. Im Jahr 2000 flog 1 Falter und 2003 bereits 36 Falter auf den aufgelichteten Flächen.

Ris notierte 1927 im Wolauerhau die Berg-Aster *(Aster amellus,* Abb. 9). Seither war sie verschollen, bis sie 2003 wieder auf der aufgelichteten Fläche auftauchte. Ebenfalls blühten im aufgelichteten Wolauerhau wieder der Deutsche Enzian *(Gentiana germanica,* 2001, 2002, 2005), die Bienenophrys *(Ophrys apifera,* 2003) und im Usgrüt eine Purpurorchis *(Orchis purpurea)*, nachdem diese 1930 von Ris das letzte Mal erwähnt wurde. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Pflegemassnahmen greifen (Abb. 10).

Wir sind überzeugt, dass sich der vergangene und zukünftige Einsatz lohnt. Denn es gilt, unersetzliche Naturwerte von nationaler Bedeutung zu bewahren.

3 LITERATUR

Biedermann, C. 1888/90. Eine Exkursion im August 1888. Soc. ent. 3–5, div. pp.

Bühlmann, J. 2004. Bericht über den Mittelspechtbestand im Niderholz 2001 – 2004, OGZ, unveröff.

Dusej, G. 1992. Reptilieninventar des Kantons Zürich, Fachstelle Naturschutz.

Forrer, L. 1897. Verzeichnis der seltenen Phanerogamen von Marthalen und Umgebung. Handschr. Verz., Bot. Mus. ETH Zürich.

Kehlhofer, E. 1920. Die Flora des Kantons Schaffhausen. Mitt. Bot. Mus. Univ. ZH, 85. 265 pp.

Koelliker, A. 1839. Verzeichnis der phanerogamischen Gewächse des Cantons Zürich. Orell Füssli Zürich. 156 pp. Gemäss Auszug ARP.

Krebs, E. 1980. Entstehung, Nutzung und Bedeutung der Mittelwälder, Gutachten, unveröff.

Kummer, G. 1937–46. Die Flora des Kantons Schaffhausen. Mitt. d. Natf. Ges. Schaffhausen, 7 Lfg., 936 pp.

Landolt, E. 1980. Botanisches Gutachten über das Niderholz, 1980, unveröff.

MÜLLER, W. 1982. Die Besiedlung der Eichenwälder im Kanton Zürich durch den Mittelspecht, Ornithologischer Beobachter 79, 105–119.

NOTZ, R. 1995. Bedeutung verschiedener Sukzessionsstufen für die Tagfalterfauna am Beispiel des Niderholzes, Diplomarbeit ETHZ.

RIS, F. 1917–1930. Entomologisches Tagebuch. [Original im Archiv der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Stadtbibliothek.] Mskr. 480 pp.

SCHIESS, H. & SCHIESS-BÜHLER, C. 1997. Dominanzminderung als ökologisches Prinzip: eine Neubewertung der ursprünglichen Waldnutzungen für den Arten- und Biotopschutz am Beispiel der Tagfalterfauna eines Auenwaldes in der Nordschweiz, Mitt. der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Bd. 72, H. 1.

Fritz Hirt, lic. phil., Fachstelle Naturschutz, CH-8090 Zürich, E-Mail: fritz.hirt@birdlife.ch

André Hofmann, Dr. phil. II, Fachstelle Naturschutz, CH-8090 Zürich,
E-Mail: andre.hofmann@vd.zh.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region: 184–190

Wiesenvegetation im Vorarlberger Rheintal

Markus Grabher (Hard)

1 EINLEITUNG

Das Vorarlberger Rheintal ist voll ökologischer Gegensätze: Denn natürlich hat auch hier in den vergangenen Jahrzehnten ein rasanter Strukturwandel in der Landwirtschaft mit einer Intensivierung der Landnutzung stattgefunden. Trotzdem werden bis heute über 1000 ha – knapp zehn Prozent des Landwirtschaftsgebietes – extensiv als Streuwiesen genutzt. In diesen brüten, teilweise in unmittelbarer Nähe zu Siedlungsgebieten, seltene Vogelarten wie Braunkehlchen, Bekassine, Brachvogel oder Wachtelkönig. Etwa ein Fünftel der gefährdeten Pflanzenarten ist auf die Feuchtgebiete angewiesen (GRABHERR und POLATSCHEK, 1986; vgl. z. B. JACOBY in diesem Werk).

Die Erhaltung der Streuwiesen ist die eigentliche Erfolgsgeschichte des Naturschutzes im Vorarlberger Rheintal, die aber nicht darüber hinweg täuschen darf, dass die geschützten Flächen stark aufgesplittert sind, dass Nährstoffeinträge und Grundwasserabsenkungen oft zum Problem werden. Für den Naturschutz bleibt daher noch viel zu tun.

2 WIRTSCHAFTSWIESEN

Die Wirtschaftswiesen zeigen den Wandel in der Landwirtschaft deutlich: Viele Futterwiesen wurden bis Mitte des 20. Jahrhunderts erstmals im Juni gemäht. In den gedüngten Wiesen des Rheindeltas beispielsweise war einst der Frühlingsenzian *(Gentiana verna)* weit verbreitet (KURZ, 1912). Heute sind fünf oder sechs Schnitte keine Seltenheit mehr, und die einst häufigen Fromentalwiesen (Arrhenatheretum) wurden weitgehend zu produktiven, aber artenarmen Italienisch Raygraswiesen (Lolietum multiflori) oder Englisch Raygras-Mähweiden (Poo pratensis-Lolietum perennis) (vgl. DIETL, 1995, Tab. 1). Da zugleich der Anbau von Silomais stark zugenommen hat, wurde das bunte Bild einer blütenreichen Kulturlandschaft zunehmend von einem Einheitsgrün abgelöst. Durch diese Nutzungsintensivierung sind die wenig intensiven Wiesen als artenreiche Lebensräume für Insekten und wichtige Nahrungsflächen für Vögel grossteils verschwunden. Heute nehmen die geschützten Streuwiesen im Rheintal bereits eine grössere Fläche ein als die zwei- bis dreischürigen Flächen.

2.1 Traditionelle Futterwiesen

Noch aber existiert Grünland, das zeigt, wie die Kulturlandschaft einst ausgesehen haben mag. Es sind dies oft Hochstamm-Obstwiesen mit relativ trockenen Fromentalwiesen (Arrhenatheretum) oder produktiveren Knaulgras-Bärenklauwiesen *(Dactylis-Heracleum*-Wiesen, DIETL, 1995). In den Rieden kommt vereinzelt auch noch die feuchte Variante der Fromentalwiese mit Kohldistel *(Cirsium oleraceum)*, Wiesenknopf *(Sanguisorba officinalis)* und anderen Feuchtezeigern vor. Etwas häufiger sind zwei- bis dreischürige Feuchtwiesen mit reichlich Wiesenfuchsschwanz *(Alopecurus pratensis)* und Grossseggen wie Sumpfsegge *(Carex acutiformis)* und Schlanksegge *(Carex acuta)*. Vereinzelt werden auf nassen Standorten auch zweischürige Schlankseggensümpfe (Caricetum gracilis) bewirtschaftet, beispielsweise am Alten Rhein oder auf einigen Standorten im Rheinvorland.

Oberhalb der Talebene ändert sich das Bild: An den Rheintalflanken und vor allem aber an den Hängen des Walgaus sind vielfältige Fromentalwiesen erhalten. Besonders bemerkenswert sind die extensiv genutzten Halbtrockenrasen (Mesobrometum), die oft mosaikartig verzahnt mit kalkreichen Kleinseggenrieden (v. a. Schoenetum) auftreten (Übersicht siehe BROGGI und GRABHERR, 1991; vgl. auch LEUTERT und PFÄNDLER in diesem Werk) (Tab. 1).

2.2 Die längste Magerwiese des Rheintals

Auf den Hochwasserschutzdämmen des Alpenrheins, obwohl streng linear und geometrisch gestaltet, entwickelten sich durch die extensive Pflege Halbtrockenrasen (Mesobrometum) oder zweimähdige Salbei-Fromentalwiesen (Salvio-Arrhenatheretum). Seitdem das Mähgut regelmässig entfernt wird, fand eine Explosion seltener und lichtbedürftiger Arten statt: Die Helmorchis *(Orchis militaris)* hat nirgendwo anders in der Region ähnlich grosse Populationen wie an den Rheindämmen (Abb. 1). Hummelragwurz *(Ophrys holosericea)* oder Herbstwendelähre *(Spiranthes spiralis)* sind weitere botanische Kostbarkeiten der Rheindämme. Die blütenreichen Dammböschungen sind wichtige Lebensräume für Insekten, weshalb die Pflege linksrheinisch abschnittsweise mosaikartig erfolgt, um den Blütenbesuchern nicht schlagartig die Nahrungsgrundlage zu entziehen. Rechtsrheinisch wird dies erst diskutiert. Von diesem Pflegemodus profitiert auch die Vogelwelt – allen voran das Schwarzkehlchen *(Saxicola torquata)*, das an den Rheindämmen beidseits des Rheins das wichtigste Vorkommen in der Region hat.

3 STREUWIESEN

Die Streuwiesen aber sind das eigentliche «Tafelsilber» des Naturschutzes im Rheintal: Vom Rheindelta am Bodensee mit etwa 300 ha Streuwiesen bis zum Schutzgebiet Bangs-Matschels an der Grenze zu Liechtenstein, das mit dem Liechtensteiner Ruggeller Riet eine grosse Riedlandschaft bildet, wurden im Rheintal insgesamt über 1000 ha grössere und kleinere Feuchtgebiete geschützt (KLÖTZLI, in diesem Werk). Im Walgau, einem Seitental des Rheintals, das von der Ill entwässert wird, sind vor allem die Riede von Satteins und Frastanz mit etwa 90 ha Streuwiesen zu erwähnen (STADLER und STAUB, 2003).

Bis heute beeinflusst die nacheiszeitliche Landschaftsentwicklung die Landnutzung und damit die ökologische Vielfalt der Region (BURGA, CHÉDEL und JORDI, 2005). Denn natürlich



Abb. 1. Die ein- bis zweimädigen Böschungen der Rheindämme sind artenreiche Glatthaferwiesen und Halbtrockenrasen. Seltene Pflanzenarten wie die Helmorchis *(Orchis militaris)* entwickeln hier grosse Populationen.

ist der Grossteil der Streuwiesen auf jenen Standorten erhalten geblieben, die auf Grund nasser Bodenverhältnisse nur schwer intensiviert werden konnten. Und dies sind vor allem die ehemals grossen Moorgebiete im nördlichen Rheintal mit bis zu neun Meter mächtigen Torflagern beispielsweise im Lauteracher Ried.

Linksrheinisch wurde wesentlich früher mit der Melioration der Talebene begonnen, weshalb hier im Vergleich zum Vorarlberger Rheintal nur noch Reste der ursprünglichen Feuchtgebiete erhalten sind. Neben den Rieden bei Altenrhein ist das Schutzgebiet Bannriet/Spitzmäder bei Altstätten zu erwähnen, wo grossflächige Renaturierungen das Regenerationspotenzial dieser Landschaft verdeutlichen (SCHLEGEL et al., 1997; SCHLEGEL et al. in diesem Werk). Von Altstätten talaufwärts sind linksrheinisch nur noch Feuchtgebietsreste erhalten.

3.1 Pfeifengraswiesen

Rund vier Fünftel der Streuwiesen sind Pfeifengraswiesen. Auf den sauren Torfböden des nördlichen Rheintals dominieren Binsen-Pfeifengraswiesen (Junco-Molinieten) mit Niedrigem Pfeifengras *(Molinia caerulea)* und Spitzblütiger Binse *(Juncus acutiflorus)* (Tab. 1). Diese vergleichsweise artenarmen Gesellschaften entwickelten sich abseits der Fliessgewässer, wo die nacheiszeitliche Torfbildung nicht durch Sedimentablagerungen unterbrochen wurde.

Tab. 1. Vorkommen wichtiger Arten im Grünland des Rheintals (Nomenklatur nach Flora europaea)

	Wirtschaftsgrünland			Magerwiesen					
	intensiv	mittelintensiv	wenig intensiv	trocken	wechselfeucht bis nass				
	Raygras-wiesen	*Knaulgras-Bärenklau-wiesen*	*Fromental-wiesen*	*Halbtrocken-rasen*	*Pfeifengras-wiesen*	*Kalkreiche Kleinseggen-riede*	*Saure Kleinseggen-riede*	*Zwischen- und Hoch-moore*	
Lolium multiflorum	+++								Italienisches Raygras
Lolium perenne	+++	++							Englisches Raygras
Alopecurus pratensis	++	++	+						Wiesen-Fuchsschwanz
Cynosurus cristatus	++	++	+						Kammgras
Heracleum sphondylium	+	++	+						Bärenklau
Poa trivialis	+++	++	+						Gewöhnliches Rispengras
Taraxacum officinale	+++	++	+						Löwenzahn
Trifolium repens	+++	++	+						Weissklee
Trisetum flavescens	+	++	+						Goldhafer
Ranunculus acris	++	++	+						Scharfer Hahnenfuss
Cardamine pratensis	+	++	+						Wiesen-Schaumkraut
Rumex acetosa	+	++	++						Sauerampfer
Veronica chamaedrys	+	++	++						Gamander-Ehrenpreis
Alchemilla vulgaris	+	++	++						Frauenmantel
Festuca pratensis	+	++	+						Wiesen-Schwingel
Poa pratensis	+	++	+	+					Wiesen-Rispengras
Galium mollugo	+	++	++	+					Wiesen-Labkraut
Trifolium pratense	++	++	++	+					Rotklee
Ajuga reptans	+	++	++	+					Kriechender Günsel
Prunella vulgaris	+	++	++	+					Gemeine Brunelle
Plantago lanceolata	+	++	++	+					Spitz-Wegerich
Dactylis glomerata	++	+++	++	+	+				Knaulgras
Festuca rubra	+	++	++	+	+				Rot-Schwingel
Holcus lanatus	+	++	+	+	+				Wolliges Honiggras
Anthoxanthum odoratum	+	++	++	+	++	+	+	+	Ruchgras
Crepis biennis		+	++						Wiesen-Pippau
Vicia sepium		+	++	+					Zaun-Wicke
Arrhenatherum elatius		+	+++	+					Glatthafer / Fromental
Campanula patula			++	+					Wiesen-Glockenblume
Sanguisorba minor			+	++					Kleiner Wiesenknopf
Rhinanthus alectorolophus			+	++					Zottiger Klappertopf
Plantago media			+	++					Mittlerer Wegerich
Bromus erectus			+	+++					Aufrechte Trespe
Knautia arvensis			+	++					Feld-Wittwenblume
Galium verum			+	+++	+				Echtes Labkraut
Centaurea jacea			+	+	+				Wiesen-Flockenblume
Polygala vulgaris			+	++	+				Gemeine Kreuzblume
Leucanthemum vulgare			++	++	+				Margerite

Briza media			+	++	+	+			Zittergras
Agrostis tenuis			+	+	+		+	+	Rotes Straussgras
Leontodon hispidus			+	++	+	+			Rauer Löwenzahn
Lotus corniculatus			+	++	+	+			Hornklee
Silaum silaus				+	+				Wiesensilge
Carex tomentosa				+	++				Filzfrüchtige Segge
Colchicum autumnale				++	+				Herbstzeitlose
Molinia arundinacea				+	++				Hohes Pfeifengras
Brachypodium pinnatum				+++	+	+			Fiederzwenke
Potentilla erecta				++	++	++	+	+	Blutwurz
Euphrasia rostkoviana				+	++	++		+	Augentrost
Selinum carvifolia					++	+			Kümmelblättrige Silge
Carex hostiana					+	++			Saum-Segge
Carex davalliana					+	++			Davall-Segge
Epipactis palustris					+	++			Sumpfwurz
Parnassia palustris					+	++			Sumpfherzblatt
Iris sibirica					++	+			Sibirische Schwertlilie
Inula salicina					++	+			Weidenblättriger Alant
Filipendula ulmaria					+	+			Mädesüss
Primula farinosa					+	++			Mehl-Primel
Serratula tinctoria					++	++	+		Färberscharte
Sanguisorba officinalis					++	++	+		Grosser Wiesenknopf
Carex panicea					++	++	+		Hirsen-Segge
Gentiana pneumonanthe					+	+	+		Lungen-Enzian
Succisa pratensis					++	+	+		Teufelsabbiss
Equisetum palustre					++	++	++	++	Sumpf-Schachtelhalm
Molinia caerulea					+++	++	++	+	Niedriges Pfeifengras
Juncus acutiflorus					+		++	++	Spitzblütige Binse
Schoenus ferrugineus						++			Rostrote Kopfbinse
Schoenus nigricans						+			Schwarze Kopfbinse
Juncus alpinus						+			Alpen-Binse
Tofieldia calyculata						+			Kelch-Simsenlilie
Eriophorum latifolium						+			Breitblättriges Wollgras
Eriophorum angustifolium							++	++	Schmalblättriges Wollgras
Carex echinata							++	++	Stern-Segge
Carex fusca							+	++	Braun-Segge
Sphagnum sp.							+	+++	Torfmoose
Rhynchospora alba								++	Weisse Schnabelbinse
Carex lasiocarpa								++	Faden-Segge
Drosera rotundifolia								+	Rundblättriger Sonnentau
Drosera intermedia								+	Mittlerer Sonnentau
Trichophorum cespitosum								++	Rasenbinse

+++ sehr häufig bis dominant
++ häufig
+ verbreitet



Abb. 2. Im Frühsommer blühen in den Pfeifengraswiesen des Naturschutzgebietes Matschels im Dreiländereck Schweiz – Liechtenstein – Österreich zwei bis drei Millionen Sibirischer Schwertlilien *(Iris sibirica)*.

Auf den Gleyböden in den einstigen Überschwemmungsgebieten von Alpenrhein, Ill, Dornbirnerach und Schwarzach dagegen entstanden unterschiedlichste Kalk-Pfeifengraswiesen, die in ihren nassesten Ausprägungen bereits zu kalkreichen Kleinseggenrieden und in den trockenen Ausprägungen zu Halbtrockenrasen (Mesobrometum) überleiten (Tab. 1). Der mittlere Grundwasserflurabstand beträgt in den trockensten Pfeifengraswiesen bis zu 2 m und in den nassesten Ausprägungen etwa 25 bis 40 cm. Bei höheren Grundwasserständen entwickeln sich Klein- und Grossseggenriede (vgl. KLÖTZLI, 1969).

Pfeifengraswiesen auf mineralischen Böden sind meist ausgesprochen artenreich und durch ihren Blütenreichtum auch für Menschen attraktiv – vor allem durch die Sibirische Schwertlilie *(Iris sibirica):* Im Naturschutzgebiet Matschels im Dreiländereck Schweiz – Liechtenstein – Österreich verwandeln jedes Frühjahr zwei bis drei Millionen blühender Schwertlilien etwa 36 ha Pfeifengraswiesen in ein blaues Blütenmeer (Abb. 2).

3.2 Kleinseggenriede

Kleinseggenriede auf basenreichen Standorten zählen zu den seltenen Gesellschaften im Rheintal. Dies gilt vor allem für Kopfbinsenriede (Schoeneten): Während die Rostrote Kopfbinse *(Schoenus ferrugineus)* noch weiter verbreitet ist, beschränken sich Vorkommen der Schwarzen Kopfbinse *(Schoenus nigricans)* auf das Bodenseegebiet sowie auf ein kleines Vorkommen in Bangs nahe der Liechtensteiner Grenze. In Bregenz unterliegen die Schoeneten noch heute den natürlichen Wasserstandsschwankungen des Bodensees. Die anderen Vorkommen dagegen sind auf stauende Gleyböden angewiesen, die eine Austrocknung verhindern.

In Frastanz im Walgau, einem Seitental des Rheintals, das von der Ill entwässert wird, sind die grössten Davallseggenriede (Caricetum davallianae) des Talraums erhalten; hier hat der bedrohte Glanzstendel *(Liparis loeselii)* die bedeutendste Population in Vorarlberg.

Auf nassen Moorböden des nördlichen Rheintals kommen immer wieder auch saure Kleinseggenriede mit Braunsegge *(Carex fusca)* vor, die lokal bereits in Übergangsmoore überleiten (Tab. 1).

3.3 Zwischenmoor- und Hochmoorgesellschaften

Für ein intensiv genutztes Tal sind die Übergangsmoore, teilweise sogar mit Hochmoorentwicklung, besonders bemerkenswert. Einst waren Fadenseggensümpfe (Caricetum lasiocarpae) mit einer Gesamtfläche von über 150 ha die dominierende Streuwiesengesellschaft im Rheindelta. Durch Eindeichung und Entwässerungen Ende der 1950er Jahre sind die Bestände auf etwa 3% der ursprünglichen Vorkommen geschrumpft; heute dominieren hier Binsen-Pfeifengraswiesen oder artenarme Ersatzgesellschaften mit Pfeifengras.

Übergangsmoore mit Weisser und Brauner Schnabelbinse *(Rhynchospora alba, Rh. fusca)* und Mittlerem Sonnentau *(Drosera intermedia)* kommen vor allem im Rheindelta vor (Abb. 3),



Abb. 3. Vor allem im Rheindelta werden grosse Schnabelbinsenriede mit Weissem und Braunem Schnabelried *(Rhynchospora alba, Rh. fusca)* sowie Mittlerem Sonnentau *(Drosera intermedia)* als Streuwiesen bewirtschaftet.

kleinflächig auch in den Rieden von Lustenau und Dornbirn (Tab. 1). Der Gesamtbestand beträgt heute etwas über 10 ha.

Streuwiesen mit Rasenbinse *(Trichophorum cespitosum)* und Torfmoosen *(Sphagnum sp.)* vermitteln am besten den Eindruck einer Moorlandschaft. Neben den kleineren Beständen ist vor allem das «Gsieg» in Lustenau zu erwähnen: Hier dringt die Rasenbinse grossflächig auch in saure Pfeifengraswiesen und Schnabelbinsenriede vor (Abb. 4). Bodenuntersuchungen in der Rasenbinsen-Gesellschaft (Scirpetum austriaci) mit Besenheide *(Calluna vulgaris)* und dem Torfmoos *Sphagnum magellanicum* im Rheindelta zeigten, dass es sich hier um ein Hochmoor in der Initialphase handeln muss, da Torfbildung erst in geringem Umfang stattgefunden hat. Trotzdem weist der pH-Wert 3,4 auf sehr saure Bodenverhältnisse. Ein echtes Hochmoor in Höchst am Bodensee hat der Rhein Ende des 19. Jahrhunderts durch ein extremes Hochwasser selbst zerstört.

4 AUSBLICK

Die Streuwiesen im Vorarlberger Rheintal sind in ihrer Vielfalt und Grossflächigkeit für eine dicht besiedelte Wirtschaftsregion erstaunlich. Heute sind die meisten Flächen geschützt und daher nicht mehr direkt von Nutzungsintensivierung oder Überbauung bedroht, wie auch vergleichende Bestandserhebungen zeigen (Broggi und Grabherr, 1989; Grabher, 2000). Trotzdem sind für die Zukunft grosse Anstrengungen erforderlich, diese Feuchtflächen nicht nur quantitativ, sondern auch in ihrer ökologischen Qualität zu erhalten, teilweise auch zu verbessern (Grabher, 1996).

Die geschützten Streuwiesen liegen oft isoliert in der intensiv genutzten Landschaft. Nährstoffzeiger und Ruderalarten, begünstigt durch randliche Nährstoffeinträge und Entwässerungen, breiten sich daher auch in geschützten Flächen aus (z. B. Impatiens glandulifera). Grundwasserabsenkungen oder Nährstoffeinträge über Luftdepositionen führen zu grossflächigen Veränderungen. Offensichtliche Folge ist beispielsweise die Ausbreitung des Schilfs in den Streuwiesen (Brülisauer und Klötzli, 1998).

Die Eintiefung der Rheinsohle durch Geschiebesperren im Einzugsgebiet, Kiesentnahmen vor allem in den 1970er Jahren sowie die Kanalisierung hat in einigen Regionen zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels geführt. In der Folge sind nicht nur die Giessenbäche ausgetrocknet, sondern auch viele Streuwiesen. Eigentlich hat dieser Prozess bereits mit der Rheinregulierung vor über 100 Jahren eingesetzt, wie Makrofossilanalysen zeigen (Schlachter, 1988), und sich dann etwa seit den 1960er Jahren beschleunigt.

Besonders dramatische Veränderungen treten dann ein, wenn Torf durch die Sauerstoffzufuhr



Abb. 4. Auf den Moor-Streuwiesen im Naturschutzgebiet Gsieg in Lustenau kommt die Rasenbinse *(Trichophorum cespitosum)* grossflächig in Übergangsmooren und Binsen-Pfeifengraswiesen vor.

nach Grundwasserabsenkungen mineralisiert und Nährstoffe freisetzt, die sich über Jahrtausende angesammelt haben. Dies ist beispielsweise in etlichen Streuwiesen von Matschels nahe des Alpenrheins zu beobachten, wo die ursprüngliche Vegetation allmählich durch Ruderalarten wie Goldrute *(Solidago gigantea)*, Ackersenf *(Sinapis arvensis)* oder Ackerkratzdistel *(Cirsium arvense)* verdrängt wird (LUTZ und SINGER, 1996).

Beispielhaft sind die Anstrengungen zur ökologischen Aufwertung der Landschaft im Schutzgebiet Bannriet/Spitzmäder bei Altstätten SG, wo artenreiches Grünland und Feuchtlebensräume sukzessive neu geschaffen bzw. wieder hergestellt werden (GÜTTINGER und HUGENTOBLER, 2004; SCHLEGEL et al. in diesem Buch). Der damit verbundene Aufwand fördert eine artenreiche Pflanzen- und Tierwelt und stärkt die Erholungsfunktion der Landschaft. Zugleich zeigt dies aber auch, welche Anstrengungen erforderlich sind, um eine Landschaft ökologisch aufzuwerten, welche Verantwortung also Vorarlberg für die noch in erstaunlicher Vielfalt vorhandenen Feuchtwiesen hat.

Durch die komplexen Herausforderungen kann der Naturschutz heute seine Ziele nur in einer fachübergreifenden Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen bewältigen, insbesondere mit der Raumplanung, der Landwirtschaft und der Wasserwirtschaft.

5 LITERATUR

BROGGI, M. F. & GRABHERR, G. 1989. Erhaltungskonzept Flach- und Zwischenmoore im Talraum des Rheintals und Walgaus. Vorarlberger Landschaftspflegefonds, unveröff.

BROGGI, M. F. & GRABHERR, G. 1991. Biotope in Vorarlberg. Endbericht zum Biotopinventar Vorarlberg. Vorarlberger Landschaftspflegefonds, 224 pp.

BRÜLISAUER, A. & KLÖTZLI, F. (1998). Habitat factors related to the invasion of reed *(Phragmites australis)* into wet meadows of the Swiss Midlands. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 7, 125–136.

BURGA, C. A., CHÉDEL, M. & JORDI, U. 2005. The Peat Bog Profile «Mariagrün» near Feldkirch (Vorarlberg, Austria). Palyno-Bulletin 1 (1–2), 33–39.

DIETL, W. 1995. Wandel der Wiesenvegetation im Schweizer Mittelland. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 4, 239–249.

GÜTTINGER, R. & HUGENTOBLER, I. 2004. Rietbuch. Faszinierende Natur im St. Galler Rheintal. Tobler Verlag, 151 pp.

GRABHER, M. 1996. Naturschutz im Rheintal. Österreich in Geschichte und Literatur mit Geographie 40, 363–370.

GRABHER, M. 2000. Evaluierung der Verordnung über den Streuewiesenbiotopverbund Rheintal-Walgau. Im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung, unveröff.

GRABHERR, G. & POLATSCHEK, A. 1986. Lebensräume und Flora Vorarlbergs. Vorarlberger Landschaftspflegefonds, 263 pp.

KLÖTZLI, F. 1969. Die Grundwasserbeziehungen der Streu- und Moorwiesen im nördlichen Schweizer Mittelland. Beiträge zur Geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz. Verlag Hans Huber, Bern.

KURZ, A. 1912. Die Lochseen und ihre Umgebung (Altwässer des Rheins bei Rheineck). Eine hydrobiologische Studie. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

LUTZ, S. & SINGER, P. 1996. Naturschutzgebiet Matschels. Untersuchungen zum Bodenaufbau und zur Nährstoffversorgung im Unterried. Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 32, 23 pp.

SCHLACHTER, H.-M. 1988. Aktuelle Vegetation und historische Vegetationsentwicklung im Vorarlberger Rheintal. Diplomarbeit Universität Innsbruck, unveröff.

SCHLEGEL, J., WEBER, U., GÜTTINGER, R. & HUGENTOBLER, I. 1997. Die Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder. Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft 88, 243–308.

STADLER, G. & STAUB, R. 2003. Naturmonografie Frastanzer Ried. Vorarlberger Naturschau, 13, 376 pp.

Markus Grabher, Diplombiologe, Margarethendamm 40, A-6971 Hard, E-Mail: grabher@umg.at

Der Rhein – Lebensader einer Region: 191–195

Die Strandschmielen-Gesellschaft – eine endemische Pflanzengesellschaft des Bodensee-Litorals

Michael Dienst (Konstanz) und Irene Strang (Reichenau, D)

1 EINLEITUNG

Das natürliche Wasserregime des Bodensees mit Pegelschwankungen um 2 m im Jahresverlauf ermöglicht eine einzigartige Vegetation an röhrichtfreien Kiesufern: die Strandschmielen-Gesellschaft (Deschampsietum rhenanae OBERDORFER 1957). Sie ist endemisch und wächst als schmaler Streifen im Bereich von der Mittelwasserlinie bis etwa 0,5 m oberhalb davon. Die Strandschmielen-Gesellschaft wird häufig mit der Nadelbinsen-Gesellschaft (Littorello-Eleocharitetum acicularis MALCUIT 1929) unter dem Begriff Strandrasen zusammengefasst.

Die ersten Angaben zu einzelnen typischen Arten des Bodensee-Kiesufers reichen bis ins 18. Jahrhundert zurück (z. B. ROTH VON SCHRECKENSTEIN, 1799; HÖFLE, 1850). Aber es waren erst SCHRÖTER und KIRCHNER (1902) sowie Schröters Doktorand BAUMANN (1911), die den amphibischen Charakter der Strandrasen beschrieben und deren Reliktcharakter erkannt haben.

2 ARTZUSAMMENSETZUNG

Die Charakterarten der Assoziation sind Strandschmiele (*Deschampsia littoralis var. rhenana*), Bodensee-Vergissmeinnicht (*Myosotis rehsteineri*), Bodensee-Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia ssp. amphibia*) und Purpur-Grasnelke (*Armeria purpurea*).

Die beiden Letztgenannten gelten als Glazialrelikte (LANG, 1967) und sind seit ca. 1970 verschollen bzw. ausgestorben. Mit *Littorella uniflora* (Strandling; Abb. 1) und *Ranunculus reptans* (Ufer-Hahnenfuss) kommen weitere in Süddeutschland, Österreich und der Schweiz seltene Arten vor. Sie sind Charakterarten der Klasse Littorelletea. Typische Begleitarten sind die Süssgräser Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Ausläufer-Straussgras (*Agrostis stolonifera*), die Sauergräser Schlank-, Steif-, Hirsen- und Späte Gelbsegge (*Carex acuta*, *C. elata*, *C. panicea*, *C. viridula*), Glieder- und Alpenbinse (*Juncus articulatus, J. alpino-articulatus*) sowie die krautigen Arten Schnittlauch (*Allium schoenoprasum*), Sumpf-Labkraut (*Galium palustre ssp. caespitosum*) und Wiesen-Schaumkraut (*Cardamine pratensis*). Als sehr seltene Begleitarten kommen noch der Bunte Schachtelhalm (*Equisetum variegatum*) und die Salzbunge (*Samolus valerandi*) vor.

3 STANDORTSBEDINGUNGEN – ANPASSUNGEN

Die Strandschmielen-Gesellschaft wächst meist auf einem grobkiesigen Substrat. Die Wuchsorte sind nur flach geneigt; im Schnitt beträgt das Gefälle ca. 1:20 (STRANG und DIENST, 2004). Sie werden in der Regel von Mai bis August überschwemmt. Die Wasserstandsganglinien sind allerdings von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich. So wurden beispielsweise im Jahr 2003 die höher gelegenen Strandrasenbereiche überhaupt nicht überschwemmt. In Ausnahmejahren (z. B. 1999, 2002) können die Strandrasen über 6 Monate unter Wasser stehen.

An die extremen Bedingungen des Überschwemmungsbereiches sind die Strandrasenarten durch verschiedene Strategien angepasst. Der niedrige Wuchs ermöglicht eine gewisse Resistenz gegenüber mechanischen Belastungen wie Wellenschlag und Tritt. Durch eine frühe Blüte kann die Samenbildung in günstigen Jahren schon vor der sommerlichen Überschwemmung abgeschlossen werden. Bei den meisten



Abb. 1. Strandrasen bei Münsterlingen mit einem besonders schön ausgebildeten Strandlings-Bestand; 3. 9. 2003.

Arten, besonders beim Ufer-Hahnenfuss, kommt es auch nach der Überschwemmung nochmals zu einer Blüte. Die vegetative Vermehrung ist bei sämtlichen Arten mehr oder weniger stark ausgeprägt und ermöglicht ihnen eine Ausbreitung auch ohne Samenbildung. Eine spezielle Anpassung zeigt die pseudovivipare Strand-Schmiele. Anstelle der Blüten treibt sie gleich junge Pflänzchen aus. Diese lösen sich von der Rispe und wurzeln an geeigneter Stelle, um dann zu neuen Grashorsten heranzuwachsen.

4 STARKER RÜCKGANG IM 20. JAHRHUNDERT

In den letzten 100 Jahren dürfte der Rückgang der Strandrasen-Bestände etwa 80–85% betragen haben (STRANG und DIENST, 1995). Neben Uferverbau, Eutrophierung und Intensivierung der Freizeitaktivitäten ist hierfür auch die Tatsache verantwortlich, dass die Bestandsdichte des Schilfröhrichts durch Nährstoffanreicherung und wegfallende Mahd zunahm und den kleinwüchsigen Arten eine Koexistenz verwehrte, wie sie noch LANG (1967, 1973) für die 1950er Jahre beschrieben hat.

Die neueste Darstellung über den Rückgang der Deschampsietum-Charakterarten liefern DIENST et al. (2004). Sowohl Bodensee-Vergissmeinnicht wie auch die Strand-Schmiele weisen derzeit mit je 29 beständigen Fundorten nur noch ca. 20% der Fundorte wie vor 100 Jahren auf. Die Strand-Schmiele besitzt ihre besten Wuchsorte am westlichen Bodensee. Beim Bodensee-Vergissmeinnicht lassen sich die grössten Bestände am Gnadensee, bei Konstanz-Wallhausen, zwischen Münsterlingen und Güttingen sowie westlich Bregenz und bei Wasserburg nachweisen. Beide Arten wuchsen früher auch vereinzelt am östlichen Hochrhein (BAUMANN, 1911).

Besonders gut ist der Rückgang des Strandlings am Untersee dokumentiert. STRANG und DIENST (1995) vergleichen Erhebungen von 1991 mit einer detaillierten Karte von BAUMANN (1911) und stellen fest, dass die Fundpunkte auf unter 10% zurückgegangen sind. Interessant ist die Tatsache, dass der Strandling derzeit viele Kiesuferabschnitte besiedelt, die Anfang des letzten Jahrhunderts offensichtlich so arm an Feinsedimenten waren, dass dort überhaupt keine amphibischen Pflanzen wachsen konnten. Dies betrifft vor allem Hornlagen.

5 AKTUELLE POPULATIONSDYNAMIK

Genauere Monitoring-Untersuchungen seit 1983 haben ergeben, dass die Strandrasen eine hohe Dynamik aufweisen. Ihre Bestände verändern sich schnell; hierfür verantwortlich sind in erster Linie Wasserstandsextreme. So bewirken Niedrigwasserjahre, also Jahre in denen die sommerliche Überschwemmung nicht stark ausgeprägt ist (z. B. 1989 bis 1991, 2003), dass sich die Strandrasen zum Teil mehrere Meter seewärts bis unter die Mittelwasserlinie verlagern können. Bei einem starken Hochwasser (z. B. 1999, 2002) ist es umgekehrt: die tief gelegenen Pflanzen sterben ab; wobei offensichtlich eher die Dauer als die Höhe einer Überschwemmung entscheidend ist. Im Prinzip wandern also die

Strandrasen je nach Wasserstand nach unten (seewärts) oder nach oben (landwärts). Dabei bewegen sich sowohl die Strandrasenarten Bodensee-Vergissmeinnicht (Abb. 2), Strand-Schmiele, Strandling und Ufer-Hahnenfuss wie auch ihre Begleitarten in die selbe Richtung. Obwohl die Wasserstandsschwankungen dem natürlichen Standort entsprechen und die Strandrasen daran nicht nur angepasst, sondern sogar darauf angewiesen sind, sind die Strandrasen aufgrund anthropogener Veränderungen doch stark gefährdet. Die Bestände sind – wie in Kapitel 4 bereits erläutert – im letzten Jahrhundert sehr stark zurückgegangen, und die verbliebenen Restpopulationen reagieren weitaus empfindlicher auf natürliche Stressoren. Dies ist vor allem bei der pseudoviviparen Strand-Schmiele (Abb. 3) deutlich festzustellen. Deren Bestände sind in den 1990er Jahren bodenseeweit zurückgegangen, während sich Bodensee-Vergissmeinnicht, Strandling und Ufer-Hahnenfuss aufgrund günstiger hydrologischer Verhältnisse und Pflegemassnahmen teilweise deutlich vermehren konnten.

Ein weiteres Problem ist die Eutrophierung des Standorts seit etwa 1960. Obwohl beispielsweise die Phosphatwerte im Freiwasser des Bodensees seit den 1980er Jahren wieder zurückgehen, ist bei den Sedimenten noch keine merkliche Entlastung zu spüren. Dies dürfte ein Grund für das Auftauchen der Schlank-Segge (*Carex acuta*) sein. Diese ausläuferbildende Art fehlte noch in den Vegetationsaufnahmen von LANG (1967, 1973); inzwischen ist sie die stärkste Konkurrenzart der Strandrasen geworden. Selbst das Extremhochwasser von 1999 hat der Schlank-Segge nur wenig geschadet. So ist es seit den 1980er Jahren zu einem deutlichen Verdrängungseffekt gekommen. Durch die Zunahme der Schlank-Segge ist die seewärtige Verlagerung vermutlich nicht ganz reversibel, das heisst die Strandrasenarten können sich in Hochwasserperioden nicht so ohne weiteres wieder landwärts bewegen (DIENST et al., 2003; STRANG und DIENST, 2004; DIENST et al., 2004; PEINTINGER et al., 1997).

Für das Bodensee-Vergissmeinnicht wurde ein genaueres Monitoring durchgeführt (PEINTINGER, in Vorb.; DIENST und STRANG, 2002). Hierbei wurde festgestellt, dass *Myosotis rehsteineri* nur eine Überschwemmungszeit von ca. 5 Monaten erträgt. Kommt es zu besonders frühen Hochwässern, unterbleibt die Samenbildung, und die Art ist auf die vegetative Vermehrung angewiesen, denn nach dem Hochwasser blüht das Bodensee-Vergissmeinnicht nur wenig. Sollte eine Klimaveränderung dahingehend eintreten, indem die Hochwässer durch einen milderen Spätwinter immer früher eintreten, wäre das für diese vom Aussterben bedrohte Art sehr nachteilig.



Abb. 2. Einer der grössten Bestände des Bodensee-Vergissmeinnichts, östlich Landschlacht; 21. 4. 2004.

6 SCHUTZMASSNAHMEN

Durch die Natur- und Heimatschutzgesetze der drei Anrainerstaaten stehen die Strandrasen mit ihren gefährdeten Arten im Prinzip überall unter Schutz – auch ohne dass spezielle Naturschutzgebiete ausge-



Abb. 3. Strandschmielen-Gesellschaft östlich Landschlacht mit viel Strand-Schmiele (niedere Grasbüschel) und Steif-Segge (Horste); 21. 5. 2003.

wiesen werden. Eine besondere Qualität besitzt hierbei die FFH-Richtlinie der Europäischen Union für das deutsche und österreichische Bodensee-ufer, nach der grosse Uferbereiche unter Schutz stehen. Betroffen ist im Uferbereich der Lebensraumtyp «3130 Nährstoffarme bis mässig nährstoffreiche Stillgewässer» mit der Gesellschaft Deschampsietum rhenanae OBERD. 57 bzw. dem Bodensee-Vergissmeinnicht als Art des Anhangs II. Für die FFH-Gebiete besteht ein Verschlechterungsverbot. Die Arten des Anhangs II sind von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen (SSYMANK et al., 1998: 388). Aber auch die Schweiz bzw. der Kanton Thurgau sind sich der besonderen Verantwortung für die Strandrasen bewusst. So werden seit 1994 jedes Jahr Kontrollen, Pflegemassnahmen und Monitoring-Untersuchungen an den Thurgauer Strandrasen durchgeführt.

Kontrollen und Pflegemassnahmen werden auch in Baden-Württemberg regelmässig durchgeführt. Die wichtigsten Strandrasen werden vor und nach dem Hochwasser kontrolliert, also in der Regel zwischen April und Juni und zwischen September und November. Beim Zurückweichen des Hochwassers muss darauf geachtet werden, dass nicht zu viel Schwemmgut auf den kleinwüchsigen Strandrasen liegen bleibt. Dies sind meist Reste von absterbenden Wasserpflanzen, aber auch Holz in jeder Grösse, das besonders in Bayern – vom Alpenrhein stammend – anfällt; auch Schlick, Sand und Kies bedecken gelegentlich die Strandrasen und sollte dann entfernt werden. Eine weitere Pflegemassnahme ist das Zurückdrängen von Konkurrenzpflanzen durch Jäten oder Mahd. Eine sehr wichtige Schutzmassnahme ist die gezielte Information von Gemeinden, Grundstücksbesitzern und Ufernutzern. Denn nicht selten wird die wertvolle Ufervegetation aus Unwissenheit zerstört. Neben Trittschäden oder Lagerfeuern können sich vor allem auch Bootsbewegungen am Ufer sehr negativ auf die Vegetation auswirken. Werden sie ungünstig ausgeführt, werden nicht nur die Pflanzen direkt geschädigt, sondern auch das Bodensubstrat gestört, was zu grossflächigen Erosionen führen kann.

Eine konkrete Massnahme zur Erhaltung der vom Aussterben bedrohten Uferpflanzen ist deren Kultivierung. Mit einer gezielten Erhaltungskultur wurde 2004 im Botanischen Garten der Universität Konstanz begonnen. Hierbei legte man nicht nur Wert auf die Haltung aller typischen Strandrasen-Arten, sondern auch auf deren Herkunft von verschiedenen Fundorten am ganzen Bodensee.

7 PERSPEKTIVE

Die Strandschmielen-Gesellschaft ist endemisch für den Bodensee und verdankt ihr Überleben besonders den natürlichen Wasserstandsschwankungen. Uferverbauungen, verstärkte Ufernutzung, dichtere Röhricht-Bestände und Eutrophierung haben im 20. Jahrhundert ihre

Bestände stark dezimiert. Verbesserter Uferschutz, regelmässige Kontrollen der Restbestände, bessere Information der Ufernutzer und -nutzerinnen haben zu einer Konsolidierung der Strandrasen auf einem Niveau von 15–20% der ursprünglichen Vorkommen geführt. Durch das Aufkommen der «neuen» Konkurrenzpflanze Schlank-Segge und dem gehäuften Auftreten von aussergewöhnlichen Wasserstandsvariationen sind die geringen Restvorkommen trotzdem aktuell gefährdet. Sie bedürfen weiterer Kontrollen und etwaiger Pflegemassnahmen. Ein verbessertes Monitoring-Programm kann helfen, ihre Ökologie besser zu verstehen und auf eventuelle Störungen gezielter zu reagieren.

8 LITERATUR

BAUMANN, E. 1911. Die Vegetation des Untersees (Bodensee). Archiv für Hydrobiologie, Supplement 1, 1–554.

DIENST, M. & STRANG, I. 2002. Endemische Strandrasenarten des Bodensees: *Deschampsia rhenana*, *Myosotis rehsteineri* und *Armeria purpurea* – Untersuchungen, Pflege- und Schutzmassnahmen. Schriftenreihe für Vegetationskunde 36, 85–91.

DIENST, M., STRANG, I. & SCHMIEDER, K. 2003. Auswirkungen extremer Wasserstände auf die Ufervegetation des Bodensees. Natur + Mensch 6, 12–19.

DIENST, M., STRANG, I. & PEINTINGER, M. 2004. Entdeckung und Verlust botanischer Raritäten am Bodensee – das Leiner-Herbar und die Strandrasen. Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschlands, Beiheft 1, 209–230.

HÖFLE, M. 1850. Die Flora der Bodenseegegend mit vergleichender Betrachtung der Nachbarfloren. Erlangen, 175 pp.

LANG, G. 1967. Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. Archiv für Hydrobiologie, Supplement 32, 437–574.

LANG, G. 1973. Die Vegetation des westlichen Bodenseegebiets. Pflanzensoziologie 17, 1–451.

PEINTINGER, M., STRANG, I., DIENST, M. & MEYER, C. 1997. Veränderung der gefährdeten Strandschmielengesellschaft am Bodensee zwischen 1989 und 1994. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 6, 75–81.

PEINTINGER, M. in Vorb. Populationsdynamik des endemischen Bodensee-Vergissmeinnichts (*Myosotis rehsteineri*) – eine Dauerflächenuntersuchung 1989–2000.

ROTH VON SCHRECKENSTEIN, F. 1799. Verzeichnis sichtbar blühender Gewächse, welche um den Ursprung der Donau und des Neckars, dann um den unteren Theil des Bodensees vorkommen. Winterthur, 50 pp.

SCHRÖTER, C. & KIRCHNER, O. 1902. Die Vegetation des Bodensees. Schriften des Vereins für die Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 31, 1–86 (Beilagen).

SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, C. & SCHRÖDER, E. 1998. Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 53, 1–560, I–XVI, 1 Anh.

STRANG, I. & DIENST, M. 1995. Zur Ökologie und aktuellen Verbreitung der Strandschmielen-Gesellschaft (Deschampsietum rhenanae) am Bodensee. Schriften des Vereins für die Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 113, 175–196.

STRANG, I. & DIENST, M. 2004. Die Auswirkungen der Wasserstände am Bodensee auf das Deschampsietum rhenanae zwischen 1989 und 2003. Limnologica 34 (1–2), 22–28.

Diplom-Biologe Michael Dienst, Arbeitsgruppe Bodenseeufer, Heroséstrasse 18, D-78467 Konstanz
E-Mail: michaeldienst@ds-konstanz.de

Diplom-Biologin Irene Strang, Eschenweg 17, D-78479 Reichenau
E-Mail: irene.strang@bodensee-ufer.de

Das Schicksal der Röhrichte am Bodensee 40 Jahre Schilfbeobachtung

Frank Klötzli (Wallisellen)

1 VORGESCHICHTE

Die Geschichte fängt mit einem Anruf an: «In Altenrhein ist ein merkwürdiges Geschehen im Gange. Viele Schilfhalme zeigen sich nur noch als Stoppeln, viele sind abgerissen oder geknickt. Ganze Büschel von Algen hängen an den Halmen. Aber vielleicht sind die hohen Schwanenbestände daran schuld!? Ich glaube, dass hier eine neue Erscheinung aufgetreten ist! Ja, können Sie an den Bodensee kommen? Wir könnten das Röhricht zusammen anschauen (....).» Und so kam es dann zum ersten Augenschein. Der damalige Gesprächspartner war der bekannte Präsident des Schweizer Naturschutzbundes und Gymnasiallehrer Professor Dr. W. Plattner. Eine längere Untersuchung hatte begonnen: Thema war ein Krankheitsgeschehen an Seeufer-Röhrichten, das sog. «Schilfsterben». Denn gesundes, wüchsiges Röhricht (Abb. l) hat nicht nur eine grosse Bedeutung als Uferschutz, sondern auch als Habitat für eine ganze Anzahl Fische und Vögel (s. GROSSER et al., 1995; KLÖTZLI und GRÜNIG, 1976; KLÖTZLI und ZÜST, 1973). Also musste eine Diagnose dieses Geschehens eingeleitet werden.



Abb. l. Gesunder Schilfbestand. Altlauf des Tessins bei Magadino. V/1998.



Abb. 2. Grossflächige Stoppelfelder – «Schilfsterben» am Bodensee-Untersee bei Triboltingen/TG. Restbestand und eingezäunte/überdachte Versuchsfläche. VI/1976.

Auf den ersten Blick erkannte man die folgenden Symptome:

- Stoppelfelder, bis über 100 m tief (Abb. 2)
- geknickte, algenbehangene Halme mit wenig Blüten (Abb. 3c)
- scharfe Bestandesränder (Treibzeugwirkung Abb. 3b, 3c)
- Auflösung der Bestände nur im seewärtigen, limnischen Teil, kein Rückgang im trockeneren, terrestrischen Teil
- seewärts: kaum noch Halme
- landwärts: Lochbildung nur im limnischen Teil (Abb. 3d)
- kaum Rückgang in flachen Mulden im landwärtigen Schilf.

Es stellte sich somit von Anfang an heraus, dass zum Schadbild nicht nur Stoppelfelder gehörten, sondern veränderte Strukturen im gesamten Bestand (Abb. 4a, 4b). Zu den obigen Angaben gesellten sich noch weitere neue Erscheinungen, so z. B. ein starker Rückgang des Festigungsgewebes (des Sklerenchymanteils) im Halm-Querschnitt im stärker versteiften unteren Drittel des Halmes. Aber besonders auffällig war der Geruch in den abgestorbenen Rhizomen

in den Stoppelfeldern, ein Geruch, wie er sich in Kulturen von Clostridium-Bakterien nachweisen lässt. Als Ganzes zeigte sich tatsächlich ein Krankheitsbild, das «Schilfsterben». Teilweise wenigstens traten diese Symptome zusammen mit Lochbildungen in solchen «kranken» Beständen auf. Aber solche waren auch von ziemlich ungestörten Seen in Schweden, im Baltikum und in Irland bekannt. Auch am Bodensee erschien ein solches Loch (ab ca. 1960) bei Altenrhein, das sich in ca. 5 Jahren auf über 100 m Längs-Durchmesser vergrösserte, in den folgenden 10–15 Jahren sich aber wieder schliessen konnte (Abb. 3d). In der Zwischenzeit stellte sich gelegentlich eine Pionier-Vegetation ein (Abb. 5).

2 EINBLICK IN DIE ERFORSCHUNG DES «SCHILFSTERBENS»

Um den Ursachen dieses oft unaufhaltsamen und zum Teil irreversiblen Rückgangs auf die Spur zu kommen, konnte man sich zunächst fragen, **warum** die Umweltsituation für solche Röhrichtbestände neu war, und zwar so entscheidend neu, dass sie nicht mehr verkraftet, nicht mehr abgewehrt, ihr nichts mehr entgegengestellt werden konnte. Neu für die Situation in den 60er Jahren war z. B. die stark gestiegene Population an gewissen Seevögeln, so z. B. an sprossfressenden Höckerschwänen.

An direkt wirksamen menschlichen Einflüssen war die Zunahme des Abfalls im See zu prüfen, die stark gestiegenen Treibzeug-Gewichte und die Verflechtung mit Fadenalgen und Wasserpflanzen (z. B. verschiedene Laichkräuter; Abb. 3a–c). Diese Änderungen sind bedingt durch die Zunahme an eingeschwemmten Nährstoffen (Bornkamm und Raghi-Atri, 1986; Klötzli und Grünig, 1976; Klötzli, 1986; Lehn, 1991; Kickuth, 1969; Ostendorp, 1988). Gedacht werden musste auch an den zunehmenden Uferverbau, die damit verbundene Veränderung von Akkumulations- und Erosionsufern bzw. auch die Veränderung von seeeigenen Strömungsbildern und an Hochwasser-Auswirkungen (Aichauer und Grabher,

Abb. 3a–d. Belastungen von Schilfbeständen. ETH-Versuchsgelände Altenrhein/SG:



Abb. 3a. Algenbehang. VI/1973.



Abb. 3b. Detrituswälle. VI/1973.



Abb. 3c. Treibzeug. III/1973.



Abb. 3d. Lochbildung im Bestandesinnern. VII/1972.

2004). An ein systeminternes Krankheitsgeschehen mit physiologischen (Brändle et al., 1995) und histologischen (Tobler, 1943; Klötzli, 1971; Guntli, 1989) Faktoren wurde noch nicht gedacht. In der Literatur waren noch keine Angaben zu finden, die auf ähnliche Vorgänge in vergangenen Zeiten schliessen liessen (Björk, 1967; Haslam, 1973; Hürlimann, 1951; Jeschke, 1976; Lang, 1968; Sukopp und Kunick, 1968; Sukopp und Markstein, 1981).

Eine stärkere Einengung all dieser Faktoren ergab sich durch den Vergleich mit den Verhältnissen an den anderen grösseren perialpinen Seen. Aber auch kleinere Gewässer wurden kontrolliert. Unter allen möglichen Umständen erhaltene Ergebnisse zum Schilfrückgang inkl. der Alpensüdseite und aus den umliegenden Ländern erlaubte die Bezeichnung möglicher einschneidend wirkender Faktoren, die sich mit Sicherheit in den letzten Jahren verändert hatten. Eine Gesamtbetrachtung ergab schliesslich (und naheliegenderweise) die Nährstoff-Überflutung vieler Seen, ihre Eutrophierung (Bornkamm und Raghi-Atri, 1986; Klötzli und Grünig, 1976; Klötzli, 1986; Lehn, 1991; Kickuth, 1969; Ostendorp, 1988). Diese hatte vordergründig eine Schwächung des Sklerenchym-Gehalts (Raghi-Atri und Bornkamm, 1980; Klötzli, 1971; Klötzli und Grünig, 1976) im Halmgewebe bewirkt, aber auch eine deutlich stärkere Getreibsel-Belastung und einen wirksameren Algenbehang (Harris, 1971; Ozimek et al., 1991). Damit verbunden war eine stärkere Beeinflussung der Röhrichte durch mechanische (und teilweise physiologische) Faktoren. Die Belastbarkeit der Halme, namentlich bei schnell steigenden Gewässerspiegeln, wurde überschritten. Ausserdem entstand der Clostridium-Geruch in den faulenden Rhizomen nur an nährstoffbelasteten Seeufern, und dann nur im limnischen Bereich. Terrestrisches Schilf zeigte keine Rückzugs-Erscheinungen. Im Übrigen konnte eine Schädigung der Halme auch an oligotrophen Seen nachgewiesen werden, wenn der Seespiegel in Frühjahrs-Monaten stark stieg. Falls weniger als 3–4 Blätter aus dem Wasser ragten, wurden die Bestände – je nach Dauer und Jahreszeit – «ertränkt», eine Erscheinung, die mit und ohne Algenbehang oder Getreibsel-Belastung zu beobachten war (Klötzli und Grünig, 1976; Ostendorp, 1993; Ostendorp und Krumscheid-Plankert, 1993; Sukopp und Krauss, 1990; Binz, 1989; Pries, 1985).

So oder so führt die Kopplung von Treibzeug- und Algen-Behang (Harris, 1971; Ozimek et al., 1991) zu mechanischer Überbelastung im eutrophen Milieu und, wie nachgewiesen werden konnte, schliesslich zu toxischen Wirkungen aus dem Detritus aus sich zersetzendem pflanzlichem Material. Diese Erscheinung zeigt sich auch hinter Schilfschutzzäunen (Abb. 4a, 4b). Auch unter solchen Bedingungen kommt es zum Absterben der Bestände, bzw. zum «Schilfsterben».

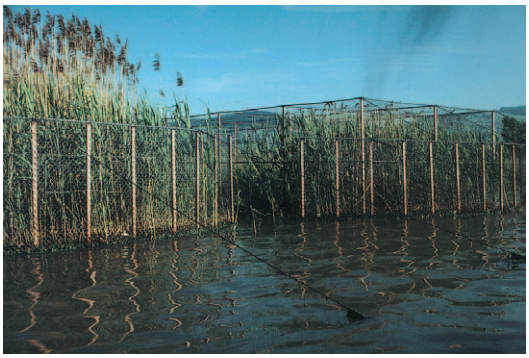


Abb. 4a. Versuchsfläche Altenrhein/SG. Anfänglich noch intakte Schilfbestände hinter Wellenschutz und Einzäunung. VI/1973.



Abb. 4b. Versuchsfläche Altenrhein/SG. Über Rhizomstränge eindringendes Schilfsterben. VII/1977.

3 SCHUTZ UND RENATURIERUNG DER BESTÄNDE

Bereits 1965 wurden im Versuchsfeld Altenrhein Schilfschutzzäune errichtet, um die Gewichte der direkten Nährstoff-Wirkungen von den mechanischen Wirkungen trennen zu können. In der überdachten Einzäunung ging der Rückzug weiter, falls die Veralgung und Absetzung von Detritus stattfinden konnte (KLÖTZLI und GRÜNIG, 1976; Abb. 4b).

In der Folge wurden andernorts weitere kontrollierte Schutzzäune errichtet, dies bei verschiedener Nährstoffbelastung. Gleichzeitig wurden aber auch die Seen mit Ringleitungen vielerorts saniert. In den 80er Jahren wurde ein speziell angepasster Schutzzaun bzw. eine schwimmende Sperre bei Altenrhein (nach dem Bauprinzip von Dr. Ing. H.R. Binz) errichtet. Dieser moderne Typus, der grösstenteils Ge-



Abb. 5. Ersatz-Vegetation anstelle von Schilfbeständen, Versuchsgelände Altenrhein. VII/1973. Gift-Hahnenfuss dom. *(Ranunculus sceleratus)*, Quellgras *(Catabrosa aquatica)*, Sumpf-Rispengras *(Poa palustris)*.



Abb. 6. Schilfschutz und Schilfanbau im Pfäffikersee bei Seegräben/ZH. VII/1982.



Abb. 7. Langsam sich erholender Bestand mit seewärts vorrückenden kräftigen Sprossen. Im Hintergrund Schilfschutz-Zaun nach BINZ (Abwehrwirkung gegen Treibzeug mit vom Seespiegel abhängigen Blenden). Altenrhein. IX/1996.

treibsel abhält und Wellenenergie aufnimmt, zeitigte erstaunliche Resultate: Nach ca. 5 Jahren zeigten die geschützten Bestände erstmals wieder eine Transgression der Bestände (BINZ, 1989; KLÖTZLI und ZÜST, 1973; SUKOPP und KRAUSS, 1990; SUKOPP, 1973; OSTENDORP und KRUMSCHEID-PLANKERT, 1993; Abb. 6 und 7).

4 DIE INTERNATIONALE FORSCHUNG IN DER UFER-VEGETATION

Internationale Kontakte zwischen den Nachbarländern und im Rahmen von Unesco-Anlässen zu Problemen des Gewässerschutzes liessen in der Folge die Ähnlichkeit der Symptome erkennen, und die Möglichkeiten einer Sanierung bei Krankheiten der Gewässer-Vegetation wurden geprüft. (ANON., 1971; ANON., 1973; CIZKOVA et

al., 1996; GROSSER et al., 1995; GÜSEWELL und KLÖTZLI, 2000; VAN DER PUTTEN, 1997).

Insbesondere im Verbund der Bodenseeanlieger Deutschland, Österreich, Schweiz, dem «DACH»-Verband der 70er bis 90er Jahre wurde ein reger Gedankenaustausch betrieben (vgl. auch Beitrag SIESSEGGER und TEIBER in diesem Buch). Auf jährlich stattfindenden Exkursionen an perialpinen Seen, aber mit Schwergewicht am Bodensee, wurde Ähnlichkeit und Variabilität im Geschehen um das Schilfsterben festgestellt.

Erst in den späten 80er Jahren erkannte man auch die rein physiologischen Merkmale und Vorgänge in solchen Beständen (ARMSTRONG et al., 1996; BLOM, 1999; BRÄNDLE, 1996; CIZKOVA et al., 1996; CRAWFORD und BRÄNDLE, 1996; ERNST, 1990; HUNGATE, 1985; LYNCH, 1978; IPSEN, 2000; KLÖTZLI, 2000). In dieser Zeit ging IPSEN (2000) den Fragen über mögliche aus dem Detritus entstehende Toxine nach und entdeckte dabei in Zusammenarbeit mit Roland Schröder und dem Autor die Auswirkungen einer Reaktionskette, die zum Absterben ganzer Bestände führen kann. In diesem Zusammenhang erhellt sich auch das Wirken der bestandeseigenen Abfälle einschliesslich des Algenbehangs und die Auslösung der Rhizomfäule (BJÖRK, 1967; HASLAM, 1973; HÜRLIMANN, 1951; LANG, 1968; SUKOPP und KUNICK, 1968).

5 DIE (ÖKO-)PHYSIOLOGIE DER RHIZOMFÄULE

Die Arbeit von IPSEN (2000) zeigt, dass bei der Schilffäule eine komplexe Reaktionskette abläuft, die bis weit in den mikrobiellen und biochemischen Bereich hineinreicht. Entscheidend ist hierbei, dass es im Substrat beim Anfall grosser Mengen an organischem Material wie Detritus- und Algenwatten zu anoxischen Bedingungen und damit zu Gärprozessen kommt. Durch diese Gärprozesse entstehen Abbauprodukte mit phytotoxischer Wirkung (Ammoniak, Essigsäure, Sulfide; teilweise Detoxifizierung zu Aminosäuren, ATP-Derivaten, Thiolen). Diese Phytotoxine werden im Substrat verlagert, über das Rhizom von der Schilfpflanze aufgenommen und führen dort zu weiteren Gärprozessen (PATRICK et al., 1964; HARRIS, 1971; YOSHIDA, 1975; LYNCH, 1990; OZIMEK et al., 1991; ARMSTRONG et al., 1996). In der Pflanze werden zunächst die Feinwurzeln des Rhizoms geschädigt. SCHRÖDER (1987) hat darauf hingewiesen, dass sich an geschädigtem Schilf oft die Wurzelspitze (Calyptra) ablöst. Der Prozess geht aber noch wesentlich weiter. Die Giftstoffe gelangen in den Halm und akkumulieren sich teilweise um die Spaltöffnungen der Blätter. Sie bedingen eine Schädigung des Durchlüftungsgewebes (Aerenchym) z. T. unter Callus-Bildung (Lignifizierung, Verkorkung), was den Gasaustausch hemmt. In der Folge erscheinen Schädigungen an den Schliesszellen der Spaltöffnungen. Hierdurch kommt es zu einem Turgorverlust in den Zellen, zum Zu-

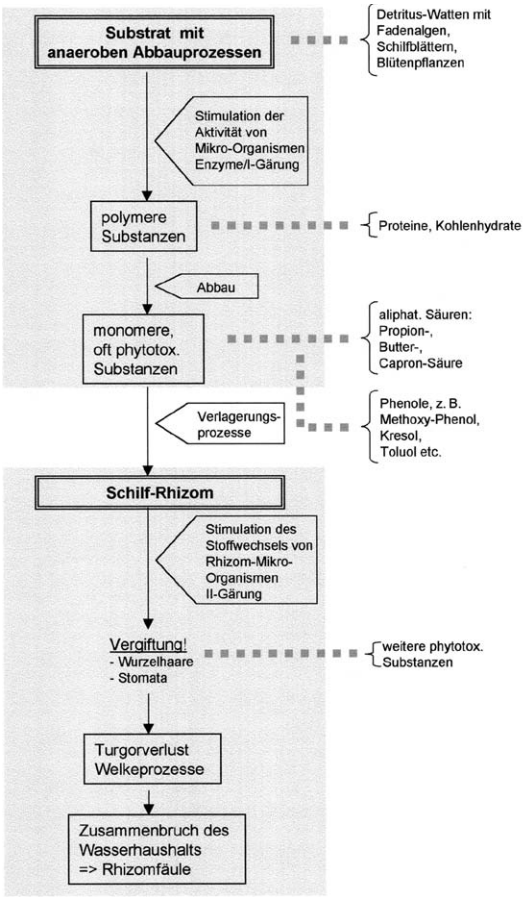


Abb. 8. Reaktionskette beim «Schilfsterben» (nach IPSEN, 2000, und KLÖTZLI, 2000, verändert).

sammenbruch des Wasserhaushaltes und zur Rhizomfäule, worauf die Pflanze zu welken beginnt. Der Angriff der Toxine erfolgt also auf zwei Wegen, einmal im Rhizombereich, aber auch im Blatt- und Blütenbereich. Die Folge ist eine allgemeine Vergiftung der Pflanze. Mittels GCMS konnte nachgewiesen werden, dass insbesondere bestimmte Phenolkörper wie das Methoxy-Phenol für die Vergiftung verantwortlich sind (ROVIERA und MCDOUGALL, 1967; IPSEN, 2000; Abb. 8).

Es ist also festzustellen, dass sehr viele unterschiedliche Vorgänge aus dem mechanischen und chemischen Bereich beim Schilfrückgang eine Rolle spielten, insbesondere in den limnischen Beständen (Eutrophierung, phytotoxische Substanzen, Schadorganismen usw.).

Als Konsequenz dieser neuen Erkenntnisse wurden im Bereich der DACH-Gruppe weitere Schutz- und Renaturierungs-Massnahmen ergriffen. Während man im Schweizer Mittelland eher Schutzzäune errichtet hat und sich weniger mit Renaturierungen («Revitalisierungen») einliess, entwickelte man am deutschen Ufer des Bodensees in grossem Massstab Renaturierungen mit neuen originellen und hoffnungsvollen Ansätzen (s. Renaturierungs-Verfahren im Beitrag SIESSEGGER und TEIBER). Auf diese Weise konnten vielerorts die zerfallenden Bestände wieder aufgebaut werden.

Auf der Schweizer Seite bei Altenrhein kann man immer noch die Wirkung des Binz'schen Schutzzaunes verfolgen. Und man freut sich auch hier ob den Eigenheiten der Schilfbestände, die mit etwas Beihilfe wieder Fuss fassen können.

6 LITERATURVERZEICHNIS

ANON. 1971. Biological Productivity of Aquatic and Swamp Macrophytes. Symposium September 1970. IBP und IHD (Unesco). Hydrobiologia 12.

ANON. 1973. Symposium May 1972. IBP (Unesco). Polish Archive Hydrobiology 20 (l).

ARMSTRONG, J., ARMSTRONG, W. & VAN DER PUTTEN, W. H. 1996. Phragmites dieback: bud and root death, blockages within the aeration and vascular Systems and the possible role of phytotoxins. New Phytologist 133 (3), 399–414.

ASCHAUER, M. & GRABHER, M. 2004. Veränderungen im Schilfgürtel des Naturschutzgebietes Rheindelta im Zeitraum 1994 bis 2001. Vierteljahrsschrift Rheticus-Gesellschaft 3, 25–31.

BINZ, H. R. 1989. Mechanische Belastbarkeit natürlicher Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zürich, 101, 536 pp.

BJÖRK, S. 1967. Ecologic investigations of *Phragmites communis*. Folia limnologica scandinavica 14, 248 pp.

BLOM, C. W. P. M. 1999. Adaptions to Flooding Stress: From Plant Community to Molecule. Plant Biology l, 261–273.

BORNKAMM, R. & RAGHI-ATRI, F. 1986. Über die Wirkungen unterschiedlicher Gaben von Stickstoff und Phosphor auf die Entwicklung von Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steudel. Archiv Hydrobiologie 105 (4), 423–441.

BRÄNDLE, R. 1996. Überflutung und Sauerstoffmangel. In: «Stress bei Pflanzen», CH. BRUNOLD, A. RÜEGSEGGER & R. BRÄNDLE, pp. 133–148. Verlag Paul Haupt, Bern.

BRÄNDLE, R., CLZKOVA, H. & POKORNY, J. 1995. Adaptation Strategies in Wetland Plants: Links between Ecology and Physiology. Symposium Trebon (CZ), Sept. 1994. Special Features of Vegetation Science 10. Opulus Press, Uppsala.

CIZKOVA, H., STAND, J. & LUKAVSKA, J. 1996. Factors associated with reed decline in a eutrophic fishpond. In: «Adaptation Strategies in Wetland Plants», R. BRÄNDLE, H. CIZKOVA & J. POKORNY eds, pp. 79–90. Opulus Press, Uppsala.

COLBERG, P.J. 1988. Anaerobic microbial degradation of cellulose, lignin, oligolignols, and monoaromatic lignin derivatives. In: «Biology of Anaerobic Microorganisms», A. J. B. ZEHNDER ed, pp. 333–372. John Wiley and Sons Inc., New York.

CRAWFORD, R. M. M. & BRÄNDLE, R. 1996. Oxygen deprivation stress in a changing environment. Journal Experimental Botany 47, 145–159.

ERNST, W. H. O. 1990. Ecophysiology of plants in waterlogged and flooded environments. Aquatic Botany 38, 73–90.

GROSSER, S., VEIT, E. & MELZER, A. eds, 1995. Röhricht – Bedeutung einer Pflanzengesellschaft in Ökologie und Technologie. Röhricht-Workshop Iffeldorf (D), Sept. 1995. Mskr. Progn Limnologische Station Iffeldorf.

GÜSEWELL, S. & KLÖTZLI, F. eds, 2000. Terrestrial and Limnic Reed Stands. A Comparision, an Appreciation. In: «Wetland Ecology». Symposium Halbinsel Au/Zürich (CH), Oct. 1998.

GUNTLI, A. P. 1989. Ligningehalt und andere Merkmale des Schilfhalmes in Beziehung zur Röhrichtbewirtschaftung. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rubel, Zürich 103, 65 S.

HARRIS, E. O. 1971. Growth Inhibitors produced by the green algae (*Volvocaceae*). Archiv für Mikrobiologie 76, 47–50.

HASLAM, S. M. 1973. Some aspects of the live history and autecology of *Phragmites communis* Trin. Polish Archive Hydrobiology 20, 79–100.

HUNGATE, R. E. 1985. Anaerobic Biotransformation of Organic Matter. In: «Bacteria in Nature», E. R. LEADBETTER & J. S. POINDEXTER eds, pp. 39–88. New York.

HÜRLIMANN, H. 1951. Zur Lebensgeschichte des Schilfes an den Ufern der Schweizer Seen. Beiträge zur Geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz 30, 1–132.

IPSEN, J. O. 2000. Ökophysiologische Untersuchungen zur Möglichkeit einer biochemischen Schadwirkung von *Cladophora glomerata* (L.) (Kützing) auf *Phragmites australis* (Cav.) (Trin. ex Steudel). Dissertation ETH Zürich, 130 pp. und Anhang.

JESCHKE, L. 1976. Veränderungen des Röhrichtgürtels der Seen in unseren Naturschutzgebieten. Naturschutzarbeit in Mecklenburg 19, 49–52.

JÜTTNER, F. & HENATSCH, J. J. 1986. Anoxic hypolimnion is a significant source of biogenic toluene. Nature 323, 797–798.

KICKUTH, R. 1969. Höhere Wasserpflanzen und Gewässerreinhaltung. Ökochemische Wirkungen höherer Pflanzen und ihre Funktion bei der Gewässerreinhaltung. Schriftenreihe Verein deutscher Gewässerschutz 19, 14 pp.

KLÖTZLI, F. 1971. Biogenous influence on aquatic macrophytes, especially *Phragmites communis*. Hydrobiologia 12, 107–111.

KLÖTZLI, F. 1986. Tendenzen zur Eutrophierung in Feuchtgebieten. In: «Aspekte der Geobotanik», K. M. URBANSKA ed, pp. 343–361. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rubel, Zürich 87.

KLÖTZLI, F. 2000. Rückgang und Gesundung – eine kurze Retrospektive der Schilfentwicklung im perialpinen Raum. In: «Eine kurze Retrospektive der Schilfentwicklung», M. WEYHMÜLLER, M. WEYHMÜLLER & P. TEIBER eds, pp. 5–12. IGKB, Internat. Status-Seminar «Vergleichende Bewertung der Ufer- und Flachwasserzonen und von Eingriffen am Bodensee». März 2000, Schloss Montfort, Langenargen/D.

KLÖTZLI, F. & GRÜNIG, A. 1976. Seeufervegetation als Bioindikator. Daten und Dokumente zum Umweltschutz 19, 109–131.

KLÖTZLI, F. & SCHLÄFLI, A. 1980a. Vegetation und Fauna des Festlandes. In: «Der Bodensee – in der erhaltenswerten Landschaft», Verein für Bodensee-Uferreinigung ed, pp. 27–32. Verlag E. Löpfe-Benz AG, Rorschach.

KLÖTZLI, F. & SCHLÄFLI, A. 1980b. Fragen des Naturschutzes. In: «Der Bodensee – in der erhaltenswerten Landschaft», Verein für Bodensee-Uferreinigung ed, pp. 75–77. Verlag E. Löpfe-Benz AG, Rorschach.

KLÖTZLI, F. & ZÜST, S. 1973. Conservation of reedbeds in Switzerland. Polish Archive Hydrobiology 20, 229–235.

LANG, G. 1968. Vegetationsänderungen am Bodenseeufer in den letzten hundert Jahren. Schriften Verein Geschichte Bodensee und Umgebung 86, 295–319.

LEHN, H. 1991. Der Bodensee – Veränderungen eines Ökosystems. In: «Deutschland, Portrait einer Nation», pp. 131–135. Bertelsmann.

LYNCH, J. M. 1978. Production and phytotoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. Soil Biology and Biochemistry 10, 131–135.

LYNCH, J. M. 1990. Microbial Metabolites. In: «The Rhizosphere», J. M. LYNCH ed, pp. 177–206. John Wiley & Sons, Chichester.

OSTENDORP, W. 1988. Nährstoffkreisläufe und Nährstoffakkumulation in Seeufer-Schilfröhrichten am Beispiel des Bodensee-Untersees. TELMA 18, 351–372.

OSTENDORP, W. 1989. Schilfrückgang am Bodensee-Untersee. Ursachen, Gegenmassnahmen. Berichte Limnologisches Institut, Universität Konstanz.

OSTENDORP, W. 1993. Schilf als Lebensraum. Beiheft zu den Veröffentlichungen Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 68, 173–280.

OSTENDORP, W. & KRUMSCHEID-PLANKERT, P. eds, 1993. Seeuferzerstörung und Seeuferrenaturierung in Mitteleuropa. Symposium Konstanz, 1992. G. Fischer, Stuttgart, Jena, New York.

OZIMEK, T., PIECYNSKA, E. & HANKIEWICZ, A. 1991. Effect of filamentous algae on submerged macrophyte growth: A laboratory experiment. Aquatic Botany 41, 309–315.

PATRICK, Z., TOUSSON, T. & KOCH, L. 1964. Effect of crop residue decomposition products on plant roots. Annual Review Phytopathology 2, 267–292.

PRIES, E. 1985. Allgemeine Ursachen des Röhrichtrückganges. Naturschutzarbeit in Mecklenburg 28 (2), 69–74.

RAGHI-ATRI, F. & BORNKAMM, R. 1980. Über Halmfestigkeit von Schilf (*Phragmites australis* [Cav.] ex Steudel) bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung. Archiv Hydrobiologie 90, 90–105.

ROVIERA, A.D. & MCDOUGALL, B.M. 1967. Microbiological and Biochemical Aspects of the Rhizosphere. In: «Soil Biochemistry», A. D. MCLAREN & G. H. PETERSON eds, pp. 417–460. Marcel Dekker Inc., New York.

SCHRÖDER, R. 1979. The decline of reed swamps in Lake Constance. Symposium. Biologia Hungarica, Budapest 19, 43–48.

SCHRÖDER, R. 1987. Das Schilfsterben am Bodensee-Untersee. Beobachtungen, Untersuchungen und Gegenmassnahmen. Archiv Hydrobiologie (Suppl.) 76, 53–100.

SUKOPP, H. 1973. Conservation of wetlands in Central Europe. Polish Archive Hydrobiology 20, 227–232.

SUKOPP, H. & KUNICK, W. 1968. Veränderungen des Röhrichtbestandes der Berliner Havel 1962–1967. Sen. Bau- und Wohnungswesen Berlin, Abt. VII E, Wasser- und Schifffahrtswesen, Berlin, 66 pp.

SUKOPP, H., MARKSTEIN, B. 1981. Veränderungen von Röhrichtbeständen und -pflanzen als Indikatoren von Gewässernutzungen, dargestellt am Beispiel der Havel in Berlin (West). Limnologia (Berlin) 13 (2), 459–471.

SUKOPP, H. & KRAUSS, M. 1990. Ökologie, Gefährdung und Schutz von Röhrichtpflanzen. Workshop Berlin, Oct. 1988. In: «Landschaftsentwicklung und Umweltforschung». Schriftenreihe Fachbereich Landschaftsentwicklung TU Berlin, 71.

TOBLER, F. 1943. Stengelbau, Festigkeit und Verwertungsunterschiede beim Schilfrohr (*Phragmites communis* Trin.). Angewandte Botanik 25, 165–177.

VAN DER PUTTEN, W.H. 1997. Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: an overview of the European Research Programme on Reed Die-back and Progression (1993–1994). Aquatic Botany 59, 263–275.

YOSHIDA, T. 1975. Microbial Metabolism of Flooded Solls. In: «Soil Biochemistry», E. A. PAUL ed, pp. 83–115. Marcel Dekker Inc., New York.

Prof. em. Dr. Frank Klötzli, Gartenstrasse 13, CH-8304 Wallisellen

Der Rhein – Lebensader einer Region: 204–208

Wassermoose am thurgauischen Rheinufer

Helen Hilfiker (Frauenfeld) und Ariel Bergamini (Schaffhausen)

1 EINLEITUNG

Die Wassermoose des Hochrheins sind seit den 1930er Jahren Thema verschiedener Veröffentlichungen. JAAG (1938) beschreibt die Kryptogamenflora des Hochrheins, insbesondere des Rheinfalls. Die Wassermoosflora der Stromschnellen beim Kadelburger Laufen wurde von PHILIPPI (1961) erforscht. Derselbe Autor dokumentierte 1968 die Verbreitung einiger seltener hydrophytischer und hydrophiler Moose am Rhein zwischen Bodensee und Mainz; er stützt sich dabei auf ältere Literaturangaben wie auch auf eigene Funde (PHILIPPI, 1968). Am Alpenrhein beschreibt SENN (1999) die Moosflora der Rheindämme und der künstlich gestalteten Bettungen der Binnenkanal-Einflüsse. Einen Vergleich der Moosflora verschiedener Rheinabschnitte von der alpinen Quellregion bis Köln unternahmen VANDERPOORTEN und KLEIN (1999). Im Rahmen einer Arbeit über Wasserpflanzen im Kanton Zürich haben EGLOFF und URMI (2004) die Verbreitung, Häufigkeit und Gefährdung kryptogamer Makrophyten untersucht und dabei auch Wassermoose am zürcherischen Rheinabschnitt erfasst. Vom östlichsten Teil des Hochrheins zwischen Bodensee und Schaffhausen liegen bis jetzt relativ wenige Nachweise vor.

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist eine moosfloristische Beschreibung des thurgauischen Rheinufers. Im Mittelpunkt stehen die Wassermoose, wobei der Begriff «Wassermoose» im weiten Sinn verstanden wird. Nur wenige Arten leben dauernd unter Wasser, bei vielen wechseln Zeiten der Überflutung mit mehr oder weniger langen Trockenperioden, manche werden nur kurzzeitig überschwemmt oder vom Wellenschlag überspült. Die terrestrischen Moose anderseits werden nur ausnahmsweise oder überhaupt nie überflutet. Die Übergänge zwischen den ökologischen Gruppen sind allerdings fliessend, eine Abgrenzung ist manchmal schwierig. Wir stützen uns auf eigene Beobachtungen, vor allem aber auf Literaturhinweise. (DÜLL, 1992; EGLOFF und URMI, 2004; HANS, 1998; PHILIPPI, 1968; NEBEL und PHILIPPI, 2000; NEBEL und PHILIPPI, 2001; SENN, 1999; WERNER, 2001).

2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Grosse Teile des linken Rheinufers zwischen Bodensee und Schaffhausen liegen im Kanton Thurgau, umfassen also das Untersuchungsgebiet. Im Gegensatz zum westlichen Hochrhein, wo sich die Staubereiche zahlreicher Kraftwerke stellenweise fast aneinanderreihen, gibt es auf Thurgauer Gebiet keine Wehre. Auf weiten Strecken fliesst der Rhein ungehindert; der Wasserstand folgt den natürlichen Schwankungen zwischen dem Hochwasser im Sommer und dem Niederwasser im Winter. Nur im westlichsten Gewässerabschnitt macht sich der Einfluss des Elektrizitätswerkes Schaffhausen bemerkbar. Dieser ist aber nicht gross; er nimmt flussaufwärts ab und reicht höchstens bis wenig östlich von Diessenhofen.

Von Bedeutung für die Moosflora ist neben den Schwankungen des Wasserstandes auch die Strömungsgeschwindigkeit. Der Rhein fliesst im Gebiet relativ langsam; er bewegt sich ruhig, ohne grösseres Gefälle und ohne Stromschnellen. Der Wellenschlag der Motorboote, insbesondere der grösseren Passagierschiffe, könnte ein weiterer wichtiger Faktor sein, schlagen doch die Wellen teilweise mit grosser Kraft gegen die Uferverbauungen.

3 WUCHSORTE DER WASSERMOOSE

Die bedeutendsten Wuchsorte für Wassermoose sind die Uferbefestigungen. Die senkrechten

Betonmauern gehören wohl zu den ältesten Verbauungen. Kurz vor dem Zweiten Weltkrieg sicherte man die Ufer durch schräge Betonmauern. Später, ab Ende der 1960er Jahre, wurden Natursteine (Kalkblöcke) bevorzugt; damals sind die Blockwürfe entstanden. Selten wurden die Steinblöcke in Beton eingemauert. Überdies säumen zahlreiche kleinere Natursteinmauern das Ufer.

Im Flussbett können die grösseren Steine von einer interessanten Moosflora überwachsen sein; oft aber sind sie auch kahl. Kies- und Sandanschwemmungen werden kaum von Moosen bewachsen.

Ein spezielles Habitat bilden die Sinterstellen; sie entstehen dort, wo kalkhaltiges Wasser aus dem angrenzenden Land in den Rhein geleitet wird.

4 NOMENKLATUR

Die Nomenklatur entspricht den Listen der Moose und Lebermoose Europas und der Azoren (CORLEY et al., 1981; CORLEY und CRUNDWELL, 1991; GROLLE, 1983; GROLLE und LONG, 2000).

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Insgesamt wurden an rund 80 Stellen entlang des thurgauischen Rheinufers Moose gesammelt. Laut Tab. 1 konnten 22 Wassermoose nachgewiesen werden, drei Lebermoose und 19 Laubmoose. Einige Arten, die meist an trockeneren Standorten leben, wurden gelegentlich im Überschwemmungsbereich gefunden. Sie sind in der Tab. 1 nicht aufgeführt, sollen aber hier erwähnt sein: *Barbula convoluta, B. unguiculata, Brachythecium populeum, B. rutabulum, Bryoerythrophyllum recurvirostre, Bryum argenteum, B. barnesii, B. capillare, B. creberrimum, B. subelegans, Didymodon luridus, D. ridigulus, Fissidens adianthoides, Plagiomnium rostratum, Pseudocrossidium hornschuchianum, Schistidium apocarpum, Tortella bambergeri*. Nach SCHNYDER et al. (2004) gilt *Bryum creberrimum* in der Schweiz als potenziell gefährdet (NT). Die Art wurde nur einmal westlich von Diessenhofen an einer schrägen Betonmauer gefunden.

An den senkrechten und geneigten Betonmauern, wie auch an deren Treppen und Absätzen ist die Wassermoosflora reicher als an den Blockwürfen und den einbetonierten Steinblöcken. Möglicherweise spielt neben den Unterschieden der Bauart und des Materials auch das Alter der Uferbefestigungen mit eine Rolle.

Eine spezielle Moosflora ist an den Sinterstellen anzutreffen. Verschiedene typische Tuffbildner wie *Palustriella commutata*, *Eucladium verticillatum* und *Pellia endiviifolia* wurden nur an solchen Standorten gefunden.

Zur Beurteilung der Häufigkeit, mit der ein Moos im Gebiet vorkommt, liefert die Anzahl Funde einen groben Schätzwert. Auffallend schwach sind die Lebermoose vertreten, was sich mit Beobachtungen von JAAG (1938) am Rheinfall deckt. Das häufigste Moos ist *Hygrohypnum luridum*. Es bildet an den Uferbefestigungen im Bereich des durchschnittlichen Wasserstandes eng anliegende, goldglänzende Matten; oft wird es von *Cratoneuron filicinum* und *Amblystegium tenax* begleitet.

Didymodon spadiceus ist in Tab. 1 zwar als selten eingestuft, doch könnte die Art im Untersuchungsgebiet durchaus auch häufiger sein. Da man *Didymodon spadiceus* aber nur mit Sporophyten zweifelsfrei bestimmen kann, konnten einige weitere Funde nicht sicher identifiziert werden.

Einige der gefundenen Wassermoose sind Vertreter der Roten Liste der gefährdeten Moose der Schweiz (SCHNYDER et al., 2004). Diese sollen im Folgenden näher beschrieben werden:

Cinclidotus mucronatus (Abb. 1) wurde mehrfach an eher selten überfluteten Mauerabschnitten registriert. Die grösste Population liegt westlich Diessenhofen, wo die Art an einer schrägen Betonmauer auf einer Länge von über 300 m zahlreiche Vorkommen hat. Das schützenswerte Moos ist sonst in der Schweiz nur mit spärlichen Funden belegt. In der Roten Liste wird es in die Kategorie «vom Aussterben bedroht» (CR) eingestuft. Im Nachbarland Baden-

Tab. 1. Wassermoose am thurgauischen Rheinufer

Klasse	Gattung	Art	Betonmauern schräg	Betonmauern senkrecht	Treppen, Mauerabsätze	einbetonierte Steinblöcke	Blockwürfe	kleinere Steinmauern	Steine im Flussbett	Kalktuff	Überflutung	Häufigkeit im Gebiet	Rote Liste, Schweiz
M	Amblystegium	fluviatile					x				a	s	VU
M	Amblystegium	riparium		x				x			aa	s	
M	Amblystegium	tenax	x	x	x	x	x	x	x		a	h	
M	Brachythecium	rivulare	x	x	x		x	x			a	s	
M	Bryum	pseudotriquetrum	x	x	x	x	x	x	x	x	a	z	
M	Calliergonella	cuspidata			x						a	s	
H	Chiloscyphus	pallescens					x				(a)	s	
M	Cinclidotus	fontinaloides	x	x	x						a	z	
M	Cinclidotus	mucronatus	x	x							(a)	z	CR
M	Cratoneuron	filicinum	x	x	x	x	x	x	x	x	a	h	
M	Didymodon	spadiceus	x								(a)	s	
M	Didymodon	tophaceus	x	x						x	(a)	z	NT
M	Eucladium	verticillatum								x	(a)	s	
M	Fissidens	crassipes	x	x	x		x	x	x	x	a	h	
M	Fontinalis	antipyretica	x	x	x				x		aa	z	
M	Fontinalis	hypnoides							x		aa	s	VU
M	Hyophila	involuta		x							(a)	s	VU
M	Hygrohypnum	luridum	x	x	x	x	x	x	x		a	h	
H	Jungermannia	atrovirens							x		(a)	s	
M	Palustriella	commutata								x	a	s	
H	Pellia	endiviifolia								x	(a)	s	
M	Rhynchostegium	riparioides	x	x	x	x	x	x	x	x	aa	h	

Klassen: H = Lebermoose (Hepaticae), M = Laubmoose (Musci)
Überflutung: aa = dauernd oder langzeitig, a = periodisch, (a) = kurzzeitig
Häufigkeit im Gebiet: h = häufig, z = zerstreut, s = selten
Rote Liste Schweiz: CR = vom Aussterben bedroht, VU = verletzlich, NT = potenziell gefährdet

Württemberg war die Art immer selten. Einzig in den Auengebieten des nördlichen Oberrheins ist sie als Baummoos stellenweise reichlicher zu finden (Nebel und Philippi, 2000).

Hyophila involuta, ein seltenes Moos der See- und Flussufer, wurde in kleinen Mengen an relativ hoch gelegenen, kurzzeitig überschwemmten Mauerstellen bei Diessenhofen entdeckt. Es ist dies für die Gegend der erste neuere Fund. Aus Aufzeichnungen von Philippi (1968) ist zu entnehmen, dass das im Gebiet urwüchsige Moos früher am Bodensee, wie auch am Hoch- und

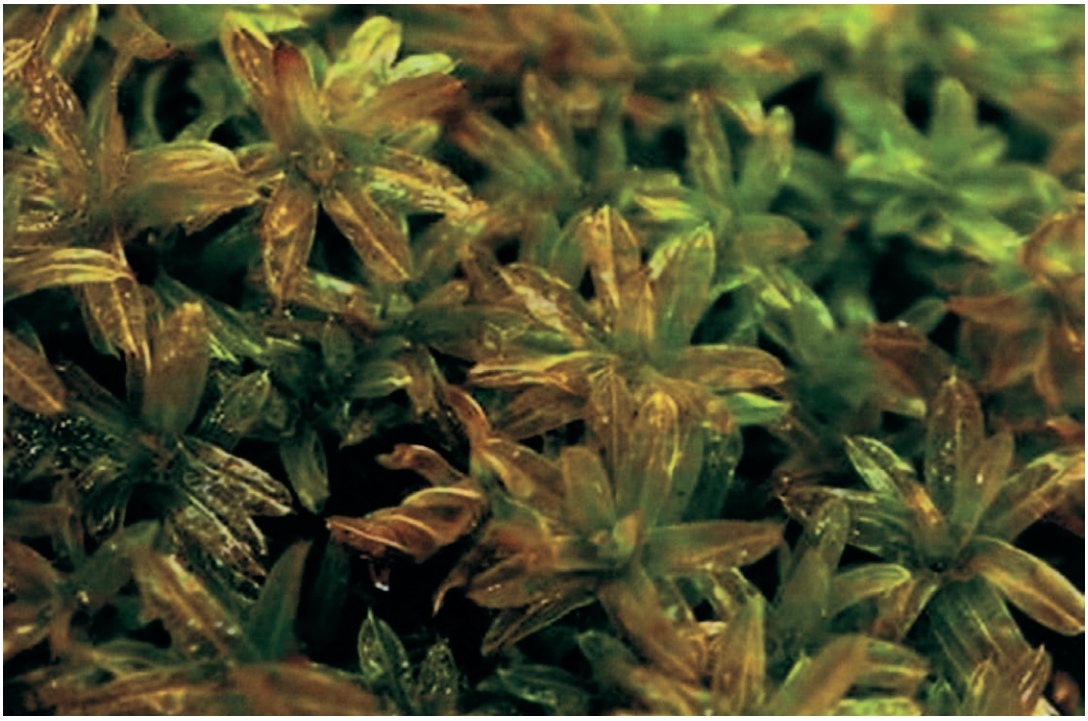


Abb. 1. *Cinclidotus mucronatus* (ca. 7,5 fach vergrössert)

Oberrhein nicht selten vorkam. Heute sind nur noch am Nord- und Ostufer des Bodensees grössere Bestände übrig geblieben. In der Schweiz gibt es aber an verschiedenen Seen weitere Fundorte. In der Roten Liste wird der Status der Bedrohung als «verletzlich» (VU) angegeben. In der Roten Liste von Baden-Württemberg wird die Art als gefährdet eingestuft.

Fontinalis hypnoides wächst ungefähr 3 km westlich von Diessenhofen im Flussbett an einem Stein, der vermutlich einer nahegelegenen alten Uferbefestigung entstammt. Das Moos fällt höchstens kurze Zeit trocken. Dies ist seit 1960 der dritte Fund in der Schweiz. In der Roten Liste fällt das Moos unter die Kategorie «verletzlich» (VU). Auch in Baden-Württemberg gilt es als gefährdet (Nebel und Philippi, 2001).

Amblystegium fluviatile konnte nur einmal an einem durch Bäume stark beschatteten Kalkblock einer Uferbefestigung westlich von Diessenhofen festgestellt werden. Die Art gilt in der Schweiz als «verletzlich» (VU).

Didymodon tophaceus lebt an Sinterstellen, kann aber auch Ufermauern bewachsen. Die Art ist im Untersuchungsgebiet mässig häufig anzutreffen. In der Roten Liste wird sie als «potenziell gefährdet» (NT) bezeichnet.

Allgemein zeigt die Wassermoosflora zusammen mit den Moosen in den trockeneren Bereichen der Uferbefestigungen ein reichhaltiges Bild. Besonders die Mauern der Umgebung von Diessenhofen und St. Katharinental zeichnen sich durch Artenvielfalt und das Vorkommen einiger seltener Moose aus (vier Arten der Roten Liste plus zwei potenziell gefährdete Arten). Die bemerkenswerte Fundliste legt nahe, bei allfälligen Bau- und Renovierungsmassnahmen an Ufermauern der Umgebung von Diessenhofen und St. Katharinental auf die Erhaltung dieser schützenswerten Moosflora zu achten.

6 LITERATUR

Corley, M. F. V., Crundwell, A. C., Düll, R., Hill, M. O. & Smith, A. I. E. 1981. Mosses of Europe and the Azores; an annotated list of species, with

synonyms from the recent literature. Journal of Bryology 11, 609–689.

Corley, M. F. V. & Crundwell, A. C. 1991. Additions and amendments to the mosses of Europe and the Azores. Journal of Bryology 16, 337–356.

Düll, R. 1992. Zeigerwerte von Laub- und Lebermoosen. In: «Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa.» H. Ellenberg, H. E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner & D. Paulissen. Scripta Geobotanica 18, Erich Goltze, Göttingen, 258 pp.

Egloff, F. & Urmi, E. 2004. Wasserpflanzen des Kantons Zürich: Kryptogame Makrophyten. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 149 (2–3), 59–73.

Grolle, R. 1983. Hepatics of Europe including the Azores; an annotated list of species with synonyms from the recent literature. Journal of Bryology 12, 403–459.

Grolle, R. & Long, D. G. 2000. An annotated check-list of the Hepaticae and Anthocerotae of Europe and Macaronesia. Journal of Bryology 22, 103–140.

Hans, F. 1998. Die Moosflora der kleinen Luxemburger Schweiz (Müllertal). Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg 28, 1–177.

Jaag, O. 1938. Die Kryptogamenflora des Rheinfalls und des Hochrheins von Stein bis Eglisau. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen 14, 1–158.

Nebel, M. & Philippi, G. eds. 2000. Die Moose Baden-Württembergs, 1, Ulmer Stuttgart, 512 pp.

Nebel, M. & Philippi, G. eds. 2001. Die Moose Baden-Württembergs, 2, Ulmer Stuttgart, 529 pp.

Philippi, G. 1961. Die Wassermoosflora am Hochrhein zwischen Reckingen und Waldshut. Veröffentlichung der Landesstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg 27/28, 168–177.

Philippi, G. 1968. Zur Verbreitung einiger hygrophytischer und hydrophiler Moose im Rheingebiet zwischen Bodensee und Mainz. Beiträge zur Naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland 27 (2), 61–81.

Schnyder, N., Bergamini, A., Hoffmann, H., Müller, N., Schubiger-Bossard, C. & Urmi, E. 2004. Rote Liste der gefährdeten Moose der Schweiz. Hrsg. BUWAL, FUB und NISM. BUWAL-Reihe: Vollzug Umwelt. 99 pp.

Senn, H. P. 1999. Moosflora und Moosvegetation am Alpenrhein. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 26, 73–106.

Vanderpoorten, A. & Klein, J. P. 1999. A comparative study of the hydrophyte flora from the Alpine Rhine to the Middle Rhine. Application to the conservation of the Upper Rhine aquatic ecosystems. Biological Conservation 87, 163–172.

Werner, J. 2001. Aperçu sur les bryophytes (sub-) aquatiques des rivières luxembourgeoises. Bulletin de la Société des Naturalistes Luxembourgois 101, 3–18.

Dr. Helen Hilfiker, Spitzrütistrasse 26, CH-8500 Frauenfeld, E-Mail: hilfiker.jakob@leunet.ch

Dr. Ariel Bergamini, Sporrengasse 2, CH-8200 Schaffhausen, E-Mail: ariel.bergamini@gmx.ch

3 Fauna

Synopsis: Die Wirbeltierfauna am Rhein

Die Herausgeber

Vom Tomasee in der bündnerischen Surselva bis zum Rheinfall in Schaffhausen ändern sich der Rhein, seine Nebenflüsse und die sie begleitenden Landschaft ständig. Eine Vielzahl von Lebensräumen und Vegetationstypen bieten einer reichhaltigen Fauna vielfältige Lebensmöglichkeiten. Die Bindungen der Tierarten an das Flusssystem sind sehr unterschiedlich. Viele Formen leben ausschliesslich im Wasser, andere leben semiaquatisch im Wasser und auf dem Land, während weitere Tierarten feuchte Lebensräume im Umfeld des Flusses besiedeln. Der Rhein hat eine tiefe Furche in die Alpen gezogen, welche es vielen Arten erlaubt, weit in den Alpenraum einzudringen. Im Rheintal sind die Höhenunterschiede auf engem Raum sehr gross, die Lebensräume entsprechend vielfältig und die Artenvielfalt unerwartet hoch.

Im Kapitel Fauna dieses Buches werden fast ausschliesslich Wirbeltiere behandelt (Insekten siehe bei HERRMANN und KLEIN, SCHLEGEL et al. in diesem Buch). Dies ist eine gewaltige, aber bewusst gewählte Einschränkung. Nach den Schätzungen des Forums Biodiversität leben in der Schweiz rund 41 000 Tierarten in insgesamt 10 Stämmen. Nur gut 500 Arten sind Wirbeltiere. Man kann davon ausgehen, dass mindestens die Hälfte aller Tierarten auch im Einzugsgebiet des Rheins vorkommt. Für einige Regionen gibt es bereits bemerkenswerte Inventare. In den Periodika der Naturforschenden Gesellschaften von Zürich, Schaffhausen, Thurgau, St. Gallen und Graubünden, besonders aber auch in der «Vorarlberger Naturschau» und den Berichten der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein, Sargans-Werdenberg sind in den letzten Jahren viele faunistische Arbeiten publiziert worden. Sie haben nicht nur die Wirbeltiere zum Gegenstand, sondern fast die gesamte Vielfalt der Tierwelt, was sie zu echten Beiträgen der Biodiversitätsforschung macht. Während die faunistische Erforschung im Bereich des Alpenrheines weit fortgeschritten ist, ist die Datenlage im obersten Lauf des Flusses schlechter.

In diesem Buch wird mit dem Rhein und seinem Umfeld schwerpunktmässig ein geographischer Raum besprochen. Gerade das Studium der Wirbeltiere, die vom Menschen oft direkt beeinflusst werden, zeigt, wie bedeutungsvoll auch der Faktor Zeit beim Beurteilen von Tierpopulationen ist. Inventare sind ja nur ein Momentbild in einer sich ständig ändernden Landschaft, auf welche die mobile Tierwelt sehr vielfältig reagieren kann.

WALTER erläutert in seinem Beitrag über die **Fischfauna,** wie schwierig es ist, auch nur die einfache Frage nach der häufigsten Fischart im Rhein exakt zu beantworten. Direktbeobachtungen vom Land aus, Tauchgänge, Elektrofischfänge, Fangstatistiken: sie alle liefern mindestens für sich allein kein abschliessendes Bild. Eine weitere Unschärfe bildet der Faktor Zeit. Der Hitzesommer 2003 war für den Äschenbestand fatal. Wird er sich erholen oder wird die fortschreitende Klimaveränderung bewirken, dass alles nie mehr so sein wird wie früher? Jakob Walter macht aber noch auf eine weitere zeitliche Dimension aufmerksam, indem er schreibt, dass die Eiszeiten mit ihrem verheerenden Einfluss auf die Fischfauna nicht weit zurückliegen und dass die Artenzahl der Fische im Vergleich mit ähnlichen Gebieten auf dieser Erde noch recht bescheiden ist. Noch sind lange nicht alle ökologischen Nischen besetzt. Diese Aussage macht deutlich, wie schwierig es ist, einen Fischbestand zu beurteilen. Aktuelle Ereignisse wie der Hitze-

sommer, Trends wie die Klimaerwärmung und evolutive Prozesse wirken nebeneinander und gleichzeitig.

Beim Vergleich von **Amphibieninventaren** im Alpenrheintal zwischen den Jahren 1953 und 2000 zeigen LIPPUNER und HEUSSER eindrucksvoll auf, dass die Arten, welche auf die Gewässer der Talebene angewiesen sind, deutlich zurückgehen. Der Rückgang verläuft geographisch von den höheren und engeren Talabschnitten aus talabwärts. Er lässt sich auf die Zerstörung von Gewässern zurückführen. Im Prozess des Rückgangs entstehen Inselpopulationen und Randpopulationen mit kleinen intermittierenden Beständen. Biotopaufwertungen und -neuschaffungen tragen nachweislich zur Stützung bestimmter Arten bei. Auch hier spielt der Faktor Zeit eine grosse Rolle. Wenn die geplanten Massnahmen umgehend ausgeführt werden können, gelingt es die autochthonen Bestände zu erhalten. Wenn diese aussterben, so muss zu einem späteren Zeitpunkt eine aktive Wiederansiedlung mit Tieren stattfinden, welche den ausgestorbenen genetisch möglichst nahe stehen. Ein konsequentes Monitoring der Bestände ist neben den Schutzmassnahmen dringend notwendig.

Ein Beispiel, wie ein Monitoring über längere Zeiträume organisiert werden kann, sind die internationalen Wasservogelzählungen am Bodensee. Dass wir soviel über den Bodensee als Lebensraum, insbesondere als Zugrastplatz und Winterquartier für **Wasservögel** wissen, verdanken wir den internationalen Wasservogelzählungen. Diese finden seit 1951 statt, seit Herbst 1961 alljährlich von September bis April immer in der Mitte eines jeden Monats. JACOBY zeigt in seinem Beitrag eindrücklich auf, dass diese Informationen nicht nur einen Eindruck von den Arten und Beständen geben, sondern auch ökologische Situationen hervorragend abbilden. Der Niedergang der Armleuchteralgenbestände (1963) und ihre Renaissance (ab 1990) oder die Massenvermehrung der Dreikantmuschel (ab 1965) hatten einen grossen Einfluss auf die Ökologie. So verschwanden die grossen Kolbenentenscharen mit dem Niedergang der Armleuchteralgen, bauten sich aber mit Wiederaufkommen derselben stark auf. In Zukunft wird der Bodensee wohl wieder nahrungsärmer sein. Noch zeigen die Wasservogelzählungen keine Abnahme der Wintergäste.

Der **Biber,** der zu Beginn des 19. Jahrhunderts in der Schweiz ausgerottet wurde, erobert im Kanton Thurgau seit 1969 seinen angestammten Lebensraum wieder zurück. Aus einer maximalen Gründerpopulation von 7 Tieren stieg der Bestand bis heute auf 120 bis 150 Tiere an, wie GEISSER und MÜLLER in ihrem Beitrag ausführen. Denkbar ist ein maximaler Bestand von 550 Tieren, wenn der Biber total geschützt bleibt und alle möglichen Lebensräume optimal aufgewertet werden. Dieser Bestand ist aus genetischen Gründen eigentlich zu klein und sollte durch eine Ausbreitung nach Osten und Westen zu einer Population von etwa 2000 Tieren aufgewertet werden. Ein gezieltes Bibermanagement mit einem Monitoring der Population in Raum und Zeit ist nötig, um den Biber in eine sichere Zukunft zu begleiten.

«Wäre die **Bisamratte** vor vielleicht 20 000 Jahren während der Eiszeit, als eine Landbrücke Nordostasien und Nordamerika verband, nach Eurasien gelangt, so hätten wir sie im Repertoire der angestammten Arten gefunden», meint Josef Reicholf wohl zu Recht. Die Art, ein in Nordamerika beheimatetes Pelztier, wurde vor gut 100 Jahren in Europa angesiedelt. Sie besetzt nämlich eine freie Nische zwischen der kleineren Schermaus, soweit sie am Wasser lebt, und dem Biber. Wie KRÄMER schreibt, wurde es in der Nordostschweiz erst in den frühen 70er Jahren spannend. Aus dem Elsass waren die Bisame zwar in die Umgebung von Basel gelangt, aber dann kam die Ausbreitung nur stockend voran. Vor gut 30 Jahren wanderten Tiere aus Bayern und Württemberg in die Schweiz ein. Sehr gut dokumentiert ist die Einwanderung im Thurgau. Die Bisamratte eroberte auch das Einzugsgebiet des Alpenrheins. Das oberste Vorkommen wurde bei Domat/Ems registriert. Zum Glück blieben die befürchteten Schäden an Dämmen und Kulturen weitgehend aus. Trotzdem ist die Bisamratte keine autochthone Art, sondern ein

Fremdling. Wie wird sie sich in Zukunft ausbreiten? Wie soll man mit eingesetzten Arten umgehen?

Die angeführten Beispiele machen deutlich, dass die Populationen der frei lebenden Wirbeltiere nicht nur im Raum, sondern auch in der Zeit einer ausgesprochenen Dynamik unterworfen sind. Zur natürlichen Dynamik, welche durch evolutive und populationsdynamische Prozesse gekennzeichnet ist, kommt der Einfluss des Menschen. Dieser wirkt sich auf die Tiere selber oder ihre Umwelt aus. Er macht allenfalls neue korrigierende Einflüsse nötig. Aber selbst diese können wieder kontraproduktiv sein, einzelne Arten einseitig fördern oder die angestammten Formen verdrängen. Den Ausweg bildet ein sauberes Monitoring der Arten mit periodischen Abschätzungen der Bestände. Natürlich muss eine solche Arbeit im Einzugsgebiet des Rheines die Grenzen der Länder überschreiten.

Es ist selbstverständlich, dass ein Monitoring auch die Gruppe der Wirbellosen umfassen muss. Unsere Umweltbeobachtung konzentriert sich im zoologischen Bereich auf die Vögel, die grösseren Säugetiere und die Schmetterlinge. Sind diese Gruppen wirklich die wichtigsten Indikatoren für Umweltveränderungen oder ganz einfach besonders gut erfassbar? Das Biomonitoring ist in erster Linie Aufgabe der Staaten. Die Behörden werden die anspruchsvolle Aufgabe nicht bewältigen können, wenn nicht gute Artenkenner – Berufsleute und Amateure – ihre Kenntnisse und ihre Zeit für diese Arbeit investieren. Hier wartet auch auf die Mitglieder der Naturforschenden Gesellschaften eine wichtige Aufgabe und Herausforderung.

Der Alpenrhein – Ausbreitungslinie und Ausbreitungshindernis für Wirbeltiere

Jürg Paul Müller und Hannes Jenny (Chur)

1 EINLEITUNG

Zwischen der Rheinquelle am Tomasee in der bündnerischen Surselva und dem Bodensee gräbt sich der Fluss in ein tiefes, immer breiter werdendes Tal ein. Noch fast bis zum Bodensee ist der Fluss links und rechts von relativ hohen Bergketten begleitet. Der Rhein hat weit in den Alpenraum hinein eine tiefe Furche gezogen, die sich erst im Innern der Alpen mehrfach verzweigt (Einzelheiten zur Dynamik siehe bei ROULIER sowie VISCHER, in diesem Buch). Der Fluss ist eine Ausbreitungslinie für diejenigen Arten, welche an den Lebensraum Wasser gebunden sind. Die tiefe Talfurche hat aber auch mitten in den Alpen Lebensräume geschaffen, die ganz eindeutig den Tieflagen zuzuordnen sind. Hier können Arten gedeihen, die man in einer Gebirgslandschaft sonst nicht erwarten könnte. Dadurch wird die Biodiversität lokal stark erhöht. Im engen Tal konnten durch die vom Fluss bewirkte Landschaftsdynamik immer wieder auch natürliche Ausbreitungshindernisse wie Seen, trockene Schuttkegel usw. entstehen. Die heutige menschliche Besiedlung und Umgestaltung des Flusstales hat ebenfalls eine grosse Auswirkung auf die Wandermöglichkeiten von Wirbeltieren. An Hand von ausgewählten Beispielen wird im Folgenden aufgezeigt, welche Bedeutung der Fluss und das Flusstal auf die Ausbreitung von Wirbeltieren haben können.

2 DIE SEEFORELLE – EIN AUFSTEIGER

Mit dem Bau des Kraftwerkes Reichenau im Jahre 1962 wurde der Rhein kurz unterhalb des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein vom darunter liegenden Lauf des Alpenrheins abrupt abgetrennt. Damit konnte die Bodensee-Seeforelle oder Rheinlanke (*Salmo trutta lacustris*) nicht mehr in ihre Laichgewässer aufsteigen. Zwar konnten vorerst unterhalb des Staudammes aufsteigende Seeforellen abgefangen und ihr Laich zur Aufzucht in Fischzuchtanlagen gewonnen werden (Abb. 1). Das Aussterben der Rheinlanke schien aber nur eine Frage der Zeit zu sein, wurden doch zu Beginn der 1980er Jahre nur noch ganz vereinzelt Seeforellen bestätigt. Die Kehrtwende brachte ein eigentliches Artenschutzprogramm zur Rettung der Seeforelle. Dazu wurden die



Abb. 1. Die Seeforelle oder Rheinlanke steigt zum Laichen vom Bodensee in die Nebenflüsse des Alpenrheins auf. Foto: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.

letzten gefangenen Seeforellen in einem Zuchtprogramm vermehrt und in den Oberläufen der Zuflüsse ausgesetzt. Im Jahre 2000 wurde dann endlich eine Fischtreppe gebaut, so dass die natürliche Fortpflanzung der Rheinlanke wieder gewährleistet scheint (Abb. 2). Jetzt ist der natürliche Kreislauf gesichert. Die Jungfische verlassen ihre Laichgewässer und gelangen in den Bodensee. Dort wachsen sie zu kräftigen Seeforellen heran, die dann wieder zum Laichen in den Oberlauf des Rheines aufsteigen. Damit hat auch der Rhein wieder seine «Lachse». In die Oberläufe von Flüssen aufsteigende Sal-



Abb. 2. Dank dem Bau einer Fischtreppe bei Domat/Ems konnte die Seeforelle gerettet werden. Foto: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.

moniden sind ja aus vielen Gebieten der Erde, zum Beispiel von Nordamerika, aber auch von Japan bekannt. Für die Rückwanderung der Jungfische sind keine besonderen Vorkehrungen getroffen worden. Die kleinen Fische dürften die Wehrpassage in Reichenau (Kaplan-Turbine) ohne allzugrosse Verluste überstehen (MICHEL, 2004). Wichtig ist es aber, den laichbereiten Rheinlanken im Oberlauf des Rheins optimale Voraussetzungen für eine natürliche Reproduktion zu schaffen. Dazu sind die Seitengewässer besser an die Hauptflüsse anzubinden. Auch die Schwall-Sunk-Problematik muss gelöst werden. Wichtig sind zudem ausreichende Restwassermengen. Die Bodensee-Seeforelle scheint gerettet. Neuste Erhebungen haben ergeben, dass die Zahl der Fischarten im Alpenrhein weiter abgenommen hat. Vor allem betrifft es die Arten der langsamer fliessenden Gewässer. Mit der Kanalisierung des Alpenrheines wurde die Forellenregion bis weit ins Tiefland gezogen, die Vernetzung mit dem Umland gekappt und die Bedingungen für stehende Gewässer durch ein Absinken des Grundwasserspiegels stark verschlechtert (vgl. auch VOGELSANGER, in diesem Buch).



Abb. 3. Nur wenn die Fischbestände im Alpenrhein verbessert werden, kann der Fischotter zurückkehren. Foto: Christian Buchli, Pro Lutra.

3 SEMIAQUATISCHE SÄUGETIERE AM ALPENRHEIN: FISCHOTTER, BIBER UND BISAMRATTE

Bis zu den grossen Meliorationswerken des 19. Jahrhunderts war das Rheintal zwischen dem Domleschg und der Mündung des Rheins in den Bodensee durch viele Auen, Altläufe und Feuchtgebiete geprägt, die den Hauptarm des Talflusses flankierten. Fischotter und Biber fanden hier günstige Lebensräume (vergleiche Beitrag von GEISSER und MÜLLER in diesem Buch).

Der Fischotter ist als Nahrungsbasis auf gute Fischbestände angewiesen (Abb. 3). Er frisst aber auch Kleinsäuger und Amphibien. Offenbar fand er im Rheingebiet ursprünglich gute Lebensbedingungen. Die behördlich verordnete Bekämpfung des Fischotters in der Schweiz und eine ähnliche Verfolgung in Österreich und Liechtenstein liessen die Bestände dramatisch sinken, wie beispielsweise aus der Entwicklung der Jagdstrecke Graubündens eindrücklich hervorgeht (Abb. 4). Eine gründliche Studie über frühere und möglicherweise aktuelle Vorkommen in Vorarlberg, die im Jahre 1995 durchgeführt wurde (KRAUS, 1997), ergab, dass dort der letzte Fischotter im Jahre 1916 erlegt wurde. Vermutlich konnte er im Bregenzerwald viel länger überleben, doch gab es Ende des 20. Jahrhunderts keine Hinweise auf aktuelle Vorkommen im Rheintal. Aus den fünfziger Jahren stammt auch die letzte Beobachtung im Raum Sargans – Liechtenstein (VON LEHMANN, 1962). Mit einer vergleichbaren Methodik wie Kraus führten Müller und Manni in den Jahren

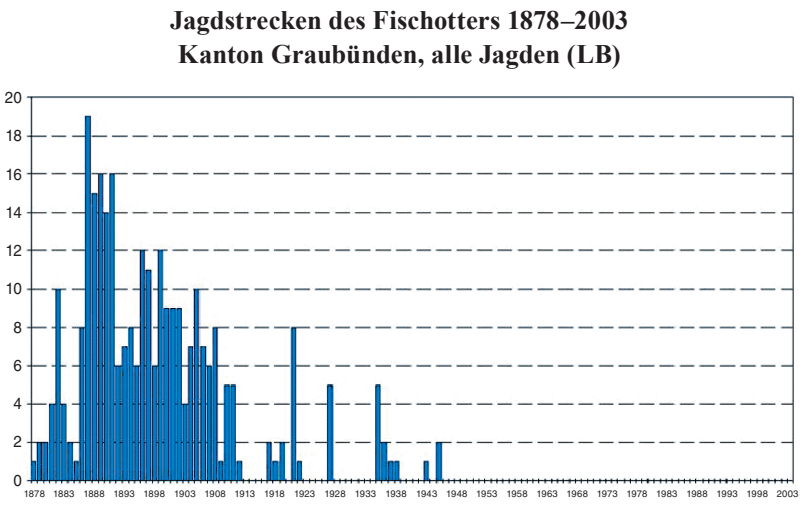


Abb. 4. Der Fischotter wurde ab dem Ende des 19. Jahrhunderts systematisch bekämpft und schliesslich ausgerottet. Erlegungszahlen aus dem Kanton Graubünden. Grafik: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.

1997 und 1999 in Graubünden eine Umfrage durch. Hier wurde der Fischotter vor allem im Gebiet des Vorderrheins bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts regelmässig nachgewiesen. Es gibt gute Hinweise für einzelne Vorkommen am Alpenrhein bis in die siebziger Jahre. SPITZENBERGER (2001) konnte glaubhaft belegen, dass der Fischotter im Alpenraum bis in Höhenlagen von 1600 m ü. M. verbreitet war und sich hier auch fortpflanzte. Es ist zu hoffen, dass die geplanten Lebensraumverbesserungen im Alpenrheintal die Lebensgrundlagen für den Fischotter und seine Beutetiere verbessern und dass die Art in ihre ursprünglichen Lebensräume zurückkehren kann.

Funde aus der Schweiz, Vorarlberg (SPITZENBERGER, 2001) und Liechtenstein belegen, dass der Biber das Alpenrheintal mindestens bis ins 17. Jahrhundert besiedelte. In Graubünden datieren die letzten Nachweise aus dem Bündner Rheintal und aus dem Domleschg aus deutlich früherer Zeit. Intensive Nachstellungen führten dazu, dass die Art ausstarb, noch bevor ihre Lebensräume umgestaltet wurden. Lebensraumverbesserungen wie Flussausweitungen usw. wären die Voraussetzung dafür, dass der Biber das Alpenrheintal wieder besiedeln könnte. Ein Fall aus den frühen 1960er Jahre beweist, dass die Ausbreitung entlang des Alpenrheines möglich ist. Ein Biber, der am Bodensee ausgesetzt worden war, wanderte bis ins vordere Prättigau, wo er leider überfahren wurde und als Präparat ins Bündner Naturmuseum gelangte. Im Vergleich zum Fischotter sind seine Ausbreitungsmöglichkeiten aber auf tiefere Lagen beschränkt (vgl. MÜLLER und GEISSER, in diesem Buch).

Mit der Bisamratte ist eine fremde Art neu in den Bereich des Alpenrheins vorgestossen. Sie hat den Rhein als Leitlinie für ihre Ausbreitung benutzt und mittlerweile bereits die Ortschaft Domat/Ems erreicht (KRÄMER, in diesem Buch).

4 DIE VOGELWELT IM ALPENRHEINTAL: FRÜHER UND HEUTE

Die reiche Vogelwelt im Rheindelta ist für alle Ornithologen ein Begriff. Auch weiter oben am Rhein gelegene Feuchtgebiete wie zum Beispiel das Frastanzer Ried, das Ruggeller Riet, das Schollenriet oder die Siechenstuden bei Maienfeld/Malans (MEIER, 2001) weisen eine bemerkenswerte Artenvielfalt auf. Bei der Begradigung des Rheins und der Gewinnung von Kulturland sind allerdings seit der Mitte des 19. Jahrhunderts wichtige Feuchtgebiete verloren gegangen. In Graubünden zum Beispiel gab es im Raum Zizers – Landquart – Malans grossflächige Feuchtgebiete. In dieser Region meldete Hieronimus von Salis im Jahre 1863 noch den Storch als Brutvogel.

WILLI (1993) beschreibt in seiner Arbeit «Die Avifauna des Alpenrheins im Bereich Liechtenstein-Werdenberg» die Vogelwelt im unmittelbaren Einzugsbereich des Flusses. Auf den

Kiesinseln des untersuchten Rheinabschnittes lebte Ende der 1980er Jahre mit 24 Paaren fast ein Drittel des Schweizer Bestandes des Flussregenpfeifers (Abb. 5). Ebenfalls nationale Bedeutung für Flussregenpfeifer und Flussuferläufer konnte MEIER (1989) für das Gebiet zwischen Landquart und Untervaz belegen. Eine spezifische Vogelfauna beobachtete WILLI (1993) auch auf den Halbtrockenrasen der Dämme, in den schmalen Galeriewäldern und in den flussnahen Feuchtgebieten. Diese Avifauna unterscheidet sich deutlich von jener der angrenzenden Landwirtschaftsgebiete.



Abb. 5. Für den Flussregenpfeifer ist der Alpenrhein eines der wichtigsten Brutgebiete der Schweiz. Foto: Christoph Meier-Zwicky.

Insgesamt sind die Artenzahlen und die Bestände der Vogelwelt im Alpenrheintal in den letzten 150 Jahren deutlich zurückgegangen. So verschwand beispielsweise das Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*) aus dem Talboden des Rheintales, das bis 1945 in den seenahen Riedgebieten des Rheintales brütete (JACOBY et al., 1970).

Entlang des Alpenrheines und in den Unterläufen von Vorder- und Hinterrhein wurden im Rahmen der Erhebungen zum letzten Brutvogelatlas 1993–1996 (SCHMID et al., 1998) hohe Artenzahlen, fast durchwegs über 100, ermittelt. Die Korridorwirkung entlang des Rheines wird durch diese Unterlagen bestätigt. Verglichen mit der Situation in den 1970er Jahren wird bei der Artenzahl unterhalb von Sargans ein negativer und oberhalb Sargans ein positiver Trend festgestellt.

5 DER RHEIN ALS VOGELZUGLINIE

Für diejenigen Vogelarten, welche auf dem Zug deutlichen Geländemarken folgen und/oder vor der Alpenquerung eine Rast einlegen, hat das Alpenrheintal eine grosse Bedeutung.

Die Untersuchungen von JENNY und ACKERMANN (2000) im Naturschutzgebiet Munté demonstrieren eindrücklich die Leitlinienwirkung des Rheines und die Bedeutung inneralpiner Rastplätze entlang des Rheines für den Vogelzug. Es konnte gezeigt werden, dass bevorzugt Langstreckenzieher aus dem östlichen bis nordöstlichen Mitteleuropa auf dem Herbstzug einen direkten Weg durch die Alpen suchen, anstatt diese zu umfliegen. Eindrücklich war, dass die Wiederfunde der 3260 gefangenen Vögel aus 12 Ländern stammen, von Schweden, Litauen bis Algerien, Tunesien, aber in keinem Fall aus einem anderen Schweizer Kanton, der nicht an den Rhein grenzt.

6 DAS VORKOMMEN UND DIE VERBREITUNG VON KLEINEN LANDSÄUGETIEREN

Die Verbreitungsmuster einiger Kleinsäugerarten im Alpenrheintal sind bemerkenswert. Nördlich der Alpen leben in der Schweiz die Waldspitzmaus (*Sorex araneus*) und ihre Schwesterart, die Schabrackenspitzmaus (*Sorex coronatus*). Man nimmt an, dass die Schabrackenspitzmaus während der letzten Eiszeit aus einer früh isolierten Chromosomenrasse von *S. araneus* hervorgegangen ist (HAUSSER, 1995). Sie verdrängt die Waldspitzmaus aus den grössten Teilen des Mittellandes und kommt im Rheintal bei St. Margrethen vor. Weiter oben im Churer Rheintal ist bisher nur die Waldspitzmaus nachgewiesen worden. Die genaue Verbreitungsgrenze ist nicht bekannt.

Ein ähnliches Verbreitungsmuster zeigt ein anderes Artenpaar, nämlich die Hausspitzmaus (*Crocidura russula*) und die Feldspitzmaus *(C. leucodon*). Während die Hausspitzmaus ein deutlicher Kulturfolger ist und das Mittelland bewohnt, beansprucht die Feldspitzmaus das

Rheintal nach den bisherigen Ergebnissen fast für sich allein, obwohl dort durchaus für die Hausspitzmaus geeignete Lebensräume vorkommen, wie ein Habitatsmodell deutlich zeigt (HAUSSER, 1995). Erstaunlicherweise ergibt sich bei der Feldmaus (*Microtus arvalis*) eine ähnliche Verbreitungsgrenze. Wie VON FÖRSTER (1999) zeigen konnte, bewohnt ein und derselbe Genotyp den gesamten Ostalpenraum von den Hochlagen Graubündens, Tirols und Südtirols bis in die Niederungen des Etsch-, Inn- und Bündner Rheintales. Die Tiere von St. Margrethen gehören jedoch dem Typ an, der im schweizerischen Mittelland weit verbreitet ist.

Es ist bemerkenswert, dass die Tieflagen des Rheintales in den genannten Fällen nicht von den im Mittelland erfolgreichen Arten und Genotypen besiedelt werden. Aus allen Beispielen wird deutlich, dass nicht bloss die Habitatswahl und das Habitatsangebot die heutige Verbreitung bestimmen, sondern ebenso sehr die Konkurrenzverhältnisse unter den Arten, die Refugien, in denen die Eiszeit überdauert wurde, und die artspezifische Mobilität in Verbindung mit Ausbreitungshindernissen.

7 DIE RHEINTALFURCHE UND DIE AUSBREITUNG GROSSER SÄUGETIERE

Der Umstand, dass der inneralpine Talfächer des Rhein-Einzugsgebietes nur durch das Bündner Rheintal und allenfalls über den Kunkelspass unterhalb der Waldgrenze erreicht werden kann, erschwert die Besiedlung des Kantons durch grössere Säugetiere. Nachdem bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts bis auf die Gämse alle grossen Säugetiere in Graubünden ausgerottet waren, erfolgte ab 1860 die Rückwanderung und Rückeroberung genau auf dieser Achse. Als erste Art erschien das Reh, kurz darauf gefolgt vom Rothirsch, der aber eine Besiedlung über den östlich gelegenen Rätikon bevorzugte. Das Wildschwein erschien zuerst unmittelbar nach dem 2. Weltkrieg und dann wieder ab den 1990er Jahren. In beiden Ausbreitungsphasen, die noch im Pionierstadium steckenblieben, drangen Einzeltiere bis ins Domleschg vor. Für den Luchs ist es ebenfalls schwierig, den Kanton Graubünden zu besiedeln. Neben der eingeschränkten Zugangsmöglichkeit erschweren weitere Hindernisse wie der Walensee oder die Autobahnen den Weg von Westen her. Deshalb ist es kein Zufall, dass der Luchs das Gebiet eher über die Pässe Lukmanier und Oberalp zu besiedeln scheint als durch das Rheintal.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Rhein und die Rheintalfurche ermöglichen grundsätzlich den Wirbeltieren eine Ausbreitung weit in den Alpenraum hinein. Für die Bodensee-Seeforelle ist der Rhein ein unabdingbarer Teil ihres Ökosystems. Dank dem Rhein bestand eine Verbindung zwischen den Fischotterpopulationen des Tieflandes und der Alpen. Fische, Vögel und Säugetiere, aber auch Amphibien (LIPPUNER, in diesem Buch), die an tiefere Lagen angepasst sind, können dank der Rheintalfurche tief in den Alpenraum hinein gelangen, was dort zu einer lokal erstaunlichen Biodiversität führt, weil Tiere der Hoch- und der Tieflagen in engem Kontakt zueinander leben. Dass diese Besiedelung aber nicht immer entsprechend dem Habitatsangebot erfolgen muss, zeigen die Beispiele der Kleinsäugetiere. Insgesamt bilden der Rhein und das Rheintal grundsätzlich eine wichtige Ausbreitungslinie, aber nur, wenn die Ausbreitungs- und Lebensmöglichkeiten für die Wirbeltiere nicht weiter eingegrenzt, sondern besser noch ausgeweitet werden. Die Revitalisierung des Rheins, der Erhalt und die Schaffung von Feuchtgebieten und die Beseitigung von Ausbreitungshindernissen sind wichtige Anliegen.

9 LITERATUR

ACKERMANN G., BISCHOF, A., GARTMANN, H., GEIGER, CH., HARTMANN, J., JENNY, H., KAISER-BENZ, M., LIPPUNER, M., MÜLLER, J. P., PFIFFNER, T., RAGAZ, G., STEINMANN, E. & WEIDMANN, P. 2000. Reservat Munté: Entstehungsgeschichte, Artenvielfalt, Pflege. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden 109, 125–218.

FÖRSTER VON, A. 1999. Phylogeography of the common vole (*Microtus arvalis*) in the region of the Swiss Alps revealed by mitochondrial DNA sequence data. Diplomarbeit Institut für Umweltwissenschaften Universität Zürich (Prof. B. Schmid, Dr. J. P. Müller).

HAUSSER, J. ed. 1995. Säugetiere der Schweiz. Verbreitung, Biologie, Ökologie. Birkhäuser Basel, 501 pp.

KRAUS, E. 1997. Fischotter-Kartierung Vorarlberg 1995. Vorarlberger Naturschau 3, 9–46.

JACOBY, H., KNÖTSCH, G. & SCHUSTER, S. 1970. Die Vögel des Bodenseegebietes. Der ornithologische Beobachter. Beiheft zu Band 76, 260 pp.

LEHMANN VON, E. 1962. Die Säugetiere des Fürstentums Liechtenstein. In: «Jahrbuch des Historischen Vereins des Fürstentums Liechtenstein», 62, 204 pp.

MEIER-ZWICKY, CHR. 1989. Flussregenpfeifer im Churer Rheintal. Der Ornithologische Beobachter 85, 175–176.

MEIER-ZWICKY, CHR. 2001. Naturschutzgebiet Siechenstuden: Artenvielfalt 10 Jahre nach seiner Gestaltung. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden 110, 51–89.

MICHEL, M. 2004. Einbahnstrasse Alpenrhein? Petri Heil 10, 2004.

MÜLLER, J. P. & MANNI, M. 1998. Eine Umfrage über frühere Fischottervorkommen in Graubünden. Interner Bericht Bündner Naturmuseum Chur / Stiftung Pro Lutra, 10 pp.

SALIS VON, H. 1863. Systematisch geordnete Übersicht der Vogelwelt Graubündens. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden 7, 106–172.

SCHMID, H., LUDER R., NAEF-DAENZER, B, GRAF, R. & ZBINDEN, N. 1998. Der Schweizer Brutvogelatlas. Verbreitung der Brutvögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein 1993–1996. Schweizerische Vogelwarte, Sempach, 574 pp.

SPITZENBERGER, F. 2001. Die Säugetiere Österreichs. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Graz, 895 pp.

WILLI, G. 1993. Die Avifauna des Alpenrheins im Bereich Liechtenstein – Werdenberg (SG). Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 20, 65–109.

Dr. Jürg Paul Müller, Bündner Naturmuseum, Masanserstrasse 31, CH-7000 Chur,
E-Mail: juerg.paul.mueller@bnm.gr.ch

Hannes Jenny, dipl. phil. nat., Wildbiologe, Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Loestrasse 14, CH-7000 Chur, E-Mail: hannes.jenny@ajf.gr.ch

Der Rhein und seine Fische

Jakob E. Walter (Neuhausen am Rheinfall)

1 EIN VORBEHALT

Schon auf die einfache Frage nach der häufigsten Fischart im Rhein gibt es keine präzise Antwort. Dies liegt daran, dass keine Möglichkeit besteht, repräsentative Stichproben zu erheben. Die verfügbaren Methoden liefern allesamt verzerrte Bilder:

Vom Lande aus erkennt man grosse Arten, welche sich in Oberflächennähe aufhalten. Wenn Sie im Rhein einen grossen Fisch sehen, ist es mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Alet (Abb. 1 zeigt eine Auswahl von Fischarten des Rheins).

Taucher melden auffällige und unverkennbare Arten, welche den Menschen nahe an sich herankommen lassen. Spitzenreiter sind hier Hecht, Aal, Trüsche und Wels.

Mit Netzen einer bestimmten Maschenweite fängt man Fische, die in den Maschen stecken bleiben und die sich nicht zwischen Steinen verkriechen.

Das Elektrofanggerät ist nur in geringeren Wassertiefen wirksam. An Flachufern fängt man damit junge Barben, Alet und Egli, im Blockwurf Aale.

In der Fischtreppe eines Kraftwerkes lassen sich Arten erfassen, welche diese Fischtreppe bewältigen können und wollen – im Falle des Kraftwerkes Schaffhausen sind das hauptsächlich Barben.

Die Fangstatistik schliesslich gibt die Vorlieben der Fischer wieder (mit der Wahl von Köder und Ort kann ein Fischer seinen Fang weitgehend steuern); im Rhein zwischen Untersee und Rheinfall sind beinahe neun von zehn gefangenen Fischen Äschen. Kleine Arten wie Elritze, Groppe, Bartgrundel oder Stichling tauchen nie in einer Fangstatistik auf.

Es gilt deshalb, aus den einseitigen Ergebnissen der verschiedenen Methoden ein Bild zusammenzusetzen. Dass dieses unmöglich exakt sein kann, leuchtet ein.

Während dem Verfassen dieses Kapitels ist der Äschenbestand im Rhein immer noch schwer geschädigt durch den Hitzesommer 2003. Gleichzeitig herrscht im Rahmen eines Versuches ein Fangverbot für Forellen. In den Aussagen zum Fischbestand werde ich indessen einen «Normalzustand» schildern, wie er vor zehn oder zwanzig Jahren herrschte. Die fortschreitende Klimaveränderung lässt allerdings befürchten, dass jener Zustand Geschichte bleiben wird.

2 FISCHE UND IHR LEBENSRAUM

Dass Fische Wasser von ausreichender Güte, Sauerstoff und Nahrung benötigen, braucht hier nicht weiter ausgeführt zu werden. Daneben stellen sie weitere Ansprüche, die weniger offenkundig sind:

Unterschlupf ist für viele, gerade kleinere Arten lebensnotwendig. Unbeholfene Schwimmer wie Groppe oder Bartgrundel hätten in einem Gewässer mit Forellen keine Überlebenschance, wenn sie sich nicht unter Steinen in Sicherheit bringen könnten. Andere Arten schätzen den Aufenthalt unter überhängenden Böschungen. Es gibt jedoch auch Arten wie die Äsche oder den Hecht, welche sich nie verkriechen, sondern ihr Heil in der Flucht suchen.

Schutz vor Strömung kann mit Unterschlupf einhergehen. Kein Fisch kann tagelang ununterbrochen gegen die Strömung eines Fliessgewässers ankämpfen; er benötigt Ruhezonen in tiefen Löchern, hinter Felsblöcken oder in Buchten, wo die Strömung verlangsamt ist.

Laichplätze (s. Kästchen!) sind oft begrenzender Faktor für das Vorkommen einer Fischart. Dabei haben viele Arten sehr spezielle Bedürfnisse: Forellen und Äschen graben ihre Eier in kiesige Stellen ein, die von sauerstoffreichem Wasser durchströmt werden. Hechte laichen in Wiesen und Schilfgebieten, welche bei

Laich

So bezeichnet man die in Massen abgegebenen Eier von Fischen, Amphibien und Schnecken. Die frisch ausgestossenen Eier werden in einer Wolke von Samen befruchtet, welche das Männchen (der Milchner) praktisch gleichzeitig abgibt. Die Gleichzeitigkeit wird durch ein vorangegangenes Liebesspiel erreicht.

Die Eier unserer Fische messen etwa einen Millimeter bis, bei der Forelle, etwa sechs Millimeter. Forellen erzeugen pro Pfund Körpergewicht etwa 1000 Eier, ein grosser Hecht kann eine Viertelmillion Eier abgeben, der Bitterling überlässt das Ausbrüten einer lebenden Muschel und begnügt sich mit einem halben Dutzend Eier pro Muschel.

Die Entwicklungszeit hängt von der Temperatur ab; man kann sie in Tagesgraden ausdrücken: Temperatur x Anzahl Tage. Eine Forelle schlüpft nach 440 Tagesgraden, also bei fünf Grad nach 88 Tagen. Bei der Äsche dauert die Entwicklung im Ei 160, beim Hecht 110 Tagesgrade.

Ein frisch geschlüpfter Fisch trägt einen Nährstoffvorrat im Dottersack am Bauche mit sich; es dauert einige Zeit (bei der Forelle etwa 160 Tagesgrade), bis er seine Entwicklung so weit vollendet hat, dass er zu schwimmen und zu fressen beginnt.

Frühlingshochwassern überschwemmt werden – oft entstehen nach Hochwassern starke Hecht-Jahrgänge. Der Flussbarsch (= Egli = Chretzer) hängt seine Eier in Bändern an versunkene Äste, Groppen kleben sie an die Unterseite hohl aufliegender Steine und bewachen sie dort, Stichling-Männchen bauen in ruhigem Wasser ein Nest aus Pflanzenteilen, und der Bitterling benötigt lebende Grossmuscheln, in deren Kiemenraum sich die Eier entwickeln. Sind diese Ansprüche nicht befriedigt, kann ein Fisch zwar leben, sich aber nicht fortpflanzen.

Seichte Ufer sind wichtig für die jüngsten Stadien der meisten Arten. Fischlein von einem Zentimeter Länge finden da Schutz vor dem Abgetriebenwerden und auch vor grösseren Fischen, welche sich kaum in seichtes Wasser vorwagen. Im Mai kann man an solchen Stellen frisch geschlüpfte Äschen und (unterhalb der Thurmündung) Nasen finden, im Juni Hasel und im Juli Alet und Barben.

3 NAHRUNG

Die frühere Einteilung in «Raubfische» und «Friedfische» ist irreführend: Jeder Fisch frisst Tiere, auch wenn Rotfedern und Alet zusätzlich Pflanzen zu sich nehmen. Dabei kommen zwar Spezialisierungen vor, doch nicht nach biologischer Systematik, sondern nach Grösse, Erreichbarkeit und Art der Nahrungsaufnahme: Äschen halten sich in der Strömung auf und fressen, was ihnen diese entgegentreibt – Insektenlarven, Schnecken, Egel, Bachflohkrebse und Fischeier. Wenn in der Nahrung der Äschen köcherlose Köcherfliegenlarven der Gattung *Hydropsyche* vorherrschen, dann allein deshalb, weil diese sehr häufig sind und eine attraktive Grösse aufweisen. Karpfen und Brachsmen dagegen wühlen im Schlamm nach Nahrung und erbeuten dort hauptsächlich Zuckmückenlarven, Schlammröhrenwürmer und Erbsenmuscheln, was aber keineswegs bedeutet, dass sie einen ins Wasser gefallenen Regenwurm verschmähten. Hechte gelten als spezialisierte Fischräuber, fressen aber auch Frösche, Krebse und junge Wasservögel – es leuchtet ein, dass sich für einen grossen Hecht nicht lohnt, wegen einer Insektenlarve auch nur das Maul zu öffnen.

(Die Eiszeiten mit ihrem verheerenden Einfluss auf die Fischfauna liegen nicht weit zurück. Die Artenzahl unserer Fische ist, verglichen mit ähnlichen Gebieten in anderen Erdteilen, immer noch recht bescheiden. Fachleute nehmen an, dass noch längst nicht alle denkbaren ökologischen Nischen besetzt sind und die Spezialisierung, auch im Hinblick auf die Nahrung, noch nicht weit fortgeschritten ist.)



Äsche *Thymallus thymallus*

In strömenden Flüssen; frisst Insektenlarven, welche knapp über Grund dahertreiben. Zum Laichen auf sauberen, durchströmten Kies angewiesen. Früher dominierende Art im Rhein; bedroht durch Stauwehre und Klimaerwärmung. Geschätzter Speisefisch.



Bachforelle *Salmo trutta*

Zum Laichen auf sauberen, durchströmten Kies angewiesen, sonst in verschiedenen Standortformen in unterschiedlichen kühlen Gewässern. Geschätzter Sport- und Speisefisch. Drastische Bestandeseinbrüche in mittleren und grösseren Gewässern, zusätzlich bedroht durch die Klimaerwärmung.



Egli, Flussbarsch *Perca fluviatilis*

Räuberischer Schwarmfisch in tieferem, ruhigem Wasser. Hängt seinen Laich in Bändern an versunkene Äste. In der Schweiz geschätzter Speisefisch.



Alet, Döbel *Leuciscus cephalus*

Anspruchsloser Allesfresser in Fliessgewässern jeder Art. Schwimmt meist träge nahe der Oberfläche und ist deshalb leicht zu sehen. Im Rhein häufig, aber wegen feiner Gräten im Fleisch wenig begehrt.



Aal *Anguilla anguilla*

Räuber; verbirgt sich zwischen Felsen oder in Krautbänken. Lebensweise mangelhaft bekannt; laicht im Meer. In der Schweiz wenig begehrt.



Hecht *Esox lucius*

Lauerjäger in stehendem oder langsam fliessendem Wasser. Laicht in Überschwemmungs- und Schilfgebieten.

Abb. 1. Einige Fischarten des Rheins. Nomenklatur nach KOTTELAT 1997. Fotos: E. Knapp und J. Walter.



Barbe *Barbus barbus*

Lebt in Flüssen auf Kiesböden, welche sie mit ihren Barteln nach Wirbellosen absucht. Unternimmt kilometerlange Laichwanderungen in Gebiete mit stärkerer Strömung. Wenig begehrt.



Nase *Chondrostoma nasus*

In Flüssen, schabt den Belag aus Algen und Kleintieren von den Steinen ab. Die Nase zieht zum Laichen in grossen Schwärmen flussaufwärts. Kraftwerke verhindern die Wanderungen. Nachdem die Langdistanzwanderer (Bsp.: Lachs) ausgestorben sind, ist nun mit dem Aussterben dieses Mitteldistanzwanderers zu rechnen. Ein (überalterter) Bestand lebt zwischen Kraftwerk Eglisau und Unterlauf der Thur.



Brachsmen *Abramis brama*

Gemächlicher Schwimmer in ruhigem Wasser, sucht mit seinem rohrförmig ausstülpbaren Maul im Schlamm nach Kleintieren. Die klebrigen Eier haften in Ufernähe an Wasserpflanzen und Wurzeln. Wegen der feinen Gräten wenig geschätzt.



Groppe *Cottus gobio*

Bodenlebender Kleinfisch in rasch fliessenden Gewässern mit steinigem Boden; schlechter Schwimmer. Die Groppe deponiert und bewacht ihren Laich im Hohlraum unter einem Stein. Wo Schlamm die Hohlräume ausfüllt, stirbt die Groppe aus.



Stichling *Gasterosteus aculeatus*

Einst ein beliebter Aquarienfisch, wurde von Aquarianern in den Rhein eingeführt. Lebt in Ufernähe in ruhigem Wasser, wo das Männchen aus Wasserpflanzen ein Nest baut und darin Eier und Junge betreut. Im Rhein erfolgen in Abständen von fünf bis zehn Jahren Massenvermehrungen.



Wels *Silurus glanis*

An tiefen, ruhigen Stellen; gefrässiger Räuber, grösste einheimische Art. Seit jeher im Bodensee heimisch, allerdings nie häufig. Seit gut zehn Jahren starke Vermehrung im Rhein zwischen Rheinau und Basel.

Auch der grösste Hecht beginnt sein Leben als Fischchen von anderthalb Hundertstelgramm. Jede Fischart benötigt fürs Aufkommen der Jungen ein reiches Angebot an winzig kleinen Wasserlebewesen. Im Rhein besteht dieses Angebot hauptsächlich aus Plankton – Kleinkrebse von rund einem Millimeter Körpergrösse, die sich im See entwickeln und passiv den Rhein hinuntertreiben. Ein Liter Rheinwasser kann im Mai Dutzende solcher Krebschen enthalten; wenn wir hundert Krebschen pro Liter und eine Wasserführung von 400 Kubikmetern pro Sekunde annehmen, dann sind es 40 Millionen Planktonkrebse, die jede Sekunde den Rhein hinuntertreiben.

Der See als Lieferant von Plankton ist eine Standortgunst. Ein Fluss, der sein Wasser nicht aus einem See erhält, kann seinem Fischbestand keine so üppige Nahrungsquelle für die jüngsten Stadien anbieten. Dort müssen sich junge Fische von den jüngsten Stadien von Insektenlarven und Bachflohkrebsen ernähren, welche nur in bedeutend geringeren Zahlen zur Verfügung stehen.

4 FISCHE ALS BEUTE

Einer Faustregel zu Folge leben von 1000 soeben schwimmfähig gewordenen Forellen nach sechs Wochen noch 200, nach drei Monaten noch 100, nach einem Jahr 50, nach zwei Jahren 25 und nach drei Jahren, wenn sie geschlechtsreif werden, noch 15. Für Arten, die für die Fischerei weniger bedeutsam sind, fehlen solche Faustregeln, aber das Muster dürfte dasselbe sein: eine sehr hohe Sterblichkeit namentlich der jüngsten Stadien.

Niemand weiss, an welchen Todesursachen wieviele Fische sterben. Beträchtliche Anzahlen werden wohl verhungern, Krankheiten und Parasiten zum Opfer fallen oder beim Vorbeifahren eines Kursschiffes von den Wellen aufs Ufer geworfen werden. Und sehr viele werden zweifellos gefressen.

Man kann sich vorstellen, dass ein frisch geschlüpftes, noch kaum schwimmfähiges Fischchen für die Mehrheit der Wasserlebewesen buchstäblich ein gefundenes Fressen ist. Egel und Strudelwürmer, die Larven von Libellen, Köcher- und Steinfliegen und kleine Fische dürften sich ihren Anteil holen, und der kleineren Schar derer, welche die Länge eines kleinen Fingers erreichen, stellen grössere Fische, Ringelnatter, Wasserspitzmaus, Möwe, Haubentaucher, Zwergtaucher und Eisvogel nach – wer der Meinung ist, eine so seltene Art wie der Eisvogel könne unmöglich einen Einfluss auf den Fischbestand haben, der möge bedenken, dass ein Eisvogelpaar pro Jahr mit Leichtigkeit 10 000 Fische verbraucht.

Die Wenigen – nach obiger Faustregel 15 von 1000 –, welche die Länge einer Spanne erreichen, sind der überschaubaren Zahl spezialisierter Fischfresser ausgesetzt. Zu diesen gehören Hecht, Forelle, Zander, Haubentaucher, Gänsesäger, Fischreiher, Kormoran – und der Mensch.

Die Fischentnahme lässt sich auf verschiedene Weise abschätzen: Bei Raubfischen kann man annehmen, dass sie aus 10 kg gefressener Fische 1 kg eigenes Körpergewicht erzeugen, dass also ein 20-pfündiger Hecht im Laufe seines Lebens 100 kg Fische gefressen hat. Bei einigen fischfressenden Vögeln kennt man den täglichen Nahrungsbedarf: Kormoran 500 g, Gänsesäger 300 g, Fischreiher 340 g, wovon allerdings bei letzerem nur etwa die Hälfte auf Fische entfällt. Und die Entnahme durch den Menschen lässt sich in der Fangstatistik nachlesen; sie betrug beispielsweise im Jahre 2002 für die Rheinstrecke zwischen Untersee und Rheinfall (3,83 km^2) 21275 kg.

Die Annahme ist wohl nicht überrissen, dass der genannte Rheinabschnitt jährlich mindestens 50 Tonnen Fische produziert, die ihrerseits mindestens 500 Tonnen kleinerer Wassertiere gefressen haben.

5 DER NIEDERGANG EINER FISCHART

Man kann Fliessgewässer von der Quelle bis zur Mündung ins Meer auf Grund von Gefälle, Beschaffenheit der *Sohle, Temperaturverlauf* während dem Jahr, *Pflanzenwuchs* und tierischer *Lebensgemeinschaft* in Regionen einteilen, die nach einer charakteristischen Fischart benannt werden. Dieser Einteilung zu Folge entspricht der Alpenrhein der Forellenregion, der Hochrhein der Äschen-, der Oberrhein der Barben- und der Niederrhein der Brachsmenregion. Und tatsächlich war die Äsche noch vor 150 Jahren die dominierende Fischart zwischen Untersee und Basel.

1866 wurde das Kraftwerk Schaffhausen mit dem Moserdamm eingeweiht – aus heutiger Sicht ein vergleichsweise sanfter Eingriff in die Natur –, 1898 folgte Rheinfelden, 1911/12 Augst-Wyhlen, 1914/15 Laufenburg, und heute stehen zwischen Bodensee und Basel elf Kraftwerke mit 13 Stauwehren (Abb. 2; vgl. auch VISCHER und KALT, in diesem Buch).

Stauwehre wirken sich in mehrfacher Weise auf die Fische aus:

Wanderung. Zwar können Kraftwerke flussabwärts durchschwommen werden, sofern die Turbinen vom Modell Kaplan und die Fische nicht allzu lang sind, aber eine Wanderung flussaufwärts ist ausgeschlossen. Dies wurde schon früh erkannt, und bei allen Hochrhein-Kraftwerken ausser Rheinau wurden Fischtreppen (= Fischpässe = Fischaufstiegshilfen) gebaut, in denen Fische die Höhendifferenz in einer Abfolge hintereinander angeordneter Becken überwinden können. Wohl wurde viel Geld

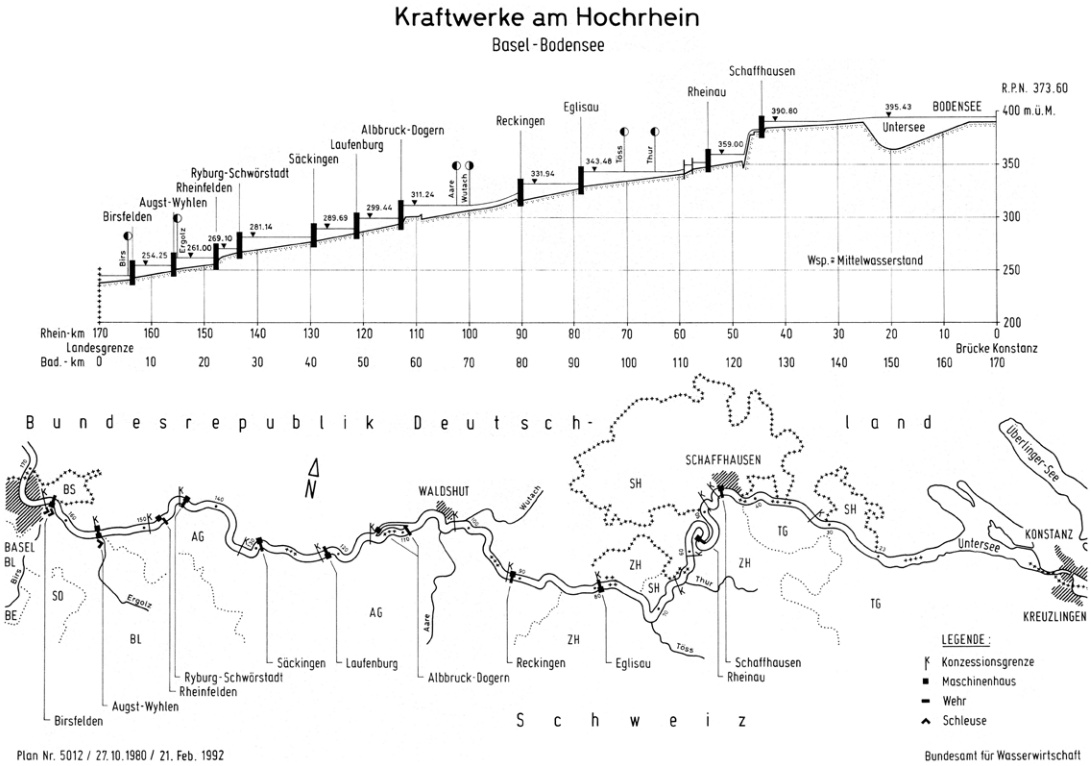


Abb. 2. Der Rhein zwischen Konstanz und Basel, unten topografisch, darüber im Längsschnitt. Die Kraftwerke verwandelten den Fluss in eine Abfolge von Staustufen; lediglich in vier Abschnitten fliesst der Rhein ungestaut: unterhalb des Untersees, zwischen Schaffhausen und Rheinfall, oberhalb der Thurmündung und unterhalb des Kraftwerks Reckingen. Quelle: Bundesamt für Wasserwirtschaft.

und Geist in solche Einrichtungen gesteckt, aber die Suche nach einer Konstruktion, die von jeder im Gebiete vorkommenden Fischart gefunden, angenommen und bewältigt wird, ist bis heute nicht zu Ende.

Sohlenbeschaffenheit. In stehendem Wasser lagern sich Sand, organisches Material und Kalkkrümel, welche bei der biogenen Entkalkung entstehen, am Grunde ab und füllen die Lücken im Kies auf. Bei sehr starker Strömung wird nicht nur dieses feine Material, sondern auch kleinere Steine mitgerissen, und nur grosse Blöcke bleiben liegen. Typisch für die Äschenregion sind Strömungsgeschwindigkeiten, welche Kies ab dem Durchmesser eines Frankenstückes liegen lassen. Solchen Kies benötigen Äschen als Laichplatz. Ein Stauwehr bremst die Strömung, feines Material wird nicht mehr weggespült, die Laichplätze verschlammen, und die Fortpflanzung ist den Äschen nicht mehr möglich.

Ufer. Ein Stauwehr erhöht den Wasserstand. Deshalb mussten die Ufer neu gestaltet werden. Selbstverständlich versuchte man, möglichst wenig Land zu beanspruchen oder sogar dem Rhein Fläche abzuringen und baute deshalb steile Ufermauern – dem Zeitgeist entsprechend mit wenig Zartgefühl und viel Granit oder Beton. Damit wurden die Flachwasserzonen vernichtet, welche als «Kinderstube» für viele Fischarten wichtig sind.

Abb. 3 zeigt die Abhängigkeit der Äsche von ungestauten Fliessstrecken. Die weitaus grössten Fänge waren möglich in den Fliessstrecken zwischen Stein am Rhein und Diessenhofen sowie zwischen dem Kraftwerk Schaffhausen und dem Rheinfall, gefolgt vom dazwischen liegen-

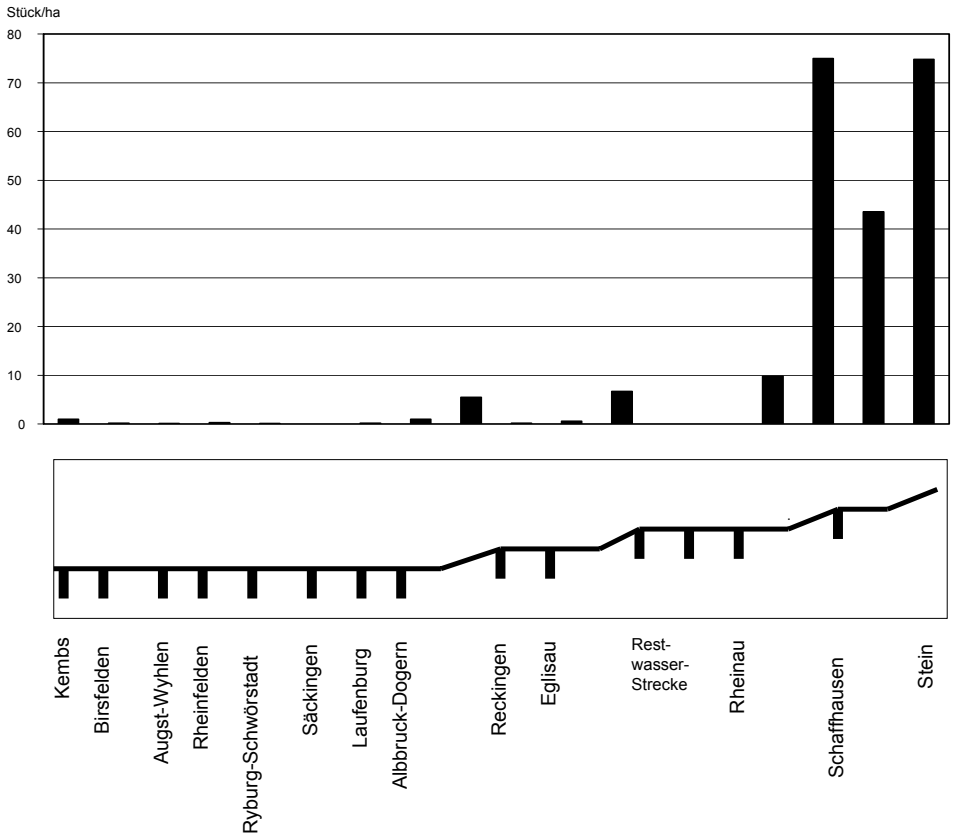


Abb. 3. Äschenfänge (Stück pro Hektar, Median der Jahre 1988 bis 1997) in den Abschnitten des Hochrheins. Erklärung im Text.

den Stau: Da profitieren die Äschen vom ungehindert erreichbaren Laichgebiet oberhalb Diessenhofens. Auch der Bestand im Stau Rheinau dürfte gestützt werden von Nachwuchs, welcher von oberhalb des Rheinfalls stammt. Umgekehrt lassen sich die mässigen Fänge in den beiden untersten Fliessstrecken, oberhalb der Mündungen der Thur und der Aare, damit erklären, dass es kurze, zwischen Staustrecken isolierte Abschnitte sind.

Innert eines halben Jahrhunderts wurde der Rhein also durch Kraftwerkbauten so stark verändert, dass die einst dominierende Fischart nur noch in den obersten rund 20 Kilometern einen blühenden Bestand bilden kann. Da alle grösseren Flüsse zur Energiegewinnung genutzt werden, kam die Äsche grossflächig in Bedrängnis und gilt heute in der Schweiz als gefährdet. In den verbleibenden ungestauten Abschnitten ist jedoch eine recht intensive nachhaltige Nutzung möglich.

Neues Ungemach nahte in der Gestalt des Kormorans, der in den 80er Jahren nach Jahrzehnte langer Abwesenheit in Grüppchen in den Hochrhein einzufliegen begann. Obwohl sich die Grüppchen schon bald zu Schwärmen von über hundert Vögeln entwickelten, liess sich noch 1991 das beste Äschen-Fangjahr seit Bestehen der Fangstatistik verzeichnen. Umso überraschender kam der Zusammenbruch des Äschenbestandes im Winter 1996/97 auf etwa einen Fünftel. Dass der Kormoran dafür verantwortlich ist, lässt sich belegen.

In der Folge zeigte sich die Erholungsfähigkeit eines Äschenbestandes in einem intakten Lebensraum, wobei selbstverständlich fischereiliche Schonmassnahmen und die Vergrämung der Kormorane mithalfen. Schon 2001 erreichten die Äschenfänge wieder den langjährigen Durchschnitt.

Doch dann kam der Hitzesommer 2003. Bei Wassertemperaturen von über 26 Grad setzte ein Massensterben ein, dem ungefähr 50 000 Äschen zum Opfer fielen. Bei Bestandeskontrollen im Herbst 2003 stellte sich heraus, dass zwischen Stein am Rhein und Rheinfall nur etwa 3% der Äschen überlebt hatten. Später zeigte sich, dass der jüngste Jahrgang, im Sommer 2003 etwa fingerlange Fischchen, etwas weniger stark betroffen war. Zurzeit lässt sich eine langsame Bestandeserholung beobachten, doch die in den Folgejahren erreichten Wassertemperaturen – sowohl 2004 als auch 2005 erreichte der Rhein beinahe 25 Grad – und die unübersehbaren weiteren Zeichen einer ungebremsten Klimaveränderung lassen die Zukunft der einst dominierenden Fischart im Rhein in düsterem Lichte erscheinen.

Dr. Jakob E. Walter, Rheinfallquai, CH-8212 Neuhausen am Rheinfall, jakob.walter@smile.ch

Lebensraum- und Arealveränderungen der Amphibien im Alpenrheintal

Mario Lippuner (Zürich) und Hans Heusser (Rapperswil-Jona)

1 DER LANDSCHAFTSWANDEL

Das Alpenrheintal zwischen Bodensee und Thusis zählt – bezogen auf die Schweiz – zu den Regionen mit den massivsten Arealverlusten mehrerer Amphibienarten. Der Schwund lässt sich jetzt fast über ein halbes Jahrhundert dokumentieren und ist in der Regel direkt auf Biotopzerstörungen zurückzuführen. Die ursprüngliche Flussaue wurde schon durch die Rheinkorrektion im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts zerstört (s. KAISER in diesem Werk). Vor allem im südlichen Bereich funktionierten Kolmatierungsanlagen (s. u.) und Kiesabbauflächen als Ersatzhabitate, die seit 1957 durch Strassenbauten wieder beseitigt wurden.

Für eine geraffte Zusammenfassung der Eingriffe zwischen etwa 1850 und 1950 stützen wir uns auf EWALD (1978), BERTSCHINGER (1978), METZ (1989–1993) und SCHLEGEL et al. (1999). Zur Veranschaulichung der früheren Zustände stellte uns H. Jenny Reproduktionen von Rheinkorrektionsprojekten aus dem 19. Jahrhundert zur Verfügung, und A. Lerch vermittelte uns Dufour-Karten (Chur-Bodensee 1: 100 000, Aufnahmen 1850–1854) sowie die Blätter des Siegfried-Atlas (Chur-Bodensee 1:50 000 und 1:25 000, Aufnahmen, bzw. Revisionen 1875–1886).

Bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts war die Dynamik des Rheins und seiner Zuflüsse nur lokal durch ablenkende Dämme (Wuhren) eingeschränkt (Abb. 1). Die ersten Dämme und Kolmatierungen über längere Flussabschnitte hinweg entstanden nach dem Hochwasser von 1834 im Domleschg. Das durchgehende Hochwuhr von Landquart bis Oberriet wurde 1865–1877 gebaut und bis Anfang der 1960er Jahre mehrmals erhöht, dagegen war die Rheinkorrektur Chur–Landquart 1888 erst im Projektstadium. Die Landquart im unteren Prättigau wurde bis 1889 korrigiert, der Ill- und Rheinabschnitt von Feldkirch bis zum Bodensee 1896–1923 mit weiteren Einengungen 1954. Der Durchstich von Fussach erfolgte 1900, der von Diepoldsau 1923. Einengungen sowie Korrekturen an der Rheinsohle gab es zwischen Landquart und dem Bodensee bis in die 1970er Jahre. Im Anschluss an die Eindämmung des Rheins folgten umfangreiche Entwässerungen der versumpften Rheinebene, vor allem im Norden auf Schweizer Seite noch zwischen 1945 und 1985. So schrumpfte zum Beispiel das «Isenriet» nördlich von Oberriet von rund 5 000 ha auf etwa 50 ha zusammen. Die Rheinkorrektur, Binnenkanäle, Drainagen zur Landgewinnung, später Kiesentnahmen aus dem Rhein sowie die Nutzung des Grundwassers bewirkten eine Grundwasserabsenkung, die auch Altwasser und Sumpfgebiete ausserhalb der Dämme trockenlegte.

Die Kolmatierungsanlagen, von denen es heute nur noch kleine Relikte gibt, wurden zum Teil gleichzeitig mit der Flusskorrektur, zum Teil noch bis um 1940 in der Talebene zwischen den Flussdämmen und den Talflanken zur Gewinnung von Kulturland neu angelegt (Flurnamen wie «Neugüter», «Neuländer»). Bei der Kolmatierung wird das schlickreiche Wasser des Flusses in Staureviere eingelassen, die mit Dämmen unterteilt sind, wo sich die Schwebestoffe absetzen und je nach Fracht innert Jahren oder Jahrzehnten auf den vorher ertragslosen Kiesflächen beträchtliche, für die Landwirtschaft nutzbare Auflandungen bilden und auch tiefliegende vernässte Stellen auffüllen (FAUSER, 1914). Die Anlagen waren in der Regel nur temporär, vom Frühling bis Herbst überflutet, dies in Abhängigkeit von der Wasserführung des Rheins und seiner Zuflüsse (Schneeschmelze in den Alpen im Mai); einige Abschnitte wurden zur Forellenzucht genutzt. Die Aufschwemmstadien reichten von noch vegetationsarmen Teichen

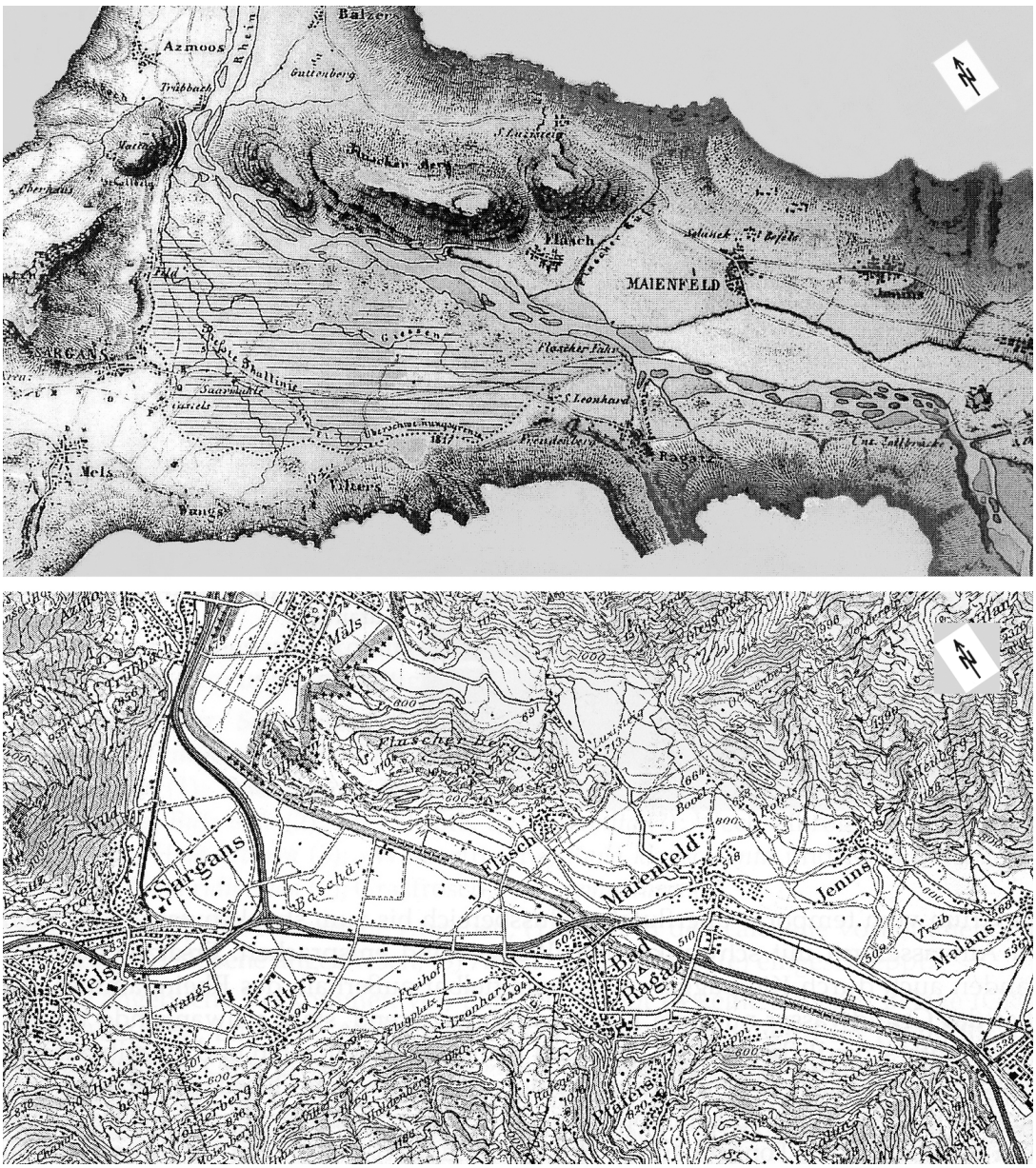


Abb. 1. Die Rheinebene zwischen Sargans und Landquart 1818 und 1990. Oben: Karte von H. Pestalozzi 1818: Die 1817 vom Rhein überflutete Fläche ist schraffiert (reproduziert mit Bewilligung des Archivs Tiefbauamt Graubünden vom 28.8.2000). Unten: Entsprechender Ausschnitt aus der Landeskarte der Schweiz 1:100 000; Ausgabe 1995; Gesamtnachführung 1990 (reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 29.8.2000). Der Kartenbereich rechts unten (südlich der Landquartmündung in den Rhein) entspricht dem Bereich von Abb. 2.

über mit Schilf, Rohrkolben und Schwimmendem Laichkraut bewachsene Segmente bis zur völligen Auflandung. Sie enthielten Biotope, die ökologisch einem Spektrum vom temporär überfluteten Flussbereich bis zum streckenweise permanenten Altwasserarm mit schwankendem Wasserstand entsprachen. Ersatzbiotope entstanden auch durch Kiesbaggerungen unmittelbar ausserhalb des Rheindammes, die, über das Grundwasser mit dem Rhein kommunizierend,

stark schwankende Wasserstellen unterschiedlicher Grösse, Tiefe und Temperatur enthielten und so zeitweise auf relativ kleinen Flächen den Wirkungen der ursprünglichen Flussdynamik sehr nahe kamen. Weitere Amphibienbiotope innerhalb des ehemaligen Flussbereichs gab es zum Beispiel in den Tongruben der Region Landquart (Ziegeleien Landquart) und in Kiesabbauflächen u. a. für die Kofferung der A13.

Im Churer Rheintal zwischen Zizers und Maienfeld, wo die Etappen des Artenschwundes am besten dokumentiert sind, verschwanden die letzten Kolmatierungsanlagen ab 1957 in schneller Folge. Beim Bau der A13 fiel 1957 die Anlage am Rhein südlich von Landquart trocken, wo das Trassee über die Amphibienbiotope hinweg gebaut wurde (Abb. 2). Die Anlage bei Ganda zwischen Landquart und

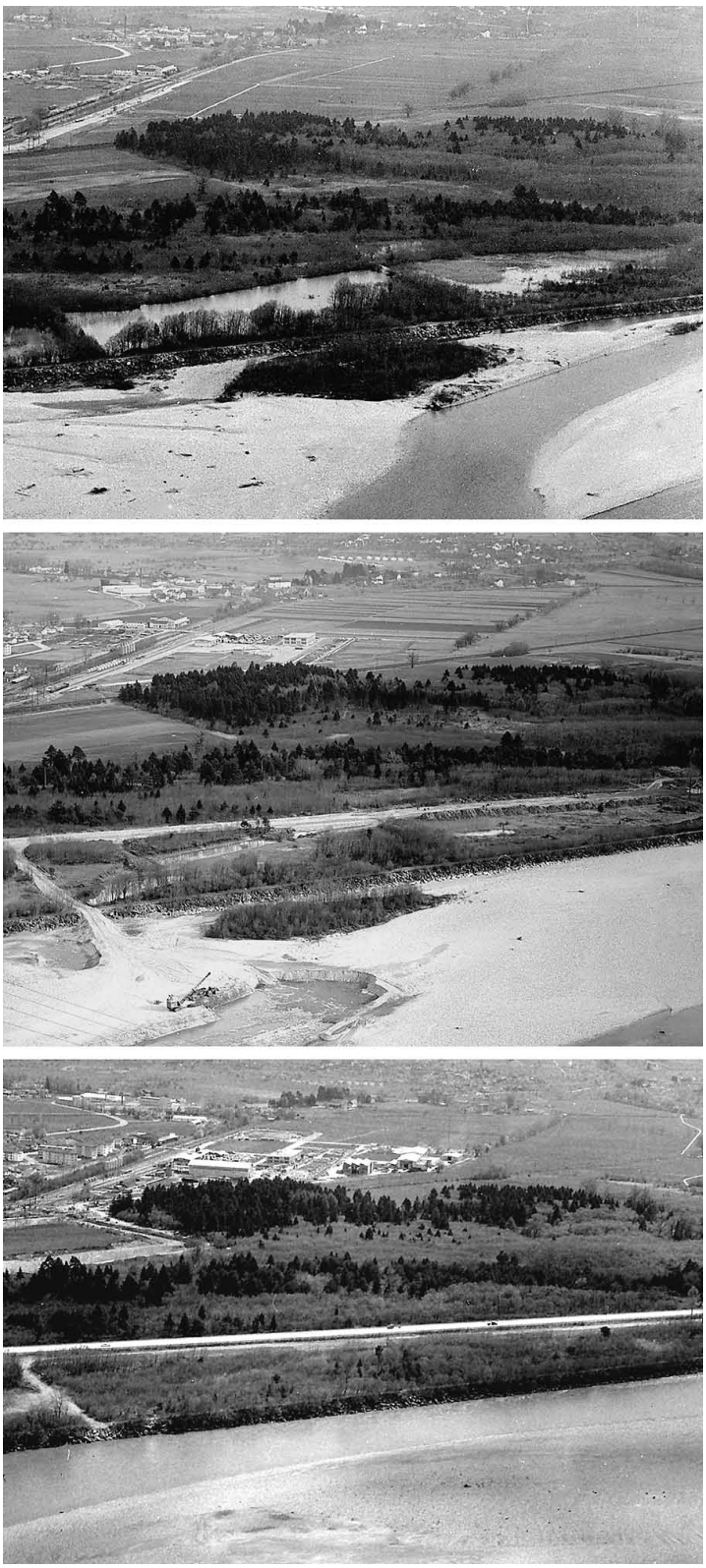


Abb. 2. Ausschnitt aus der Kolmatierungsanlage am Rhein, 1 km südlich von Landquart, fotografiert von der Kirche Mastrils aus gegen Osten (entspricht dem Bereich rechts unten in Abb. 1). Der Rhein fliesst nach links = Norden. Oben: Aufnahme vom 22.4.1954. Im Aufschlemmbereich vorkommende Arten: *Triturus alpestris, T. vulgaris, Bombina variegata, Bufo bufo, Rana esculenta, R. temporaria*. Mitte: Aufnahme vom 6.3.1957. Das Autobahntrassee wurde durch den Kolmatierungsbereich gezogen. Es sind noch Resttümpel vorhanden. Unten: Aufnahme vom 22.4.1964 mit A13. Der frühere Kolmatierungsbereich liegt trocken; alle Amphibienarten sind verschwunden. Fotos: H. H.

der Klus wurde ab 1959 zur Verbreiterung der Strasse nach Davos trockengelegt, eine Anlage am nördlichen Rand von Landquart in verschiedenen Etappen, definitiv erst nach 1964. Der Bau der A13 nördlich von Landquart führte ab 1958 durch die 5 km lange Kolmatierungsanlage am Rhein zwischen Landquart und Maienfeld hindurch; während der Bauzeit blieben an den tiefsten Stellen Resttümpel bestehen, 1963 war die nun von der befahrenen A13 zerschnittene Anlage wieder mit Wasser gefüllt, wurde dann aber sukzessive trockengelegt bzw. landete auf, bis auf kleine, 1999 noch bestehende Reste bei Maienfeld. Das Kiesabbaugebiet am Rhein bei Zizers enthielt mindestens bis 1965 gute Amphibienbiotope. Es wurde später zugeschüttet und planiert; es blieben zwei tiefe kühle Badeteiche mit Erholungsbetrieb und starkem Fischbesatz, die für Amphibien (ausser *Bufo bufo*) ungeeignet sind. Alles in allem verschwanden ab 1957 im Gebiet zwischen Zizers und Maienfeld alle für die «Flussauentypen» unter den Amphibien geeigneten Gewässer bis auf winzige Relikte.

Rheinabwärts von Sargans bis zum Bodensee fand ein analoger, in der Wirkung auf die Amphibien weniger gut dokumentierter Prozess in den sechziger bis achtziger Jahren statt, vor allem durch den Bau der A13 und das Vordringen von Industrieanlagen in das früher versumpfte Gebiet bis an die Rheindämme. Weil diese Entwicklung im nördlichen Bereich später einsetzte, die Talebene dort breiter ist und noch Moorpartien mit Torfstichen enthält, hat der Schwund nördlich von Buchs (noch) nicht das Ausmass wie im Raum Chur-Sargans erreicht.

2 AMPHIBIENARTEN

Folgende Amphibienarten kommen für das Untersuchungsgebiet zwischen Bodensee und Thusis und im unteren Prättigau (Abb. 3) potenziell in Betracht:

Alpensalamander, *Salamandra atra* (1); Feuersalamander, *Salamandra salamandra* (1); Bergmolch, *Triturus alpestris* (2); Kammmolch, *Triturus cristatus* (3); Fadenmolch, *Triturus helveticus* (1); Teichmolch, *Triturus vulgaris* (3); Gelbbauchunke, *Bombina variegata* (3); Erdkröte, *Bufo bufo* (2); Kreuzkröte, *Bufo calamita* (?); Wechselkröte, *Bufo viridis* (?); Laubfrosch, *Hyla*

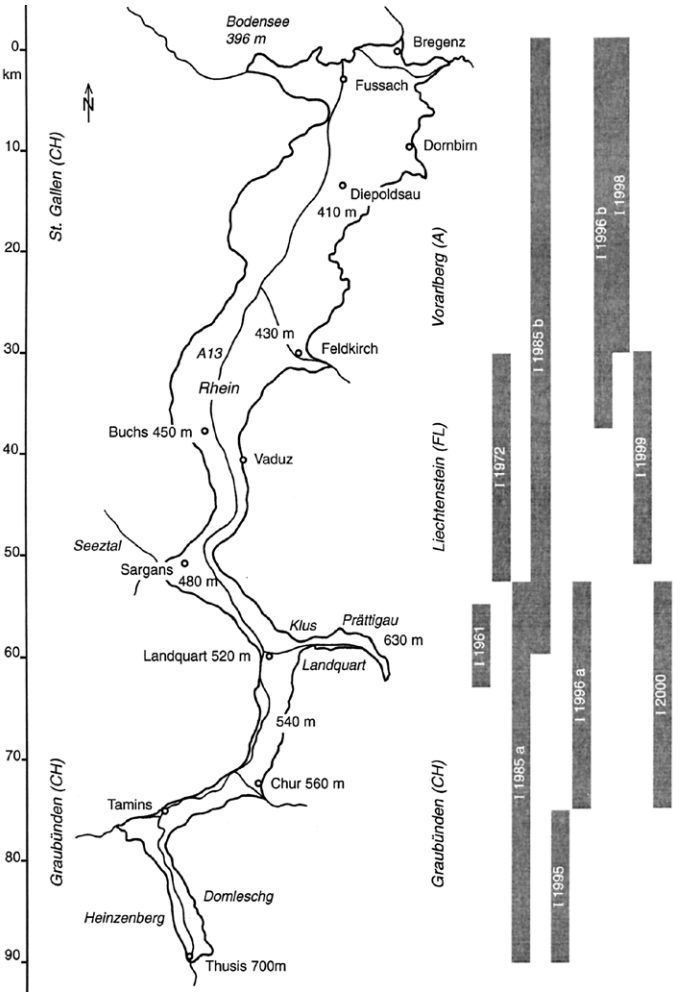


Abb. 3. Untersuchungsgebiet Alpenrheintal mit einigen Orts- und Höhenangaben. Die Balken markieren die in den zehn berücksichtigten Teilinventaren (I 1961–I 2000) untersuchten Talabschnitte.

arborea (3); «Wasserfrosch», *Rana esculenta* und *Rana lessonae* (3); Seefrosch, *Rana ridibunda* (e); Grasfrosch, *Rana temporaria* (2).

Es bedeuten: (?) nur historische Angaben; (1) nicht in der Talebene vorkommend; (2) nicht auf die Talebene angewiesen; (3) Arten der Talebene; (e) eingeschleppt.

Für das angebliche Vorkommen von *B. viridis* gibt es keine sicheren Belege (GROSSENBACHER, 1988; LIPPUNER und HEUSSER, 2001). *B. calamita* wird im 19. Jahrhundert für Malans, Zizers und Chur erwähnt, sie soll «früher» auch bei Sargans vorgekommen sein, und das Zoologische Museum der Universität Zürich hat zwei Abgüsse von 1930 bei Chur gefangenen Tieren (GROSSENBACHER, 1988). Nach J. Barandun und J. B. Kühnis gibt es aus dem Gebiet nördlich von Sargans keine historischen Angaben zur Art, und neuere Angaben sind aus dem gesamten Alpenrheintal nicht bekannt. Die östlichsten Standorte der Kreuzkröte liegen zurzeit ganz im Norden, etwa 25 km westlich vom Rhein entfernt; sollte die Besiedlung des Churer Rheintals durch das Seeztal nur nach Süden erfolgt sein, sind es über 50 km (GROSSENBACHER, 1988). Danach müsste *B. calamita* ihre Basis im ganzen Gebiet ab 1930, in der Region Zizers – Landquart spätestens bis 1953 verloren haben.

Die historischen Angaben über *S. salamandra* im Bündner Rheintal sind unsicher (GROSSENBACHER, 1988), und die aktuellen Vorkommen im St. Galler Rheintal beschränken sich auf Bäche der Talflanken. *S. atra* ist regionenweise in den höheren Lagen verbreitet; die in der Fortpflanzung von offenen Wasserstellen unabhängige Art ist von den Habitatzerstörungen in der Talebene nicht betroffen. *T. helveticus* erreicht nach GROSSENBACHER (1988) bei Berneck den nordöstlichsten Punkt seines Areals in der Schweiz; BROGGI und WILLI (1998) erwähnen einen Standort in Vorarlberg, und für die Talebene bei Oberriet – Altstätten haben SCHLEGEL et al. (1999) den Erstnachweis weniger Tiere erbracht; wir zählen den Fadenmolch hier nicht zu den Arten der Talebene.

Die verbleibenden Arten fand LIPPUNER (1996) zwischen Rhäzüns und Fläsch in 66 kontrollierten Amphibiengewässern in folgender Häufigkeit: Bergmolch 23, Kammmolch 4, Teichmolch 2, Gelbbauchunke 15, Erdkröte 39 und Grasfrosch 61 (Laubfrosch und «Wasserfrosch» waren bereits aus dem Gebiet verschwunden). Bergmolch, Erdkröte und Grasfrosch sind auch rheinabwärts die häufigsten Arten; sie sind für die Bestandeserhaltung nicht auf die Gewässer der Talebene angewiesen und haben in höheren Lagen ungefährdete Reservoire (GROSSENBACHER, 1988; LIPPUNER, 1995).

3 RÜCKGANG DER ARTEN IN DER TALSOHLE

3.1 Unterlagen

Sukzessive Arealverluste von Süden nach Norden zeigen Teichmolch, Gelbbauchunke, Laubfrosch, «Wasserfrosch» und wahrscheinlich auch der Kammmolch. Für die Einschätzung des Artenrückgangs stützen wir uns auf folgende Unterlagen: Die Sammlung der Angaben aus der Literatur für die Zeit vor 1953, vor allem aus dem 19. Jh. in GROSSENBACHER (1988), Inventare und Publikationen von Einzelbeobachtungen zwischen 1953 und 1999 ohne Anspruch auf Vollständigkeit, sowie zwischenzeitliche eigene Beobachtungen und persönliche Mitteilungen von kompetenten Beobachtern. Die Etappen des Rückgangs zeigen sich beim Vergleich der folgenden zehn Teilinventare (chronologisch; in Abb. 3 als «I 1961» usw. bezeichnet).

I 1961: HEUSSER (1961a); enthält nur 18 Standorte aus dem Prättigau und dem Rheintal zwischen Zizers und Maienfeld, die 1953–1960 für Verhaltensbeobachtungen bei Biotopzerstörungen kontrolliert wurden (HEUSSER, 1960, 1961b). Darunter befinden sich aber die grössten und artenreichsten Kolmatierungsanlagen und Kiesgruben des Gebietes. 1953–1960 wurden zwölf der 18 Biotope zerstört, darunter alle grossen. Anmerkung: Der für die Rückgangsgeschichte wichtige Standort Zizers (heute die lokal als «Zizerser Gumpen» bezeichneten Badeweiher) war in I 1961 noch ein Kiesgrubenareal von 850 m Länge mit zwei als «XVII» und

«XVIII» unterschiedenen Standortschwerpunkten.

I 1972: BROGGI (1972); Inventar der Amphibien im Fürstentum Liechtenstein; Bestandesaufnahmen vor allem 1970/71.

I 1985 a: FREY et al. (1985); Inventar der Amphibien von ganz Graubünden; im Bündner Rheintal wurden 1976–1984, 1978 und 1981–1984 durch verschiedene Mitarbeiter 36 Standorte inventarisiert.

I 1985 b: ZOLLER (1985); Inventar der Amphibien für die Kantone St. Gallen und Appenzell 1980–1985; es enthält unmittelbar anschliessend an I 1985 a die linksrheinischen Standorte bis zum Bodensee.

I 1995: LIPPUNER (1995); Amphibieninventar Domleschg/Heinzenberg.

I 1996 a: LIPPUNER (1996); Inventar der Amphibien im Churer Rheintal (Rhäzüns–Fläsch), mit 66 Standorten die bisher vollständigste Erhebung.

I 1996 b: BARANDUN (1996); Inventar der 1993–1996 im Rheintal (St. Gallen, Liechtenstein, Vorarlberg) noch vorkommenden Laubfrosch-Standorte.

I 1998: BROGGI und WILLI (1998); Inventar der Amphibienwanderwege in Vorarlberg 1994–97, das eine Auswahl von Laichgewässern aller Arten und das Inventar von H. TEUFL und U. SCHWARZER 1984 (nicht eingesehen) berücksichtigt.

I 1999: KÜHNIS und LIPPUNER (1999); Inventar entlang des Rheinabschnittes Liechtenstein–Sargans–Werdenberg und Zusammenfassung von I 1996 a.

I 2000: LIPPUNER und HEUSSER (2001); Nachkontrolle der Standorte von I/1996a.

3.2 Darstellung der Etappen des Artenrückgangs

Abbildung 3 zeigt die Lage des Gebietes mit einigen orientierenden Orts- und Höhenangaben. Abbildungen 4–7 mit den Etappen des Rückgangs der einzelnen Arten sind interpretierende Kompilationen der zehn Inventare. Die am weitesten nach Süden (talaufwärts) reichende Schraffur bedeutet, dass die Art in einem der erwähnten Inventare bis dort belegt ist oder auf Grund historischer Angaben dort noch vorgekommen ist. Die Schraffuren auf Grund der Inventare ab I 1961 bedeuten innerhalb des Inventarbereichs das Vorkommen in nachweislich fortpflanzungsfähigen Beständen und in einer Dichte, die vermutlich den Austausch zwischen den einzelnen Standorten gestattet. Die helle Schraffur eines früheren Inventars in einem südlichen Arealteil extrapolierten wir jeweils nach Norden bis zum Bodensee, in der Annahme, die Art sei dort zur gleichen Zeit auch in mindestens der gleichen Bestandesdichte vorgekommen (Argument s. u.). Dunklere Schraffuren bedeuten fortpflanzungsfähige, relativ dichte Bestände in jeweils späteren Inventaren. Der Punktraster bezeichnet Gebiete mit nachweislich oder wahrscheinlich sekundär sporadisch gewordenen Vorkommen, wobei der Kontakt mit den nächstgelegenen Vorkommen vermutlich unterbrochen ist (Distanz, Flüsse, Verkehrsträger, Siedlungen).

Argumente: Die Arten können die südlichen Talabschnitte nur von Norden, allenfalls über das Seeztal, nicht aber über die Alpen von Süden her besiedelt haben. Dieser Arealausweitung nach Süden standen noch keine Hindernisse im Weg wie heute. Man kann annehmen, dass die Ausbreitung nach Süden von fortpflanzungsfähigen (Meta-)Populationen ausging, die im Norden ihre Reservoire hatten. Falls diese Annahme zutrifft, sind die sporadischen Bestände im Norden bei Arten wie dem Kammmolch, die nachweislich auch weit südlicher vorkommen oder vorgekommen sind, als es die Wanderung von Einzeltieren erlaubt, auf eine sekundäre Ausdünnung der Populationsreservoire zurückzuführen. Nach diesem Argument nehmen wir zum Beispiel auch an, dass der Teichmolch (Abb. 4), der in I 1961 noch so südlich wie Zizers in guter Dichte vorkam, damals auch im Norden rechts des Rheins noch gute Bestände hatte (gleiche Schraffur ab Zizers), obschon dort für diesen Zeitpunkt kein Inventar vorliegt, sondern bloss belegt ist, dass er später (I 1998) nur (noch) sporadisch vorkommt. Die Annahme, dass sporadisches Vorkommen und Inselpopulationen «immer» sekundär sind, wird auch dadurch

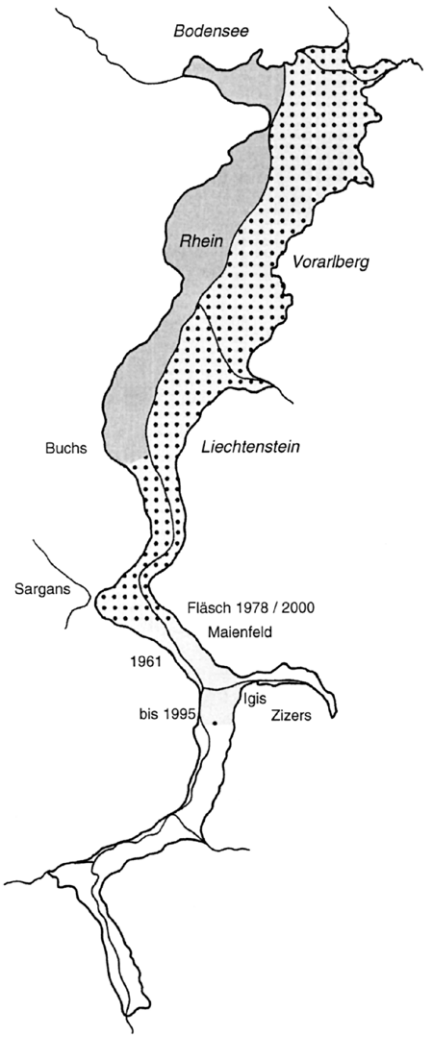


Abb. 4. Rückgang des Teichmolches, *T. vulgaris*. Durchgehende Grauraster: Bestandesdichte, die vermutlich Austausch zwischen den Populationen zulässt. Punktraster: sporadische Verbreitung. Einzelpunkte: Inselpopulationen. Jahreszahlen: Indikatoren des Rückgangs wie letzte, bzw. südlichste Nachweise. Die hellste Schraffur bezeichnet das ursprünglich bekannte Verbreitungsgebiet (historisch oder ab 1953), dunklere Schraffuren die Verbreitung in späteren Inventaren. Die hellere (frühere) Schraffur ist jeweils nach Norden bis zum Bodensee extrapoliert.

gestützt, dass Bestandesänderungen, die durch mehrere Inventare für die gleiche Region belegt sind (ausser beim importierten Seefrosch) immer in Richtung Verinselung und Verschwinden gehen und selbst dann eine absolute Abnahme der Fundorte zeigen, wenn im späteren Inventar mehr Objekte als im früheren kontrolliert wurden. Beispiel: Teichmolch, Gelbbauchunke, Laubfrosch und «Wasserfrosch» in den Inventaren I 1961, I 1985 a und I 1996 a.

3.3 Kammmolch *(Triturus cristatus)*

Im 19. Jh. soll der Kammmolch in der Ebene des Churer Rheintals «selten» gewesen sein (GROSSENBACHER, 1988). I 1961 hat ihn zwischen Zizers und Maienfeld nicht. H. H. fand 1965 zwei Exemplare bei Maienfeld, I 1996 a an der gleichen Stelle ebenfalls einzelne Exemplare; es ist die südlichste Fundstelle der «Neuzeit». Zwischen 1977 und 1996 fanden U. Schneppat, F. Castelli, A. Meyer, M. Brandt und M. L. im Raum Maienfeld-Fläsch vier Standorte, davon zwei mit Fortpflanzung, die in I 1996 a alle noch bestehen. I 1972 führt ihn nicht auf, aber BROGGI (1984) sah ihn dann 1983 bei Ruggell. I 1985 b hat ihn im Raum Sargans sporadisch; nördlich von Sevelen nimmt die Dichte der Fundstellen zu; in I 1999 dann erst nördlich der Linie Buchs–Schaan; SCHLEGEL et al. (1999 und in diesem Band) finden ihn bei Altstätten-Oberriet «sehr selten», und I 1998 hat ihn rechtsrheinisch (Vorarlberg) auch nur sporadisch.

Interpretation: Da der Kammmolch ausser linksrheinisch im Norden seit Beginn der Bestandesaufnahmen im ganzen Gebiet nur sporadisch vorzukommen scheint, lassen sich keine Angaben über den Rückgang machen. Die Bestände südlich von Sargans wirken allerdings so isoliert, dass wir eine sekundäre Ausdünnung vermuten.

3.4 Teichmolch *(Triturus vulgaris)*

(Karte Abb. 4)

Der Teichmolch wird 1847 für Igis erwähnt (LIPPUNER und HEUSSER, 2001). I 1961 hat ihn zwischen Maienfeld und Zizers in fünf von acht untersuchten Biotopen, im südlichsten (Zizers in I 1961 als zwei Standorte gezählt) in sehr schönen Beständen. I 1985 a weist ihn nur noch bei Zizers nach, an der gleichen Stelle auch noch H. Schmocker, 1991, und M. L., 1995. Seither fand ihn M. L. bei jährlichen Kontrollen, auch in einem 1998 speziell erstellten Ersatzgewässer nicht mehr. I 1985 a hat den Teichmolch weiter

nördlich 1978 erst bei Fläsch, wo er in I 1996 a und I 2000 bestätigt wird. I 1972 und I 1985 b weisen ihn für Liechtenstein und den Raum Sargans als sporadisch nach; in I 1985 b wird er linksrheinisch erst ab Buchs gegen Norden häufiger. Rechts vom Rhein hat ihn I 1999 in Liechtenstein nur noch an einer Stelle, und in I 1998 kommt er auch im vorarlbergischen Rheintal nur sporadisch vor.

Interpretation: Der Teichmolch ist zwischen 1953 und 1995 ab Zizers nordwärts wohl bis vor Fläsch/Sargans verschwunden und hat heute von Sargans bis Buchs, östlich des Rheins bis zum Bodensee nur sporadische Bestände. Seit wann die Art in diesen Gebieten nur sporadisch vorkommt, ist unbekannt.

3.5 Gelbbauchunke *(Bombina variegata)*

(Karte Abb. 5)

Die Gelbbauchunke besiedelte das Rheintal vom Bodensee bis Felsberg, Chur (I 1985 a), dazu in I 1961 das untere Prättigau zwischen der Klus und Schiers in vier von neun Amphibienstandorten, nach U. Senn noch weiter talaufwärts bis Jenaz. I 1985 a hat im Prättigau nur noch einen Standort, der in den 90er Jahren nicht mehr bestätigt wurde (M. L., H. H.) (Aktualisierung: während einer Bestandsaufnahme von M. L. im Jahre 2003 konnte die Gelbbauchunke hier wieder nachgewiesen werden). Im Rheintal verschwand die Gelbbauchunke zwischen I 1985 a und I 1996 a talabwärts in den 80er Jahren aus der Region Felsberg-Chur und in den 90er Jahren aus der Region Chur bis zu Trimmis, wo es in I 1996 a und I 2000 noch vier gute Standorte gibt. In der etwa zwölf km^2 grossen Ebene Ganda-Landquart-Zizers, wo die Gelbbauchunke laut I 1961 in 7 von 8 untersuchten Stellen vorkam und «gemein» war, kam sie in I 1996 a noch in fünf von neun Stellen vor, in zwei davon ohne Fortpflanzung. 1996 wurde das mutmassliche Reservoir der Region bei Ganda zugeschüttet, so dass es 1999 (M. L.) in dieser Region nur noch vier Kleinstvorkommen gab, möglicherweise Abwanderer aus Ganda, davon nur zwei mit (minimaler) Reproduktion. Somit sind 1999 auch die vier guten Standorte bei Trimmis isoliert.

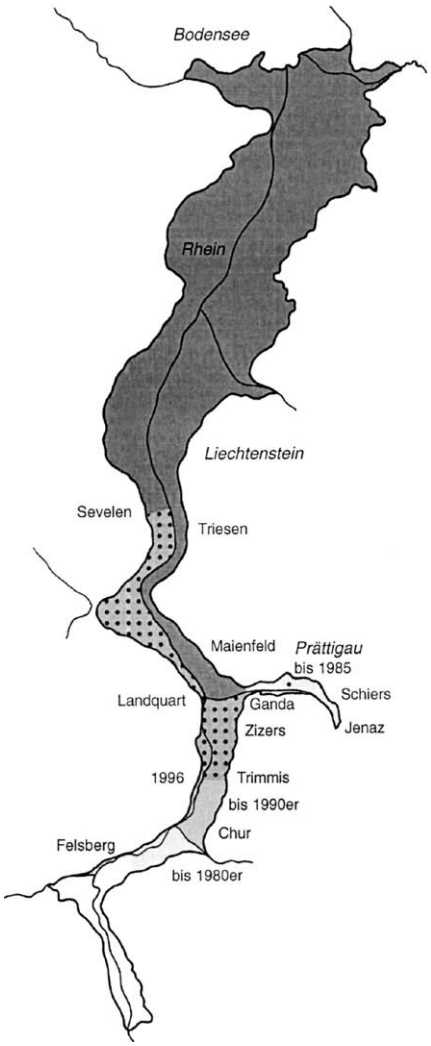


Abb. 5. Rückgang der Gelbbauchunke, *B. variegata*. Zeichenerklärungen siehe Abb. 4.

Nördlich von Landquart hat die Gelbbauchunke in I 1985 b linksrheinisch bis Sevelen nur isolierte Bestände; rechts vom Rhein ist sie ab Maienfeld etwas dichter vertreten und wird dann gegen Norden beidseits häufiger (I 1972, I 1985 a, I 1985 b, I 1999).

Interpretation: Die Gelbbauchunke ist in den 80er und 90er Jahren aus der Region Chur verschwunden und hat heute von Trimmis rheinabwärts bis Landquart (rechts) bzw. Seve-

len (links) nur noch ausgedünnte bis isolierte Bestände.

3.6 Laubfrosch *(Hyla arborea)*

(Karte Abb. 6)

Der Laubfrosch ist im 19. Jahrhundert bei Malans-Igis, bzw. für das «Thalland zwischen Chur und Maienfeld» erwähnt (GROSSENBACHER, 1988). I 1961 hat den Laubfrosch in grossen Beständen bei Zizers, wo es 1963 mindestens noch rufende Männchen gab (H. H.). In der Ebene zwischen Zizers und Landquart fehlte er schon ab 1953. Da die möglicherweise geeigneten Standorte südlich von Zizers nicht und die Kolmatierungsanlagen nördlich der Landquart nicht nachts kontrolliert wurden, bleibt unbekannt, ob der Standort Zizers – ein sich über 850 m hinziehender Verbund der verschiedensten Habitattypen – bereits damals eine Insel war. H. U. Hollenstein fand ihn hier nochmals 1971; das ist der letzte Nachweis südlich von Sargans (1980). I 1972 erwähnt ihn als «früher regelmässig», in den Rheinauen Liechtensteins und bei Vaduz aber für 1971 nur noch einen Fund bei Ruggell. I 1985 b hat den südlichsten Standort 1980 bei Sargans, dann 1984 bei Buchs, I 1996 b bei Sennwald-Mauren (an den südlichsten Stellen nur Rufgewässer ohne Nachwuchs, weiter nördlich bloss sporadische Bestände) und I 1999 bei Sennwald und Ruggell. Am Bodensee gibt es in I 1996 b noch gute Bestände.

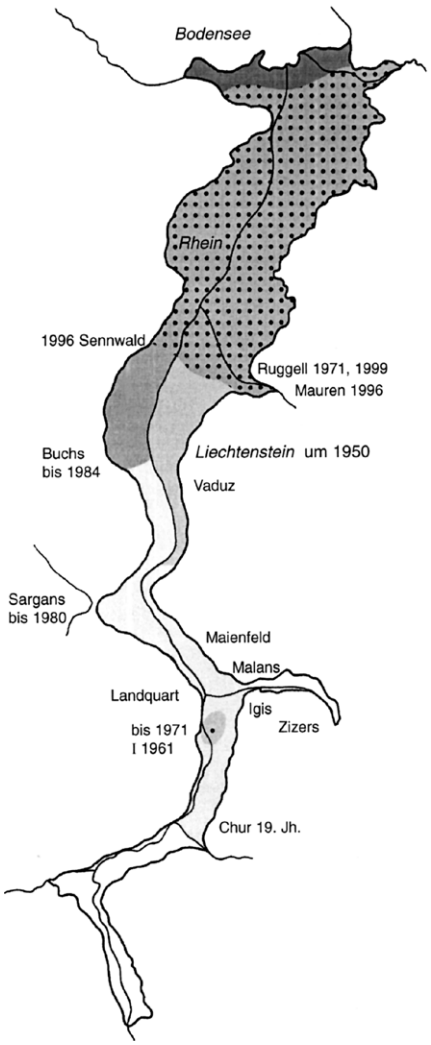


Abb. 6. Rückgang des Laubfroschs, *Hyla arborea*. Zeichenerklärungen siehe Abb. 4.

Interpretation: Der Laubfrosch hatte in den 1950er Jahren ein grosses, möglicherweise schon isoliertes Vorkommen bei Zizers mit letztem Nachweis 1971, ist nordwärts 1980 erst ab Sargans, 1984 ab Buchs fassbar und hat heute auf der Linie Sennwald–Mauren seine südlichsten Bestände.

3.7 «Wasserfrosch» *(Rana esculenta, Rana lessonae)* und Seefrosch *(Rana ridibunda)* (Karte Abb. 7)

Teichfrosch (*R. esculenta*) und Kleiner Wasserfrosch (*R. lessonae*) wurden bei uns bis 1970 (BERGER, 1970) nicht unterschieden. Eine nachträgliche Kontrolle der von H. H. zwischen 1953 und 1965 im Raum Ganda-Zizers-Maienfeld gemachten Fotos von «Wasserfröschen» zeigen, dass sowohl *R. lessonae* als auch *R. esculenta* vorkamen. Reine *R.-lessonae*-Vorkommen wären möglich, sind aber in keinem Inventar ausgewiesen. Wir bezeichnen deshalb die einheimischen Grünfrösche als «Wasserfrösche».

Im 19. Jh. kam der «Wasserfrosch» im Rheintal bis nach Chur vor (GROSSENBACHER, 1988), auf Grund der Berichte von Einheimischen über Froschkonzerte wahrscheinlich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auch noch im unteren Prättigau (I 1961) und in der Region Heinzenberg/Domleschg (I 1995).

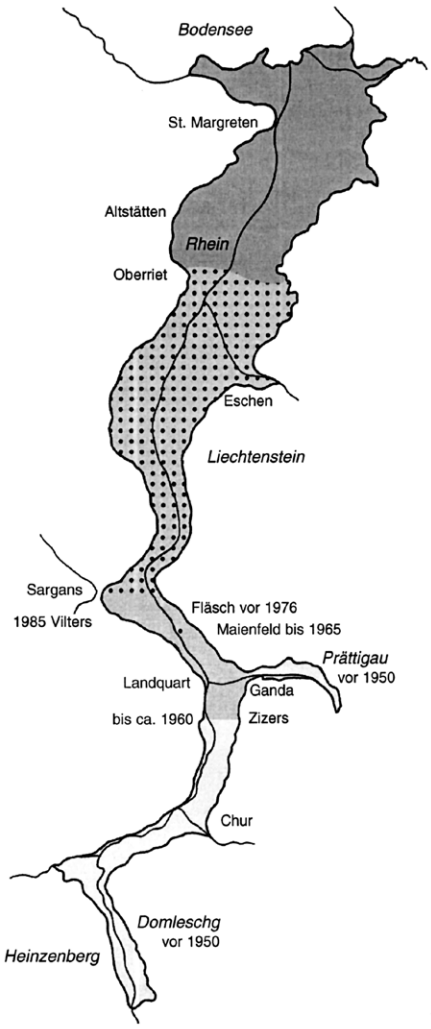


Abb. 7. Rückgang des «Wasserfrosches», *R. esculenta* und *R. lessonae*. Zeichenerklärungen siehe Abb. 4.

Im I 1961 fehlt der «Wasserfrosch» im Prättigau; in der Region Ganda-Maienfeld-Zizers ist er für sechs von acht Biotopen belegt. Die grössten Populationen bildeten in den Kolmatierungsanlagen bei Maienfeld und Landquart in den Laichkrautbeständen die typischen «Arenen» (BLANKENHORN, 1974). Fünf der sechs Standorte, darunter die Kolmatierungsanlagen mit den grossen Beständen – wurden ab 1957 durch Strassenbauten zerstört. Einzelne Individuen sah H. H. noch 1963–1965 bei Maienfeld, darunter ein fotografiertes Exemplar von *R. lessonae*. In I 1985 a und I 1996 a fehlt er rechtsrheinisch bis Fläsch; I 1972 und BROGGI (1974) haben ihn in Liechtenstein nur sporadisch; BROGGI (1974) bemerkt einen rapiden Rückgang der Bestände «in den letzten Jahren und Jahrzehnten». In I 1985 b setzen die Bestände erst ab Vilters nordwärts ein, und auch M. L. sah ihn in den 1990er Jahren nie südlicher als Vilters. Weiter nördlich nimmt die Bestandesdichte vor allem ab Oberriet zu; im Raum Oberriet-Altstätten-Bodensee gibt es in I 1985 b sowie nach J. Zoller bis 1999 noch starke Populationen; SCHLEGEL et al. (1999) haben dort in neu angelegten Habitaten eine «Bestandesexplosion», und nach J. B. Kühnis ist er im Norden auch rechtsrheinisch noch verbreitet (vgl. auch SCHLEGEL et al. in diesem Buch).

Interpretation: Der «Wasserfrosch» verschwand in der ersten Hälfte des 20. Jh. aus dem unteren Prättigau und der Region Heinzenberg/Domleschg, zwischen 1957 und 1960 bis zur Landquart. Die grossen Bestände bei Maienfeld–Fläsch schrumpften in den 60er Jahren zu Inseln zusammen und waren spätestens 1976 verschwunden. In Liechtenstein ging der Bestand vor 1970 bis auf Inseln zurück, und bis 1980 war er südlich von Vilters verschwunden. Im Norden hat der «Wasserfrosch» noch gute Bestände.

Neu ins Rheintal eingeschleppt wurde der Seefrosch, *R. ridibunda*. Nach J. B. Kühnis wird er hier seit Beginn der 1970er Jahre beobachtet und breitet sich stark aus. I 1985 b hat ihn im Raum Vilters und Sargans (Fortpflanzung), in Retentionsbecken entlang der Autobahn rheinabwärts und im Norden bei St. Margreten gesichtet. Nach P. Weidmann hat der Seefrosch bei Vilters um 1996 den «Wasserfrosch» ersetzt und ist heute im Raum Sargans häufiger als der «Wasserfrosch». In I 1999 kommt er auch rechts des Rheins bei Eschen und nach I 1998 in Vorarlberg vor (Erstbeobachtung 1984 an zwei Stellen).

3.8 Insel- und Randpopulationen

Habitatzerstörungen sind die Hauptursache für den Rückgang der Amphibien in der Schweiz (HOTZ und BROGGI, 1982). Das trifft klar auch auf den Rückgang im Alpenrheintal zu. Nach der Rheinkorrektur waren für Kamm- und

Teichmolch, Gelbbauchunke, Laubfrosch und «Wasserfrosch» die Kolmatierungsanlagen und Kiesgrubengewässer mit Grundwasserverbindung zum Rhein gute Ersatzhabitate bei stark reduzierter absoluter Ausdehnung. In der am längsten beobachteten Region zwischen Zizers und Maienfeld ist der Rückgang von «Wasserfrosch» und Teichmolch hauptsächlich auf die Zerstörung der Kolmatierungsanlagen zwischen Landquart und Maienfeld zurückzuführen, das Verschwinden des Laubfrosches bei Zizers auf den Verlust der Kiesgrubengewässer. Die Gelbbauchunke hält sich noch am längsten in kleinen, temporären Tümpeln, die den andern Arten nicht genügen.

Das Verschwinden aus einer Region verläuft über Etappen der Ausdünnung und Sporadisierung der Populationen bis zur Verinselung. Beispiele für «letzte Inseln» in einer bereits entleerten Region haben wir für den Teichmolch bei Zizers (Abb. 4), die Gelbbauchunke im Prättigau (Abb. 5), den Laubfrosch bei Zizers (Abb. 6) und den «Wasserfrosch» bei Maienfeld (Abb. 7). Sie können, falls es der Biotop zulässt, noch Jahre und Jahrzehnte überdauern und bei kleiner Individuenzahl leicht übersehen werden.

Das trifft auch für die Randpopulationen eines Areals zu. So sah H. H. zwischen Zizers und Maienfeld 1953–1960 (I 1961) nie einen Kammmolch, dann aber 1965 zwei Individuen bei Maienfeld (südlichster Punkt der belegbaren Verbreitung). 1977 bis 1995 wurde er im Gebiet Maienfeld-Fläsch nicht mehr nachgewiesen, weshalb ihn I 1985 a und GROSSENBACHER (1988) dort als ausgestorben vermuten. Seit 1995 sind im Raum Maienfeld-Fläsch wieder vier Standorte bekannt, wobei M. L. 1996 drei Individuen genau am gleichen Ort wie H. H. 1965 sah (I 2000), 1 km vom nächsten nördlicheren Standort entfernt.

Am südlichsten Standort des Teichmolches (seit dem wahrscheinlichen Erlöschen der Insel bei Zizers ab 1995) bei Fläsch fanden verschiedene Beobachter zwischen 1978 und 1995 keine Tiere, wohl aber wieder ab 1996 (I 1996, I 2000), 1,5 km vom nächsten nördlicheren Standort entfernt.

Während der primären Ausbreitung der Arten nach Süden in der ursprünglichen Flussaue kaum Hindernisse im Weg standen (auch die Zuflüsse des Rheins hatten vor der Eindämmung nicht die Barrierenwirkung wie heute), ist der Rückgang nach Norden wegen der anthropogenen Hindernisse ein spontan kaum reversibler Prozess. In keinem späteren Inventar hat eine Art einen stabilen Standort weiter südlich als in einem früheren.

4 FÖRDERUNGSKONZEPTE

Die Kolmatierungsanlagen, Kiesgruben und Moorgräben, in denen sich die Arten der Talebene nach der Eindämmung des Rheins hielten, waren bereits anthropogene Ersatzhabitate der Flussaue. Neu angelegte passende Habitate könnten die noch vorhandenen Bestände wiederum stützen. Seit einigen Jahren laufen in verschiedenen Regionen Projekte zur Gewässeraufwertung und -neuschaffung mit unterschiedlicher Ausrichtung. Der Verein Pro Riet Rheintal wertet seit 1993 im Raum Oberriet-Altstätten bisher landwirtschaftlich intensiv genutztes ehemaliges Moorland für die ganze Flora und Fauna auf. Zusätzlich gibt es ein spezielles Laubfroschprojekt (BARANDUN, 1996). Den Amphibien kommen vor allem die bis 1999 über 20 neu geschaffenen Gewässer zugute. Gemäss der Erfolgskontrolle von SCHLEGEL et al. (1999 und in diesem Buch) profitierten 1994–1998 von den neuen Gewässern Berg-, Kamm-, Teichmolch und vor allem der «Wasserfrosch». In der Region Heinzenberg/Domleschg ist ein Biotopverbund-Konzept speziell für die Amphibien (LIPPUNER, 1995) von der Pro Natura Graubünden fast vollständig umgesetzt worden. Im Churer Rheintal initiierte das Amt für Natur und Landschaft des Kantons Graubünden zwischen Rhäzüns und Fläsch ein analoges Biotopverbund-Konzept, das auf der Basis der Ergebnisse von I 1996 a entwickelt wurde (LIPPUNER, 1996). Es soll die Region wieder mit Laichgewässern besonders für die noch verbliebenen selteneren Arten Kammmolch, Teichmolch und Gelbbauchunke anreichern. Sie sind dort geplant, wo ursprüng-

lich Gewässer vorkamen bzw. vorkommen könnten. Realisiert sind solche Ersatzhabitate bereits in den Regionen Felsberg und Zizers, dort auch im Bereich der ehemaligen Kiesgruben mit den früheren Teichmolch- und Laubfroschvorkommen; bei Fläsch werden gegenwärtig die südlichen Fundstellen von Teich- und Kammmolch ergänzt, und bei Zizers und Maienfeld sind u. a. Gewässer im Bereich der früheren Kolmatierungsanlagen vorgesehen.

5 DANK

Die Karten zeichnete Sibylle Heusser nach Skizzen der Verfasser. Hannes Jenny und Alfred Lerch danken wir für die Vermittlung geschichtlicher Literatur und alter Karten.

6 LITERATUR

BARANDUN, J. 1996. Letzte Chance für den Laubfrosch im Alpenrheintal; Förderungskonzept. Verein Pro Riet Rheintal, Altstätten, Eigenverlag, 63 pp.

BERGER, L. 1970. Some characteristics in crosses within *Rana esculenta* complex in postlarval development. Annales Zoologici, Warszawa 27, 373–416.

BERTSCHINGER, H. 1978. Bautechnische Probleme am Rhein. – Wasser, Energie, Luft, Baden 70, 106–123.

BLANKENHORN, H. 1974. Soziale Organisation einer Mischpopulation von *Rana lessonae* CAMERANO und *Rana esculenta* LINNAEUS. Dissertation Universität Zürich.

BROGGI, M. F. 1972. Die Amphibienfauna von Liechtenstein; ein Beitrag zur Erforschung der einheimischen Wirbeltierfauna. Jahrbuch des historischen Vereins für das Fürstentum Liechtenstein, Vaduz 71, 145–181.

BROGGI, M. F. 1974. Beitrag zur Amphibienfauna Liechtensteins; Beobachtungen 1973. Bericht der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, Vaduz 73, 53–56.

BROGGI, M. F. 1984. IUCN/WWF-Projekt 1367 – Ruggeller Riet; Jahresbericht 1983; Schutz, Forschung, Betreuung und Unterhalt. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, Vaduz 13, 273–281.

BROGGI, M. F. & WILLI, G. 1998. Vorarlberger Amphibienwanderwege. Vorarlberger Naturschau, Dornbirn 4, 9–84.

EWALD, K. C. 1978. Der Landschaftswandel. Zur Veränderung der schweizerischen Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Gesellschaft Baselland, Liestal 30, 55–308.

FAUSER, O. 1914. Meliorationen II; Bewässerung, Ödlandkultur, Feldbereinigung. Berlin und Leipzig (Göschen).

FREY, U., GROSSENBACHER, K. & MÜLLER, J. P. 1985. Die Verbreitung der Amphibien im Kanton Graubünden. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens in Chur, Chur 102, 33–82.

GROSSENBACHER, K. 1988. Verbreitungsatlas der Amphibien der Schweiz. Documenta faunistica helvetiae 7, Basel (Schweizerischer Bund für Naturschutz).

HEUSSER, H. 1960. Über die Beziehungen der Erdkröte (*Bufo bufo* L.) zu ihrem Laichplatz II. Behaviour, Leiden 16, 93–109.

HEUSSER, H. 1961a. Amphibienbiotope im Churer Rheintal und im unteren Prättigau. – Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens in Chur, Chur 89, 136–141.

HEUSSER, H. 1961b. Die Bedeutung der äusseren Situation im Verhalten einiger Amphibienarten. Revue Suisse de Zoologie, Genève 68, 1–39.

HOTZ, H. & BROGGI, M. F. 1982. Rote Liste der gefährdeten und seltenen Amphibien und Reptilien der Schweiz. Basel (Schweizerischer Bund für Naturschutz).

KÜHNIS, J. B. & LIPPUNER, M. 1999. Vorkommen und Verbreitung der Amphibien in den Laichgewässern entlang des Rheinabschnittes Liechtenstein-Sargans-Werdenberg und im Bündner Rheintal. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, Schaan 26, 155–172.

LIPPUNER, M. 1995. Amphibieninventar und Biotopvernetzungskonzept Domleschg/Heinzenberg. Thusis, unveröff.

LIPPUNER, M. 1996. Amphibieninventar und Biotopverbund-Konzept Churer Rheintal. Amt für Landschaftspflege und Naturschutz Graubünden/ Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz der Schweiz, Thusis, unveröff.

LIPPUNER, M. & HEUSSER, H. 2001. Zur Problematik der seltenen Amphibienarten am Beispiel des Bündner Rheintals. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens in Chur, Chur 110, 91–105.

METZ, P. 1989–1993. Die Geschichte des Kantons Graubünden. I–III. Chur (Calven).

SCHLEGEL, J., WEBER, U. & HUGENTOBLER, I. 1999. Erfolgskontrolle in ökologisch aufgewerteten, bisher intensiv genutzten Kulturlandflächen. Untersuchungsperiode 1994–1998. Verein Pro Riet Rheintal/Ökobüro Hugentobler, Altstätten, Eigenverlag, 92 pp.

TEUFL, H. & SCHWARZER, U. 1984. Die Lurche und Kriechtiere Vorarlbergs (Amphibia, Reptilia). Annalen des Naturhistorischen Museums Wien, Wien 86 B, 65–80.

ZOLLER, J. 1985. Bericht zum Amphibien-Inventar der Kantone St. Gallen und Appenzell. Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, St. Gallen 82, 5–53.

Mario Lippuner, Büro für Ökologie und Landschaftsplanung, Aegertenstrasse 6, CH-8003 Zürich, E-Mail: office@mario-lippuner.ch

Dr. Hans Heusser, Frohberg 49d, CH-8645 Rapperswil-Jona

Der Rhein – Lebensader einer Region: 239–245

Der Bodensee als Lebensraum für Wasservögel, insbesondere als Zugrastplatz und Winterquartier

Harald Jacoby (Konstanz)

1 UFER- UND FLACHWASSERZONE ALS JAHRESLEBENSRAUM FÜR WASSERVÖGEL

Der Bodensee besitzt eine vielgestaltige Ufer- und Flachwasserzone, die einerseits durch Wohn- und Gewerbebauten sowie Freizeiteinrichtungen einem ausserordentlich starken Nutzungsdruck ausgesetzt ist, andererseits aufgrund ihres Artenreichtums und ihrer Funktion als ökologische Kontaktzone unter Naturschutz steht bzw. schutzbedürftig ist. Besonders hervorzuheben ist die Bedeutung der Ufer- und Flachwasserzone als Jahreslebensraum für Wasservögel, d. h. als Brutgebiet, Winterquartier, Mauserplatz oder Zugraststätte.

Umfangreiches und langjähriges Datenmaterial liegt über die Rolle der Ufer- und Flachwasserzone als Lebensraum für durchziehende und überwinternde Schwimmvögel vor. Die Auswirkungen der Eutrophierung und der Re-Oligotrophierung des Bodensees auf die Zugrast- und Überwinterungsbestände der Wasservögel konnten durch die langfristigen Zählreihen der Wasservogelzählungen eindrucksvoll belegt werden. Dieses Wasservogelmonitoring steht im Mittelpunkt der folgenden Darstellung.

2 DIE INTERNATIONALEN WASSERVOGELZÄHLUNGEN AM BODENSEE

Im Januar 1951 beteiligte sich ein Mitarbeiter der Vogelwarte Radolfzell erstmals an der von England ausgehenden internationalen Entenvogelzählung. Er zählte bei den monatlichen Terminen einen grossen Teil des Überlinger Sees und die deutschen Teile des Untersees. Im Winter 1951/52 organisierte die Schweizerische Vogelwarte Sempach eine Mittwinter-Wasservogelzählung, bei der auch das schweizerische Oberseeufer und Teile des Untersees erfasst wurden. Ab 1952/53 wurden in der Schweiz die monatlichen Wasservogelzählungen eingeführt. In einer Aufbauphase, die von der 1958 gegründeten seeumfassenden Ornithologischen Arbeitsgemeinschaft Bodensee forciert wurde, waren die wichtigsten Lücken ab Herbst 1961 geschlossen. Seither werden von ehrenamtlichen Wasservogelzählern alljährlich von September bis April rund um den Bodensee (die schwer zugängliche 6 km lange Strecke am Überlinger See zwischen Wallhausen und Bodman ausgenommen) jeweils zur Monatsmitte alle Wasservögel möglichst synchron erfasst. Seit 1962 gehören neben den Enten, Gänsen, Schwänen und Blässhühnern auch See- und Lappentaucher, Kormoran und Graureiher zum monatlichen Zählprogramm.

Die Koordinierung der Wasservogelzählungen am Bodensee lag bis 1969 weitgehend bei den Vogelwarten Radolfzell und Sempach, danach übernahm die Ornithologische Arbeitsgemeinschaft Bodensee diese Aufgabe in Abstimmung mit der Vogelwarte Sempach.

Die über Jahrzehnte hinweg mit gleicher Methode erhobenen Daten geben nicht nur Aufschluss über die Bedeutung des Bodensees als Zugrastplatz und Winterquartier nordeurasischer Brutvögel, sondern gewinnen auch zunehmend an Bedeutung; denn im Ökosystem Bodensee spielten sich in diesem Zeitraum gravierende Veränderungen ab, die sich direkt oder indirekt auf den Bestand und die raumzeitliche Verteilung der Wasservögel auswirkten. Besonders deutlich können die Zusammenhänge zwischen der Bestandsentwicklung gewisser Wasservogelarten und spektakulären Veränderungen bei den Nahrungsressourcen (Was-

serpflanzen, Muscheln und Fische) aufgezeigt werden.

In mehreren Publikationen wurden bereits wesentliche Phasen und Ergebnisse der monatlichen Wasservogelzählungen dargestellt (z. B. SZIJJ, 1963; SCHUSTER, 1975, 1976a und 1976b; STARK et al., 1999). Auch die zusammenfassenden Veröffentlichungen über die Vogelwelt des Bodenseegebietes – «Avifauna Bodensee» – (JACOBY et al., 1970; SCHUSTER et al., 1983, und HEINE et al., 1999) konnten jeweils auf den grossen Datenbestand der Wasservogelzählungen zurückgreifen. Die Ergebnisse regten auch interdisziplinäre Untersuchungen über Fragen der Nahrungsökologie der Wasservögel an (WERNER, 2004). Ausserdem dienten die Datenreihen als wichtige Bewertungsgrundlagen für den Wasservogelschutz.

3 BEDEUTUNG DES BODENSEES ALS ZUGRASTPLATZ UND WINTERQUARTIER

Als natürliches Ökosystem zählt der Bodensee im mitteleuropäischen Binnenland heute zu den repräsentativen und wichtigsten Lebensräumen für Pflanzen und Tiere von Feuchtgebieten. Eine besondere Bedeutung hat der Bodensee als Zugrast- und Überwinterungsgebiet für Wasservögel. Mitte November können bei der Synchronzählung Tageswerte von 250 000 bis 300 000 Individuen (inkl. Möwen) erreicht werden. Gesamteuropäisch bedeutsam sind die hohen Herbst- und Winterbestände folgender Wasservogelarten (maximale Tageswerte der Wasservogelzählungen): Haubentaucher (12 700 Ind., Oktober 2000), Schnatterente (12 600 Ind., Oktober 1992), Kolbenente (Abb. 1; 20 400 Ind., Oktober 2000), Tafelente (80 000 Ind., November 2002), Reiherente (116 000 Ind., November 1984), Blässhuhn (77 600 Ind., November 1971; 76 300 Ind., Oktober 2000).

Bei den Wasservogelzählungen werden durchschnittlich 33 Arten erfasst. Unter diesen befinden sich 7 Arten des Anhangs I der EG-Vogelschutzrichtlinie (Pracht-, Stern-, Ohrentaucher, Sing- und Zwergschwan, Moorente und Zwergsäger), die nach COLLAR et al. (1994) weltweit bedrohte Moorente und 11 Arten mit europäischer Schutzpriorität (Pracht- und Sterntaucher, Zwergschwan, Schnatter-, Spiess-, Knäk-, Kolben-, Moor-, Berg-, Samtente und Zwergsäger).

Nach Artenvielfalt und durchschnittlichem Höchstwert der Gesamtbestände liegt der Bodensee in der Bundesrepublik Deutschland an erster Stelle. Er ist aber nicht nur das wichtigste binnenländische Rast- und Überwinterungsgebiet für Schwimmvögel in Deutschland, sondern auch in den Bodensee-Anrainerstaaten Schweiz und Österreich.

Der Einzugsbereich der auf dem Bodensee überwinternden Wasservögel reicht von der unmittelbaren Umgebung (z. B. Höckerschwäne von Kleingewässern) bis Westsibirien, wie durch zahlreiche Wiederfunde beringter Wasservögel bestätigt werden konnte. Für die nordeurasischen Wasservögel liegt der Bodensee an der transkontinentalen Zugroute, die im Herbst von den Brutstätten im Raum zwischen Westsibirien und Skandinavien bis zu den Überwinterungsgebieten in Mittel- und Südeuropa und Afrika führt.

4 DIE WASSERVÖGEL IM ÖKOSYSTEM

Der Bodensee ist im Herbst für die über den Kontinent ziehenden Wasservögel das erste grosse Binnengewässer im gemässigt-wintermilden Bereich. Die klimatische Gunst des Seebeckens, die ausgleichende Wirkung der grossen Wassermasse des Sees auf die Temperatur schafft den Wasservögeln ein fast immer eisfrei bleibendes Winterquartier. Das ist eine wesentliche Voraussetzung für die Entstehung von Überwinterungstraditionen bei Wasservögeln. Nur in Polarwintern gefriert der eigentliche Bodensee – der Obersee – zu einem grösseren Teil oder gar völlig zu. Im flachen Untersee dagegen sind die nur wenige Meter tiefen Buchten nahezu allwinterlich für einige Zeit von einer Eisdecke überzogen.

Die ausgeprägte Jahreskurve des Wasserstands begünstigt die intensive Nutzung wich-



Abb. 1. Kolben-Ente, als typischer Vertreter der Enten-Ansammlungen am Bodensee. Foto: © Dr. Paul A. Hui, Frauenfeld.

tiger Nahrungsdepots (Muschelbänke, Wasserpflanzen). Der im Mittel von September bis Februar um mehr als einen Meter fallende Seespiegel erschliesst den Wasservögeln im Laufe des Winters in der Ufer- und Flachwasserzone immer neue Ressourcen.

Auch das menschliche Aktivitätsmuster kam den Wasservögeln entgegen: Traditionell war die Wassersportsaison vor dem Eintreffen der überwinternden Wasservögel weitgehend abgeschlossen, so dass die Wintergäste an ihren Nahrungs- und Ruheplätzen ausserhalb der Schutzzonen kaum Störungen zu befürchten hatten. Neuerdings besteht jedoch eine zunehmende Tendenz zum Ganzjahresbetrieb (vor allem Surfer und Kanuten); auch das Angelfischen vom Boot aus hat erheblich zugenommen.

Zum Verständnis der Entwicklung der Gastvogelbestände sind neben den oben genannten und anderen Faktoren folgende Veränderungen der Nahrungsressourcen der Wasservögel im Bodensee seit den 1960er Jahren von grosser Bedeutung:

- Der Niedergang der Armleuchteralgen-Bestände ab 1963
- Die Massenvermehrung der Dreikantmuschel ab 1965
- Die Zunahme der Fischbestände ab 1968
- Der Zusammenbruch der Weissfisch-Bestände um 1980
- Die Renaissance der Armleuchteralgen-Bestände ab 1990

Die dramatische Zunahme des Phosphors im Seewasser veränderte in den Jahren ab 1965 das Wasservogelleben des Bodensees grundlegend. Dank der starken Vermehrung der Algen, Laichkräuter und Fischnährtiere sowie der gerade erst eingeschleppten Dreikant- oder Wandermuschel vervielfachte sich das Nahrungsangebot für die Pflanzen-, Fisch- und Muschelfresser unter den Wasservögeln.

Wie hochempfindliche Messinstrumente reagierten die Wasservögel auf die neuen Entwicklungen in ihrer Umwelt. Bei einigen Arten kam es zu aufsehenerregenden Zunahmen, bei einzelnen aber auch zu gravierenden Abnahmen.

4.1 Fallbeispiel Armleuchteralgen und Kolbenente

Bei der Kolbenente – dieser in Mitteleuropa seltenen Entenart, die bis Anfang der 1960er Jahre im Herbst zu Tausenden das Ermatinger Becken bevölkerte (Spitzenwerte der 1940er und 1950er Jahre lagen bei 7000 Individuen) – zeichnete sich ein bedenklicher Rückgang ab. Die Kolbenente lebte bisher vorzugsweise von den quadratkilometergrossen Unterwasserteppichen der Armleuchteralgen (*Chara spec.*). Doch die Armleuchteralgen wurden jetzt von konkurrenzstärkeren Wasserpflanzen, dem Kamm-Laichkraut (*Potamogeton pectinatus*) und dem Teichfaden (*Zannichellia palustris*), verdrängt. Damit war den Kolbenentenscharen die Hauptnahrung entzogen. Ausweichplätze von gleicher Qualität gab es nicht, so splitterte sich die traditionelle Ansammlung auf. Erst in den 1990er Jahren breiteten sich die Armleuchteralgen im nährstoffärmeren See wieder aus. Es war zu erwarten, dass die Kolbenentenscharen auf dieses wachsende Nahrungsangebot reagieren würden. Tatsächlich stiegen die herbstlichen Bestände der Kolbenente inzwischen auf insgesamt mehr als 10 000 bis 14 000 Individuen (maximal 20 400 Ind. im Oktober 2000) an. Bevorzugte Plätze sind der Gnadensee und Zeller See, aber auch die Fussacher Bucht und andere Stellen, wo die begehrte Nahrung reichlich vorhanden ist. Besonders bemerkenswert ist dabei, dass das üppige und grossflächige Vorkommen der wintergrünen Armleuchteralgen den auf Pflanzenkost angewiesenen Kolbenenten auch im Winter reichlich Nahrung bietet. Dadurch ist es in milderen Wintern grossen Kolbenentenscharen möglich, auf dem Bodensee zu überwintern. Sie verzichten dann weitgehend auf den Wegzug in ihre früheren Winterquartiere in Südfrankreich und Spanien. Eine weitere Vogelart profitiert von den Unterwasserwiesen: Die überwinternden Blässhühner ernähren sich offensichtlich wieder in erheblichem Masse von Armleuchteralgen.

4.2 Fallbeispiel Dreikantmuschel und Tauchenten

Während der Zusammenbruch und das Wiedererscheinen der herbstlichen Kolbenentengesellschaft fast nur von der Fachwelt registriert wurde, spielte sich in den vergangenen vier Jahrzehnten ein ökologisches Lehrstück besonderer Art in aller Öffentlichkeit ab. Das Auftreten und die explosionsartige Vermehrung der Dreikantmuschel (*Dreissena polymorpha*) im Bodensee beschäftigte um 1970 nicht nur die Biologen, sondern sorgte auch für Schlagzeilen in der Tagespresse. Zwar blieb die anfänglich befürchtete Verstopfung der Trinkwasser-Ansaugrohre in 40 bis 60 Meter Wassertiefe aus, aber die wenige Zentimeter grossen Muscheln setzten sich bis in etwa 10 Meter Wassertiefe in dicken Schichten auf dem kiesigen Seegrund und auch an Booten u. ä. fest, zerschnitten mit ihren scharfkantigen Schalen im Sommer die Fusssohlen der Badegäste und machten die Netze der Fischer unbrauchbar.

Was die Dreikantmuschel für die überwinternden Tauchenten und Blässhühner bedeutet, war den Wasservogelzählern sehr bald klar geworden, nachdem die kompakten Muschelbänke von den Tauchvögeln entdeckt worden waren. Der überreich gedeckte Tisch führte zu einer gewaltigen Zunahme der Konsumenten. Insbesondere bei Tafelente, Reiherente und Blässhuhn lieferten die monatlichen Zählungen einige Jahre lang immer neue Rekordwerte.

Die Ansammlungen überwinternder Reiherenten, Tafelenten und Blasshühner wuchsen zu bisher unbekannter Grösse an. Reichte die Nahrung in der «Vor-Dreissena-Zeit» gerade für je 3000 bis 4000 Tafel- und Reiherenten aus, so hatten die Ornithologen jetzt im Januar/Februar regelmässig über 20 000 Tafelenten, rund 40 000 Reiherenten und ausserdem etwa 50 000 Blässhühner zu zählen. Noch mehr Gäste versammeln sich gelegentlich im Hauptzugmonat der Wasservögel – im November – auf dem Bodensee: bis

zu 116 000 Reiherenten (1984), 80 000 Tafelenten (2002), 78 000 Blässhühner (1971).

Die Tauchplätze dieser Vögel decken sich genau mit den Muschelbänken. Über Wochen und Monate hinweg ist exakt zu verfolgen, wie der Seeboden «abgeweidet» wird. Da auch im Winter regelmässig Wasserfahrzeuge in der Flachwasserzone verkehren, werden die Wasservögel oft von ihren bevorzugten Nahrungsplätzen vertrieben. Insbesondere Tafel- und Reiherenten reagieren mit einer auffälligen Nutzungsstrategie auf diese Störungen: Die Nahrungsaufnahme wird in die störungsfreien Nachtstunden verlegt, und als Tagesruheplätze werden störungsarme bis störungsfreie Seebereiche gewählt.

Bei der Nahrungssuche bevorzugen die einzelnen Wasservogelarten nicht nur bestimmte Wassertiefen, sondern auch unterschiedliche Tageszeiten. Jede Vogelart hat ihre «ökologische Nische». Wie nach Plan, in Tag- und Nachtschicht eingeteilt, reissen die Vögel kleine Muschelklumpen vom Seegrund los und schlucken sie samt der Schale. Pro Tag vertilgt jeder Vogel 800–1000 Gramm Muscheln.

Kontrollen ergaben mehrfach, dass die Wasservögel im Laufe eines Winters stellenweise bis über 95% der vorhandenen Muscheln verzehren (SUTER, 1982; CLEVEN und FRENZEL, 1993). Doch die Muscheln werden von den Wasservögeln nicht ausgerottet; neue Bestände können im Sommerhalbjahr wieder aus jungen Muscheln und Muschellarven heranwachsen, weil die grosse Masse der Wasservögel im Frühjahr den Bodensee verlässt und in ihre Brutheimat nach Skandinavien, Osteuropa und Westsibirien zurückkehrt.

4.3 Fallbeispiel Fische und Wasservögel

Von der Überdüngung des Bodensees profitierten ausser der Dreikantmuschel natürlich auch die Fische. Fische sind für Wasservogelarten wie Haubentaucher, Graureiher, Kormoran und Gänsesäger die Hauptnahrung. Die steigenden Fangerträge der Bodenseefischer liessen sich zu der wachsenden Zahl der Fischkonsumenten in Beziehung setzen; denn nur ein so fischreiches Gewässer wie der Bodensee kann im Winter zeitweise bis zu 10 000 Haubentaucher, 1600 Kormorane, 700 Graureiher oder 1400 Gänsesäger ernähren.

BAUER et al. (2002) zeigten auf, dass der Bestand der überwinternden Haubentaucher sehr eng mit dem Weissfisch-Fangertrag der Berufsfischer korreliert. Ähnliche Zusammenhänge wurden auch für den Kormoran aufgezeigt, dessen Hauptnahrung an den meisten Voralpenseen ebenfalls aus Rotauge und Flussbarsch besteht (SUTER, 1999). Der Zusammenbruch der Rotaugen-Population Anfang der 1980er Jahre führte zu einem gravierenden Rückgang beim Fangertrag der Berufsfischer: Der jährliche Durchschnittsertrag des Bodensee-Untersees von mehr als 100 Tonnen war in der ersten Hälfte der 1980er Jahre auf unter 10 Tonnen gefallen und lag gelegentlich sogar unter einer Tonne (MIN. LÄNDL. RAUM, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1989). Damit war für die Fischkonsumenten eine wichtige Nahrungsart ausgefallen und die Vögel mussten auf andere Arten ausweichen.

Zusammenfassend lässt sich zur Rolle der Wasservögel im Ökosystem Bodensee Folgendes sagen: Das Nahrungsspektrum der Vögel umfasst vor allem Wasserpflanzen, Muscheln und Fische. Pro Saison holt die Winterpopulation von 250 000 bis 300 000 Enten, Tauchern und Blässhühnern deutlich mehr als 30 000 Tonnen Biomasse (Pflanzen und Tiere) aus dem See und trägt zur Stabilisierung des ökologischen Gleichgewichts bei. Diese wichtige Leistung der Wasservögel wird oft übersehen.

Mit Sicherheit werden in Zukunft im wieder nährstoffärmeren Bodensee weniger Wasserpflanzen, weniger Muscheln, weniger Fische und weniger Vögel leben. Noch zeigen die Ergebnisse der Wasservogelzählungen keinen Rückgang der Wintergäste. Da für die überwinternden Wasservögel nicht nur das verfügbare Nahrungsangebot massgeblich ist, sondern weitere lokale und überregionale Faktoren auf Grösse und Zusammensetzung der Population einwirken, ist eine exakte Prognose für den «Wasservogelplatz Bodensee» kaum möglich.

5 GRENZÜBERSCHREITENDE SCHUTZZONEN FÜR WASSERVÖGEL

Die Brennpunkte des Wasservogellebens auf dem Bodensee benötigen im Winterhalbjahr mehr Schutz als bisher. Für die Durchzügler und Wintergäste müssen jahreszeitlich befristete («temporäre») Schutzgebiete eingerichtet werden, in denen Jagd, Angelfischerei und Wassersport ruhen; denn neben der Jagd erweist sich die immer weiter in die Wintermonate reichende Wassersport- und Angelsaison als gravierender Störfaktor. Selbst die Flachwasserzonen werden durch das Segelsurfen und durch den Trendsport Kitesurfen erheblich beunruhigt (BAUER et al., 1992; SCHNEIDER, 1987).

Die fachlichen Erkenntnisse und die internationalen Vorgaben (Konventionen, EU-Verordnungen, Programme) bieten eine ausreichende Basis für ein grenzüberschreitendes Schutzkonzept, das den spezifischen Funktionen der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensees für Wasservögel entspricht.

Das Programm «Important Bird Areas» (IBA) von BirdLife International bildet aufgrund einheitlicher Kriterien die fachliche Basis für die Bewertung bedeutender Vogelschutzgebiete. In den neuesten Listen der Bodenseeanrainerstaaten sind u. a. folgende Gebiete ausgewiesen (für Deutschland siehe SUDFELDT et al., 2002): in Baden-Württemberg der Untersee (6053 ha), der Überlinger See (6588 ha), die Konstanzer Bucht (583 ha) und das Eriskircher Ried (562 ha); in Bayern die Schachener und Reutiner Bucht (807 ha); in Vorarlberg das Rheindelta (2066 ha); im Kanton Thurgau die Konstanzer Bucht (230 ha) und das Ermatinger Becken (530 ha); in den Kantonen Thurgau und Schaffhausen das Untersee-Ende und der Rhein bis Bibermühle (480 ha).

Für Deutschland und Österreich sind die IBA-Kriterien gleichzeitig für die Ausweisung von Besonderen Schutzgebieten («Special Protection Areas») nach der EU-Vogelschutzrichtlinie von Bedeutung. Die schweizerischen Gebiete gehören zum internationalen Netzwerk Smaragd, das aufgrund der Berner Konvention zum Schutz der bemerkenswertesten Lebensräume geschaffen wird.

In seinen «Empfehlungen für den grenzüberschreitenden Flächen- und Artenschutz am Bodensee» setzte sich der Umweltrat Bodensee 1995 für den Schutz der Ufer- und Flachwasserzone ein und plädierte u. a. für die Erarbeitung einer grenzüberschreitenden Schutzflächenkonzeption für den gesamten Ufer- und Wasserbereich, die Ausweisung gemeinsamer Schutzgebiete, die Angleichung bestehender Schutzgebiete beiderseits der Landesgrenzen und die vorrangige Beachtung der eurasischen Bedeutung des Bodensees als Zugrast- und Winterquartier für Wasservögel (JACOBY, 1999). Leider blieben diese Empfehlungen bis heute weitgehend unbeachtet.

6 LITERATUR

BAUER, H.-G., STARK, H. & LÖFFLER, H. 2002. Die Bedeutung der Wasservögel für das Ökosystem Bodensee im Winterhalbjahr. Naturschutz, Landschaftspflege Bad.-Württ. 74, 167–258.

BAUER, H.-G., STARK, H. & FRENZEL, P. 1992. Der Einfluss von Störungen auf überwinternde Wasservögel am westlichen Bodensee. Ornithol. Beob. 89, 93–110.

CLEVEN, E.-J. & FRENZEL, P. 1993. Population dynamics and production of *Dreissena polymorpha* PALLAS in River Seerhein the outlet of Lake Constance Obersee. Archiv für Hydrobiologie 127, 395–407.

COLLAR, N.J., CROSBY, M.J. & STATTERSFIELD, A.J. 1994. Birds to Watch 2: The World List of Threatened Birds. BirdLife Conservation Series 4. BirdLife International, Cambridge.

HEINE, G., JACOBY, H., LEUZINGER, H. & STARK, H. 1999. Die Vögel des Bodenseegebietes. Orn. Jh. Bad.-Württ. 14/15.

JACOBY, H. 1999. Ornithologisch bedeutende Gebiete am Bodensee. In: «Die Vögel des Bodenseegebietes», G. HEINE, H. JACOBY, H. LEUZINGER & H. STARK, Orn. Jh. Bad.-Württ. 14/15, 123–161.

JACOBY, H., KNÖTZSCH, G. & SCHUSTER, S. 1970. Die Vögel des Bodenseegebietes. Ornithol. Beob. 67, Beiheft.

Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg. 1989. Fische in Baden-Württemberg. Stuttgart.

Schneider, M. 1987. Wassersportler stören Wasservögel auch im Winter. Vogelwelt 108, 201–209.

Schuster, S. 1975. Die monatlichen Wasservogelzählungen am Bodensee 1961/62 bis 1974/75. 1. Teil: Fischfresser. Orn. Beob. 72, 145–168.

Schuster, S. 1976a. Die monatlichen Wasservogelzählungen am Bodensee 1961/62 bis 1974/75. 2. Teil: Schwäne und Gründelenten. Orn. Beob. 73, 49–65.

Schuster, S. 1976b. Die monatlichen Wasservogelzählungen am Bodensee 1961/62 bis 1974/75. 3. Teil: Tauchenten und Blesshuhn. Orn. Beob. 72, 209–224.

Schuster, S., Blum, V., Jacoby, H., Knötzsch, G., Leuzinger, H., Schneider, M., Seitz, E. & Willi, P. 1983. Die Vögel des Bodenseegebietes. Ornithologische Arbeitsgemeinschaft Bodensee. Konstanz.

Stark, H., Bauer, H.-G., Suter, W. & Jacoby, H. 1999. Internationale Wasservogelzählung am Bodensee. Ergebnisse aus den Zählperioden 1961/62 bis 1996/97. Dynamik der Zugrast- und Überwinterungsbestände und der Einfluss von Umweltbedingungen. In: «Die Vögel des Bodenseegebietes», G. Heine, H. Jacoby, H. Leuzinger & H. Stark, Orn. Jh. Bad.-Württ. 14/15, 64–122.

Sudfeldt, C., Doer, D., Hötker, H., Mayr, C., Unselt, C., von Lindeiner, A. & Bauer, H.-G. 2002. Important Bird Areas (Bedeutende Vogelschutzgebiete) in Deutschland. Ber. Vogelschutz 38, 17–109.

Suter, W. 1982. Der Einfluss von Wasservögeln auf Populationen der Wandermuschel (*Dreissena polymorpha* Pall.) am Untersee-Ende/Hochrhein (Bodensee). Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 44, 149–161.

Suter, W. 1999. Kormoran – *Phalacrocorax carbo*. In: «Die Vögel des Bodenseegebietes», G. Heine, H. Jacoby, H. Leuzinger & H. Stark, Orn. Jh. Bad.-Württ. 14/15, 203–207.

Szijj, J. 1963. Zehn Jahre Entenvogelzählung am Bodensee. Vogelwarte 22, 1–17.

Werner, S. 2004. Einfluss überwinternder Wasservögel auf *Chara*-Arten und *Dreissena polymorpha* am westlichen Bodensee. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Institut für Seenforschung 4, 1–73.

Harald Jacoby, Ornithologische Arbeitsgemeinschaft Bodensee, Beyerlestrasse 22, D-78464 Konstanz, E-Mail: haraldjacoby@t-online.de

Der Rhein – Lebensader einer Region: 246–256

Bestandesentwicklung und Verbreitung des Bibers *(Castor fiber fiber)* im Kanton Thurgau zwischen 1968 und 2005

Gewidmet dem Thurgauer «Bibervater» Anton Trösch (1921–2003)

Mathis Müller (Pfyn) und Hannes Geisser (Frauenfeld)

1 EINLEITUNG

Der Biber wurde in Europa im Verlaufe des 18. und 19. Jahrhunderts beinahe überall ausgerottet (FREYE, 1978). In der Schweiz verschwand er zu Beginn des 19. Jahrhunderts (RAHM, 2002). Nur an der Elbe (D) überlebte eine kleine autochthone Population in Mitteleuropa. Im Gegensatz zu anderen mittleren und grossen Säugetierarten, die im selben Zeitraum verschwanden (z. B. Luchs, Wolf), war der Hauptgrund für das Verschwinden des Bibers die direkte Verfolgung durch den Menschen und weniger der Verlust seines angestammten Lebensraumes. Verfolgt wurde der Biber insbesondere wegen seinem dichten Fell, dem Fleisch sowie wegen dem Castoreum, einem Drüsensekret, dem heilende Wirkung nachgesagt wurde (RAHM, 2002).

Ab 1958 kam es in der Westschweiz im Genferseegebiet zu ersten Wiederaussetzungen (BLANCHET, 1994). Weitere Aussetzungen wurden in den folgenden Jahren in der nördlichen Schweiz getätigt. Darunter waren mehrere Tiere, die zwischen 1966 und 1969 im Kanton Thurgau freigelassen wurden (STOCKER, 1985). Der Thurgauer Bestand entwickelte sich anfänglich nur langsam, ein Erfolg der Wiederansiedlung wurde noch Mitte der Achtzigerjahre in Frage gestellt (A. TRÖSCH, pers. Mitteilg.). Erst in jüngster Zeit ist die Population merklich angewachsen und die Art hat definitiv Fuss gefasst.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Bestandesentwicklung des Bibers im Thurgau seit den ersten Wiederaussetzungen in den Sechzigerjahren aufzuzeigen, die aktuelle Verbreitung darzustellen und das weitere Ausbreitungspotenzial zu diskutieren. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei der Situation an der Thur und am Rhein.

2 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODE

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Kanton Thurgau und die angrenzenden Gewässerufer der Thur, des Rheins und des Untersees. Die Fläche des Kantons misst 1006 km^2. Rund 13% der Kantonsfläche sind von Gewässern bedeckt. Ein Netz von grösseren und kleineren Gewässern – unabdingbar für das Vorkommen des Bibers – durchzieht den Kanton: Bodensee, Untersee und Rhein bilden die nördliche Grenze. Die Länge des Rheins entlang der Kantons- und Landesgrenze beträgt 19,3 km, die Thur innerhalb des Kantons misst 44,7 km mit einem durchschnittlichen Gefälle von 0,25%, diejenige der grössten Nebengewässer Sitter 11,0 km, Kemmenbach 13,4 km, Seebach 7,6 km und Murg 32,0 km. Die Kanäle im Thurtal weisen für die Biber ebenfalls eine grosse Bedeutung auf, die Thur- und Murgkanäle messen insgesamt 30,5 km und diejenigen der Sammelgewässer 15,3 km. Weitere wichtige Gewässer innerhalb des Kantons sind die drei Nussbaumerseen (Koordinaten: 704.060/274.670), die Bommerweiher (729.060/275.600), die Hauptwilerweiher (737.40/261.080) und die Lengwilerweiher (731.120/276.760). Diese Gewässer weisen eine Fläche von 1,05 km^2 auf mit einer Uferlänge von über 18 km. Auf Kantonsgebiet befinden sich zudem 6 Auenwälder von nationaler Bedeutung (BUWAL, 1997). Sie erstrecken sich

von Bischofszell (735.000/262.300) im Osten bis zum Fahrhof (700.715/271.800) im Westen entlang der Thur und nehmen gesamthaft eine Fläche von 3,7 km^2 ein. Im Thurtal finden sich rund 20 Grundwasser- und Kiesgrubenweiher ohne Abfluss, sowie mehrere gestaute Weiher im Thurhang. 17 Giessen entlang alter Thurläufe (ca. 13,5 km Uferlänge), vorwiegend in den Auenwäldern von Müllheim bis zur Kantonsgrenze, ergänzen das Angebot an potentiellen Biberhabitaten.

2.2 Datenaufnahme

Die Revierdaten der Biber von 1968 bis 1998 wurden der Literatur entnommen (STOCKER, 1985; RAHM, 2000). Für die folgenden Jahre wurden im Winter 2000/01 und 2003/04 Daten im Feld gesammelt. Einzelbeobachtungen bis zum Mai 2005 ergänzten den Datensatz. Hinweise über tote Biber, erhoben von der kantonalen Jagd- und Fischereiverwaltung, sind ebenfalls in die Auswertung eingeflossen.

Im Winter 2000/01 wurde von November bis März flächendeckend im ganzen Kantonsgebiet jeder Gewässerabschnitt abgeschritten und alle entdeckten Biberspuren auf einer Karte mit Massstab 1:5000 festgehalten. Folgende Spuren sind gemäss RAHM (2002) unterschieden worden: Wohnbaue (Erdbau, Burg- und Mittelbau), Ausstiege, Kanäle, Wechsel, Trittsiegel, Dämme, Bibergeil und Frassspuren (grosser, mittlerer, kleiner Frassplatz), gefällte Bäume (Art, Anzahl, Stammdurchmesser, Distanz zum Ufer) und Wintervorrat. Dabei wurde auch festgehalten, ob es sich um neue oder letztjährige Spuren handelte. Ebenfalls protokolliert wurden allfällige Direktbeobachtungen von Tieren.

Die Einteilung der Reviere sowie die Unterteilung der Reviere in Familienreviere oder Einzeltierreviere erfolgte auf Grundlage der Häufigkeit und Verteilung der Biberspuren (vorwiegend Frassspuren und Baue), mit denen die Grenzen der einzelnen Biberreviere ausgeschieden und auf dem Plan festgehalten wurden. Solche «Papierreviere» sind oft nur eine Annäherung an die reale Reviergrösse, die nur mittels Telemetrie genau bestimmt werden kann. Für die hier vorliegende Fragestellung waren Papierreviere aber ausreichend. Zudem wurden zur Überprüfung der Methode Direktbeobachtungen von Bibern in der Dämmerungszeit in je 4 vorher bestimmten Einzeltier- und Familienrevieren festgehalten. Diese Beobachtungen stimmten überall überein, in Einzeltierrevieren konnte jeweils nur 1 Tier ausgemacht werden, in den Familienrevieren 2–5 Tiere. Im Winter 2003/04 wurde jedes in den zwei Jahren zuvor kartierte Revier nochmals nach frischen Biberspuren kontrolliert. Weiter wurden potenzielle Bibergewässerabschnitte überprüft, an denen der Biber bisher noch nicht auftauchte, sowie in der Zwischenzeit eingegangene Hinweise von Bibervorkommen untersucht.

3 ERGEBNISSE

3.1 Die Bestandesentwicklung des Bibers im Thurgau seit den Aussetzungen 1969

Zwischen 1966 und 1969 setzte Anton Trösch zusammen mit Freunden am Bodensee (bei Bottighofen und Romanshorn) und am Nussbaumer- und Hüttwilersee insgesamt 18 norwegische Biber (Abb. 1) aus. Die Aussetzungen am Bodensee missglückten, letztmals wurden diese Tiere 1969 gesichtet (STOCKER, 1985). Von den neun zwischen 1968 und 1969 am Nussbaumer- und Hüttwilersee freigelassenen Bibern wurden zwei Tiere noch im Aussetzungsjahr tot wiedergefunden. Die Gründerpopulation der Thurgauer Biber setzte sich demnach aus maximal 7 Tieren zusammen. Ob und wann sich dieser Bestand mit Tieren von im Rhein (Aussetzung von 3 Individuen 1977 in der Tössegg) oder an der Aare (Aussetzung von 26 Tieren zwischen 1966 und 1968) freigelassenen Bibern mischten, ist bis heute nicht untersucht worden. Nach STOCKER (1985), RAHM und BÄTTIG (1996), RAHM (2000) sowie Aufzeichnungen von A. Trösch nahm der Bestand des Bibers im Thurgau in den 1970er und 1980er Jahren nur langsam zu (Abb. 2). 1978 konnten im Einzugsgebiet der Thur von Pfyn bis zur Kantonsgrenze erst 5 Reviere registriert werden (RAHM und BÄTTIG, 1996). Eine nächste Zählung in den Jahren 1992



Abb. 1. «Olaf», der Biber aus Norwegen, der zusammen mit anderen 1966 bei Bottighofen/Thurgau ausgesetzt wurde. Foto: © Dr. Paul A. Hui, Frauenfeld.

und 1993 ergab immerhin bereits 13 Reviere, 1998 waren es deren 18 (RAHM, 2000). Dann beschleunigte sich die Entwicklung: Innerhalb von nur vier Jahren, zwischen 1998 und 2002, nahm der Bestand um mehr als das Doppelte auf 44 Reviere zu. In den Folgejahren erfolgte eine weitere Zunahme auf 53 Reviere im Winter 2004/05. Weitere Indikatoren bestätigen

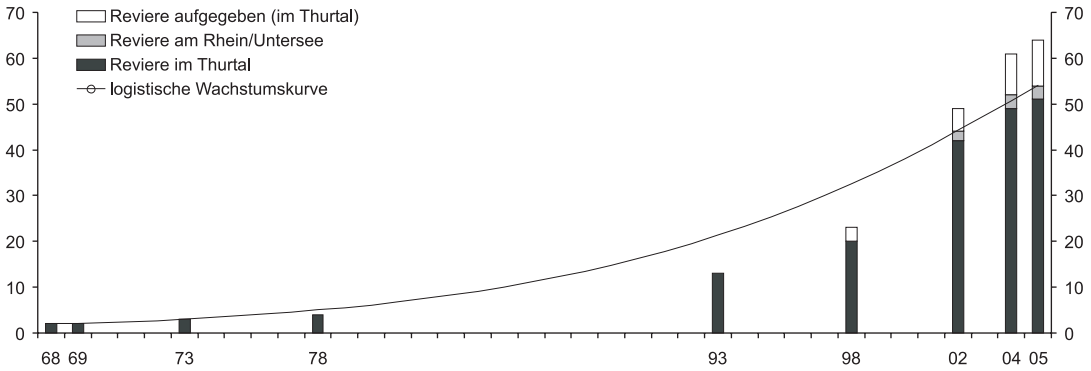


Abb. 2. Bestandsentwicklung der Biberreviere im Kanton Thurgau im Einzugsbereich der Thur und des Rheins von 1968 bis 2005 (Säulen). Die Kurve zeigt die logistische Wachstumskurve entsprechend einer Kapazitätsgrenze von K=140 Revieren und einer momentanen Wachstumsrate von r=0.106.

das starke Ansteigen des Biberbestandes in den Jahren seit 1998: Die gemeldeten Todesfälle von Bibern im Kanton (Abb. 3) nahmen in jenen Jahren ebenfalls kontinuierlich zu, ebenso die Konflikte (Tab. 1) und Entschädigungszahlungen für Biberschäden (Abb. 4). Der angestiegene Populationsdruck scheint gleichzeitig das Angebot an guten Habitaten zu vermindern und insbesondere die Jungbiber zur Abwanderung zu zwingen. Davon zeugen zwei Beobachtungen von Bibern im Frühling 2005, bei Weerswilen am Ottoberg oberhalb Weinfelden und in einem Weiher im Golfplatz Lipperswil, beide fernab von idealen Biberhabitaten.

Zusammengefasst präsentiert sich 37 Jahre nach den ersten Aussetzungen an den Nussbaumerseen im Kanton Thurgau folgende Situation: Insgesamt wurden zwischen 1968 und 2005 63 Reviere etabliert, verteilt auf 33 Familien- und 30 Einzeltierreviere (Tab. 2). Davon sind im Frühjahr 2005 noch 53 besetzt, 31 Familien- bzw. 22 Einzeltierreviere. Der Bestand dürfte heute vorsichtig geschätzt 120 bis 130 Tiere stark sein bei einer angenommen mittleren Familiengrösse von 3,3 Tieren. Dieser Wert ist kleiner als diejenige der schneller wachsenden Populationen im Elbegebiet mit 3,97 Tieren pro Familienrevier (HEIDECKE et al., 2003). Die grossflächige

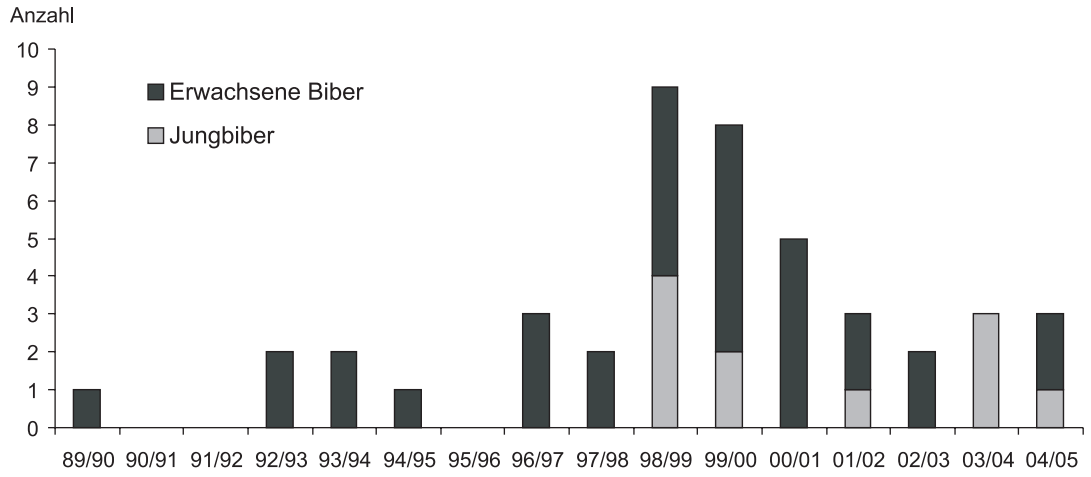


Abb. 3. Festgestellte Todesfälle von Bibern im Kanton Thurgau im Verlaufe von 1989 bis 2005. Die Daten sind unterteilt in adulte und subadulte Biber. Ein Beobachtungsjahr dauert vom 1. April bis zum 31. März des folgenden Jahres.

Tab. 1. Konfliktfälle in Biberrevieren im Kanton Thurgau seit 1980.

Konfliktfall, Bemerkungen	Gemeinde	Jahr
Fällen von Nutzholz	Frauenfeld	1981–1983
Fällen/Entrinden von Buchen	Pfyn/Müllheim	seit 2001
	Müllheim	seit 2003
Fällen von Obstbäumen	Pfyn	2001
	Eschenz	2002
	Diessenhofen	2004
	Hüttlingen	2005
Fällen von Kopfweiden	Felben	seit 2000
Dammbau/Vernässung umliegender Felder	Amlikon	2000
neuer Entwässerungsgraben erstellt	Hüttlingen	2002
Damm zerstört	Wigoltingen	2002
Damm zerstört	Frauenfeld	2004
Damm zerstört	Hüttwilen	2004
Damm zerstört	Uesslingen	2004
mehrmals Damm zerstört	Märstetten	2004
Unterhöhlung Autostrasse/Forststrasse	Pfyn	2002/2004
	Frauenfeld	2004
	Pfyn	2004
Erschlagen eines Bibers	Weinfelden	ca. 2000
Ernteschäden an Mais und Zuckerrüben	verschiedene	ab 1996

Siedlungsdichte des Kantons Thurgau beträgt demnach 0,12 Individuen/km^2, diejenige im mittleren Thurtal auf 35 km^2 Fläche bei höchster Siedlungsdichte sogar 2,3 Individuen/km^2. 10 über mehrere Monate besetzte Reviere wurden wieder aufgegeben, hauptsächlich in den letzten 2 bis 3 Jahren (Abb. 2). Darunter befinden sich auch 2 Familienreviere, das eine in einem Giessen und das andere in einem Kanal. In einem Fall dürfte lang andauernder Wassermangel die Ursache für die Revieraufgabe gewesen sein. Das Verlassen der anderen Reviere ist vermutlich auf ein zu knappes Nahrungsangebot zurückzuführen.

3.2 Die Ausbreitung des Bibers im Kanton Thurgau seit den Aussetzungen 1968

Schon 1970 konnten im Nussbaumersee zum ersten Mal Jungbiber beobachtet werden. Noch im selben Jahr wanderten bereits die ersten Tiere den Seebach hinunter in die Thurebene und etablierten sich in Giessen und in Kanälen im Thurtal bei Frauenfeld. Bis 1978 dehnte sich das Verbreitungsareal im Osten bis Pfyn aus, schon um 1974 wurde der Thurlauf abwärts bis zur Rheinmündung besiedelt (Abb. 5). In den Folgejahren bis 1998 zählte man in der Nordostschweiz am Rhein auf einer Strecke von 70 km bis zum Rheinfall insgesamt 12 Reviere (Winter, 1998). In den weiteren Jahren bis 1998 konzentrierte sich die Ausbreitung des Bibers entlang der Thur gegen Osten, vermutlich weil hier die abwandernden Jungtiere ausreichend Lebensraum vorfanden. Als dann die geeigneten Territorien entlang der Thur weitgehend besetzt waren, erfolgte ein weiterer Ausbreitungsschub in benachbarte Gewässer, so z. B. der Murg entlang aufwärts durch Frauenfeld nach Matzingen

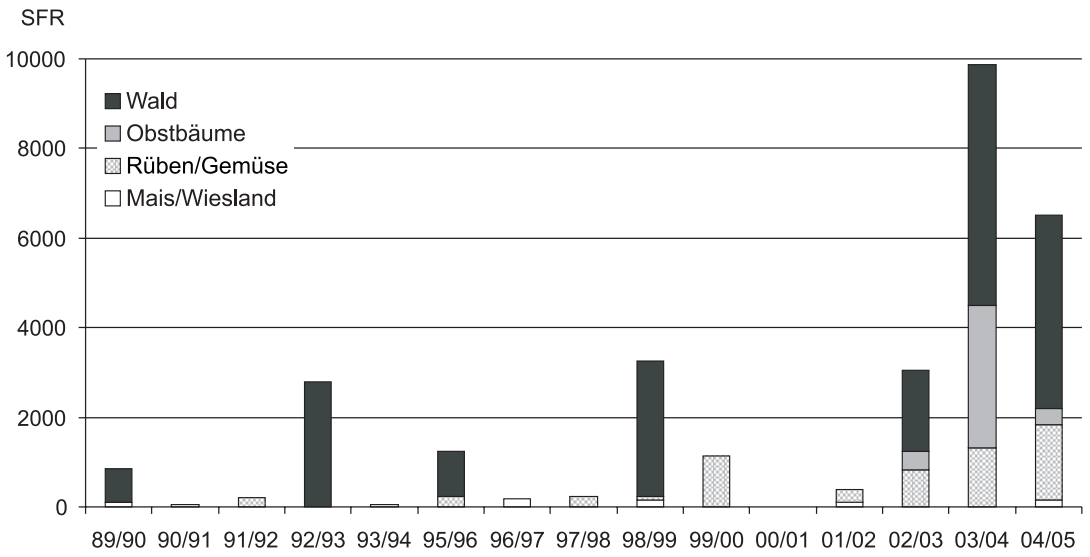


Abb. 4. Vom Bund und Kanton abgegoltene Biberschäden im Kanton Thurgau von 1989 bis 2005. Ein «Schadensjahr» dauert vom 1. April bis zum 31. März des folgenden Jahres.

und weiter nach Lommis oder 8 km den Kemmenbach hoch zu den Bommerweihern.

Der Rhein oberhalb des Rheinfalls blieb bis zum Jahr 2000 als Biberlebensraum von untergeordneter Bedeutung. Zwar wurden schon 1990 (Dokumentation von A. TRÖSCH) und vor 1998 (WINTER, 1998) Biberspuren am Rhein oberhalb des Rheinfalls festgestellt. Die Tiere konnten sich allerdings nicht dauerhaft etablieren. Gleichzeitig mit der weiteren Ausbreitung im Thurtal um die Jahrhundertwende wurde der Rhein oberhalb des Rheinfalls besiedelt. Im Jahr 1998 gelangten die ersten Biber an das Mündungsgebiet der Biber (SH), später an den Untersee und im Herbst 1999 an die Aach (D) bei Radolfzell (B. SAETTELE, pers. Mitteilg.) und später Aach aufwärts.

Die Ausbreitungswelle zwischen 1998 und 2005 geht einher mit dem beobachteten starken Bestandesanstieg (Abb. 2). Gleichzeitig mit dieser Arealausweitung ist auch eine Verdichtung im bereits besiedelten Raum in der Thurebene festzustellen, denn zunehmend werden auch abflusslose Weiher oder Bäche als Reviere besetzt. Die aktuelle Situation im Frühling 2005 präsentiert sich wie folgt: Das untere Thurtal von Amlikon bis zur Kantonsgrenze ist dicht vom Biber besiedelt, von Bischofszell bis Amlikon sind die Reviere noch ziemlich locker verteilt. Von den stehenden Gewässern sind die Nussbaumerseen und der untere Bommerweiher besiedelt, das Einzugsgebiet der Murg und der Thurgauer Rhein ist erst mit einigen Revieren besetzt. Nur ein Revier befindet sich am Untersee bei Eschenz und am Seerhein bei Gottlieben.

4 DISKUSSION

4.1 Bestandsentwicklung

Innerhalb von knapp vier Jahrzehnten hat sich im Kanton Thurgau aus einer Gründerpopulation von maximal 7 Tieren ein Bestand von 120 bis 130 Bibern entwickelt. Wie die Revierdaten zeigen, verlief die Populationsentwicklung zu Beginn nur zögerlich. Erst in den Jahren 1998 bis 2005 kam es zu einem nennenswerten und raschen Populationsanstieg.

Das Wachstum von Gründerpopulationen wie im Falle des Bibers im Thurgau wird in der Fachliteratur schon seit längerem auch theoretisch diskutiert (einen zusammenfassenden Überblick findet sich in MACARTHUR und WILSON, 1967). Befindet sich eine kleine Population in einer geeigneten Umwelt von beschränkter Kapazität, so wächst sie anfänglich langsam, legt dann mit einer immer grösser werdenden

Tab. 2. Aktueller Biberbestand (Reviere) der Thurgauer Gemeinden im Winter 2004/05. Angegeben sind die Anzahl Reviere, unterteilt in Familien- und Einzelreviere sowie die Anzahl der besiedelten Habitate. Ein Biberrevier kann auch auf zwei Gemeindeflächen liegen, deshalb betreffen viele Revierangaben halbe Reviere.

Gemeinde	Familienrevier	Einzelrevier	verlassene Reviere	See/Weiher	Giessen	Rhein/Thur	Kanäle	Bach	Vorkommen seit
rechte Thurseite:									
Bischofszell		1	1			1			1998
Kradolf	0,5	1				0,5	1		2004
Bürglen	0,5					0,5			2002
Weinfelden	1					0,5		0,5	1993
Kemmental	1			1					2002
Märstetten		1	0,5					1	1992
Wigoltingen	0,5	2	1,5			0,5		2	1992
Müllheim	3,5	1	1	2		1	1,5		1977
Pfyn	2	3	1		1	1	2	1	1977
Warth-Weiningen	5,5	0,5		1	4	1			1971
Uesslingen	1	5	1	2	0,5	0,5	2	1	1976
Neunforn	1				0,5	0,5			1971
Nussbaumen/Hüttwilen	1	3	1	3				1	1968
linke Thurseite:									
Bussnang	0,5	1				0,5		1	2002
Amlikon	2,5					1		0,5	1992
Hüttlingen	2,5	1				1	1	1	1992
Felben-Wellhausen	3	3	1		2	0,5	2,5	1	1977
Frauenfeld	4	5,5	2	2	3	1	2	2	1969
Matzingen	1							1	2002
Lommis		1						1	2004
Untersee/Rhein:									
Eschenz	1			1					1999
Diessenhofen		1						1	2004
Schlatt	1			0,5				0,5	2002
Total	33	30	10	12,5	11	11	12	15,5	

Geschwindigkeit zu, bis sich die Wachstumsrate wegen der Kapazitätsgrenze der Umwelt wieder abflacht. Das Wachstum erfolgt anfänglich exponentiell, bis die Dichtetoleranz erreicht ist, was theoretisch bei halber Kapazitätsgrenze der Fall ist. Aus diesem Modell lassen sich die Extremwerte von Fortpflanzungsstrategien bei geringer bzw. bei hoher Dichtetoleranz ableiten. Diese ist bekannt als K-Selektion für Arten, die bei hoher Siedlungsdichte an der Kapazitäts-

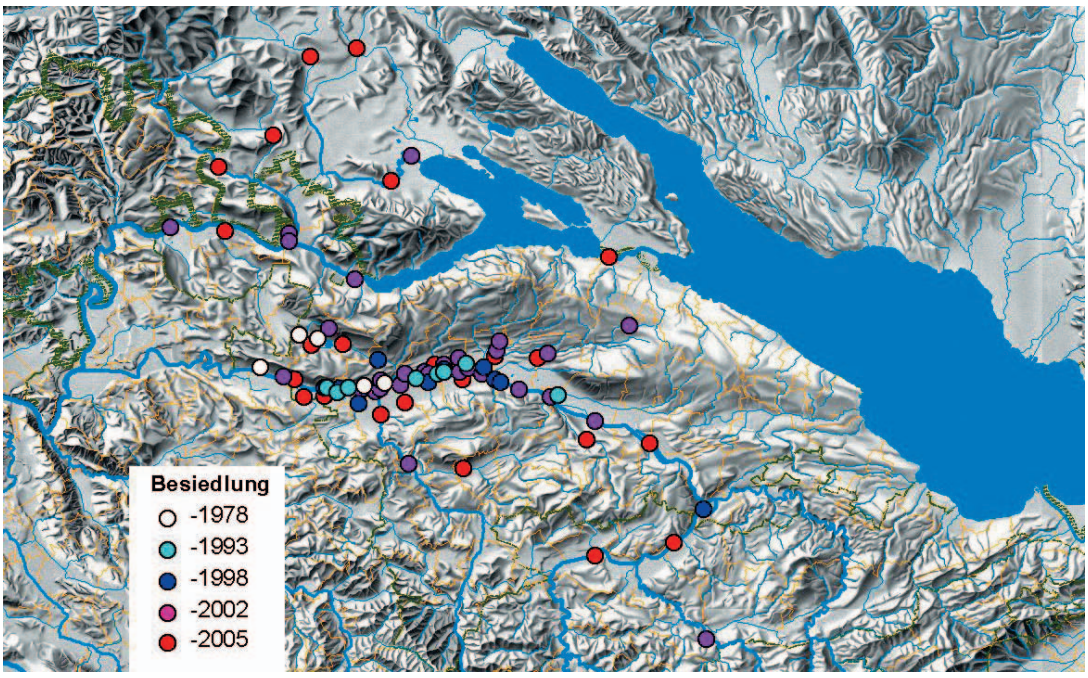


Abb. 5. Besiedlung der Kantone Thurgau und St. Gallen sowie der Biber (SH, D) und Aach (D) durch den Biber von 1968 bis 2004/05 (n=63 Reviere im Thurgau, davon 53 aktuell besetzt). Angaben von der Aach und Biber von Bettina Saettele. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA057389).

grenze konkurrenzieren bzw. als r-Selektion für Arten, die bei niedriger Siedlungsdichte die Wachstumsrate stark fördern. Der Biber ist ein Paradebeispiel eines K-Strategen. Dies ergibt sich aus den folgenden Faktoren, die für die Populationsentwicklung entscheidend sind (vgl. auch BLANCHET, 1994, und FREYE, 1978): eine lange Lebensdauer von über 15 Jahren, eine lange Aufzuchtsphase der Jungtiere von mindestens 2 Jahren, späte Geschlechtsreife erst im dritten Lebensjahr, grosse elterliche Investition in die Aufzucht der Jungen, kleine Wurfgrösse von jährlich einmal 1–4, in der Schweiz nur 2–3 Jungtieren, beachtliche Körpergrösse (grösstes Nagetier Eurasiens mit 20–30 kg und 90–100 cm Körperlänge), hohe Konkurrenzfähigkeit (Markierung und Verteidigung von Revieren), Wehrhaftigkeit (starkes Gebiss).

Im Thurgau – und nicht nur hier – verhält sich der Biber beinahe lehrbuchmässig als K-Stratege: Der potentielle Lebensraum in der Ostschweiz ist begrenzt, eine Kapazitätsgrenze ist somit gegeben. Die Bestandsentwicklung der Biberpopulation im Thurgau folgt der theoretisch zu erwartenden, logistischen Wachstumskurve bei einer angenommenen Kapazitätsgrenze von 140 Revieren, dies mit einer momentanen Wachstumsrate von 10,6% (Kurve in Abb. 2). Das Wachstum im Thurgau ist vergleichbar mit zwei Gründerpopulationen in den elsässischen und badischen Rheinauen in den letzten 30 Jahren (JACOB, 2002). Im Vergleich mit Gründerpopulationen in Deutschland, z. B. im Elberaum, die im Mittel jährlich um 20% zunehmen (HEIDECKE et al., 2003), ist diese Wachstumsrate jedoch eher gering. Auch der Anteil Familienreviere ist im Vergleich mit diesen Populationen sehr niedrig. Im Thurgau beträgt dieser Wert schätzungsweise knapp 60%, in den deutschen Subpopulationen um 85%. Ein weiterer, für die Populationsentwicklung wichtiger Parameter, der jährliche Aufzuchtserfolg pro Weibchen, ist im Thurgau nicht bekannt. Trotzdem kann auf Grund der geringen Wachstumsrate und dem kleinen Anteil Familienreviere davon ausgegangen werden, dass die Lebensraumbedingungen für den Biber im Vergleich mit den Elbepopulationen suboptimal sind. Verglichen mit anderen Nordostschweizer

Kantonen hat der Thurgau trotzdem die stärkste Biberpopulation. Im Kanton Zürich leben schätzungsweise 30–40 Tiere (Tagesanzeiger vom 12.5.2005), im Kanton Schaffhausen sind 6–8 Reviere bekannt, im Kanton St. Gallen 3–4 (eigene Einschätzung). Der Anteil der Thurgauer Biber am gesamtschweizerischen Bestand dürfte zwischen 15% und 20% betragen und ist somit von nationaler Bedeutung.

4.2 Ausbreitung

Ähnlich wie die Populationsentwicklung verlief auch die Ausbreitung des Bibers im Thurgau in den ersten Jahren nach den Freilassungen nur langsam. Trotzdem sind heute die meisten günstigen Biberhabitate im Kanton besetzt. Bedingt durch den anhaltenden Populationsdruck werden in jüngster Zeit vermehrt suboptimale Reviere besiedelt, die nach kurzer Zeit jedoch wieder aufgegeben werden (vgl. Abb. 2). Diese suboptimalen Reviere liegen mehrheitlich entlang kleiner Bachläufe oder umfassen kleine Weiher, wo die Nahrungsgrundlage zu gering ist, um eine Familie zu ernähren. Ohne gezielte Aufwertungsmassnahmen, wie das Pflanzen neuer gewässerbegleitender Weichhölzer, Renaturierungen entlang der Thur oder der Aushebung alter verlandeter Thurläufe (Giessen) in der Thurebene, dürften die noch freien Biberhabitate bald erschöpft sein.

Die beobachtete Ausbreitungsgeschichte des Bibers im Thurgau seit 1969 ist durch die natürlichen und künstlichen Wanderhindernisse erklärbar. Diesbezüglich kommt dem Rheinfall besondere Bedeutung zu. Obwohl schon 1990 (Dokumentation von A. TRÖSCH) und in den Jahren vor 1998 (WINTER, 1998) Biberspuren oberhalb des Rheinfalls festgestellt wurden, konnte sich die Art dort vorerst nicht fest etablieren. Erst auf Grund des anhaltenden Populationsdrucks gegen Ende der 1990er Jahre wurde der Rheinfall, die Murg bei Frauenfeld (künstlicher Stau und natürliche Fälle) wie auch der Kemmenbach (mehrere Kilometer lange Passage durch ein Waldtobel) überwunden. Diese Beobachtung lässt ein vorsichtiges Wanderverhalten der meist subadulten Biber vermuten, die ein unbesetztes Revier für eine Familiengründung suchen: Zuerst werden optimale, nahe gelegene Reviere besetzt. Können diese nicht erobert werden, werden längere Wege, grössere Hindernisse und wahrscheinlich sogar Wege über Land in Kauf genommen. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass der Kanton St. Gallen erst von wenigen Bibern besiedelt ist, welche die Thur und die Glatt aufwärts in Richtung Wil und Flawil vorstossen. Wie lange es dauert, bis das Rheintal und die Linthebene ohne aktive Aussetzungen wieder besiedelt sind, ist schwierig abzuschätzen. Hält der Populationsdruck an, dürften vermehrt Biber an den Bodensee gelangen, die den Untersee und den Seerhein durchqueren müssen. Im April 2005 konnte erstmals bei Konstanz ein aufwärts schwimmender Biber beobachtet werden (M. OTTMER, Kreuzlingen, pers. Mitteilg.). Ein weiteres Tier wurde Ende Mai im Espi-Weiher bei Gottlieben gesichtet (A. KRÄMER, pers. Mitteilg.).

5 AUSBLICK

Das Lebensraumpotenzial für den Biber im Kanton Thurgau ist beschränkt. Unter der Annahme eines totalen Biberschutzes und einer maximalen Lebensraumaufwertung zugunsten des Bibers errechnet sich für den Kanton ein möglicher Höchstbestand von etwa 200 Revieren bzw. von 550 Tieren. Bei dieser Hochrechnung wurde die mittlere beobachtete Uferlänge der verschiedenen Reviertypen berücksichtigt: 1,4 km bei Kanälen, 1,3 km bei Bächen und 1,7 km bei Flüssen. Für die Giessen wurde eine vollständige Besiedelung, für die Weiher die heutige Revierzahl und für die Seeufer nur ein sehr kleiner Wert angenommen. Bei den Bächen wurden die Gewässer im offenen Kulturland bis 1,3% Neigung mitberücksichtigt, so wie sie auch aktuell besiedelt werden. Bei über 1800 Bibervorkommen im mittleren Rhonetal in Frankreich (EROME, 1983) waren permanent vom Biber besiedelte Reviere nur an Fliessgewässern mit einem Gefälle von unter 0,9% festgestellt worden. Die Besiedlung im Thurgau ab 2002

von Bächen mit starker Neigung ist ein weiterer Hinweis eines starken Populationsdruckes.

Die Frage nach der zukünftigen Populationsgrösse im Thurgau ist schwierig zu beantworten. Ohne nennenswerte Lebensraumaufwertung und ohne grosszügigere Tolerierung der Art im Kulturland dürfte sich der Bestand von gegenwärtig 53 besetzten Revieren nur noch wenig erhöhen, hauptsächlich in den noch wenig besiedelten Gebieten im Einzugsgebiet der Murg, des Rheins, der Thur oberhalb Amlikon und der Seeufer oder aber auf allenfalls renaturierten Flächen (vgl. SCHLEGEL et al. in diesem Werk). Ob weitere Biber sich im bereits dicht besiedelten mittleren Thurtal festsetzen können, ist nicht auszuschliessen. Bei den anstehenden Grossprojekten zur zweiten Thurkorrektion in den nächsten Jahren, bei denen die Aufwertung des Lebensraums Thur ein erklärtes Ziel ist, sollten die Bedürfnisse des Bibers, insbesondere stabile, tiefere Wasserstellen auch bei Niedrigwasser im Sommer und im Winter in ausreichender Zahl, von Beginn weg berücksichtigt werden. Als Leitart kann der Biber so mithelfen, die Lebensraumbedingungen zahlreicher anderer Tier- und Pflanzenarten mit zu verbessern.

Die Thurgauer Biberpopulation wird immer nur einen Teil der in der Literatur geforderten Grösse von 2000 Tieren für eine sich selbst erhaltende Population erreichen (vgl. NOLET, 1997). Doch bereits die oben errechneten Bestandeszahlen dürften wohl aus verschiedenen Gründen kaum erreicht werden. Konflikte zwischen Landnutzern – oft werden Anbauflächen bis zum Gewässerrand angelegt – sind bei wachsendem Bestand vorprogrammiert. Ein weiterer Grund ist das ungenügende Nahrungsangebot, da eine Lebensraumaufwertung zugunsten des Bibers voraussichtlich nur punktuell, etwa in den Auenwäldern von nationaler Bedeutung oder auf Uferflächen unter Vertragsnaturschutz, ausgeführt werden wird. Umso wichtiger wären Bestrebungen, den Thurgauer Bestand mittelbis langfristig mit den Populationen nach Osten oder im Norden zu verbinden.

Zusammenfassend lassen sich für ein zukünftiges Management der Biberbestände im Thurgau und seiner Nachbarkantone folgende Grundsätze festhalten:

- *Habitatsicherung durch Ausweisung von Schutzgebieten:* Die meisten Konflikte mit dem Biber bei weiterer Bestandszunahme werden innerhalb eines schmalen Uferstreifens entstehen, da die Landwirtschaft auch diese Gebiete intensiv nutzt (SCHWAB und SCHMIDBAUER, 2003). Mehr Schutzgebiete entlang von Gewässern, auch unter Vertragsnaturschutz landwirtschaftlich genutzte Gebiete, wären deshalb anzustreben. Konflikte zu verhindern ist einfacher und oft kostengünstiger, als Konflikte zu lösen.
- *Förderung des Zusammenwachsens und des genetischen Austauschs von Bibergruppen der Subpopulationen:* Wanderhindernisse entlang der Wasserwege wären zu minimieren und Wasserwege auszubauen.
- *Bestandsüberwachung (Monitoring) der Reviere:* Um den Zustand der Population einschätzen zu können, sollten in regelmässigen zeitlichen Abständen im Sinne eines Minimalmonitorings folgende Informationen erhoben werden: Anzahl Familienreviere, Familiengrösse und Aufzuchtserfolg.
- *Wiederbesiedlung ehemaliger Lebensräume durch Umsiedlungen:* Die nordostschweizerische (WINTER, 1998) und die süddeutsche Biberpopulation (ALLGÖWER und JÄGER, 2003) sind noch klein; die Teilpopulationen müssen noch besser miteinander vernetzt werden. Alle ehemaligen und potenziellen Biberlebensräume sollten durch Wiederansiedlungen, in erster Linie durch den Abfang von Tieren in Konfliktgebieten, besiedelt werden. Diese Massnahme ist einer jagdlichen Hege (BUWAL, 2004) vorzuziehen.
- *Konfliktmanagement:* Es gilt abzuklären, in welchen Gebieten die Biber geduldet sind, bzw. wo sie auf Grund des zu erwartenden Konfliktpotenzials kaum geduldet werden. Schon heute weist der Kanton Thurgau die grössere Siedlungsdichte des Bibers als das 70-mal grössere Bayern mit geschätztem Bestand von 6000 Bibern auf, wo bereits Mitte der 1990er Jahre massive Konflikte im

Zusammenhang mit Biberproblemen entstanden (SCHWAB und SCHMIDBAUER, 2003). Die Akzeptanz des Bibers im Kanton Thurgau ist heute noch gross (MEYER, 2005), dürfte aber bei einer weiteren Zunahme des Bestands und der Schadenfälle sinken. Auch darauf ist ein besonderes Augenmerk zu richten.

6 DANK

Im Winterhalbjahr 2000/2001 unterstützten uns Augustin Krämer und Kurt Egloff bei den Kartierungen. In den Folgejahren übermittelte uns Roman Kistler, kantonaler Jagd- und Fischereiverwalter, einige neue Bibervorkommen im Kanton. Er überliess uns auch die Todesfallstatistik der Biber im Thurgau. Bettina Saettele informierte uns über die Bibervorkommen am Untersee (D) und an der Aach (D). Anton Trösch (†), der die Biber im Thurgau aussetzte, hinterliess uns umfangreiche Aufzeichnungen und Dokumentationen. Ihnen allen danken wir herzlich.

7 LITERATUR

ALLGÖWER, R. & JÄGER, O. 2003. Die Rückkehr des Bibers *Castor fiber* L. (Castoridae, Rodentia) nach Baden-Württemberg (Südwestdeutschland) – nur eine Bereicherung der Artenvielfalt? Denisia 9, 107–119.

BLANCHET, M. 1994. Le Castor et son royaume (Le roman de bièvre). Delachaux et Niestlé, Lausanne, 311 pp.

BUWAL, 1997. Die Auen der Schweiz. Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung.

BUWAL, 2004. Konzept Biber Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 6 pp.

EROME, G. 1983. Le castor dans la vallée du Rhône. Son écologie, sa distribution. Bièvre 5 (2), 177–195.

FREYE, H. A. 1978. Castor fiber Linnaeus, 1758. Europäischer Biber. In: «Handbuch der Säugetiere Europas (1)», pp. 184–200. AULA, Wiesbaden.

HEIDECKE, D. J., DOLCH, J. & TEUBNER, J. 2003. Zur Bestandsentwicklung von *Castor fiber albicus* Matshie, 1907 (Rodentia, Castoridae). Denisia 9, 123–130.

JACOB, J.-C. 2002. Die Wiederansiedlung des Bibers *(Castor fiber L.)* in den elsässischen und badischen Rheinauen. Carolinea 60 (2002), 107–112.

MACARTHUR, R. H. & WILSON, E. O. 1967. The theory of Island biogeography. Princeton University Press, Princeton.

MEYER, F. 2005. Die Akzeptanz des Bibers. Sympathieträger oder Störenfried? Eine Fallstudie aus dem Kanton Thurgau. Diplomarbeit Universität Zürich.

NOLET, B. A. 1997. Management of the beaver Castor fiber towards restoration of its former distribution and ecological function in Europe. Nature and Environment 86, 1–36.

RAHM, U. & BÄTTIG, M. 1996. Der Biber in der Schweiz. Bestand, Gefährdung, Schutz. Bundesinventar 1992/93. Schriftenreihe Umwelt, Nr. 249, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 68 pp.

RAHM, U. 2000. Bestand und Dynamik der Biber im Kanton Thurgau. Mitteilungen der thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 56, 111–126.

RAHM, U. 2002. Ein Vademekum für Biberfreunde. Leitfaden für Feldbeobachtungen. Centre Suisse de cartografie de la faune, Neuchâtel.

SCHWAB, G. & SCHMIDBAUER, M. 2003. Beaver (Castor fiber L., Castoridae) management in Bavaria. Denisia 9, 99–106.

STOCKER, G. 1985. Biber (Castor fiber L.) in der Schweiz. Probleme der Wiedereinbürgerung aus biologischer und ökologischer Sicht. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bericht Nr. 274, 149 pp.

WINTER, C. 1998. Der Biber (Castor fiber) in der Nordostschweiz – Vergangenheit, Gegenwart und Ausblick in die Zukunft. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen 43, 63–72.

WINTER, C. 2001. Grundlagen für den koordinierten Biberschutz. Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 68 pp.

Mathis Müller, dipl. biol., Ö+L Büro für Ökologie und Landschaft GmbH, Unterer Brüel 22, CH-8505 Pfyn, E-Mail: mathisamueller@yahoo.de

Dr. Hannes Geisser, Naturmuseum des Kantons Thurgau, Freie Strasse 26, CH-8510 Frauenfeld, E-Mail: hannes.geisser@tg.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region: 257–261

Die Ausbreitung der Bisamratte in der Nordostschweiz

Augustin Krämer (Frauenfeld)

1 EINLEITUNG

Eben sind hundert Jahre vergangen, seit die Bisamratte (Abb. 1), ein in Nordamerika beheimatetes Nagetier, in Europa Fuss gefasst hat. Ihre Ausbreitung war – im Gegensatz zum Schicksal manch anderer versuchten Ansiedlung – eine Erfolgsgeschichte. Allerdings verflog die Euphorie über die Bereicherung der europäischen Fauna mit einem neuen Pelzträger bald, nachdem sich mehr und mehr Schäden aller Art einstellten: Das putzige Tierchen wurde zumindest in Mitteleuropa zum vielgeschmähten, mit Eifer vernichteten Schädling.

2 DIE BISAMRATTE – EINE «WASSER-WÜHLMAUS»

Die Bisamratte (*Ondatra zibethicus*) ist zoologisch gesehen keine Ratte, sondern eine grosse Verwandte unserer Wühlmäuse (z. B. Schermaus, Feldmaus, Rötelmaus); sie wird deshalb häufig auch Bisam genannt. Die Kopf-Rumpf-Länge erwachsener Tiere beträgt im Durchschnitt 35 cm, die Schwanzlänge 22 cm. Das Gewicht schwankt zwischen 1 und 1,5 kg. Das Fell besteht aus dichter Unterwolle und glänzenden Grannenhaaren von variabler Farbe; in der Regel sind Kopf und Rücken dunkelbraun, die Flanken heller und die Unterseite braungrau bis schmutzigweiss. Anpassungen ans Wasserleben sind der seitlich abgeflachte Ruderschwanz, Schwimmborsten an den Zehen der Hinterfüsse und verschliessbare Nasen- und Ohröffnungen. Der Bisam- oder Moschusgeruch stammt von einem Sekret aus Talgdrüsen, das die Männchen in der Paarungszeit mit dem Urin ausscheiden.

Bisamratten sind produktiv: Von Frühling bis Herbst sind 2–3 Würfe des meist monogamen Paares à 6–8 Junge die Regel. Das Weibchen ist 4 Wochen trächtig; die Jungen sind nach 2 Monaten selbständig, bleiben aber noch bei den Eltern. Im Herbst kann die Familie somit 15–20 Tiere umfassen. Diese hohe Vermehrungsrate wird kompensiert durch eine Lebenserwartung von höchstens 3–4 Jahren.



Abb. 1. Bisamratte (gez. Murr).

Die Ansprüche des Bisams an seinen Lebensraum sind gering, solange geeignete Gewässer und Nahrung vorhanden sind. Die Verbreitung in Nordamerika zeigt dies: Sie reicht von den Subtropen Mexikos bis zur Tundra von Alaska. Mit Pflanzen bewachsene natürliche Ufer von stehenden und langsam fliessenden Gewässern sind ideal. Das Nahrungsspektrum umfasst Sumpf- und Wasserpflanzen (z. B. Schilf, Rohrkolben, Seerosen, Wasserpest) sowie unter anderem Wiesengräser und Kräuter, Blätter und Rinde von Weidenzweigen, Obst, Gemüse und Feldfrüchte, aber auch Muscheln, Wasserschnecken und Krebse.

Eine vorhandene Uferböschung ermöglicht es den Bisamratten, darin einen Bau zu graben. Begonnen wird unter Wasser mit einer schräg aufwärts führenden Röhre, die über dem Wasserspiegel in einen geräumigen Wohnkessel mündet. Von hier führen weitere Röhren zu andern Eingängen unter Wasser und als Lufteinlässe an die Erdoberfläche. Bei grösseren Schwankungen des Wasserstandes können mehrere Etagen angelegt werden. Es leuchtet ein, dass diese Grabtätigkeit die Uferböschungen und Dämme instabil macht und, ausgelöst durch Hochwasser, Weidevieh oder Fahrzeuge, zum Einsturz bringen kann. – An Flachwasserseen und in ausgedehnten Mooren, wo ein Erdbau nicht möglich ist, oder bei Vereisungsgefahr im Winter bauen die Tiere im flachen Wasser aus Pflanzenmaterial eine Burg, die abgesehen vom fehlenden Holz an eine Biberburg erinnert. Eine solche Wohnung kann bis 2 m Durchmesser haben und 1 m hoch sein. Auch hier liegen die Eingänge unter Wasser, was den überwinternden Bisamratten erlaubt, unter dem Eis die angelegte Vorratskammer aufzusuchen oder auf Futtersuche zu gehen.

Das Sozialleben ist geprägt von territorialen Auseinandersetzungen im Frühling und Sommer und gegenseitiger Toleranz in der übrigen Zeit – wenn nicht negative Umweltbedingungen wie Hochwasser, Trockenheit oder Nahrungsmangel Konflikte schüren. Anderseits ist es belegt, dass vor allem im Winter Fremdlinge gemeinsam mit Familien einen Bau oder eine Burg bewohnen. In der Zeit der Jungenaufzucht sind die Familienterritorien je nach Dichte der lokalen Population kleiner oder grösser; in uniformen günstigen Habitaten sind Abstände zwischen den Bauen von nur 40–50 m gefunden worden.

Ein Charakteristikum der Bisamgesellschaft ist ihre ausgeprägte Mobilität. Ausgelöst wird sie einerseits von jahreszeitlichen Einflüssen: Im Frühling sind vor allem die unverpaarten jungen Männchen auf der Suche nach Weibchen unterwegs, im Herbst ist es der bevorstehende Winter, der das Überleben in marginalen Sommerhabitaten in Frage stellt. Anderseits können Witterungseinflüsse wie Trockenheit oder Hochwasser die Mobilität fördern. Auf ihren Exkursionen sind Bisamratten übrigens nicht zwingend an die Benützung von Gewässern gebunden; sie können manche Kilometer über Land wandern und überqueren so mit etwas Glück auch Wasserscheiden. (Vgl. Ausbreitung der Biber bei MÜLLER und GEISSER in diesem Buch)

3 DER FREMDLING SETZT SICH DURCH

Damit sind wir beim Phänomen Ausbreitung angelangt, einem Thema, das in Europa von besonderem Interesse ist. Der Startschuss für die Eroberung unseres Kontinents erfolgte 1905, als einige Bisamratten in der Nähe von Prag ausgesetzt wurden mit der Absicht, eine freilebende Pelztierkolonie zu begründen. Gemäss zeitgenössischen Berichten verlief die Ausbreitung nach allen Seiten «lawinenartig», allerdings offenbar nicht ohne Mithilfe interessierter Jäger. Im Jahr 1915 erreichte die Front die deutsche Grenze, 1927 München und 1933 Hamburg. In diese Stadt gelangten die Tiere über Moldau und Elbe, ein Weg von 500 km Luftlinie und damit eine (wohl von Hochwasser unterstützte) Wandergeschwindigkeit von 18 km/Jahr. Der Vorstoss nach Westen erfolgte langsamer, nicht zuletzt auch infolge der in Deutschland einsetzenden Bekämpfung der Bisamratten mit Fallen. Angesichts der ersten Schäden an Wasserbauten entstanden staatliche Organisationen mit beamteten Bisamjägern, die vollamtlich gefährdete Gebiete zu kontrollieren, die einwandernden Pioniere zu liquidieren und die hinter der Front etablierten Kolonien zu dezimieren hatten. Tatsächlich gelang es in den Jahren um 1950, die über die Ostgrenze der damaligen Bundesrepublik eingedrungenen Fremdlinge auf grosser Fläche wieder zu eliminieren. Ein Jahrzehnt später befand sich allerdings die Front weiter westlich als je zuvor.

Westlich des Rheins begann die Ausbreitung der Bisamratten in den 1920er Jahren mit Tieren, die französischen und belgischen Zuchtfarmen entwichen waren. 1928 kamen bei Belfort einige Hundert Bisame frei und eroberten in wenigen

Jahren das Elsass, die Ajoie und die Umgebung von Basel beidseits des Rheins. Interessanterweise kam darauf die weitere Ausbreitung in der Schweiz nur stockend voran. So war noch 1978 im Hochrhein und seinen Zuflüssen oberhalb von Laufenburg keine Spur von Bisamratten zu entdecken.

Dagegen wurde es in den frühen 1970er Jahren für die Nordostschweiz spannend: In Bayern und Württemberg überschritten die ersten Tiere aus dem Einzugsgebiet der Donau die Wasserscheide zum Rhein. An den Rhein- und Bodenseezuflüssen vermochten auch die erfahrenen staatlichen Bisamjäger den Vormarsch nicht zu stoppen. Als wichtige Einfallachsen erwiesen sich die Fliessgewässer Argen, Schussen, Stockacher Aach, Radolfzeller Aach, Biber und Wutach. Die zeitliche Abfolge der Einwanderung ist in Abb. 2 dargestellt; Abb. 3 zeigt detailliert die Entwicklung im Kanton Thurgau. Bei den eingetragenen Jahreszahlen ist allerdings zu berücksichtigen, dass einerseits auch blosse Beobachtungsmeldungen ohne Beleg verzeichnet sind, anderseits gewisse Vorkommen erst nach einigen Jahren entdeckt wurden.

Die Dynamik des Bisamvormarsches jenseits der Landesgrenze brachte die Amtsstellen bei Bund und Kantonen auf Trab. Initiant der Aktivitäten war ein Mitarbeiter des Bundesamtes für Landwirtschaft, Abteilung Pflanzenschutz. Eine Arbeitsgruppe wurde gegründet, Tagungen und Exkursionen organisiert, eine Wildbiologin erhielt einen Forschungsauftrag, und ein deutscher Bisamjäger instruierte die kantonalen Beamten über die Wichtigkeit und Technik des Fallenfangs. Beispiele von riesigen Schäden an Dämmen und Deichen in Belgien machten die Runde, und kleinere Schäden konnten im benachbarten Deutschland besichtigt werden. Besonders hervorgehoben wurde die grosse Gefahr eines Zusammentreffens von zwei bisher getrennten Populationen, was gemäss Experten zu einer «explosionsartigen» Vermehrung des Bisams hätte führen können. Gemeint waren die östli-

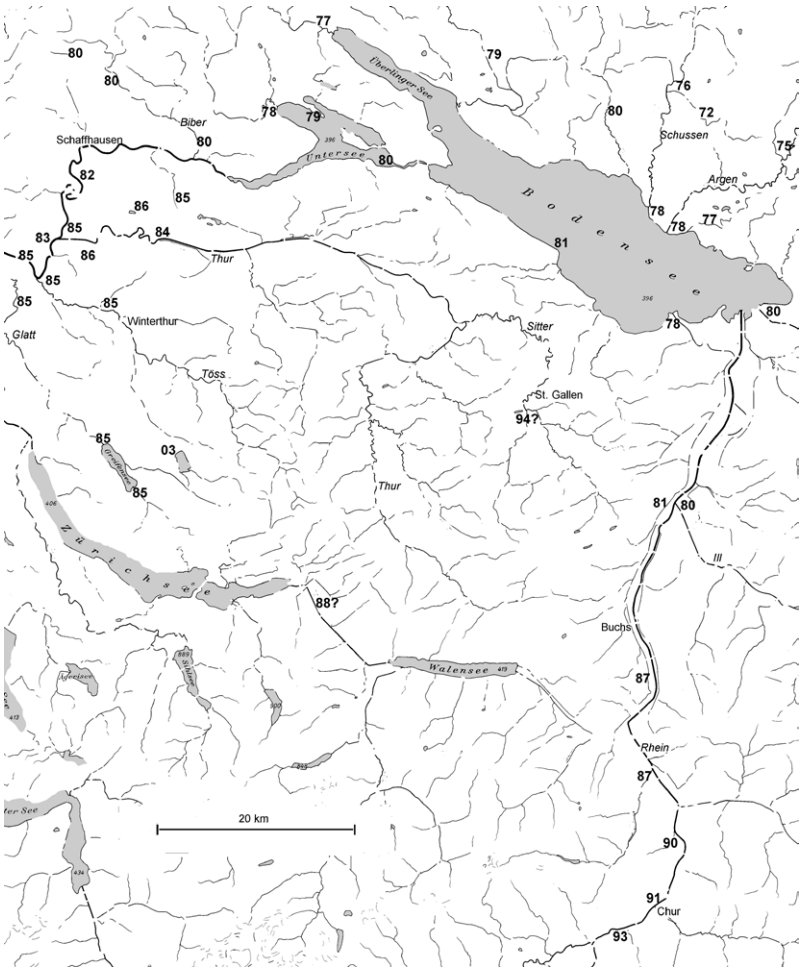


Abb. 2. Kartenausschnitt der Gewässer im Einzugsgebiet des Rheins zwischen Eglisau und Reichenau mit Jahreszahlen der ersten Bisamrattenmeldungen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA057387).

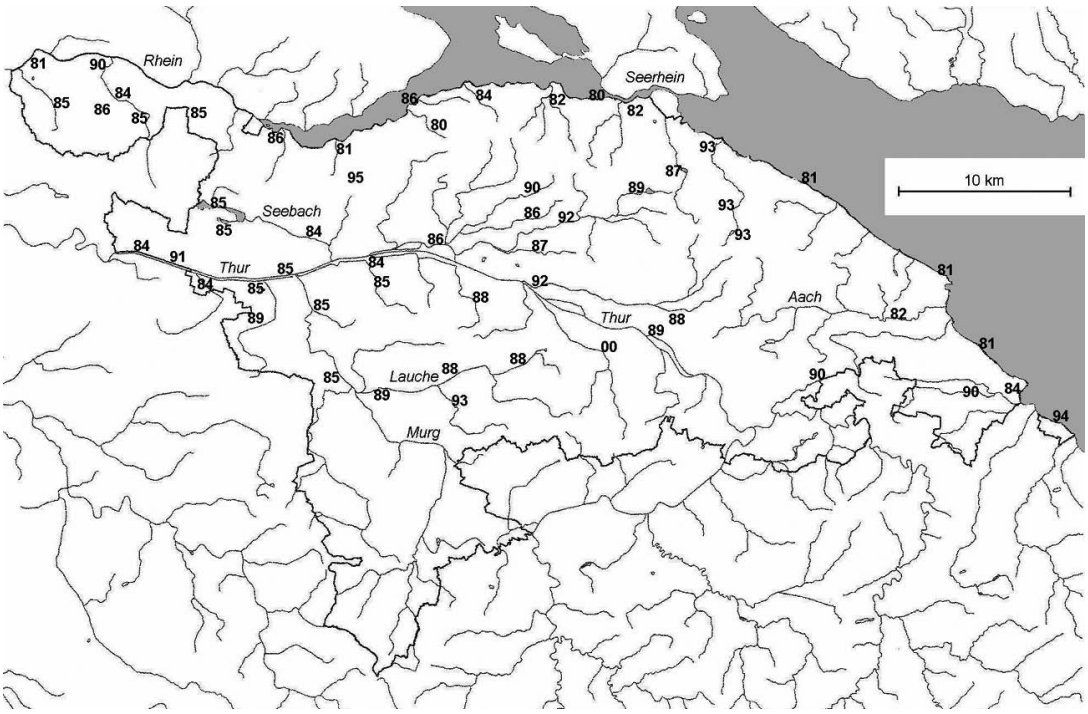


Abb. 3. Gewässerkarte des Kantons Thurgau mit Jahreszahlen der ersten Bisamrattenmeldung pro Gemeinde oder Jagdrevier. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA057387).

che Population aus Böhmen und die Zuchtfarmpopulation aus Frankreich, die sich im Raum Waldshut schon bedrohlich nahe gekommen waren. Eine kantonale Pressemitteilung gab sich jedoch zuversichtlich: «Zu Besorgnis besteht kein Anlass, wenn es gelingt, die Befallstellen einwandfrei unter Kontrolle zu halten und deren Ausweitung zu verhindern. Die Erfahrungen am Doubs und in der Ajoie zeigen aber, dass die Bisamratten erhebliche wirtschaftliche Schäden anrichten, wenn ihr Vordringen nicht systematisch verhindert wird.» Nun, am Rhein bei Waldshut tauchten bald die ersten Späher auf, bald war der Hochrhein durchgehend besiedelt – und es passierte gar nichts. Aus heutiger Sicht ist anzufügen, dass in den 20 bis 25 Jahren Bisampräsenz in keinem der betroffenen Kantone (ZH, SH, TG und SG) je wirtschaftliche Schäden gedeckt werden mussten.

4 BIOLOGISCHE URSACHEN DER RASCHEN AUSBREITUNG

Was schon für europäische Rothirsche in Neuseeland beschrieben wurde, trat auch bei unseren amerikanischen Bisamratten ein: Bei der Neubesiedlung von geeignetem Lebensraum kommt es oft zu aussergewöhnlich starker Vermehrung. Grund ist die gute Kondition der Tiere dank reichlicher Nahrung von bester Qualität. In dieser Phase wird die Tragfähigkeit des Lebensraums bald überschritten, und die Vermehrungsrate und damit die Populationsdichte pendelt sich auf tieferem Niveau ein. Die Bisamjäger haben die Erfahrung gemacht, dass die produktivsten Bisamfamilien an der Ausbreitungsfront gefunden werden – Nachschub für das weitere Vorrücken.

Auch im Thurgau kennt man zwei Beispiele für das Phänomen der überschiessenden Vermehrung: Am Bommerweiher haben die Bisamratten im dritten Jahr nach Erscheinen das Schilf derart stark genutzt, dass im Herbst keine oder

nur noch halbhohe wasserständige Halme zu sehen waren. Und am Nussbaumersee, wo 1991 mindestens 5 Paare lebten, war später der Grund am Ufer stellenweise mit leeren Teichmuschelschalen bedeckt, die alle angenagt waren, und Bisamratten sah man kaum mehr. Die Lehre daraus sollte sein, dass der Wegfang von Individuen die Population fördert, die sonst infolge Nahrungsknappheit zusammenbricht.

Es bleibt die Frage, weshalb sich ein Fremdling von einem andern Kontinent in Europa (und anderswo) derart erfolgreich einnisten konnte. Folgende Umstände begünstigten die rasche Ausbreitung: Der Bisam

- kann unter ganz verschiedenen Umweltbedingungen leben,
- hat ein breites Nahrungsspektrum,
- eine hohe Vermehrungsrate,
- keine spezialisierten Feinde wie den Mink in Nordamerika,
- erschliesst dank seiner Wanderlust schnell neue Lebensräume (auch über Land),
- und, wohl am wichtigsten: Er besetzt eine freie Nische zwischen der kleineren Schermaus, soweit sie am Wasser lebt, und dem grösseren Biber, hat also keine direkten Konkurrenten.

Und daraus folgert REICHHOLF (1993) zu Recht: «Hätte die Bisamratte es geschafft, während der Eiszeit, als der Meeresspiegel so tief abgesunken war, dass sich eine feste Landverbindung zwischen Nordostasien und Nordamerika ausbildete, über diese Landbrücke nach Asien zu kommen, hätten wir sie (in Europa) im Repertoire der <angestammten> Arten vorgefunden.»

5 LITERATUR

BAUMANN, F. 1949. Die freilebenden Säugetiere der Schweiz. Verlag Hans Huber, Bern, 492 pp.

REICHHOLF, J. 1993. Comeback der Biber. Verlag C. H. Beck, München, 232 pp.

Dr. phil. II Augustin Krämer, Spitzrütistrasse 16, CH-8500 Frauenfeld,
E-Mail: am.kraemer@bluewin.ch

4 Natur und Mensch am Rhein

Synopsis: Natur und Mensch am Rhein

Die Herausgeber

Das Verhältnis des Menschen zum Rheinfluss und zur Rheinlandschaft war und ist heute noch ein sehr ambivalentes und konfliktgeladenes. Der Wildfluss «Alpenrhein» durfte während Jahrhunderten im nicht- oder nur dünnbesiedelten Talbereich seinen Lauf frei wählen. Hochwasser prägten die Flusslandschaft ständig neu und konnten sich in den ausgedehnten Auenwäldern, Schwemmebenen und Talmooren bis in die Randbereiche des Tales ausleben.

Die Geschichte der Hoch- und Niederwasser ist im Beitrag von PFISTER seit 1500 aufgezeigt. Seine Ergebnisse stützen sich auf historische Dokumente, die sich vor allem auf den Rhein bei Basel beziehen (schriftliche Zeugnisse, Hochwassermarken), aber auch zahlreiche andere Quellen mit verwenden. So entsteht eine klimageschichtliche Übersicht über fünf Jahrhunderte nicht nur zu den Hoch- und Niedrigwassern am Rhein, sondern auch über das Rheineinzugsgebiet hinaus. Doch der Mensch wollte und musste bei der stetig anwachsenden Bevölkerungszahl die fruchtbaren Talböden bebauen und den sich anbietenden Wasserlauf für die steigenden Transport- und Energiebedürfnisse nutzen.

KAISER geht auf diese Fragen ausführlich ein und legt uns in seinem Beitrag eine spannende Landschafts- und Besiedlungsgeschichte des Alpenrheintals vor, in welcher der Rhein einst die unangefochtene Hauptrolle spielte. Wie der Mensch, zuerst langsam dann immer selbstsicherer dem Fluss diese Rolle mehr oder weniger erfolgreich zu entwenden versuchte, liest sich fast wie ein Kriminalroman. Immer waren es ökonomisch-technische Kriterien, welche die Rheinkorrektionen vorantrieben, anfänglich mit bittersten Rückschlägen für die Anwohner, in neuerer Zeit mit wachsendem Erfolg. Wer durch das St. Galler Rheintal fährt oder es aus der Vogelperspektive betrachtet, wird aber über die ökologischen Defizite der Gegenwart, welche dieses grösste Meliorationswerk der Schweiz hinterlassen hat, nicht hinwegsehen können. Die Frage nach dem hohen Preis, den wir bezahlt haben, darf heute gestellt werden. Die jüngsten Hochwasserereignisse in der Schweiz geben eine Antwort der Natur, die der Grossteil der Bevölkerung nicht mehr erwartet hat. Umdenken ist angesagt! (Vgl. die Beiträge von BAUMANN et al. und von STÄHLI in diesem Buch.)

Vom Landschaftswandel im Alpenrheintal berichtet auch der Artikel von BROGGI, dem wohl aufmerksamsten Beobachter der Entwicklung seiner näheren Heimat. Broggi legt den Schwerpunkt auf den über Jahrhunderte dauernden Wandel der Natur- zur Kulturlandschaft und deren Banalisierung zum Beispiel durch Landwirtschaft, Autobahnbau, Zersiedlung, Kiesbaggerungen und Grundwassersenkungen. Restpotentiale ästhetischer Ausdruckskraft lägen zwar noch wie verlorengegangenes Stückgut in der Landschaft herum. Der kritische Autor übersieht aber in seinen Perspektiven die überregional bedeutsamen Naturräume und die Anzeichen eines Wandels im Denken der Menschen nicht. (Vgl. in diesem Buch auch die Beiträge von BRÜLISAUER, KLÖTZLI und SCHLEGEL et al.) Eine Aufwertung des künftigen Raumpotentials ist möglich und nötig. Nicht die austauschbare Region ist heute gefragt, sondern die nicht imitierbare, die nicht bis in die hintersten Winkel genutzte, sondern die auf lokalen Stärken aufgebaute. Broggi sieht den wieder belebbaren Alpenrhein und dessen Vernetzung mit der Umgebung als die Nahtstelle dieser zukünftigen Rheinlandschaft. Erste Projekte sind in Bearbeitung; ein Forschungsnetzwerk «Perspektiven Alpenrhein» will sich dieser

Themenstellung annehmen. Das Rheintal – nicht nur ein wirtschaftliches, sondern auch ein ökologisches Chancental?

Die Geschichte der Korrektion des Rheins und einzelner Zuflüsse kann bis ins 11. Jahrhundert zurückverfolgt werden. Systematisch geplante und ausgeführte Massnahmen – Verbauungen, Korrektionen («rectus» = gerade), verbunden mit Bodenverbesserungen und -gewinnen – wurden allerdings erst nach der wegweisenden Linthkorrektion (1806–1816) in Angriff genommen. Nach einer Charakterisierung der Hochwasserverhältnisse am Alpenrhein schildern VISCHER und KALT den zeitlichen, personellen und politischen Ablauf der Rheinkorrektionen und bieten damit einen sehr guten geschichtlichen Überblick der hydrotechnischen Entwicklungen bis in die Gegenwart. Persönliche Erinnerungen an erste, von eidgenössischen und kantonalen Ämtern geforderte Gutachten aus naturkundlicher Sicht (Ökologie war noch ein kaum bekanntes oder dann verpöntes Fremdwort!) zu Korrektionen und Meliorationen werden wach! Misstrauisch betrachtete man den begleitenden Biologen, skeptisch nahm man seine Voten für mehr Natur und weniger Monotonie zur Kenntnis! Wenn Vischer zu den heutigen Naturierungsbestrebungen schreibt, «dass die Kulturlandschaft möglichst naturnah und von ‹Oasen› einer Naturlandschaft durchsetzt sein soll», dann kann man nur hoffen, dass diese Auffassung auch in der Bevölkerung und in den Parlamenten eine Mehrheit findet.

Im Bewusstsein, dass der Rhein und der Bodensee für die Trinkwasserversorgung von Millionen Menschen unverzichtbar ist, müssten diese neuen Perspektiven grosse Akzeptanz finden (vgl. TRÖSCH in diesem Buch). Der Rhein und der Bodensee und deren Umfeld erhalten heute eine ganz andere Bedeutung als noch vor Jahrzehnten, als man Wasser möglichst rasch aus den eigenen Gemarkungen los haben wollte! Was die Wasserqualität anbelangt, sind nach all den Anstrengungen, Verbesserungen und Sicherungen zu deren Erhaltung deutliche Erfolge sichtbar. HARDMEIER belegt erhebliche Senkungen des Gesamtphosphorgehaltes in Bodensee und Rhein und Verbesserungen der Mikrobiologie des Rheinwassers. Die Hochrheinstrecke erwies sich in der Folge des Sandoz-Grossbrandes in Basel von 1986 als bedeutendes Artenreservoir für den gesamten Rhein!

Die Folgen der Wasserkraftnutzung an Fliessgewässern werden von SCHNEIDER kritisch beschrieben. Wenn ökologische Kriterien berücksichtigt werden, ist sie aber eine allseits akzeptierte Energiequelle (vgl. dazu auch den Beitrag von VISCHER in diesem Buch), deren wirtschaftliche Bedeutung nicht bezweifelt wird. Was verantwortliche Betreiber eines Fluss-Wasserkraftwerkes heute zur Verbesserung im Staubereich, zur Renaturierung von Uferstrecken und zur Pflege der Ufervegetation, zur Aufwertung von Lebensräumen an verschiedenen Flussabschnitten sowie für die nachhaltige Finanzierung dieser Massnahmen tun, hat VOGELSANGER am Beispiel des Kraftwerkes Schaffhausen aufgezeigt. Deren Bemühungen erhielt 2003 in einer Zertifizierung nach dem System «naturemade star» ihren Ausdruck. Ob damit die Hoffnung, die geschützte Hochrheinlandschaft von nationaler Bedeutung am Thurgauer und Schaffhauser Rhein möglichst frei zu erhalten, berechtigt ist, wird der Volkswille entscheiden müssen. So wie sich 1973 das Thurgauer Volk mit einer Verfassungsinitiative mit grossem Mehr gegen ein Regulierwehr mit Grossschleuse am Hochrhein ausgesprochen hat. Das Bodenseehochwasser von 1999 und Fragen um die Trinkwasserreserven haben das Thema, nach langer Funkstille, wieder zu einem Diskussionspunkt gemacht. Von den diversen Projekten und Ideen, die zur Lösung des Problems «Hochwasser senken und Niedrigwasser erhöhen» schon vorgebracht wurden, beschreibt VISCHER als Fachmann für Wasserbau in sachlicher Weise.

Mensch und Natur am Rhein, das muss kein Gegensatz sein. STÄHLI (in diesem Buch) zeigt Lösungen auf, indem er uns Menschen einen Platz innerhalb und im Einklang mit der Natur zuweist. Wir müssen der Natur Eigenwerte zubilligen und Respekt entgegenbringen, und wir müssen fähig werden, die Natur um ihrer selbst willen zu erhalten.

Der Rhein – Lebensader einer Region: 265–273

Überschwemmungen und Niedrigwasser im Einzugsgebiet des Rheins 1500–2000

Christian Pfister (Bern)

1 QUELLEN ZUR HISTORISCHEN HYDROLOGIE

Die Öffentlichkeit nimmt von Naturkräften nur dann Notiz, wenn diese die tägliche Routine stören und sich selber auf die Agenda setzen, sei es in Form einer länger anhaltenden extremen Wetterlage oder einer Katastrophe. In solchen Fällen haben die zuständigen Wissenschaften das Ereignis in einen grösseren Zusammenhang einzuordnen. Dies setzt eine Rückschau voraus, die sich in der Regel auf Aufzeichnungen in historischen Dokumenten stützt. Generell gilt: Je extremer eine Naturkatastrophe, desto zahlreicher und ausführlicher sind die Aufzeichnungen darüber und umso besser stützen und ergänzen sich diese gegenseitig. Die extremsten Naturkatastrophen der Vergangenheit, an deren genauerer Kenntnis die Gesellschaft ein besonderes Interesse hat, lassen sich damit anhand von Beobachtungen aus historischen Dokumenten relativ zuverlässig rekonstruieren. Im Rahmen der Historischen Klimatologie ist die historische Hochwasserforschung heute gut etabliert (Brazdil et al., 2005).

Berichte über Hochwasser sind seit dem Mittelalter in Chroniken, vom späten 15. Jahrhundert an zudem in Witterungstagebüchern und Akten, vom späten 17. Jahrhundert auch in Messjournalen übermittelt. Die meisten Beobachter versuchten, die Grössenordnung einer Überschwemmung mit entsprechenden älteren Ereignissen zu vergleichen. Diese waren Teil der Lokaltradition, im kollektiven Gedächtnis präsent und als Vergleichsmassstab abrufbar. Dabei bezogen die Chronisten ihre Höhenangaben nach Möglichkeit auf Merkpunkte an Brücken und Gebäuden, die bereits ihren Vorgängern als Massstab gedient hatten. So lesen wir unter dem Jahr 1511: «Uff sant Marien Magdalenen tag [1. Aug.] [...]wuchs der Ryn so hefftig, das man besorgte, es wurde geschehen, wie 31 jar darvor [d. h. 1480] in der wassergrossi ouch beschach. [geschah] [...] Und gieng der Ryn an der Schiffluten pfyler, da der ercker an stat, das man den schilt nit sechen mocht; und werte [dauerte] wol 10 tag an einander, das er [der Rhein] underwylen fiel und denn wider wuchs» (Bernoulli, 1902). Anhand des mit einem Erker und einem Schild geschmückten Pfeilers der Basler Rheinbrücke lässt sich abschätzen, dass der Strom am 22. Juli 1511 etwa so hoch stand wie am 13. Juni 1876 (Pfister, 1999). Vom 16. Jahrhundert an wurde die Grösse von Hochwasser nicht nur beschrieben, sondern durch Hochwassermarken an Brücken und Häusern im Stadtbild visualisiert. Die meisten Hochwassermarken sind im 20. Jahrhundert zusammen mit den alten Gebäuden zerstört worden (Pfister, 1999; Glaser und Stangl, 2004; Deutsch, 2004). Erhalten geblieben sind beispielsweise die Marken am Schönbeinhaus in Basel (vgl. Abb. 1).

Für Vergleiche von historischen Hochwassermarken mit instrumentell dokumentierten Wasserständen muss abgeklärt werden, ob sich Gebäude gesenkt haben oder ob sich das Profil des Flussbetts verändert hat. So tiefte sich der Rhein in Basel nach der Korrektion des Oberrheins durch den Ingenieur Gottfried Tulla stärker ein (Tümmers, 1999). Von 1808 an liegen tägliche Pegelmessungen vor, die von 1908 durch Abflussmessungen ergänzt wurden (Ghezzi, 1926; Rima, 1962), so dass Querbezüge zu den Hochwassermarken und den Beschreibungen hergestellt werden können.

Die Erinnerung an extrem niedrige Wasserstände ist ebenfalls anhand von Marken im Gelände dokumentiert worden. Als Projektionsfläche dienten Steinblöcke im Bett von Flüssen und Seen, die bei Niedrigwasser trocken fielen. Zur Erinnerung pflegten die Anwohner die Jahreszahl des Ereignisses in die Blöcke einzumeisseln

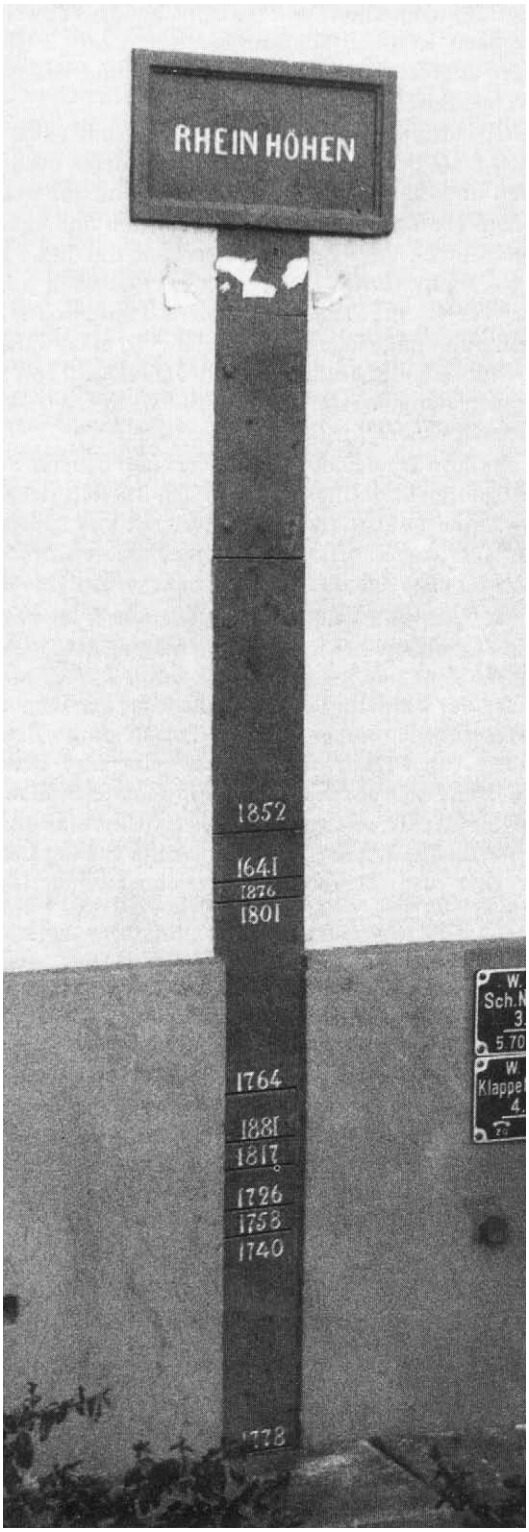


Abb. 1. Hochwassermarken am Schönbeinhaus Oberer Rheinweg 93 in Klein Basel (PFISTER, 1999).

(vgl. Abb. 5). Im Unterschied zu Überschwemmungen sind Niedrigwasser jedoch bisher kaum klimageschichtlich untersucht worden.

2 HOCHWASSER

Die schwersten Hochwasser des Rheins lassen sich im Rahmen eines knappen Überblicks am ehesten anhand der Verhältnisse in Basel charakterisieren. Als Kriterium wird die Höhe des Flusses genommen, die anhand eines Quervergleichs von Berichten, Hochwassermarken und Abflussmessungen, die sich dachziegelartig überlappen, mit einiger Zuverlässigkeit ermittelt werden kann (PFISTER, 1998; PPFISTER, 1999). Die Reihe «Basel» integriert die oft recht heterogenen Verhältnisse in den einzelnen Teilen des Einzugsgebiets und ist für diese somit nicht unbedingt repräsentativ (KAN, 1995; AEBISCHER, 1997).

Bei den Ursachen eines Hochwasserereignisses ist zwischen Disposition und Auslösung zu unterscheiden. Die Disposition umschreibt die Voraussetzungen, die vor dem Eintritt des Ereignisses bestehen. Hochwasserfördernd sind lange Niederschlagsperioden, die zu einer Sättigung der Böden führen, ferner die Akkumulation grosser Schneemassen im Mittelland oder in den Bergen. Ob ein Ereignis bei günstiger Disposition tatsächlich eintritt, ist vom Auslöser abhängig. Die Beziehung zwischen Niederschlag, Schneeschmelze und Abfluss ist nichtlinear, komplex und von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig. Letztlich ist jedes Hochwasser das Ergebnis eines Geschehens, das in seinem Verlauf zwar einmaligen Charakter trägt, aber in der Konstellation seiner Ursachen doch gewisse Regelmässigkeiten zeigt (GREBNER und RICHTER, 1991).

Seit 1500 sind über 50 Hochwasser nachgewiesen, die auf Grund der Höhe des Rheins in Basel als extrem oder schwer eingestuft werden können. Vom Zeitpunkt ihres Eintretens, ihrem räumlichen Schwerpunkt und von ihren Ursachen her lassen sie sich grob drei Kategorien zuweisen (Tab. 1–3), wobei extreme Ereignisse fett hervorgehoben sind. Anschliessend an die

Tab. 1. Extreme und schwere Hochwasser des Rheins (Basel) im Sommerhalbjahr mit Schwerpunkt im Mittelland. **Fett**: extreme Ereignisse (PFISTER, 1998; PFISTER, 1999).

16. Jh.	**1511 (1. Aug.)**, 1515 (Aug.), 1542 (16. Aug.), 1560 (Juni/Juli), **1566 (Mai–Juli)**, 1577 (Juni/Juli), 1584 (Juli), 1585 (Juli)
17. Jh.	1609 (Juni), 1629 (Juli), 1640 (Juni/Juli), 1664 (Aug.), **1673 (Juni)**, 1679 (19. Juli)
18. Jh.	1716 (Juli), 1720 (Juni–Aug.), 1770 (Aug.), 1817 (Juni, Juli)
19. Jh.	**1817 (6. Juli)**, 1851 (Juli/August), 1853 (Juli), 1855 (Juli)
20. Jh.	1953 (27. Juni), 1972 (18. Juli), **1994 (25. Mai)**

Tab. 2. Extreme und schwere Hochwasser des Rheins (Basel) in den Wintermonaten mit Schwerpunkt im Mittelland. **Fett**: extreme Ereignisse (PFISTER, 1998; PFISTER, 1999).

16. Jh.	1506 (Dez.), **1570 (12. Dez.)**, 1589 (Dez.)
17. Jh.	1618 (Febr.), **1651 (Dez.)**
18. Jh.	**1711 (Febr.)**, 1740 (20. Dez.), 1755 (Dez.)
19. Jh.	**1801 (31. Dez.)**, 1882 (Dez.)
20. Jh.	1918 (24. Dez.), 1972 (23. Nov.)

Tab. 3. Hochwasser im Sommerhalbjahr mit Schwerpunkt am Alpennordhang. **Fett**: extreme Ereignisse.

16. Jh.	1529 (14. Juli), 1585 (26. Aug.), 1595 (14. Juni)
17. Jh.	1618 (14. Sept.), 1640 (Sept.)
18. Jh.	1720 (9. Juni), 1733 (15. Sept.), **1758 (26. Juli)**, **1762 (10. Juli)**, **1764 (22. Aug.)**
19. Jh.	**1852 (17. Sept.)**, **1876 (13. Juni)**, 1881 (2. Sept.), **1890 (2. Sept.)**
20. Jh.	**1910 (16. Juni)**, **1999 (12. Mai)**

Tabellen wird jeweils ein extremes Hochwasser für jede der drei Kategorien vorgestellt.

Hochwasser im Sommerhalbjahr mit Schwerpunkt im Mittelland sind auf starke, vorwiegend westwindbedingte Niederschläge im Mittelland bei gleichzeitiger ergiebiger Schneeschmelze in den Bergen zurückzuführen. In der «Kleinen Eiszeit» stellten sich diese Bedingungen meist anfangs Juli, in sehr kalten Hochsommern (1511, 1542, 1770, 1821) erst im August, in den 1990er Jahren schon im Mai ein. Weitaus die meisten Hochwasser dieses Typs sind in den Sommermonaten mit einer deutlichen Spitze im Juli nachgewiesen: Besonders ergiebig war die Schneeschmelze, gemessen an der Dauer der Hochwasserwelle in Basel und jener des Hochstandes des Bodensees, in den Jahren **1566** (PFISTER, 1999; PFISTER, 2005), 1770 sowie 1817 und 1999 (PFISTER und SCHMID, 2000), vermutlich auch 1629.

2.1 Die Überschwemmung vom Sommer 1566

Im Einzugsgebiet des Rheins war die Überschwemmung im Sommer 1566 die gewaltigste in den letzten fünf Jahrhunderten: Der Winter 1565/66 gehört zu den schneereichsten seit 1500. Im Voralpen- und Alpengebiet ertranken die Kühe buchstäblich im Schnee, als man sie von einem Heustall zum anderen führen wollte, und der Schnee war auch zu tief, um Heu mit Schlitten heranzuführen. Für das auf 1000 bis 1600 m gelegene Hügelgebiet des Schwarzwaldes sind Schneehöhen von 3 m überliefert. Vergleichbare Schneemengen sind seither nur vom Winter 1998/99 bekannt. Die Wetterlage im Lawinenwinter 1999 (Februar) zeigt grosse Ähnlichkeit mit jener vom Februar 1566 (PFISTER, 2005).

Als Ursache erwähnt der Berner Chronist Johannes Haller die ausserordentlich ergiebige Schneeschmelze, während der Luzerner Naturforscher und Staatsmann Renward Cysat dagegen «überflüssig rägenwetter» im Juni, also anhaltende Niederschläge, hervorhebt. Johann Gottlieb Schrämli schreibt in seiner Thuner Chronik, die Flüsse seien im Juni «durch

starke Regengüsse und die grosse Masse des geschmolzenen Schnees angeschwollen», so wie diese auch bei der schweren Überschwemmung vom 15. Mai 1999 der Fall war. Dagegen trat der Thunersee 1566 nicht über die Ufer, weil Simme und Kander, die weitaus bedeutendsten Wasserlieferanten, vor dem Kanderdurchstich von 1714 noch nicht in den See flossen. In Luzern stand der Vierwaldstättersee dreissig Tage lang nur eine Handbreit unterhalb der Kappellenbrücke, im Dorf Brunnen verkehrten Kähne von einem Haus zum anderen, und von Flüelen aus konnte man, wie beim Hochwasser 1987, mit Nachen mehr als einen Kilometer weit gegen Altdorf rudern. In Lindau stand der Bodensee, wie KOBELT (1926) anhand einer Hochwassermarke nachweist, nahe dem Rekordstand vom Juni 1817. In Basel flutete der Rhein ungefähr sechs Wochen lang anderthalb Fuss (ca. 45 cm) unterhalb des niedrigeren Jochs der Brücke. Das Wasser beschädigte die Brücke so schwer, dass diese im folgenden Jahr unter hohen Kosten repariert werden musste. Dies deutet darauf hin, dass die Fluten höher reichten als bei den anhand von Pegeln geschätzten Abflussspitzen vom September 1852 und vom Juni 1876 (PFISTER, 2005). Als «Jahrtausendereignis» gilt die Flut von 1342 (BORK und HERMANN, 1988).

Winterliche Hochwasser sind auf anhaltende, vorwiegend westwindbedingte Niederschläge zurückzuführen, die oft mit der Schmelzung erheblicher Schneemassen im Mittelland einhergingen (PFISTER, 1999).

2.2 Die Überschwemmung vom 1. Dezember 1651

Wie Abt Gallus II. berichtet, fiel in der Nacht vom 21. auf den 22. November in St. Gallen (670 m) tiefer Schnee, der (im Tal?) durch den Föhn aber wieder schmolz. Am 29. November setzte warmer Regen ein, der auch am folgenden Tag anhielt. Die warmen Winde und der Regen dürften den Schnee bis in höheren Lagen geschmolzen haben, wodurch die vom Regen- und Schmelzwasser angeschwollenen Flüsse über die Ufer traten. In der Ostschweiz schwemmten sie viele Brücken weg. In Bern stieg die Aare nach den Beobachtungen von Berchtold so stark an, dass Bewohner in den tiefer gelegenen Teilen des Matte-Quartiers (wie 1910 und 1999) mit Kähnen evakuiert werden mussten. Die Ebene westlich der Stadt Solothurn war nach dem Bericht des solothurnischen Stadtschreibers Franz Haffner drei Tage lang alles «einem See oder Meer gleich» (PFISTER, 1985).

Nachdem bereits die ganze Vorstadt von Solothurn im Wasser stand, verkeilte sich in der Nacht zum 1. Dezember eine grosse Menge Schwemmholz an der Aarebrücke, was den Fluss seitlich in die Stadt ausbrechen liess. In höchster Not gelobte die Burgerschaft, auf diesen Tag jeweils eine Messe lesen zu lassen, worauf zwei Joche der Brücke barsten, das Holz weggeschwemmt wurde und das Wasser in der Stadt fiel (vgl. Abb. 2).

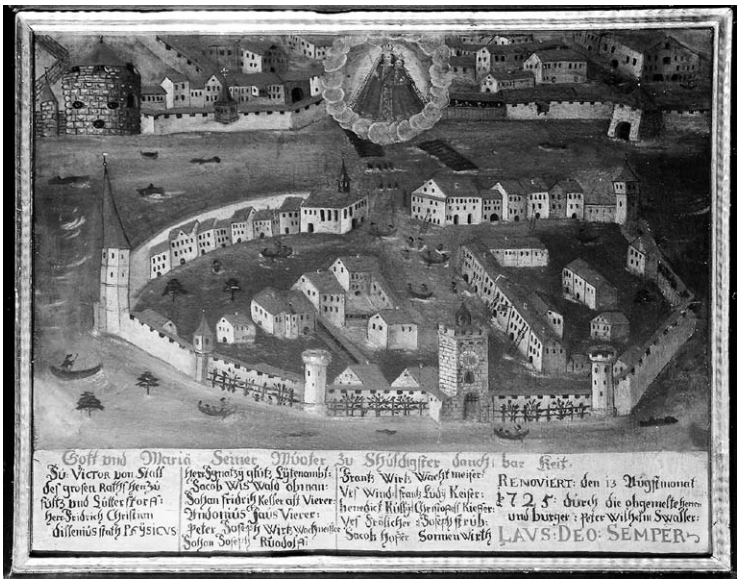


Abb. 2. Ex Voto-Bild in der Spitalkirche Solothurn.

Anhand einer Hochwassermarke am ehemaligen Zunfthaus zu Schiffleuten hat MOSER (1984) errechnet,

dass die Aare damals um 6,6 Meter über dem Pegelnullpunkt stand.

Am Schönbeinhaus fehlt eine Hochwassermarke für dieses Ereignis. Andererseits ist eine extreme Überschwemmung für 1641 eingetragen, die in den Quellen nicht nachgewiesen ist. Dies führt zur Vermutung, dass hier ein Kopierfehler des Steinhauers (1641 anstatt 1651) vorliegt.

Überschwemmungen am Alpennordhang ergeben sich, wenn – ausgehend von einem Tief über dem Golf von Genua oder über der Adria – warmfeuchte Luftmassen aus dem Mittelmeerraum im Gegenuhrzeigersinn zur Alpennordseite geführt werden und sie dort durch eine kalte Nordströmung gegen die Alpen gelenkt werden. Diese Lage dürfte den meisten herbstlichen Überschwemmungen zu Grunde gelegen haben; sie ist aber auch für Ereignisse im Früh- und Hochsommer nachgewiesen (z. B. 13. Juni 1876 (PFISTER, 1999), 16. Juni 1910 (PFISTER und SCHMID, 2000)). Mit Blick auf die Hochwassermarken am Schönbeinhaus wird ein weiterer Kopierfehler des Steinhauers vermutet: In dieser Zusammenstellung fehlt nämlich die Überschwemmung vom 10. Juli 1762 (KRAPF, 1900). Andererseits findet sich eine Hochwassermarke unter dem Jahr 1726, für das sich keine entsprechenden Belege in den Quellen finden.

2.3 Mittelbünden unter der Sintflut (3./4. September 1890)

Ende August 1890 floss sehr kalte Luft zum Alpennordrand, während vom Mittelmeer her warmfeuchte Luft gegen die Alpen geführt wurde. Der Schwerpunkt des Niederschlagsgebiets lag wahrscheinlich über den östlichen Zentralalpen und über dem Rheintal. In Reichenau wurden 555 l/m^2, in Engelberg und auf dem San Bernardino 505 l/m^2 und in Altstätten SG 411 l/m^2 Niederschlag gemessen. Das sind Werte, die seither nie mehr registriert worden sind. Diese Niederschläge sind in Bezug auf die Menge derart selten, dass die dadurch entstandenen Hochwasserabflüsse und Erdschlipfe als natürliche Folge zu betrachten sind (PFISTER, 1999). Neben dem bündnerischen Rheingebiet war das Gebiet um Chur und das St. Galler Rheintal schwer betroffen (RÖTHLISBERGER, 1991, 1998).

2.4 Hochstände des Bodensees seit 1800

Abschliessend sollen alle extremen Überschwemmungen anhand der Hochwasser des Bodensees (anhand des Pegels in Lindau) (Abb. 3) und der Überschwemmungen in Basel in ihrem zeitlichen Verlauf betrachtet werden.

Das maximale Hochwasservolumen vom Sommer 1817 ist auf eine doppelte Schnee-

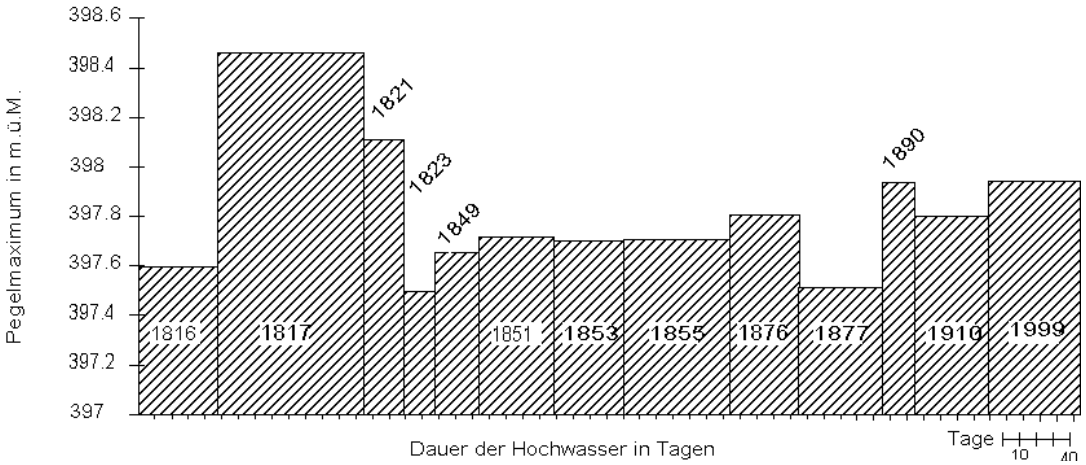


Abb. 3. Hochwasserstände des Bodensees 1800–2000.
Die Säulen kombinieren die maximale Höhe des Seespiegels mit der Dauer der Überschwemmung und vermitteln so einen Eindruck von der Grösse der Hochwasservolumina.

schmelze in den Alpen nach dem «Jahr ohne Sommer» (1816) zurückzuführen (PFISTER und SCHMID, 2000). Auffällig ist die unregelmässige Verteilung der Überschwemmungen in Form von Paketen (1816–1823, 1849–1855, 1876–1877), zwischen denen längere Perioden ohne Hochwasser liegen (besonders 1910–1999).

Die Basler wurden bis um 1880 im Durchschnitt alle 9,5 Jahre von den Fluten des Rheins heimgesucht (vgl. PFISTER, 1999: Fig. 4.4.): Dann verlangsamte sich der Rhythmus der schweren Überschwemmungen. Die Interpretation dieser Entwicklung ist schwierig, weil die abflussbildenden Prozesse durch gegenläufige Eingriffe beeinflusst wurden: So haben die Regulierung der Alpenrandseen, der Bau von Kraftwerken und Aufforstungen die Entstehung schwerer Hochwasser tendenziell vermindert, während die Urbanisierung und die Verdichtung der Böden durch den Einsatz landwirtschaftlicher Grossmaschinen die Abflüsse beschleunigt haben (PFISTER, 1999). Für die Zukunft ist mit einer grösseren Häufigkeit von winterlichen Überschwemmungen zu rechnen (FREI et al., 2000).

3 NIEDRIGWASSER

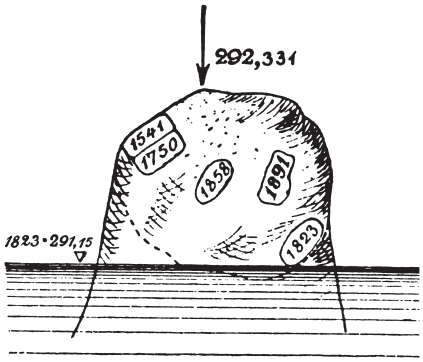
Niedrigwassermarken waren auf dem Laufenstein bei Laufenburg eingemeisselt. Das Städtchen Laufenburg liegt ca. 35 km östlich von Basel, und zwar nach der Einmündung der Aare in den Rhein. Die dortigen hydrologischen Voraussetzungen sind mit jenen in Basel somit weitgehend vergleichbar. Der Laufenstein lag bei Niedrigwasser von $< 300\ m^3/sec$ trocken (Abb. 4). Die Höhenlage des Laufensteins wurde kurz vor 1900 durch den Ingenieur Heinrich Walter vermessen. WALTER (1901), der über die Stromschnellen von Laufenburg dissertierte, hat in diesem Rahmen die auf dem Stein eingemeisselten Jahreszahlen der Nachwelt überliefert. Dies, kurz bevor der Laufenstein im Zusammenhang mit dem Bau des Kraftwerks Laufenburg in den Jahren 1908–1912 gesprengt wurde (N.N., 1983). WALTER (1901) entzifferte 10 Jahreszahlen, die auf dem Stein eingekerbt



Abb. 4. Bei extremem Niedrigwasser kam der Laufenstein im Flussbett zum Vorschein. Er wurde im Zusammenhang mit dem Bau des Kraftwerks Laufenburg 1908–1912 gesprengt.

waren: 1541, 1692, 1750, 1764, 1797, 1823, 1848, 1858, 1891 und 1893 (Abb. 5).

Dies dürfte ein schwieriges Unterfangen gewesen sein, das mit vielen Unsicherheiten verbunden war. Eine Überprüfung anhand der vorliegenden Berichte über Niedrigwasser in PFISTER (1985) und CHAMPION (1864) ergab, dass die Jahrzahl 1764 eher als 1714, die Jahrzahl 1797 als 1767, die Jahrzahl 1692 wohl als 1672 zu lesen ist. Anhand dieser Evidenz



Coten der Marken ü. M.:
1541 = 292,25; 1858 = 292,03
1750 = 292,25; 1891 = 291,87
1823 = 291,15; 1893 = 292,30.

Quelle: WALTER, 1901

Abb. 5. Zehn schwer entzifferbare Jahreszahlen waren auf dem Laufenstein eingekerbt. Sie umfassen die Periode 1541–1893.

konnte der Monat ermittelt werden, in dem der Laufenstein trocken gelegen haben mag. Für die Zeit ab 1808 ergab sich diese Möglichkeit einer Datierung anhand der erwähnten langen Pegelreihe; zusätzlich konnten die Abflüsse bestimmt werden, die zu einer Trockenlegung des Laufensteins führten (Tab. 4).

Tab. 4. Extreme Niedrigwasser des Rheins bei Laufenburg auf Grund der Angaben auf dem Laufenstein und zusätzlicher Evidenz.

Narrative Evidenz	Winter 1541, 1672? (März), 1714? (Jan.), 1750 (Febr.), 1767? (Jan.)
Tägliche Pegelmessungen Basel	1848 (26. Jan.), 1848 (27. Jan.), 1858 (28. Febr.), 1891 (16. Febr.), 1893 (Dez.)

Die provisorischen Ergebnisse der laufenden Forschungen in diesem Bereich werden im Folgenden wie folgt resümiert: Extreme Niedrigwasser wurden praktisch ausschliesslich in den Monaten Januar bis März registriert. In der Regel treten solche Situationen nach vier sehr niederschlagsarmen Monaten ein.

In der mit Pegelmessungen dokumentierten Periode 1808 bis 1893 entsprechen die Angaben auf dem Laufenstein täglichen Minima von < 300 m^3/sec. Die Minima sind jedoch innerhalb der Kalibrationsperiode (1808 bis 1910) nicht vollständig.

Abfluss-Minima von < 300 m^3/sec sind seit 1910 nicht mehr dokumentiert. Dies wird als Folge der zunehmenden winterlichen Niederschläge im 20. Jahrhundert betrachtet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich Niedrigwasser durch eine Verbindung von narrativen Berichten, Niedrigwassermarken auf Steinblöcken und täglichen Pegelmessungen sehr wohl rekonstruieren lassen. Weitere Forschungen werden zeigen müssen, ob und in welcher Weise sich extreme Niedrigwasserstände in Grosswetterlagen abbilden.

(Über Extremwasser s. auch VISCHER, in diesem Werk).

4 NACHTRAG: DIE SINTFLUT VON ENDE AUGUST 2005

Kurz vor Drucklegung dieses Bandes wurden weite Gebiete der Schweiz vom bisher schwersten Hochwasser seit 1800 überflutet: Damit diese Katastrophe in die Geschichte der Hochwasser des Rheins eingeordnet werden kann, ist diese zusätzliche Druckseite für einen Nachtrag zur Verfügung gestellt worden. Die vorliegenden Überlegungen haben – allein von der begrenzten Verfügbarkeit der benötigten Daten her – provisorischen Charakter und dürften durch spätere Untersuchungen überholt und präzisiert werden.

Auslöser der Katastrophe war ein Tiefdruckgebiet vom Typ «Fünf-b». Dieses Kürzel bezeichnet einen Wirbel, der durch einen Kaltluftvorstoss nach Südwesten in den Golf von Genua abgedrängt wird, von wo er nach Osten weiterzieht. Wie Satellitenbilder zeigen, lag das Tief Norbert am 21. August über der nördlichen Adria. Warm-feuchte Mittelmeerluft floss zwischen dem 21. und dem 23. August vom Balkan nach Nordwesten zur Alpennordseite. Dort traf sie mit einer kalten Nordströmung zusammen, die sich nach Süden ablenkte. Im Gebiet zwischen dem Simmental und dem Walensee strömte dieses Luftgemisch gegen die Alpen, wodurch gewaltige Regenmengen frei gesetzt wurden. So prasselten in Meiringen binnen 48 Stunden 205 Liter/m^2 nieder, mehr als üblicherweise im ganzen Monat August. Da die Böden von vorangehenden Niederschlägen bereits gesättigt waren, floss ein Grossteil dieses Wassers durch Bäche und Flüsse zu Tale: Die Aare führte zeitweise 360 m^3/sec, die Lütschine über 200 m^3/sec in den Brienzersee. Dies bei einem maximal möglichen Abfluss von 250 m^3/sec. Thuner- und Brienzersee stiegen deshalb über alle bisher bekannten Höchststände hinaus, der Sarnersee um ganze 97 cm. Die wassergesättigten Hänge gerieten vielerorts ins Rutschen. Die reissenden Gewässer führten grosse Mengen an Schwemmholz mit sich. Dieses staute sich an Brücken und Engstellen und liess die Fluten seitlich austreten. Der enorme Schwemmholz-

anfall kann nicht nur der mangelnden Pflege der Wälder angelastet werden; sind doch ähnliche Beschreibungen auch aus Zeiten bekannt, wo Brennholz teuer und die Wälder entsprechend «aufgeräumt» waren (vgl. Abb. 2). Engelberg wurde von der Umwelt abgeschnitten, die Bahnverbindungen ins Simmental, nach Interlaken, in die Lütschinentäler und über den Brünig wurden unterbrochen. Teile von Interlaken und Luzern sowie das Mattequartier in Bern standen tief im Wasser, verwüstet wurden namentlich Oey, Lütschental, Brienz, Meiringen sowie fluss- und seenahe Gebiete in den Kantonen Uri, Ob- und Nidwalden.

Vom Zeitpunkt und von der räumlichen Lage der Schadengebiete her ist die Katastrophe am ehesten mit dem Hochwasser vom 18. September 1852 vergleichbar. Damals schwoll der Rhein in Basel zum Höchststand der vergangenen 500 Jahre an. Die Wassermassen stammten jedoch zumeist von den Flüssen im Mittelland, das in seiner ganzen Länge vom Bodensee bis nach Genf von Überschwemmungen betroffen war. Die Fluten wurden damals von «anhaltenden Südwestwinden» begleitet. Der Meteorologe Ralph Rickli vermutet als Ursache eine lang gestreckte von Südwest nach Nordost durch das Mittelland verlaufende, quasi stationäre Kaltfront mit offenem Warmluftsektor.

Im Unterschied zu 1852 stieg der Rhein in Basel bei der Katastrophe vom August 2005 nicht zu einem Höchststand an, weil die Alpenrandseen und die seit dem späten 19. Jahrhundert durch die Juragewässerkorrektion verbundenen drei Jurarandseen die Flutwelle abmilderten. Die Kosten des Desasters werden mit 2,5 Milliarden Franken beziffert. Damit ist es bei weitem das kostspieligste in den letzten 200 Jahren. Die Schäden von Privaten sind grösstenteils durch Gebäude- und Mobiliarversicherungen gedeckt, in Härtefällen springt die Glückskette ein. Dagegen müssen die Schäden an der Infrastruktur – rund 550 Millionen – von den Steuerzahlenden getragen werden. Die meisten Klimamodelle stimmen dahingehend überein, dass als Folge des verstärkten Treibhauseffekts in Zukunft häufiger mit solchen Extremen zu rechnen ist.

5 LITERATUR

AEBISCHER, H. 1997. Räumlich-zeitliche Analyse der Rhein-Hochwasser im 20. Jahrhundert. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bern.

BERNOULLI, A. 1902. Die Anonyme Chronik der Mailänderkriege 1507–1516. In: «Basler Chroniken», Bd. 6. Basel.

BRAZDIL, R., PFISTER, C., WANNER, H., VON STORCH, H. & LUTERBACHER, J. 2005. Historical Climatology in Europe – The State of the Art. Climatic Change 70, 363–430.

BORK, H.-R. & HERMANN, A. 1988. Bodenerosion und Umwelt – Verlauf, Ursachen und Folgen der mittelalterlichen und neuzeitlichen Bodenerosion; Bodenerosionsprozesse; Modelle und Simulationen. Braunschweig.

CHAMPION, M. 1864: Les inondations en France depuis le VI^{e} siècle jusqu'à nos jours. 6 Bde. Paris.

DEUTSCH, M. 2004. «...und konnte sich keiner an solche Fluthen erinne.» – Zur Untersuchung schwerer historischer Hochwasser der Saale im Zeitraum von 1500 bis 1900. In: «Wasserhistorische Forschungen. Schwerpunkt Hochwasserschutz/Elbe», C. OHLIG (Hg.), pp. 117–141. Siegburg (Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft (DWhG) e. V., Bd. 4).

FREI, C., DAVIES, H., GURTZ, J. & SCHÄR, C. 2000. Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. Integrated Assessment, 281–299.

GHEZZI, C. 1926. Die Abflussverhältnisse des Rheins in Basel. Mitteilungen des Eidgenössichen Amtes für Wasserwirtschaft 9. Bern.

GLASER, R. & STANGL, H. 2004. Climate and Floods in Germany since AD 1000: Data, Methods, Results and Consequences. Surveys in Geophysics, 1–26.

GREBNER, D. & RICHTER, K.G. 1991. Gebietsniederschlag: Ereignisanalysen 1987 und Abhängigkeitscharakteristiken. In: «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen», Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 4, Zürich, pp. 23–40.

KAN, K. 1995. Die höchsten in der Schweiz beobachteten Abflussmengen bis 1990. Eine Untersuchung der zeitlich-räumlichen Variabilität. In: «Publikation Gewässerkunde», Geographisches Institut

der Universität Bern, Gruppe für Hydrologie, Band 169, Bern.

KOBELT, K. 1926. Die Regulierung des Bodensees. Hochwasserschutz, Kraftnutzung und Schifffahrt. Bern.

KRAPF, P. 1900. Geschichte des Rheins zwischen dem Bodensee und Ragaz. Schriften des Vereins für die Geschichte des Bodensees 29, 119–222.

MOSER, W. 1984. Aarepegel, Meereshöhe und Hochwassermarken in der Stadt Solothurn. Jurablätter 1984, 157–169.

N.N. 1983. 75 Jahre Kraftwerke Laufenburg 1908–1983. Aarau.

PFISTER, C. 1985. Witterungsdatei CLIMHIST. Schweiz 1525–1863. Bern (METEOTEST).

PFISTER, C. 1998. Raum-zeitliche Rekonstruktion von Witterungsanomalien und Naturkatastrophen 1496–1995. Unter Mitarbeit von Daniel Brändli. Schlussbericht zum Projekt 4031-33198 des NFP 31. Zürich (VdF).

PFISTER, C. 1999. Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen 1496–1995. Haupt, Bern.

PFISTER, C. 2004. Von Goldau nach Gondo. Naturkatastrophen als nationale Mobilisierungsereignisse. In: «Katastrophen und ihre Bewältigung», C. PFISTER & S. SUMMERMATTER (Hgg.), pp. 53–78. Haupt, Bern.

PFISTER, C. 2005. Die Überschwemmung von 1566. In: Berns mächtige Zeit. Das 16. und 17. Jahrhundert neu entdeckt, HOLENSTEIN (Hg.). Bern (im Druck).

PFISTER, C. & SCHMID, F. 2000. Historische Analogfälle. In: «Hochwasser 1999. Analyse der Ereignisse», Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) (Hg.), Bern, 121–126.

RIMA, A. 1962. Sulle oscillazioni periodiche dei deflussi del Reno a Basilea St. Alban (1808–1957). Rivista Tecnica della Svizzera italiana 5, 1–12.

RÖTHLISBERGER, G. 1991. Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL 330. Birmenstorf.

RÖTHLISBERGER, G. 1998. Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL 346. Birmenstorf.

TÜMMERS, H. J. 1999. Der Rhein. München.

WALTER, H. 1901. Über die Stromschnelle von Laufenburg. Diss. phil. II. Zürich.

Prof. Dr. C. Pfister, Historisches Institut, Abteilung WSU, Unitobler, CH-3000 Bern 9,
E-Mail: pfister@hist.unibe.ch

Der St. Galler Alpenrhein und der Landschaftswandel

Markus Kaiser (St. Gallen)

Das St. Galler Kantonsgebiet wird im Wesentlichen von vier Landschaftstypen geprägt. Eiszeitlich geformtes Hügelland bildet den Norden, voralpine Berge die Mitte, Gebirge den Süden. Dazwischen liegen die Täler und Ebenen an Rhein, Seez, Linth und Thur. Nach der Eiszeit besiedelten zahlreiche Pflanzen- und Tiergemeinschaften das Gebiet. Sie liessen in Sargans und Werdenberg die grösste Artenvielfalt der Schweiz entstehen. Vor allem in den Talrieden lebten Arten der Feuchtgebiete neben solchen der Berghänge, und oft begegneten sich am selben Ort Pflanzen von nordisch-alpiner, zentralasiatischer, mediterraner oder atlantischer Herkunft.[1] Ein solches Spektrum könnte nicht wieder entstehen, weil auch der Mensch die Lebensräume verändert. Dieser Wandel gewann im 19. und 20. Jahrhundert besonderes Gewicht.

1 LEBENSRÄUME: NATUR UND MENSCHEN

Um 1800 floss der Rhein auf den 75 Kilometern von Bad Ragaz zum Bodensee durch eine Auenlandschaft von 1200 bis 1800 Metern Breite. Das Flussbett selbst, in den Dörfern respektvoll «Rheinhofstatt» genannt, war 300 bis 750 Meter breit, bei Triesen sogar 1200 Meter (Abb. 1). Die Auenwälder milderten Hochwasser, hielten Geschiebe zurück und nahmen den Rückstau der Zuflüsse auf. Die Flussdynamik schuf reich strukturierte Gewässerzonen, wichtig als Lebensraum und Laichgründe. Dazu gehörten auch die Giessen, «Gewässer, welche unterirdisch aus dem Rhein in das Binnenland dringen, und an Hunderten von Stellen als mächtige, klare Quellen zu Tage treten, nach kurzem Laufe zu grossen forellenreichen Bächen werden, und endlich wieder nach einigen Stunden in den Rhein sich ergiessen.» Durch die Windungen der Giessen flossen Hochwasser so dosiert ab, dass Nährstoffe auf dem Land zurückblieben.[2]

Die Auen dienten als Allmenden für den Tratt, den gemeinsamen Weidgang für das Vieh der Ortsgenossen. Diese erhielten an geeigneten Stellen auch Gemeindeäcker zugeteilt, so in Buchs 60 Aren pro Familie.[3] Flussnahe Weichholz-Auen schlug man als Niederwälder periodisch kahl, um Brennholz zu gewinnen. Das begünstigte rasch nachwachsende Arten, die sich auch zum Wuhrbau eigneten: Weissweiden, Schwarzpappeln und Erlen. In flussfernen Hartholz-Auen blieben Einzelbäume als Bauholz stehen; Eichen lieferten auch Futter für die Schweinemast. Niederwaldwirtschaft und Waldweide schufen ökologische Nischen, besonders für lichtliebende Arten.

Zwischen Bergfuss und Flussauen lagen weite Feuchtgebiete, entstanden aus verlandeten Restseen oder auf Lehmgrund (Gley), mit einem vom Rhein unabhängigen Grundwasserregime. Im Alpenrheintal, im Seeztal und in der St. Galler Linthebene bedeckten die Moore gegen 9000 Hektaren. Wie die Auen waren die grossen Moore nicht unter die Anrainerorte aufgeteilt, wurden als Trattgebiete beweidet und für Rossheu- und Streuemahd genutzt. Damit bildeten die Moore einen Teil der traditionellen Kulturlandschaft. Die extensiven Wirtschaftsformen verstärkten die natürliche Vielfalt.[4]

[1] KELLER (2000), Gleichgewicht S. 11. – KAISER (1994), Lebensräume S. 75.

[2] KAISER (1990), Römers Rheingutachten S. 44. – EBERSTALLER/HAIDVOGL (1998), Gewässer- und Fischereiökologisches Konzept. – F.W. HARTMANN in CULMANN (1864), S. 138.

[3] KAISER (1996), Rheindörfer im Werdenberg S. 16.

[4] Der Begriff «Alpenrheintal» bezeichnet beide Talseiten von Bad Ragaz bis zum Bodensee. Der Name «Rheintal» fasst die ehemaligen Bezirke Ober- und Unterrheintal zwischen Oberriet und dem See zusammen. – KAISER (1994), Lebensräume S. 96. – KUSTER (1998), Altstätten S. 89–91.



Abb. 1. **J. Schmidt: Rheinlandschaft bei Vaduz,** Gouache, um 1826. Frühsommerliches Hochwasser überspült die Kiesbänke; an den Ufern bilden Schupfwuhre niedrige Vorsprünge. Standort des Malers ist der «Hagenauer Wuhrkopf» bei Burgerau; davor verleiht eine grosse Schwarzpappel dem «Hagerjöriskopf» Festigkeit. Jenseits liegt die Viehweide Mühleholz im Vaduzer Gemeindegebiet, und ganz hinten ragt die Seveler Föseren in den Rhein, heute Autobahnraststätte (Sammlungen des Fürsten von Liechtenstein, Schloss Vaduz).

Wasser und ackerfähiger Boden bedingen sich als Siedlungsfaktoren gegenseitig. Das zeigen Werdenberger Beispiele: Im fruchtbaren, aber wasserarmen Lössgebiet der Wartauer Hügel drängen sich Haufendörfer nahe der Brunnen. An den Flyschhängen des Grabser und Gamser Bergs hingegen liegen Einzelhoflandschaften. Quellen gibt es hier genug, ertragreiche Böden aber nur in kleinflächigem Mosaik.[5] Am Talrand eigneten sich die fruchtbaren Schwemmfächer der Seitenbäche zur Siedlung, wo es aber nur in begrenztem Mass gutes Ackerland gab. Daher nutzte man den Boden haushälterisch und baute enge Dörfer. Das erhöhte die Gefahr von Dorfbränden; die Orte am Hangfuss litten zudem unter Bergbach-Rüfen.

Am meisten Siedlungsraum bot die grösste inneralpine Ebene, das Alpenrheintal. Im fruchtbaren Schwemmland beidseits der Auen liegen von Räfis und Ruggell bis zum Bodensee rund 40 alte Dorfkerne, nahezu gleich viele wie an den Talrändern. Erste Erwähnungen dieser Rheindörfer stammen aus dem Mittelalter – die Orte sind somit so alt wie jene am Bergfuss. Neben der Bodenqualität als Hauptfaktor spielte bei der Besiedlung wohl auch das Klima der Zeit vor 1340 eine Rolle. Hochwasser scheinen seltener gewesen zu sein, und die Breite des Tals, das geringe Gefälle und die Auwälder verringerten die Flussdynamik.[6]

Die alten Kerne von Räfis, Au und St. Margrethen liegen vor dem Talrand, jene von Büchel, Montlingen und Koblach vor Inselbergen. Das erhellt weitere Gründe zur Ansiedlung, welche die Hochwassergefahr aufwogen. Man mied die wasserarmen Anhöhen, weil das Grundwasser der Ebene bei jedem Haus die Anlage von Sodbrunnen ermöglichte. Neben dem Eigenland sicherten auch die Gemeindeteile die Existenz. Die Streulage der Felder erschwerte die Arbeit, milderte jedoch die Schäden von Überschwemmungen.

Alte, datierte Bauten in den Rheindörfern erinnern an Zeiten geringerer Hochwassergefahr. Im 17. Jahrhundert bauten sogar Wohlhabende ihre Häuser auf niedrige Grundmauern mit Kellern im Untergeschoss, selbst in gefährdeten Orten wie Haag, Montlingen, Kriessern, Widnau oder St. Margrethen. Seit Anfang des 18. Jahrhunderts zwang steigendes Grundwasser zum Bau hoher Sockelgeschosse mit ebenerdigen Kellern. Sie hoben die Wohnungen aus dem Feuchtigkeitsbereich – ein Zeichen, dass die Ver-

[5] Bodenkarten von Wartau, Grabs und Gams.

[6] KAISER (1992), Die alten Rheindörfer. – KAISER (1996), Rheindörfer im Werdenberg. – KAISER (1991), Menschen im Rheindelta.

hältnisse erst in dieser Zeit prekär wurden. Die Klimaforschung bestätigt diese Beobachtung: Zwischen 1641 und 1706 war das Wetter eher trocken, verschlechterte sich aber danach.[7]

2 WACHSTUMSPROBLEME LÖSEN DEN LANDSCHAFTSWANDEL AUS

Elementarereignisse und Fehljahre waren zwar eine stete Bedrohung, «indessen trafen erstere nie die ganze Bauernsame, letztere nie alle Zweige des Landwirtschaftsbetriebes zugleich». Viel nachhaltiger wirkten die Krisen, die als Folge des Bevölkerungswachstums seit dem 17. Jahrhundert auftraten. Zunächst erschloss man Landressourcen, nahm auch schlechtere Böden unter den Pflug, rodete Wälder und schuf in den Bergen neue Weidegebiete. Erbteilungen zersplitterten die Güter, so dass man im Rheintal schon um die Mitte des 18. Jahrhunderts über hohe Bodenpreise klagte. Auch davon zeugen alte Bauten: vom Grund bis zum First zweigeteilte Bauernhäuser, niedrige Armleutehäuschen im Rheintal und hochgelegene Berggüter, die einst Maiensässe waren.[8]

Textile Handarbeit ergänzte die schmalen Erträge. An der Wende zum 19. Jahrhundert wurde sie jedoch von Maschinenprodukten zugrunde gerichtet, eine Folge der industriellen Revolution. Die Landreserven, die das Trattverbot 1807 schuf, waren bald verbraucht. Die landwirtschaftliche Produktion konnte im Alpenrheintal nur noch begrenzt mit dem Bevölkerungswachstum mithalten. Wegen der Nachfrage nach Land häuften sich Hypothekarschulden. Der Eisenbahnbau verursachte Bodenspekulation, gefolgt von Preiszerfall. Ab 1871 litt das Korrektionsgebiet zudem unter der Last der Rheinsteuer. Bevor sich die Industrialisierung durchsetzte, blieb vielen nur die Auswanderung, aus den Gemeinden am Berg mehr als aus den Rheindörfern, wo es dank der Gemeindeteile besser gelang, den Bevölkerungsüberschuss aufzufangen.[9]

Mehr Leute brauchten mehr Holz zum Heizen, Kochen und Bauen. Der Baustoff und Energieträger Holz wurde schon um 1700 zur Mangelware, so dass sich die Nachfrage in den alpinen Raum verlagerte. Auf dem Rhein flösste man bis ins 19. Jahrhundert grosse Holzmengen zum Bodensee.[10]

Die irische Technik, Torf zu Brennstoff zu verarbeiten, löste das Energieproblem teilweise. 1709 liess der Zürcher Naturforscher Johann Jakob Scheuchzer (1672–1733) im Hüllisteinmoor zwischen Jona und Rüti ZH erstmals Torf stechen. Die Kenntnis verbreitete sich rasch. Um 1740 stach man «Turben» auch im weiten Rheintaler Isenriet zwischen Oberriet und Widnau. Industrieller Abbau begann 1894 im Altstätter Bannriet. Nach Höhepunkten in den Weltkriegen wurde er 1998 eingestellt Die Zerstörung der einzigartigen Ökosysteme ist zweifellos bedauerlich. Indessen lieferten die Torflager nahezu zwei Jahrhunderte lang Wärme, bevor Kohle und Elektrizität sie ersetzten. Das entlastete die übernutzten Wälder, bis Forstgesetze ihren Bestand garantierten.[11]

Die intensivere Nutzung erfasste auch die Allmenden. Die Fruchtbarkeit der Rheinauen bot Anreiz genug, trotz Flussnähe. Die Trattrechte machten jedoch Schiedsverfahren nötig. Das erste teilte 1764 die Auen der Saarebene von Ragaz bis Sargans den Gemeinden zu. Der Landvogt verordnete, dass jeder Gemeindegenosse zum Anbau von Getreide, Mais oder Kartoffeln 400 Klafter (17,3 Aren) erhalte. Bis 1818 teilte man auch die angrenzenden Allmenden und Riede in der Saarebene. Zuweilen sanktionierten solche

[7] Pfister (1999), Wetternachhersage, S. 262. – Kaiser (1992), Die alten Rheindörfer. – Kaiser (1990), Römers Rheingutachten S. 46.

[8] Egli (1864), Lage der Landwirthschaft. – Steinmüller (1804), Das Rheintal um 1800 S. 285–287.

[9] Staatsarchiv St. Gallen KA R.100-3-1. – Allenspach (1989), Lebensraum S. 14. – Kaiser (1992), Industrialisierung und Rheinkorrektion S. 104. – Egli (1884), Lage der Landwirthschaft.

[10] Kaiser (1992), Harschwald und Hudelmoos S. 64–66. Herold (1988), Trift und Flösserei S. 597–618.

[11] Kaiser (1992), Torfstich-Anleitung S. 86. – Kaiser (1992), Harschwald und Hudelmoos S. 64–70. – Kuster (1998), Altstätten S. 225–227.

Teilungen bestehende Verhältnisse. So hatten Rebsteiner und Marbacher schon um 1740 abgetorfte Moorflächen kultiviert. 1760 gab man diese Gebiete zum Anbau frei. Dieser dehnte sich rasch aus: 1769 lag zwischen den Äckern der Rheindörfer und dem leeren Isenriet ein Gürtel von Feldern mit schwarzer Torferde: die Anbaugebiete der neuen Fruchtarten Mais und Kartoffeln.[12]

Nach der Hungersnot von 1770 teilten die Gemeinden das Buriet bei Rheineck und Thal auf, im folgenden Jahr das Isenriet.[13] Binnen zwei Jahrzehnten entstanden in den Rieden Tausende von Streifenparzellen, wie es der Nutzerzahl, der ungleichen Bodenqualität und der Handarbeit entsprach. Aus den beweideten Mooren wurden sorgsam gepflegte Riede, be- und entwässert vom dichten Mikronetz der Grenzgräben. Anbau, Rossheu-, Streue- und Torfproduktion schufen eine ungemein vielfältige Kulturlandschaft (siehe Schlegel, Weber und Hugentobler in diesem Buch). Als nach 1860 die Milchwirtschaft den Ackerbau ablöste, stieg der Wert der Stallstreue. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts besassen die Streueriede ihre grösste Ausdehnung.

Die Viehbauern konnten dank der Trattrechte mehr Tiere halten. Das verhinderte jedoch den Anbau und benachteiligte so die ärmere Bevölkerung. Um die Versorgung zu verbessern, erlaubte die helvetische Regierung im Jahr 1800 den Loskauf des Tratts. Der Kanton St. Gallen hob 1807 die Trattrechte ganz auf. Die Ortsgenossen erhielten nun Mähwiesen und Äcker in den einstigen Allmenden, zu eigen oder als Gemeindeteile. Die Hungersnot von 1817 beschleunigte die Kultivierung. Die Sarganser «Neugüter» erreichten schon 1818 das Rheinufer. Um 1825 waren die Auwälder unterhalb von Rüthi bis an die Dämme verschwunden, und in Buchs genügten die neuen Landreserven nicht mehr. So erwiesen sich Trattverbot und Allmendteilung nur als Lösungen auf Zeit. Gemessen am Herkommen waren die Massnahmen gleichwohl revolutionär: mit ihnen begann der moderne Landschaftswandel.[14]

3 DIE FOLGEN DER «KLEINEN EISZEIT» (16. BIS 19. JAHRHUNDERT)

Seit dem 16. Jahrhundert wurde das Klima instabiler und beeinflusste den vom Bevölkerungswachstum ausgelösten Wandel. Zwischen 1560 und 1900 waren feuchtkühle Zeitabschnitte häufiger als im 20. Jahrhundert. In dieser Phase, der so genannten «Kleinen Eiszeit», erreichten die Alpengletscher die grösste Ausdehnung der neueren Geschichte. Extreme Niederschläge, teils zusammen mit verzögerter Schneeschmelze, besonders aber nach nasskalten Sommern, verursachten Überschwemmungen. Diese häuften sich von 1560 bis 1580, in den 1760er Jahren und vor allem zwischen 1817 und 1890. Dagegen blieb der zentrale Alpenraum von 1641 bis 1706 von schweren Überflutungen verschont.[15]

Französische Untersuchungen in den Pyrenäen erklärten gegen Ende des 18. Jahrhunderts – in Unkenntnis der Klimageschichte – die Entwaldung der Berggebiete zur Ursache von Überschwemmungen und Erosion. In deutscher Sprache erschien diese Rodungs-Überschwemmungstheorie 1828. Die lange Serie alpiner Hochwasser, die kurz danach begann, machte die Deutung zur anerkannten Lehre. Sie spielte beim Entstehen der Forstdienste und -gesetze eine wichtige Rolle. Die moderne Klimaforschung relativiert das «Abholzungsparadigma». Sie stellt fest, dass Hochwasser «primär durch natürliche Klimavariationen bedingt sind und nicht in erkennbarer Weise mit anthropogenen Einflüssen in Zusammenhang stehen». Zwar konnte nach dem Abholzen örtlich Erosion auftreten. Weil man aber ausgewachsene Bäu-

[12] Vogler (1985), Wangs S. 135–140. – Kaiser (1992), Torfstich-Anleitung S. 94. – Römer (1769), Der Rheinlauff durch das gantze Rheinthal 1769.

[13] Kuster (1998), Altstätten S. 89–92.

[14] Pestalozzi (1818), Plan der Rheinauen 1818. – Römer (1769), Der Rheinlauff durch das gantze Rheinthal 1769. – Kaiser (1996), Rheindörfer im Werdenberg S. 15–16.

[15] Pfister (1999), Wetternachhersage S. 262.

me schlug, blieb der Unterwuchs erhalten, der den Boden in erster Linie vor der Abtragung bewahrt. Wandelte man den Wald hingegen in Wiesen und Weiden um, so schützte die sorgfältige traditionelle Nutzung diese vor Erosion.[16]

Es waren vielmehr die Feuchtperioden, welche die Erosionskraft der Gebirgsbäche und -flüsse steigerten. Geologisch instabile Hänge auf Schiefer, Flysch, Mergel und Moränenmaterial gerieten ins Rutschen, was auch eine intakte Walddecke nicht verhindern kann. Nicht zufällig entwässern Geschiebe führende Wildbäche solche Gebiete.

Die Folgen veränderten die Talböden seit der Eiszeit. Geschiebe füllte die Flussbetten. Die Flüsse begannen gleichsam auf einem Höhenzug zu fliessen, brachen öfter aus und drohten ihren Lauf zu verlegen. Jedes Rheinhochwasser staute die 31 Zuflüsse; 1893 lagen 14 Prozent der Ebene im Rückstaubereich. Auch der Normalwasserstand lag höher und liess den Grundwasserhorizont steigen. Rheinnahes Land vernässte, was im 19. Jahrhundert zum Hauptproblem der Rheindörfer und ihrer Landwirtschaft wurde. Menschliche Eingriffe verstärkten die Bedrohung: Je mehr man die Flussbetten einengte, umso mehr erhöhten sie sich, und je näher die Neugüter an den Rhein rückten, desto gefährdeter waren sie. [17]

Die Nässephasen und Überschwemmungen im letzten Abschnitt der «Kleinen Eiszeit», von 1762 bis 1872, wurden zu Ursache und Antrieb für Korrektionsplanungen. In den kühlfeuchten 1760er Jahren erkannte man die Probleme, was zu regionaler Zusammenarbeit und zur Linthkorrektion führte. Nach den «Eiszeitsommern» zwischen 1812 und 1822 entstanden erste Korrektionsprojekte und zwischenstaatliche Regelungen. Das nasse Jahrzehnt von 1846 bis 1856 und die Katastrophen von 1868, 1871 und 1888/1890 gaben Anlass zu Wasserbaugesetzen und -finanzierung, zu den Forstgesetzen und zur internationalen Einigung über die Rheindurchstiche.

4 1762–1872: KATASTROPHENJAHRHUNDERT

Ein Einzelereignis bildete 1762 den Auftakt zu dieser Phase. Vom 8. bis 11. Juli fielen von der Zentralschweiz bis ins Tirol gewaltige Regenmengen, die eine der grössten bekannten Überschwemmungen auslösten. Die Linth brachte aus dem Glarnerland ungeheure Schuttmassen. Sie hoben die Flusssohle bei Ziegelbrücke um nahezu drei Meter und versperrten den Walensee-Abfluss. Der Seespiegel erhöhte sich auf Dauer, Ursache chronischer Hochwasser- und Versumpfungsprobleme vor allem in Weesen und Walenstadt. Über alle Orte am Talrand brachen Rüfen herein.[18]

Die Rheinebene wurde nach dem Bernecker Chronisten Gabriel Walser (1695–1776) zum See, «so dass man von Sennwald an bis auf Lindau und Breganz 12 Stund weit in einem Schiff fahren konnte». Das Wasser kam nicht langsam wie sonst, «sondern mit grossen Tosen und Wüten, dass die Leute nicht einmal Zeit hatten sich zu retten, sondern in die obersten Zimmer, ja gar auf die Dächer sich flüchten mussten. [...] Man hörte nichts als Sturm schlagen, Sturm läuten, Hilfio schreyen.» Mit Flössen und Booten wurden Unglückliche von Dächern und Bäumen gerettet. Auf dem Rhein sah man laut Walser «eine ganze Menge Holz von Häusern, Kisten und Kästen, Bettstatten, Wiegen, Tische und Stühle daherfahren». – Der Bericht schilderte die Ereignisse in Au. Seine Dramatik prägte ein Bild der Überschwemmungen und regte die Fantasie an, darf aber nicht verallgemeinert werden. Die Katastrophe von 1762 (sie galt noch 50 Jahre später als schlimmste seit Menschengedenken) blieb einmalig. Einzigartig war auch ihre Bedeutung für das Alpenrheintal und Linthgebiet: Nun tra-

[16] Die Rodungs-Überschwemmungstheorie wurde im Rheintal erstmals 1847 in F.W. HARTMANNS «Erörterungen» vertreten. – PFISTER (1999), Wetternachhersage S. 245.

[17] Baudepartement St. Gallen, Die Rheinregulierung S. 4–5. – F.W. HARTMANN in CULMANN (1864), S. 139–140. – HUNGERBÜHLER (1854), Denkschrift S. 60.

[18] MÜLLER-LEMANS, HANS (2005), Das Hochwasser von 1762 am Walensee, Manuskript 2005.

ten die Hochwasser- und Versumpfungsprobleme in ihre akute Phase.[19]

Es folgte eine jahreszeitlich gestaffelte Klimaschwankung, die von 1763 bis 1768 kältere Winter brachte. Die Abkühlung erfasste zwischen 1767 und 1771 das Frühjahr, dann den Sommer, schliesslich den Herbst. Von 1769 bis 1771 aperte es in den Bergen einen Monat später; das höhere Mittelland blieb nur 40 Tage frostfrei. Missernten führten zur Hungersnot von 1770/71. Die Niederschläge verursachten 1764 und 1768 extreme Hochwasser. Neu war, dass der Rhein nun bei mittlerem, früher ungefährlichem Hochwasser über die Ufer trat. Wie der Zürcher Hans Conrad Römer (1724–1778) beobachtete, war das Flussbett seit 1762 derart mit Geschiebe angefüllt, dass die Kiesbänke vielerorts höher lagen als das Umland.[20]

Jahrzehnten relativer Ruhe folgte von 1812 bis 1822 eine neue Abkühlung. Das sommerliche Wärmemanko dieses Jahrzehnts sei in den letzten 500 Jahren einmalig, stellt Christian Pfister in der «Klimageschichte der Schweiz» fest. Im Sommer 1816 überdauerte der Schnee oberhalb von 1800 Metern. Missernten führten zur letzten grossen Hungersnot. Als 1817 die Schneemassen zweier Jahre schmolzen, verursachten Hochwasser im Juni und Juli einen langdauernden, seit 1566 nicht mehr erreichten Hochstand der Voralpenseen. Die Orte am Bodensee, auch Altenrhein, wurden evakuiert. Ein drittes Hochwasser verheerte am 28. August das Tal von Ragaz bis zum See. Im St. Galler Alpenrheintal standen das Städtchen Rheineck, zehn Dörfer und vier kleinere Ortschaften unter Wasser. Da die Linthebene dank der neuen Dämme verschont blieb, verstärkte die Katastrophe die Idee einer Rheinkorrektion.[21]

In der letzten Klimaschwankung der «Kleinen Eiszeit», von 1840 bis 1849, verursachte kühlfeuchtes Wetter Missernten (Kartoffelkrankheit) und eine landesweite Ernährungskrise. In den Jahren 1846 bis 1856 blieb das Alpenrheintal nur 1847 von Überschwemmungen verschont. Der Bodensee trat von 1849 bis 1855 viermal über die Ufer, zuletzt zwei Monate lang. Obwohl die Feuchtperiode in den folgenden Jahrzehnten abklang, blieb die Hochwassergefahr akut. 1868 und 1871 wurde das St. Galler Alpenrheintal verheert, 1888 besonders Liechtenstein, 1890 Vorarlberg. Als schwerwiegendste Folge dieser Periode wurden Rückstau, Grundwasseranstieg und Vernässung rheinnahen Kulturlands zu Dauerzuständen.[22]

5 WUHRWERK: DIE ERSTEN ABHILFEVERSUCHE

Die Rheingemeinden versuchten, ihre Güter mit Wuhren aus Faschinen (walzenförmige Reisigbündel), Holz und Steinen zu schützen. Streichwuhre festigten bröckelnde Ufer in der Länge; Schupfwuhre lenkten die Strömung in die Flussmitte – oft mit dem Erfolg, dass die Ufer gegenüber erodierten und deren Bewohner Gegenmassnahmen trafen. Urteile und Verträge legten fest, wie weit Schutzbauten in den Fluss ragen durften. Sie waren freilich nur schwer durchzusetzen. Systemlos angelegte Erddämme ergänzten die Wuhre landwärts. Die Orte befestigten die Ufer beim Eintritt des Flusses in ihr Gebiet. Unterhalb der Dörfer floss er frei, besonders in Gemeinden, die wie Wartau, Buchs und Oberriet weit abwärts reichen. Brach der Rhein in diesen Lücken aus, so setzte er, der tiefsten Tallinie folgend, die Ebene weithin unter Wasser.

Die verstärkte Auennutzung benötigte mehr Wuhre und längere Dämme. Landvogt Daniel Vögelin von Sax schrieb 1776, Wuhrwerk sei

[19] Walser (1829), Appenzeller Chronik III S. 254–256. – Staatsarchiv St. Gallen: Die «Hydrotechnische Karte» (1812) enthält die Hochwasserlinien von 1762 als Zeichen der grössten bekannten Überschwemmung.

[20] Pfister (1984), Klimageschichte I S. 130–131. – Kaiser (1990), Hochwasser S. 70. – Kaiser (1990), Römers Rheingutachten S. 49–50. – Römer (1769), Beschreibung über den Rheinlauf durch das Rheintal 1769, Staatsarchiv St. Gallen AA 1 A 5–1.

[21] Pfister (1984), Klimageschichte I S. 131–132. – Kaiser (1990), Hochwasser S. 70.

[22] Pfister (1984), Klimageschichte I S. 131–132. – Kaiser (1990), Hochwasser S. 71–77.

härteste, mühseligste Arbeit, mit «Angst und Schweiss erstritten» und verschleisse die Kräfte von Menschen und Zugtieren. In den 1760er Jahren wandte man dafür in den Dörfern unterhalb von Kriessern die halbe Arbeitszeit auf. Wuhrbau liess sich nur genossenschaftlich bewältigen. Im Zentrum stand die Transportkapazität, denn Holz und Steine mussten von weit hergeholt werden. Wer ein Gespann besass, stellte es der Allgemeinheit zur Verfügung. Die Besitzer aber, die vermöglicheren Bauern, waren daran wenig interessiert. Ihre Güter lagen meist hochwassersicher, und sie wogen Kosten und Nutzen ab: «Man solte auf das Zinsen bedacht seyn; die Bauern verlassen darum nicht gerne ihre Arbeit», schrieb Römer. Zudem galt für auswärtige Eigentümer keine Wuhrpflicht, und die Gemeinden am Berg halfen nur in äusserster Not.

So lastete die Wuhrpflicht auf der Mehrheit ärmerer Gemeindegenossen. Damit waren sie und ihre Dörfer überfordert. Das erkannten auch die Landvögte in Rheineck und Sax. Sie setzten durch, dass sich die Gemeinden am Berg an Wuhrbauten und Kosten beteiligten. Im Winter 1766/67 führten Sax und Frümsen gegen tausend Fuder Holz und Steine nach Haag. Im Rheintal arbeiteten 2000 Mann unter Landvogt Franz Anton Kolin aus Zug an Notstandsarbeiten auf den Dämmen. Die folgenden Hochwasser beschädigten jedoch die neuen Werke schwer. Die Tagsatzung und die Regierung von Zürich entsandten Ende 1769 den Ingenieur-Hauptmann Hans Conrad Römer. Der Zürcher Festungsbaumeister vermass den Rheinlauf in den Landvogteien Rheintal und Sax, untersuchte die gefährdeten Abschnitte und beurteilte die Bauweise und Wirkung der Uferbefestigungen. Indem er neben neuen Methoden auch sinnvolle lokale Bautraditionen empfahl, bezog er die Anwohner in seine Überlegungen ein. Er forderte, erfahrene Wuhrmeister anzustellen und umriss deren Pflichten. Seine Vorschläge, die Auen nachhaltig zu nutzen, ohne sie zu zerstören, eilten der Zeit voraus. Die Landkarten, mit denen Römer seine Gutachten illustrierte, gehören zu den schönsten und bedeutsamsten der Ostschweiz (Abb. 2).

Römers Idee, die Mittel und Kräfte der Talschaften so wirksam wie möglich einzusetzen, wurde zur Leitlinie. Landvogt Hans Jakob Wolf von Sax bezeichnete seine Anweisungen noch zwanzig Jahre später als vortrefflich. Im Rheintal erliess Landvogt Simeon Franz Wurstemberger aus Bern 1770 eine Wuhrordnung, die bis 1836 in Kraft blieb. Sie verpflichtete Auswärtige und Berggemeinden, die rückwärtigen Dämme zu unterhalten, Material zu liefern und einen Wuhrfonds zu äufnen.

1788/89 brach der Rhein zwischen Triesen und Wartau gegen Westen aus. Der Werdenberger Talboden drohte zum neuen Flusslauf zu werden. Verhandlungen mit Liechtenstein führten 1790 zu einem Korrektionsvertrag. Der Schwyzer Hauptmann David Anton Städelin (1737–1830) plante, den Fluss auf 2800 Meter Länge in ein gerades Bett von 140 Klaftern



Abb. 2. **Hans Conrad Römer: Der Rheinlauf durch das gantze Rheintal,** 1769, Ausschnitt des Gebiets von Diepoldsau und Widnau. Wuhr- und Dammbauten begrenzen den in breitem Bett mäandrierenden Fluss. Landeinwärts folgen die Zonen der heute verschwundenen Auwälder, der in fruchtbarem Schwemmland liegenden Dörfer und der unbesiedelten Riedgebiete (Staatsarchiv St. Gallen).

Breite (292 m) einzuwuhren und schuf damit die erste Normbreite. Zur Ausführung waren die Gemeinden jedoch zu schwach; Wartau zeigte sich zudem unwillig. Man begnügte sich damit, die Gefahr von den Seveler Gütern abzuwenden. Nach dem Ende der alten Eidgenossenschaft unterblieb die Fertigstellung.[23]

6 DIE SUCHE NACH GRENZÜBERSCHREITENDEN LÖSUNGEN IM 19. JAHRHUNDERT

1817 überschwemmte der Rhein die Saarebene (Abb. 3) so hoch, dass man befürchtete, er breche zum Walensee durch und gefährde das Linthwerk, Zürich und den Aargau. Das bewog die Tagsatzung, die Lage durch den badischen Rheininspektor Johann Gottfried Tulla (1770–1828) beurteilen zu lassen. Tulla schlug vor, den Rhein von der Tardisbrücke bei Landquart bis zum Schollberg zu korrigieren und die Saarebene mit einem Damm bei Sargans vom Seeztal zu trennen. Die Ebene sollte kolmatiert werden, das heisst mittels gelenkter Geschiebe-Ablagerung ein höheres Niveau erhalten. Tullas Ideen blieben Projekt, weil sich die Kantone über die Kosten nicht einigten.

Zwischen Höchst und Gaissau wurde die Flusswindung im Eselschwanz immer tiefer. Um den Mäander abzuschneiden, plante der Wiener Oberbaudirektor Franz Barraga schon 1792 zwei Durchstichvarianten. Die eine begradigte den Lauf von St. Margrethen gegen Rheineck, die andere leitete den Fluss vom Eselschwanz durch das Niederried direkt zum See. Weil St. Margrethen um seine Äcker, Rheineck um die Schifffahrt fürchtete, lehnte die Tagsatzung beide Projekte ab. 1821 brach der Rhein zum See durch. Höchst und Gaissau wollten den neuen Lauf dauerhaft anlegen. Die Behörden unterstützten sie, besonders der Tiroler Baudirektions-Adjunkt Joseph Duile (1776–1863). Rheineck und St. Margrethen protestierten, mit ihnen die St. Galler Regierung. Es folgten «Augenscheine auf Augenscheine, Konferenzen auf Korrespondenzen zwischen den Uferstaaten», ohne eine Lösung.[24]

Als Bürgermeister Joseph Ender (1767–1841) von Mäder 1824 die Sorgen der Rheingemeinden vor Kaiser Franz I. trug, wurden die Tiroler Behörden aktiv. Eine Arbeitsgruppe unter Joseph Duile kartierte 1825/26 die Ebene. St. Gallen lehnte eine Beteiligung ab, obwohl die österreichischen Ingenieure mit der «Grossen Rheinkarte» ein erstrangiges Werk schufen. Duiles Regulierungsplan löste die moderne, von techni-



Abb. 3. **J. Schmidt: Blick von der Ruine Wartenstein über die Saarebene gegen Ragaz und Sargans,** Aquatinta, 1826. Obwohl das Geschiebe der Tamina (vorn) den Rhein an die rechte Talseite drängt, sind dessen Hochwasser eine stete Bedrohung für die seit 1764 in den Auen angelegten Felder. (Aus: Louis Bleuler, Les Vues les plus pittoresques des bords du Rhin, Faksimile 1987).

[23] KAISER (1990), Römers Rheingutachten. – SCHINDLER (1986), Werdenberg S. 289–292. – HUNGERBÜHLER (1854), Denkschrift S. 34–35, 38–42, 77. – KAISER (1990), Rheinkarten Nr. 19.

[24] HUNGERBÜHLER (1854), Denkschrift S. 65–67. – ROHNER (1992), Barragas Plan S. 144–145.

schen Überlegungen bestimmte Rheinkorrektion aus. Der Fluss sollte in einen gestreckten, 95 Meter breiten Kanal eingewuhrt, der Niederried-Durchstich vollendet werden. Das weckte den Widerstand aller Gemeinden, die Boden abtreten sollten. Daher modifizierte 1828 der Winterthurer Ingenieur Salomon Hegner (1789–1869) den Plan. Er engte den Rhein in seinem Bett auf 120 (später 150) Meter ein und verzichtete auf den Durchstich. Dieses Projekt bestimmt Flusslauf und Landesgrenze bis heute. Die Durchstiche jedoch und die zwischen 1944 und 1972 eingeengten Mittelgerinne verwirklichten Duiles Empfehlungen.[25]

Bei den Rheinverhandlungen wirkte Gallus Jakob Baumgartner (1797–1869) in zentraler Stellung. Seit 1822 wohnte er den Eselschwanz-Konferenzen bei. Ab 1826 verhandelte der junge Staatsschreiber selbständig mit den österreichischen Stellen. Als Regierungsrat führte er von 1831 bis 1841 und von 1843 bis 1847 das Aussenressort, dem bis 1839 auch das Bauwesen unterstand. Ein erster Erfolg war 1827 das Wuhrbauprovisorium, das die Wasserbauten koordinierte. Die Techniker beider Seiten hatten sie gemeinsam zu bewilligen und jährlich zu inspizieren. Zwei Jahre später einigte man sich auf Hegners Korrektionslinien von der Ill bis St. Margrethen. Damit war die erste baupolizeiliche Ordnung geschaffen. Die Überschwemmung von 1834 zeigte die Notwendigkeit weiterer Schritte. 1837 schlossen auch Liechtenstein und Graubünden Wuhrprovisorien ab. Gleichzeitig übernahm der Kanton die Bauleitung an Rhein und Thur, nicht aber Ausführung und Kosten. 1839 vermass man die oberen Talebenen und legte die Wuhrlinien fest, auf denen der Staatsvertrag von 1847 mit dem Fürstentum basierte.

1831 berief Baumgartner den Vorarlberger Kreisingenieur-Adjunkten Alois Negrelli (1799–1858) zum Strassen- und Wasserbauinspektor. Am Rhein dehnte Negrelli die Wuhrinspektionen bis zur Tardisbrücke bei Landquart aus. Auf Grund seiner Erkenntnisse brach er 1835 mit dem althergebrachten Wuhrsystem. Wegweisend wurde nun ein «Normalplan», das Flussbett durch Leitwerke auf 120 Meter zu verengen und es von Hochwasserdämmen im Abstand von 210 Metern begleiten zu lassen. Von der Ill bis zum Bodensee prägt dieses Doppelprofil den ab 1862 korrigierten Fluss bis heute.[26]

7 DAS RINGEN UM DIE AUSFÜHRUNG DER RHEINKORREKTION

Negrellis Nachfolger wurde 1836 Friedrich Wilhelm Hartmann (1809–1874) aus Dillingen, ein brillanter Techniker von zäher Arbeitskraft und scharfem Verstand. Da der Strassenbau Priorität besass, geschah am Rhein vorerst wenig. In Österreich hingegen, wo seit 1830 der Staat die Grenzflüsse regulierte, rückten neue Wuhre auf die vereinbarten Linien vor. Die Flussdynamik verlagerte sich auf das Schweizer Ufer, so dass von 1834 bis 1872 nur noch hier Dämme brachen. Da die Gemeinden die Rheinlast allein trugen, fehlte es nicht nur an Finanzen und Material, Arbeitskräften und Koordination, sondern oft auch an Einsicht. Hartmann nannte die Wuhraugenscheine eine Komödie, «überall Händel und lange Reden, aber nichts gemacht».[27] Erst die Hochwasserserie ab 1846 rüttelte die Öffentlichkeit auf.

Betroffen vom Vaduzer Rheineinbruch 1846, veröffentlichte Hartmann anonym die «Erörterungen über die Wuhrbauangelegenheiten am Rhein». Darin kritisierte er die Missstände scharf und schonte weder Kanton noch Gemeinden. Nachdrücklich forderte er, dass der Staat das Wuhrwesen übernehme. Die Probleme waren seit Römer bekannt: häufigere Hochwasser, Erhöhung des Flussbetts, Rückstau der Zuflüsse, Versumpfung. Gemäss der damals neuen Abholzungstheorie sah Hartmann die Ursache

[25] KAISER (1990), Rheinkarten Nr. 24. – KAISER (1991), Menschen im Rheindelta. – WAIBEL (1992), Werke der Internat. Rheinregulierung S. 223 und 228.

[26] BAUMGARTNER, G.J. (1844), Erlebnisse auf dem Felde der Politik S. 30–32. – KAISER (1990), Rheinkarten Nr. 25–28.

[27] Tagebuch F.W. HARTMANN (1847), Staatsarchiv St. Gallen W 114.

im raschen Abfluss von Schneeschmelze und Niederschlägen nach Entwaldung und Erosion. Düstere Zukunftsprognosen riefen nach schnellem Handeln. 1847 verlangten Rheintaler Gemeindeversammlungen, dass sich der Staat an Wuhrunterhalt, Rhein- und Binnengewässerkorrektion beteilige und die Hilfe weiterer Kantone erwirke. Hartmann beurteilte diese Petition und damit seine eigenen Postulate, was ihm erlaubte, sie technisch zu untermauern. Sein Gutachten war das erste von vielen anderen, die aber stets seine Ansichten bestätigten.

Dem Ruf nach eidgenössischer Hilfe kam 1848 die neue Bundesverfassung entgegen, die eine Beteiligung an öffentlichen Werken vorsah. Bern aber wünschte zuerst neue Verhandlungen mit Österreich, die wegen des Durchstichstreits erfolglos blieben. Nun wandten sich die Rheingemeinden 1853 direkt an die Bundesversammlung. Ihre Petition war kaum eingereicht, als das erste von drei Juli-Hochwassern die Talböden überflutete. Nun bewilligten die Räte 50 000 Franken, weniger als erwartet und nur einmalig, aber immerhin war die Rheinkorrektion als nationale Aufgabe anerkannt.[28]

Matthias Hungerbühler, seit 1838 Regierungsrat, 1849–1859 im Baudepartement, hatte sich seit Jahren mit Korrektionsfragen befasst. In seinem Auftrag legte Hartmann binnen weniger Wochen ein Regulierungsprojekt vor, die Basis zum «Gesetz über eine durchgreifende Rheinkorrektion» vom November 1853. Es verteilte die Lasten, abgestuft nach Gefahrenzonen, auf Ortsgemeinden und Perimeterpflichtige. Erstmals beteiligte sich der Kanton auch finanziell. Als Grundlage entstand bis 1860 der Rheinkataster, das erste grosse Vermessungswerk im Kanton.[29] Das Rheingesetz weckte heftigen Widerstand, vor allem seitens der schwer belasteten Grundeigentümer. Hungerbühler begegnete der Opposition 1854 mit der «Denkschrift über den Uferschutz am Rhein». Eindrücklich schilderte er die Flussgeschichte, die Nöte der Anwohnerschaft, den unzulänglichen Schutz und die geplanten Massnahmen. Der Abstimmungserfolg – 26 455 Ja gegen 6377 Nein – zeugte von der Wirkung der «Denkschrift». Sie verlieh der Rheinkorrektion ein ideelles Fundament, verankerte sie in der Öffentlichkeit und wirkt so bis in die Gegenwart nach.

Rheingesetz und Planung machten die Korrektion von Ragaz bis Monstein baureif. Da der Bund auf Einigung mit Österreich beharrte, dieses aber nicht darauf eintrat, blieben die Subventionen blockiert. Baumgartner, 1859–1863 wieder im Baudepartement, forderte 1861 gemeinsam mit den Rheingemeinden, Bern solle einlenken. Als der Nationalrat neue Expertisen verlangte, griffen die St. Galler zu moderner Propaganda. Die Bundesversammlung erhielt Farbdrucke der «Eschmannkarte». Sie zeigten Überschwemmungsgebiete und Gefahrenorte am Rhein, simultan neben Bauvorhaben und Detailkosten. Endlich überzeugt, sprachen die Räte 1862 einen Drittel der Kosten von 8,5 Millionen Franken. Der Rest entfiel auf Kanton, Gemeinden und Perimeter.[30]

Hartmann trieb das 60 Kilometer lange, auf drei Sektionen verteilte Werk in Halbjahreskampagnen voran. Die Ausführenden (Ortsgenossen und Wuhrpflichtige, später immer mehr Bauakkordanten) bewältigten von Hand und mit Fuhren gewaltige Kubaturen. Rollbahnen kamen nur allmählich zum Einsatz; 1874 fuhr die erste Baulokomotive. – 1868 und 1871 beschädigten Überschwemmungen die halbvollendeten Schutzbauten schwer und machten grösste Anstrengungen nötig. Am Werdenberger Rhein änderte man die Bauweise und errichtete Hochwuhre statt des Doppelprofils. Um sie zu stützen und abzudichten, wurde das Hinterland bis zu den alten Binnendämmen kolmatiert.

1874 starb Hartmann mitten in der Arbeit, aber sein Nachfolger Jost Wey (1843–1908)

[28] Bucher (1992), Petitionen der Rheingemeinden. – Hungerbühler (1854), Denkschrift S. 93.
[29] Hungerbühler (1854), Denkschrift S. 93.
[29] Bucher (1992), Petitionen der Rheingemeinden.
[29] Staatsarchiv St. Gallen, Rheinkataster: 274 Kartenblätter über 15 540 Hektaren in 44 932 Parzellen.
[30] Koenig (1971), Verhandlungen S. 50 und S. 78–82. – Kaiser (1990), Rheinkarten Nr. 33.

führte das Werk ebenso energisch fort. 1883 war die Strecke Ragaz–Au im Wesentlichen verbaut. Die Kosten (nunmehr 11,5 Mio. Fr.) wuchsen bis 1892 auf 13,6 Mio. Dazu kamen 3,9 Mio. Schuldzinsen. Rund die Hälfte dieser Summen hatte der Staat den Anrainern vorgeschossen. Die Rückzahlung über die Rheinsteuer belastete ab 1871 Gemeinden und Grundbesitzer aufs Schwerste. 1893 befreite der Kanton die Perimeterpflichtigen teilweise von der Rheinschuld, strich aber erst 1944 den Rest. Der Aufwand hatte sich jedoch gelohnt. Wuhre und Dämme hielten den Hochwassern stand. Sie prägen das Alpenrheintal als das gewaltigste Bauwerk des Industriezeitalters im Kanton St. Gallen.[31] (Vgl. auch VISCHER und KALT in diesem Buch).

8 DIE RHEINDURCHSTICHE

Die Durchstiche sollten Gefälle, Strömung und Geschiebetransport erhöhen, um die Flusssohle zu vertiefen. Das erfüllten die Eselschwanz-Projekte nur zum Teil. Einer Anregung Baumgartners folgend, empfahl Hartmann daher schon 1838, mit einem Durchstich östlich von Fussach mehr Wirkung zu erreichen. Ab 1849 forderte die Schweiz dieses Projekt offiziell.

Aus Sicht der Vorarlberger, besonders des Landtags, nützte der Durchstich allein der Schweiz, wogegen sie Land opfern mussten. Schweizer Industrielle stützten den Widerstand wegen ihrer Werke bei Fussach. Drei österreichische Ingenieure schlugen Auswege aus dem Karussell der Gutachten und Meinungen vor: 1855 Gustav Wex einen Durchstich westlich Fussach, 1862 Josef Meusburger (1812–1886) den Diepoldsauer Durchstich, der die Opfersymmetrie zwischen den Talseiten ins Spiel brachte, 1864 Martin Kink (1800–1877) einen Vierfachdurchstich, der Vorarlberg schonte. Dieser begann bei Kriessern, durchbrach Widnau, tangierte Lustenau und St. Margrethen und erreichte vom Eselschwanz durch das Niederried den See. Diese Projekte stiessen wiederum in der Schweiz auf Ablehnung.

Nach der Katastrophe von 1868 lenkten die Schweizer ein. Im Präliminar-Abkommen verpflichteten sich die Staaten 1871 auf das Doppelprojekt Meusburgers. 1888/1890 brachten neue Hochwasser die Entscheidung. Die verbauten St. Galler Ufer hielten stand; aber bei Altach und Koblach brachen Dämme. Die Ebene stand bis zum See unter Wasser, samt der Bahnlinie Bregenz–St. Margrethen. Nun wurde der Durchstich auch für Vorarlberg dringlich. Am 30. Dezember 1892 wurde der Staatsvertrag unterzeichnet. Er sah vor, die Durchstiche mit Brücken und Verkehrswegen nacheinander in 14 Jahren zu bauen und den Fluss bis zur Ill zu regulieren.[32]

Der fünf Kilometer lange Fussacher Durchstich wurde von 1895 bis 1900 unter dem österreichischen Rheinbauleiter Philipp Krapf (1854–1939) ausgeführt. Über 1000 Arbeiter hoben rund 2 Millionen m³ Material aus, schütteten 1,1 Millionen m³ Dämme und Vorländer auf und verbauten 218 000 m³ Steine. Die Kosten überschritten mit 9,3 Millionen Franken den Voranschlag um 41,6 Prozent. Die erwünschte Eintiefung der Rheinsohle talaufwärts wurde schon bald erreicht.

Den Diepoldsauer Durchstich hatten Hartmann und andere Techniker schon 1863 abgelehnt. Die Tiefebene würde hier nicht «durchstochen». Vielmehr müsse der Rhein zwischen Dämmen darüber geführt werden. Diese versänken im Torf, so dass bei wenig Nutzen hohe Kosten entstünden. Tatsächlich war der Binnenkanalbau in den Torfstrecken derart mühsam, dass auch Hartmanns Nachfolger Wey vor den Risiken warnte, sie mit Versuchsdämmen nachwies und Alternativen vorschlug. Die Fachwelt stimmte ihm bei; aber nach seinem Tod 1908 setzte die Politik den Bau durch. Durch den Ersten Weltkrieg verzögert, wurde das Werk erst 1923 eröffnet. Die Zahlen – 5,3 Millionen m³ Aushub und Schüttungen, 164 750 m³

[31] Botschaften des Regierungsrats des Kt. St. Gallen an den Grossen Rat, 1883 und 1893. – GÖLDI (1990), Rheinwuhrschuld.

[32] BAUMGARTNER, A. (1892), Gallus Jakob Baumgartner S. 79. – KOENIG (1971), Verhandlungen S. 57–63, S. 82–116. – KOENIG (1992), Staatsvertrag Schweiz-Österreich.

Steinbauten, 17,8 Millionen Franken Kosten – sagen wenig über die äusserst schwierige Arbeit im Torfgrund. Der Zweck wurde indes nicht erreicht, denn das neue Bett füllte sich mit Geschiebe. Erst das von 1944 bis 1972 verengte Mittelgerinne und massive Baggerungen senkten die Flusssohle.[33]

9 DIE BINNENGEWÄSSER-KORREKTIONEN

Vor 1860 flossen 31 grössere Gewässer direkt in den Rhein. Seine Hochwasser stauten diese Zuflüsse und drohten durch die Dammlücken an den Mündungen auszubrechen. Kanalsysteme sollten daher deren Zahl reduzieren. Die erste Planung, 1831 durch Richard La Nicca (1794–1883) für die Saarebene, scheiterte jedoch am Veto der Gemeinde Mels. Als zehn Jahre später die Simmi die neue Strasse Gams–Haag bedrohte, sollte ein Regierungsprojekt von Johann Heinrich Meyer (1815–1851) den Talboden von Werdenberg bis Rüthi sanieren. Es enthielt bereits alles, was erst Jahrzehnte später entstand: Haupt- und Entsumpfungskanäle, Zuleitung der Seitenbäche. Auch diese Vorlage wurde aus Furcht vor Enteignung und Gemeindelasten abgelehnt.[34]

Die Eisenbahn, bei der Rheinkorrektion eher im Hintergrund wirksam, spielte diesmal eine wichtige Rolle. Der grossflächige Rückstau der Saar bei Sargans behinderte den Bahnbau; aber zur Abhilfe fehlten Rechtsgrundlagen. Daher propagierte Regierungsrat Hungerbühler, führend auch als Bahnpionier, 1845 in der «St. Gallisch-Appenzellischen Gemeinnützigen Gesellschaft» die Saarverbauung zusammen mit dem Entwurf zum Korrektionsgesetz. Es trat im folgenden Jahr in Kraft, erklärte statt der Gemeinden die Grundeigentümer als zuständig und regelte die Verfahren. Der Kanton übernahm Planung, Aufsicht und Schiedsgericht, auch hier ohne sich finanziell zu verpflichten.

Nun begann die «Gemeinnützige» breite Öffentlichkeitsarbeit für den Wasserbau. Die Wirkung von Hartmanns «Erörterungen» nutzend, präsentierte Hungerbühler 1847 das Werdenberger Projekt, weshalb die erwähnte Rheintaler Petition auch Binnengewässerkorrektionen verlangte. 1854 veröffentlichte er die «Denkschrift über den Uferschutz am Rhein» samt dem neuen Rheingesetz, diskutierte 1857 den Entwurf des Erziehers und Journalisten Karl Völker (1796–1884) über die Drainage und regte Theodor Zellers (1829–1888) Plan an, die Ebene von Oberriet bis Au trocken zu legen und ihre Gewässer zu kanalisieren.[35]

Für die meisten Grundeigentümer waren die Korrektionen finanziell untragbar. Im Werdenberg rang man jahrzehntelang um Bundesbeiträge, um Länge und Linienführung der Kanäle. Erst die Hochwasser von 1868 und 1871 lösten neue Projekte aus. Als Wey 1876/77 plante, die Gewässer in einem 21 Kilometer langen Kanal von Wartau nach Sennwald zu leiten, entstand heftige Opposition und das Projekt wurde wuchtig verworfen. Haag, wo alle 25 Stimmenden angenommen hatten, appellierte an die Regierung. Diese beschloss 1880, den Werdenberger Binnenkanal zu bauen, gestützt auf das Korrektionsgesetz und positive Gutachten. Von 1882 bis 1886 wurden 81 000 Mann-Tagwerke geleistet, 550 000 m³ Material verschoben und 1,1 Mio. Franken ausgegeben, 60 Prozent mehr als veranschlagt. 45 Jahre nach dem ersten Projekt war der Werdenberger Talboden hochwasserfrei.

Auch bis zum Bau des Rheintaler Binnenkanals von Sennwald nach Au verstrichen vier Jahrzehnte. Zellers Plan von 1857 entfiel, weil Au fürchtete, mehr Zufluss zur Ach bringe häufigere Überschwemmungen. Immerhin ermöglichten Bahnbau und Rheinkorrektion, die Ach

[33] Bericht der internat. Rheinregulierungs-Kommission 1894–1934. – KOENIG (1971), Verhandlungen S. 197. – HEER (1992), Wey und der Diepoldsauer Durchstich.

[34] REICH (1990), Werdenberger Binnengewässer S. 107.

[35] HUNGERBÜHLER (1845), Entsumpfung Saargebiet. – HUNGERBÜHLER (1847), Korrektion der Gewässer zwischen Werdenberg und dem Schlauch. – HUNGERBÜHLER (1857), Wasserrechtsverhältnisse. – ZELLER (1857), Kanalisation der Binnenwasser von Blatten bis zum Monstein.

ab Widnau zu begradigen und 1873 am Monstein vorbei zu verlängern. 1895 einigten sich Kanton und Gemeinden auf Weys Projekt, den Kanal in die tiefste Tallinie zu legen. Die Arbeit in langen, schwierigen Torfstrecken, behindert von Ach-Hochwassern, dauerte elf Jahre. Bis 1950 wurden auch die übrigen Wasserläufe begradigt, eine Vorbedingung für die Drainage der Moore.[36]

Die Bergbäche bedrohten besonders in Nässephasen die Siedlungen und Kulturen am Talrand. Die Korrektionen folgten jenen der Talgewässer, denn das Geschiebe sollte die neuen Kanäle nicht belasten. Als Grundlage alpinen Wasserbaus galt Joseph Duiles Werk «Über Verbauung der Wildbäche in Gebirgsländern». Es erschien 1826, als Duile die moderne Rheinkorrektion auslöste. 1841 beriefen ihn die Glarner, um ihre Gewässer zu beurteilen. Die Bauten nach seinen Empfehlungen waren so wirksam, dass Karl Culmann (1821–1881) im Bundesbericht «Untersuch der schweizerischen Wildbäche» die Glarner Methoden 1864 zum landesweiten Vorbild erklärte.

Hartmann, Culmanns Experte für St. Gallen, stellte überall Handlungsbedarf fest. Priorität kam den Geschiebemassen des Trüebbachs zu. Seit der verbaute Rhein sie nicht mehr an der Mündung wegschwemmte, bedrohten die Rüfen Dorf, Strasse, Bahn und den neuen Saarkanal. 1861/67 wurden im Trüebbach die ersten 15 Sperren errichtet. Bis 1950 erforderte das steile, instabile Einzugsgebiet 231 Sperrbauten, dazu Entwässerungen und Aufforstungen, seither bedeutenden Unterhalt. Der Trüebbach steht als Beispiel für alle Wildbäche.[37]

10 DAS LAND VERBESSERN: DIE MELIORATIONEN

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts verbreiteten sich aufklärerische Ideen zur Agrarreform. Vorbilder waren der Zürcher Musterbauer Jakob «Kleinjogg» Guyer (1716–1785) und die Lehranstalt Emmanuel von Fellenbergs (1771–1844) im bernischen Hofwil. In der Ostschweiz setzten sich der Grabser Arzt Marx Vetsch (1759–1813) und der Rheinecker Pfarrer Johann Rudolf Steinmüller (1773–1833) für neue Methoden ein. Beide wiesen auf die Güterzerstückelung hin und verlangten Bodenverbesserungen. Das Trattverbot von 1807 ging nicht zuletzt auf ihren Einfluss zurück. 1809 regte Vetsch an, das Grabser Riet zu meliorieren. Die Regierung sandte ihn und den Gossauer Johannes Künzle (1749–1820) nach Hofwil. Die beiden berichteten, Fellenberg arbeite auf «berechnete Austrocknung und Ableitung des zu häufigen und schädlichen Wassers, auf die Nivellierung des Bodens zur Bewässerung und auf die Herstellung einer guten Ackerkrume» hin, um «möglichste Vollkommenheit der Kultur» zu erzielen. Wichtig ist die folgende Erkenntnis: «Kein Gegenstand der Landwirthschaft fordert mehr Einsicht und Behutsamkeit, als Meliorations-Gegenstände.»[38]

Viele Ideen Vetschs und Steinmüllers eilten ihrer Zeit voraus, wirkten aber in der 1818 gegründeten Landwirtschaftlichen Gesellschaft fort. Diese führte auf Karl Völkers Initiative die Drainagetechnik ein. Hiezu schaffte die Gesellschaft 1854 eine Röhrenpresse an und führte 1856 das erste Probedrainieren durch. Zwei Jahre später gründete Völker auf seinem Schlossgut Heerbrugg eine Ziegelei zur Drainröhrenfabrikation, die er 1867 an Jacob Schmidheiny (1838–1905) übertrug.

Meliorationen wollen die Ertragsfähigkeit des Bodens bewahren und steigern, ihn vor Naturgewalten schützen und die Bewirtschaftung erleichtern. Zu diesem Zweck wurden und werden Güter zusammengelegt, erschlossen, entwässert, geräumt und kultiviert, Alpen verbessert, Sicherungsvorkehren getroffen, Bauten und Siedlungen errichtet. Vorbedingung für

[36] Reich (1990), Werdenberger Binnengewässer. – Rohner (1992), Binnengewässerkorrektionen S. 296–300.

[37] Duile (1841), Wild- und Gebirgsbäche im Kanton Glarus. – Culmann (1864), Wildbäche S. 168–170. – Henauer (1999), Bergbäche im Werdenberg. – Bersinger (1907), Statistik.

[38] Vetsch & Künzle (1810), Bericht über die landwirthschaftliche Anstalt zu Hofwil S. 38–42. – Reich (1996), Bodenverbesserungen und Landschaftswandel S. 56–59.

Meliorationen waren neben den Kanalbauten vor allem die Rechtsgrundlagen. 1858 regelte man die Wasserableitung bei Korrektionen gesetzlich, 1866 den Bodenaustausch. Zwischen 1884 und 1893 legten Beschlüsse die Beitragspflicht fest. Der Bund übernahm maximal 40 Prozent der Kosten, Kanton und Gemeinden gemeinsam den gleichen Satz.[39]

1849 ersuchte Grabs die Regierung, das Studnerriet zu entsumpfen und die Gewässer zu korrigieren. Da Hartmann überlastet war, betraute man einen Flüchtling aus Württemberg, Ingenieur Jakob Kümmerle (geb. 1804), mit dieser ersten grösseren Melioration. Im Frühjahr 1850 waren rund 120 Hektaren neu parzelliert, die Bäche begradigt und mit Kiessammlern versehen, dem Merkmal aller Bachkorrektionen. Kümmerle entwässerte und kultivierte darauf bis 1861 die Liechtensteiner Ebene.

1882 bewirkte Johannes Eglis (1837–1906) «Programm für eine neue Güter- und Feldwegeintheilung» bei Haag die bis dahin grösste Flächenmelioration der Schweiz, ausgeführt von 1885 bis 1887 durch Geometer Daniel Fehr (1849–1938). In der fünf Kilometer langen, vom Werdenberger Binnenkanal längs durchschnittenen Zone besassen 433 Eigentümer 317 Hektaren in 1713 Parzellen (die kleinste 2 m² winzig). Diese Zahl wurde auf 533 reduziert. Ein Graben zwischen Auen und Dorf leitete das einsickernde Rheinwasser ab. Die so trocken gelegten Böden erlaubten intensivere Bewirtschaftung. Bis 1894 dehnten sich die Äcker von 0,1 auf 9,3 ha aus, die Wiesen von 12,1 auf 143,8 ha. Das Streueland brachte trotz Rückgang von 261,1 auf 120,2 ha mehr Ertrag als zuvor. Diese Erfolge gaben Anstoss für weitere Werke, besonders in Grabs, Gams und im Seeztal.[40]

Zur Zeit der Haager Arbeiten entstand 1884 der Kulturtechnische Dienst. Baudepartementssekretär Caspar Schuler (1856–1915) führte ihn nebenamtlich, bis er 1898 das «Kulturtechnische Bureau» einrichten konnte. Schuler förderte und formte das Meliorationswesen und damit die Landwirtschaft auf Jahrzehnte hinaus. Im Zweiten Weltkrieg brachte die «Anbauschlacht» neuen Effort. Dieser zeigte sich vor allem bei den Entwässerungen. Waren zwischen 1884 und 1940 kantonsweit 2811 Hektaren drainiert worden, so legten kriegswirtschaftliche Programme zwischen 1941 und 1946 2226 ha trocken, die Meliorationen der Rhein- und Linthebene von 1941 bis 1964 zusätzlich 4011 und 1679 ha. Allein in der Rheinebene wurden in Handarbeit 2410 km Drainagen verlegt. Mit diesen Projekten begann die Epoche der Gesamtmeliorationen. Nun veränderten sich die Landwirtschaftszonen ganzer Gemeinden. Siedlungsferne, extensiv genutzte Gebiete erhielten neue Einzelhofstrukturen, wurden erschlossen, neu parzelliert und intensiv-rationeller Nutzung zugeführt. Insgesamt entstand so im Alpenrheintal von Bad Ragaz bis Au das grösste Meliorationswerk des Landes.

11 DER MODERNE LANDSCHAFTSWANDEL

Die Geschichte der Korrektionen und Meliorationen ist auch jene des modernen Landschaftswandels. Vorher vollzogen sich Veränderungen in langsamen Prozessen. Der Mensch griff zwar in sie ein, musste sich aber seinerseits einfügen und vermehrte mit seiner Arbeit in der traditionellen Kulturlandschaft den Reichtum naturnaher Lebensräume. Im Alpenrheintal kulminierte diese Vielfalt um 1880, hundert Jahre nach den Allmendteilungen, als die Streuewirtschaft ihre grösste Bedeutung erreichte (vgl. GRABHER in diesem Buch).

Mit den Allmendteilungen begann der Landschaftswandel, in Gang gesetzt vom Wachstum der Bevölkerung und ihrem Sicherheitsbedürfnis. Die Lösung der Probleme folgten ausschliesslich ökonomisch-technischen Kriterien. Die traditionelle Kulturlandschaft wurde abgebaut, langsam zunächst, im 20. Jahrhundert immer schneller.

[39] 100 Jahre Kulturtechnischer Dienst im Kt. St. Gallen 1884–1983 S. 9.

[40] REICH (1996), Bodenverbesserungen und Landschaftswandel. – Programm für eine neue Güter- und Feldwegeintheilung, von einem Werdenberger Bürger (= Johannes EGLI, 1882). – SCHULER (1907), Kulturtechnische Arbeiten 1884–1906.

Ökologische Fragen nach Funktion und Vernetzung der Lebensräume im Naturhaushalt, nach ihrer Qualität und Belastbarkeit, nach den Auswirkungen auf Arten, Lebensgemeinschaften und auf den Menschen spielten (noch) keine Rolle (vgl. SCHLEGEL et al. in diesem Buch).

Die grössten Veränderungen erlitten die Gewässer. Die von der Flussdynamik geprägten Lebensräume wichen strukturarmer Verbauung, bis die eingeengte Rheinsohle nur noch oberhalb der Ill ein geringes Pendeln ermöglichte. Die Ausbaggerung liess das Grundwasser sinken und in den 1960er Jahren die Giessen versiegen. Die vom Rhein getrennten Kanalsysteme ersetzten alle natürlichen Wasserläufe. Kleingewässer wurden verrohrt. Abwasser und Schadstoffeintrag belasten das künstliche Gewässernetz. Den Qualitätsschwund belegen für St. Gallen erst wenige Untersuchungen. Um 1998 flossen nurmehr 11 Prozent der Bäche im Sarganserländer Talgrund naturnah. Von den 30 Fischarten, die um 1850 im Alpenrheintal lebten, waren deren 13 ausgestorben, 11 nur noch vereinzelt nachzuweisen.[41] (Vgl. auch WALTER in diesem Buch).

Die Auwälder wurden ab 1807 grossflächig kultiviert. Die Reste im Werdenberg galten nicht als Schutzwald, und während der Weltkriege rodete man weiter. Hier entsorgten die Dörfer Siedlungsabfall, hier lagerte man Kies und Baumaterial. 1965 trennte die Autobahn die Auen endgültig vom Rhein. Trotzdem bilden ihre Relikte die letzten naturnahen Gebiete im Talboden. Nach den Kanalbauten verschwanden auch die Begleitgehölze längs der gewundenen Bäche und Giessen – Grund für die Leere der Ebenen auf alten Fotos. Gegen die Wind-Erosion, die um 1950 entwässerte Böden gefährdete, legte man die geradlinigen Windschutzstreifen an, die heute die Landschaft prägen. Die letzten Auwälder im Flussbereich wurden nach dem Hochwasser von 1954 beseitigt.[42] (Vgl. ROULIER in diesem Buch).

Was bei Gewässern und Auen mehr als 150 Jahre brauchte, dauerte bei den Mooren nur ein Vierteljahrhundert. Zwar wurden viele kleinere Flächen schon ab 1890 drainiert, doch verfolgten die frühen Zusammenlegungen vor allem das Ziel rationellerer Bewirtschaftung. Grossflächig entwässert wurde erst während der Anbauschlacht und in den Gesamtmeliorationen. Eine Verlustbilanz der Lebensräume und Arten existiert nur für die Saarebene. Der Sarganser Botaniker Heinrich Seitter (1902–1992) stellte hier 1963 noch 399 Pflanzenarten fest. Bis 1981 verschwanden 44 Prozent, weitere 12 Prozent waren gefährdet. Die meisten übrigen Arten überlebten in wenigen ökologischen Nischen, im Sarganser und Werdenberger Talboden vor allem an der Flussseite der Rheindämme. Eine Übersicht über den Arealverlust der Feuchtgebiete in den

Tab. 1. Verlustbilanz der Feuchtgebiete in den St. Galler Talebenen

Gebiet (Flächen in ha)	Feuchtgebiete um 1890	Drainierte Flächen	Feuchtgebiete 1999	Rückgang in %
Rheinebene zwischen Oberriet und Widnau (Isenriet)	4067	4011	56	98,6
Talebene Werdenberg (inkl. Lienz und Rüthi)	1690	1639	51	97,0
Saarebene (Bad Ragaz–Sargans)	283	283	–	100,0
Talboden Seeztal	856	842	14	98,3
Linthebene (Kanton St. Gallen)	1967	1882	85	95,6
St. Galler Talebenen insgesamt	8863	8657	206	97,7

[41] ACKERMANN & BROGGI (1996), Ökologische Bewertung der Fliessgewässer im Talboden des Sarganserlandes S. 293. – EBERSTALLER & HAIDVOGL (1998), Gewässer- und Fischökologisches Konzept.

[42] BERSINGER (1907), Statistik.

Talebenen gibt Tabelle 1. (Vgl. auch übrige Beiträge über die Gefährdung und den Erhalt und Schutz der Feuchtgebiete in diesem Buch).

Die Aussiedlung der Bauernbetriebe schuf in den Ortschaften Raum zum Wachstum der Siedlungen. Die Chance zur geordneten Entwicklung wurde freilich selten erkannt. Die typischen offenen Hofraum-Ortsbilder der Rheindörfer, noch um 1980 erkennbar, gingen im Siedlungsbrei weitgehend auf. Die fruchtbaren Böden in Dorfnähe, die jahrhundertelang sorgsam genutzt worden waren, wurden eingezont und überbaut, die alten Obstbaumwälder dezimiert. Heute bilden Bauzonen, Verkehrs- und Energieträger, Meliorationsgebiete und Korrektionsobjekte eine lückenlose technisierte Kulturlandschaft, erdacht auf den Reissbrettern der Planer aller Sparten.

«Die Technik hat uns von der Rheinlandschaft befreit», schrieb 1980 Karl Schmalzigaug (1902–1994) aus Lustenau mit bitterer Ironie. Kein anderer Teil des Kantons St. Gallen hat den modernen Landschaftswandel so umfassend erfahren wie das Alpenrheintal.

Der vorliegende Artikel ist eine gekürzte und überarbeitete Fassung des Beitrags «Alpenrhein und Landschaftswandel» in Band 6 der «Sankt-Galler Geschichte 2003», St. Gallen 2003.

12 LITERATUR

ACKERMANN, G. & BROGGI, M. F. 1996. Ökologische Bewertung der Fliessgewässer im Talboden des Sarganserlandes. Botanisch-Zoologische Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 23, 279–316.

ALLENSPACH, N. 1989. Auf der Suche nach neuem Lebensraum – Die Emigration aus dem Bezirk Werdenberg 1840–1880. Werdenberger Jahrbuch 1989, 11–38.

Amtsberichte des Regierungsrates des Kantons St. Gallen, 1831–1990.

Baudepartement St. Gallen (Hg.). 1893. Die Rheinregulierung. Zollikofer, St. Gallen, 15 pp.

BAUMGARTNER, A. 1892. Gallus Jakob Baumgartner. Herder, Freiburg i. B., 535 S.

BAUMGARTNER, G. J. 1844. Erlebnisse auf dem Felde der Politik. Hurter, Schaffhausen, 671 S.

BERSINGER, F. 1907. Statistik über die Kosten der im Kt. St. Gallen erstellten und subventionierten Fluss-Korrektionen und Bachverbauungen. Statistik des Kantons St. Gallen 22, 1–33.

BRASCHLER, H. 1948. Das Meliorationswesen im Kt. St. Gallen während der Zeit des 2. Weltkrieges 1939–1947. Volkswirtschaftsdepartement, St. Gallen, 79 pp.

BROGGI, M. F. 1999. Monographie Alpenrhein. Botanisch-Zoologische Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 26, 300–302.

BROGGI, M. F. & SCHLEGEL, H. 1990. Am Alpenrhein: Liechtenstein, Werdenberg. BuchsDruck, Buchs, 232 pp.

BUCHER, S. 1992. Die Petitionen der st. gallischen Rheingemeinden zur Rheinkorrektion im 19. Jahrhundert. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 158–171. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

CULMANN, K. 1864. Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrath über die Untersuchung der schweiz. Wildbäche. Zürcher & Furrer, Zürich, 650 pp.

DUILE, J. 1841. Bericht und Anträge (...) über den Untersuch der Wild- und Gebirgsbäche im Kanton Glarus. Glarus, 18 pp.

DUILE, J. 1826. Über Verbauung der Wildbäche in Gebirgsländern, vorzüglich in der Provinz Tirol und Vorarlberg. Rauch, Innsbruck, 179 pp.

EBERSTALLER, J. & HAIDVOGL, G. 1998. Gewässer- & Fischökologisches Konzept Alpenrhein. Botanisch-Zoologische Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 26, 235–260.

EGLI, J. (Pseudonym: Johannes Volkmann). 1884. Über die Ursachen der gegenwärtigen Lage der Landwirtschaft und über die Mittel zur Hebung derselben mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse des st. gallischen Rheinthales. Koch, Rorschach, 80 pp.

EGLI, J. 1882: Ein Programm für eine neue Güter- und Feldwegeintheilung im Allgemeinen und speziell im untern Theil des Bezirks Werdenberg. Kuhn, Buchs, 16 pp.

Eidg. Forschungsanstalt Reckenholz (Hg.). 1975–1978. Bodenkarten des St. Galler Rheintals.

Gemeinsame Rheinkommission (Hg.). 1935. Bericht der internationalen Rheinregulierungs-Kommission

über die Ausführung und die Kosten der Regulierung des Rheines, 1894–1934. Rheinbauleitung, Rorschach, 69 pp.

GÖLDI, C. 1990. Nachlass der alten Rheinwuhrschuld von 1893. Werdenberger Jahrbuch 1990, pp. 101–103.

GUNZENRAINER, U. & GABATHULER, F. 1999. Sanierungsprojekte im Wartauer Berggebiet. Politische Gemeinde, Wartau, 72 pp.

HARTMANN, F. W. 1847. Erörterungen über die Wuhrbauangelegenheiten am Rhein. Kälin, St. Gallen, 38 pp.

HEER, A. 1992. Jost Wey und der Diepoldsauer Durchstich. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 236–239. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

HENAUER, E. 1999. Die «Zähmung» der Bergbäche im Werdenberg. Werdenberger Jahrbuch 1999, 118–137.

HEROLD, H. 1988. Trift und Flösserei in Graubünden. In: «Rechtsgeschichte aus Neigung», pp. 531–630. K. BADER, Thorbecke, Sigmaringen, 664 pp.

HUNGERBÜHLER, M. 1857. Geschichtliches über die Wasserrechtsverhältnisse im Kt. St. Gallen, mit Bemerkungen zum neuesten Gesetzesentwurf über die Drainage. Verhandlungen der St. Gallisch-Appenzellischen Gemeinnützigen Gesellschaft 1857, 1–42.

HUNGERBÜHLER, M. 1854. Denkschrift über den Uferschutz am Rhein. Verhandlungen der St. Gallisch-Appenzellischen Gemeinnützigen Gesellschaft 1854, 1–136.

HUNGERBÜHLER, M. 1847. Ueber die Korrektion der innern Gewässer zwischen Werdenberg und dem Schlauch bei Lienz. Verhandlungen der St. Gallisch-Appenzellischen Gemeinnützigen Gesellschaft 1847, 78–98.

HUNGERBÜHLER, M. 1845. Ueber die Entsumpfung des Saargebiets im Sarganserlande, Verhandlungen der St. Gallisch-Appenzellischen Gemeinnützigen Gesellschaft 1845, 146–193.

KAISER, M. 2003. Alpenrhein und Landschaftswandel. Sankt-Galler Geschichte 6, pp. 125–141.

KAISER, M. 1996. Die Rheindörfer im Werdenberg. Werdenberger Jahrbuch 1996, pp. 11–19.

KAISER, M. 1994. Natürliche Lebensräume im Kanton St. Gallen. In: «Der Kanton St. Gallen – Landschaft, Gemeinschaft, Heimat», pp. 62–113. Löpfe-Benz, Rorschach, 3. Aufl. 1994.

KAISER, M. 1992. Die alten Rheindörfer. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 67–74. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

KAISER, M. 1992. Industrialisierung und Rheinkorrektion im St. Galler Rheintal. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 103–111. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

KAISER, M. 1992. Harschwald und Hudelmoos – aus der Geschichte eines Naturraums. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 51, 57–70.

KAISER, M. 1992. Eine Torfstich-Anleitung aus dem 18. Jahrhundert. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 51, 85–94.

KAISER, M. 1991. Menschen im Rheindelta – aus der Geschichte eines Lebensraumes. In: «Das Rheindelta», B. WÜRTH, pp. 14–28. Hämmerle, Hohenems, 225 pp.

KAISER, M. 1990. Rheinkarten und Rheinpläne aus 375 Jahren. Werdenberger Jahrbuch 1990, pp. 30–43.

KAISER, M. 1990. Hans Conrad Römers Rheingutachten von 1769. Werdenberger Jahrbuch 1990, pp. 44–67.

KAISER, M. 1990. Hochwasser und Überschwemmungen am Alpenrhein. Werdenberger Jahrbuch 1990, pp. 67–77.

Kant. Meliorations- und Vermessungsamt St. Gallen (Hg.). 1984. 100 Jahre Kulturtechnischer Dienst im Kanton St. Gallen 1884–1983. Kant. Meliorations- und Vermessungsamt, St. Gallen, 54 pp.

KELLER, O. 2000. Gleichgewicht, Veränderung und Gefährdung in der Natur. Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft 89, 9–12.

KOENIG, F. 1992. Der Staatsvertrag Schweiz-Österreich von 1892. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 172–177. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

KOENIG, F. 1971. Die Verhandlungen über die internationale Rheinregulierung im st. gallisch-vorarlbergischen Rheintal von den Anfängen bis zum schweizerisch-österreichischen Staatsvertrag von 1892. Lang, Bern 1971, 237 pp.

KRAPF, P. 1901. Die Geschichte des Rheins zwischen dem Bodensee und Ragaz. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees 30, 119–222.

KUSTER, W. 1998. Aus der Geschichte von Stadt und Gemeinde Altstätten. rva Druck und Medien, Altstätten, 440 pp.

Meliorationsamt des Kantons St. Gallen (Hg.). 1961. Melioration der Rheinebene – Ausführungsbericht. Rheintaler Druck und Verlag, 105 pp.

MÜLLER-LEMANS, H. 2005. Das Hochwasser von 1762 am Walensee (Manuskript). Sargans.

PESTALOZZI, H. 1818. Die Rheinebene zwischen Ragaz und dem Schollberg. Manuskriptkarte, Zentralbibliothek Zürich.

PFISTER, C. 1999. Wetternachhersage. Haupt, Bern, 304 pp.

PFISTER, C. & BRÄNDLI, D. 1999. Rodungen im Gebirge – Überschwemmungen im Vorland: ein Deutungsmuster macht Karriere. In: «Natur-Bilder, Wahrnehmungen von Natur und Umwelt in der Geschichte», pp. 297–323. SIEFERLE, R. P. Campus, Frankfurt a. M., 371 pp.

PFISTER, C. Klimageschichte der Schweiz. Haupt, Bern, 163 pp.

REICH, H. J. 1996. Bodenverbesserungen und Landschaftswandel im Werdenberg. Werdenberger Jahrbuch 1996, pp. 51–95.

REICH, H. J. 1990. Die Korrektion der Werdenberger Binnengewässer. Werdenberger Jahrbuch 1990, pp. 107–121.

ROHNER, H. 1992. Barragas Plan von 1792 und Korrektionsvarianten im Vorfeld des Staatsvertrags von 1892. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 144–151. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

ROHNER, H. 1992. Die Binnengewässerkorrektion im St. Galler Rheintal. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 294–300. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

RÖMER, J. C. 1769. Beschreibung und Anmerkungen über den Rhein-Lauff und dessen Wuhrungen und Dämme durch das ganze Rheinthal. Manuskript, Staatsarchiv St. Gallen AA 1 A 5–1.

RÖMER, J. C. 1769. Der Rheinlauff durch das gantze Rheinthal. Manuskriptkarte, Staatsarchiv St. Gallen KPN/Rhein 1.

SCHINDLER, D. 1986. Werdenberg als Glarner Landvogtei. St. Galler Kultur und Geschichte 15, 140–345.

SCHMALZIGAUG, K. E. 1980. Der Rhein vor 50 Jahren, Buchdruckerei Lustenau, Lustenau, 100 pp.

SCHULER, C. 1907. Bericht über die kulturtechnischen Arbeiten im Kt. St. Gallen 1884 – 1906. Wyss, Bern, 41 pp.

STEINMÜLLER, J. R. 1804. Das St. Galler Rheintal um 1800. Reprint 1987. Bank Biene, Altstätten, 358 pp.

VETSCH, M. & KÜNZLE, J. 1810. Bericht an die Regierung des Kt. St. Gallen ueber die landwirthschaftliche Anstalt, und besonders über die Art und Weise der Feldbestellung des Herrn Emanuel von Fellenberg zu Hofwyl. Brentano, Bregenz, 240 S.

VOGLER, W. 1985. Wangs – Dorf, Nachbarschaft, Gemeinde. Ortsgemeinde, Wangs, 261 pp.

WAIBEL, F. 1992. Die Werke der Internationalen Rheinregulierung. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», pp. 206–235. Internationale Rheinregulierung, Rorschach, 430 pp.

WALSER, G. 1829. Der Appenzeller-Chronick dritter Theil 1732 bis 1763. Meyer, Trogen, 328 pp.

ZELLER, T. 1857. Projekt einer Kanalisation der Binnenwasser vom Schloss Blatten bis zum Monstein. Verhandlungen der St. Gallisch-Appenzellischen Gemeinnützigen Gesellschaft 1857, 58–93.

Markus Kaiser, Staatsarchiv St. Gallen, Leiter der historischen Abteilung, Regierungsgebäude, CH-9001 St. Gallen, E-Mail: markus.kaiser@sg.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region: 292–302

Alpenrheintal – Landschaftswandel und Perspektiven

Mario F. Broggi (Triesen, FL)

1 EINLEITUNG

Jede Landschaft ist unverwechselbar, einmalig. Wir werden von ihr angesprochen, als Bewohner vielleicht gar durch diese geprägt. Die wichtigsten Former der Landschaft sind die Gesteine, das Wasser, die Pflanzendecke und der Mensch mit seinen Aktivitäten. Die langen erdgeschichtlichen Zeitabläufe und selbst das Denken in den wesentlich kürzeren historischen Dimensionen greifen weit über unsere eigene Existenz hinaus. Dies schafft uns Probleme mit dem Zeitverständnis. Der dynamische Wandel der Natur selbst und die vom Menschen verursachten Eingriffe sind hierbei schwierig in Verbindung zu bringen bzw. auseinanderzuhalten. Der Landformer Mensch hat durch die Schaffung der traditionellen Kulturlandschaft massgeblich zur Vielfalt der Landschaftselemente beigetragen (vgl. wertvolle Halbtrockenrasen Wartau SG). Diese «Aneignungsprozesse» (Landschaft als Produkt), mit dem damit verbundenen Landschaftswandel, werden am Beispiel des Alpenrheintals in groben Zügen nachgezeichnet.

Räumlich eingegrenzter Gegenstand dieses Beitrages ist das mittlere und untere Alpenrheintal, nördlich der Engstelle Fläscherberg (GR), Schollberg (SG), bis zur Rheinmündung in den Bodensee. Es sind dies linksrheinisch Teile des Kantons St. Gallen und rechtsrheinisch das Fürstentum Liechtenstein und die Vorarlberger Rheintalebene, also die rund 50 Kilometer des Alpenrheins oberhalb seiner Mündung in den Bodensee. Hier wohnen auf einer Fläche von 45 000 ha rund 356 000 Einwohner (HARTMANN und SAUTER et al., 2004). In diesem Talraum werden der Landschaftswandel skizziert und die Entwicklungsperspektiven beispielhaft unterbreitet. Der Talraum des Fürstentums Liechtenstein diente dem Autoren dieses Beitrages als landschaftliches «Freilandlabor» für vielerlei Untersuchungen (z. B. BROGGI, 1988; BROGGI und SCHLEGEL, 1990; BROGGI, 1995; BROGGI und WILLI, 1997). Dem Alpenrhein auf der Laufstrecke «Schweiz-Liechtenstein» wurde eine eigene Monographie gewidmet (BROGGI, 1999).

Es wird auch im Alpenrheintal offensichtlich, dass unsere nachagrarische und nachindustrielle Gesellschaft im Zeichen der Globalisierung ihre Wertschöpfung vom konkreten Ort, von der Nutzung des Bodens, zu lösen beginnt. Arbeit erfolgt zunehmend als geistige Dienstleistung. Der unmittelbare Bezug zum Raum löst sich damit auf. Welche Folgen hat dies für die Landschaft? Noch ist eine neue Struktur aus der gegebenen Mischung von Arbeiten, Wohnen, Freizeit und Mobilität nicht eindeutig zu erkennen. Hierzu werden einige Überlegungen unterbreitet.

2 DIE NATURLANDSCHAFT DES ALPENRHEINTALS

Die Naturgeschichte des Alpenrheintals wird nachfolgend auf den Alpenrhein fokussiert (weitergehende Analyse s. BROGGI, 2000). Der Alpenrhein ist aus landschaftsgenetischer Sicht die zentrale Lebensader – die Aorta – dieses Tales. Vor rund 14 000 Jahren lag nach der letzten Eiszeit die Südgrenze des Bodensees in der Gegend von Bad Ragaz, vor 10 000 Jahren auf der Höhe von Oberriet (SG). Aufgrund der grossen durch den Rhein abgelagerten Geschiebemengen war dieser Rheintalsee bereits vor 6000–8000 Jahren aufgefüllt (KELLER, 1989; vgl. auch KELLER in dieser Schrift). Man kann sich im Verlaufe der späteren klimatischen Abfolgen eine von grossen Waldflächen umgebene wilde Flusslandschaft vorstellen, wie wir sie heute am ehesten noch im dünnbesiedelten Sibirien antreffen können.

Das landschaftliche Charakteristikum ist eine ab der Engstelle Fläscherberg-Schollberg immer breiter werdende, von Bergen beidseits gesäumte Ebene. Hier mäandrierte der Wildfluss, mit unregelmässigen Ufern und Furkationsstrecken ausgestattet, teils mehrarmig, Inseln bildend, flankiert von Grundwasseraufstössen und ausgedehnten kilometerbreiten Auwäldern. Neben den Waldbestockungen gab es wohl auch grössere offene Flächen, bedingt durch Sümpfe, breite Schwemmebenen und durch seitliche Murgänge aus den steilen Flanken. Hohe Grundwasserstände wirkten sich waldfeindlich aus und liessen grössere Talmoore licht bis waldfrei bleiben. Zumindest bis in die Bronzezeit (2200–800 v. Chr.) waren einige Megaherbivoren wie Auerochse, Wisent, Elch, aber auch der Biber in der Gegend bejagt worden (Würgler, 1958; Hartmann-Frick, 1959). Sie dürften hier spätestens im Früh- bis Hochmittelalter verschwunden sein.

3 VON DER NATUR- ZUR KULTURLANDSCHAFT

Dieses Naturbild prägte das Alpenrheintal trotz einsetzender Rodungen im Talboden und an den Seitenhängen noch weit über das Mittelalter hinaus. Stiche aus dem 18. und der ersten Hälfte des 19. Jh. zeigen uns immer noch einen weitgehend frei fliessenden Fluss (vgl. Abb. 1 und Abb. 2). Die ersten bevorzugten Siedlungsplätze (Stein- bis Bronzezeit) lagen entlang des vom Hochwasser sicheren Hangfuss sowie auf den Inselbergen im Tal (z. B. Gutenberg bei Balzers, Eschnerberg im Liechtensteiner Unterland, Ardetzenberg bei Feldkirch, Kumma zwischen Koblach und Mäder, Montlingerberg). Am rechten Hangfuss führten die wichtigen



Abb. 1. Alpenrhein bei der Illmündung um 1850 mit Blick in Richtung Vaduz und Buchs (dessiné par Schmidt). Der Fluss erscheint Mitte des 19. Jh. noch weitgehend unverbaut, flankiert von Auen und offenem Grünland.



Abb. 2. Aquarell mit Blick auf Schloss Vaduz und Teile der Ortschaft Vaduz mit dem Hintergrund des Alpenrheins und der Burgruine Wartau (SG) von Peter Feldmann (1790–1871). Auch in diesem engeren Rheintalabschnitt ist der Fluss wenig verbaut, entlang der Wegverbindungen wurden Alleen errichtet, die wesentliche Wegmarken bildeten.

Verkehrswege von Bregenz über die Luziensteig (Römerstrasse, fränkische Handelswege) zu den Alpenpässen. Der Rhein blieb im 2. Jahrtausend n. Chr. eine ständige Gefahr für dessen Anwohner, eine wachsende Bevölkerung erhöhte den Siedlungsdruck. Darum wurden auch die hochwassergefährdeten Gebiete, wenn auch vorerst nur extensiv als Weiden und einmadige Streuewiesen, in die Bewirtschaftung und seit dem Mittelalter auch in das Wohnen (z. B. Bangs, Mäder, Altach, Lustenau in Vorarlberg) einbezogen. Mittels vorerst lokaler Wuhrbauten und kleiner flankierender Dämme wurde das jeweilige Umland geschützt. Mit so genannten Schupfwuhren wurde das Wasser – nicht zur Freude der gegenüberliegenden Bevölkerung – auf die jeweils andere Seite abgelenkt. Damit wurde das Sicherheitsproblem weitergereicht. Unterschiedliche staatliche Hierarchiestufen, Religionen (rechtsrheinisch katholisch, linksrheinisch häufig protestantisch) und diese «Schupfwuhr»-Mentalität liessen den Rhein als Hindernis und Grenze erleben. Erst vor etwas mehr als hundert Jahren entschloss man sich auf der Basis eines internationalen Vertrages eine durchgehende Rheinregulierung durchzuführen (INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, 1992). Der Rhein wurde von Bad Ragaz bis auf die Höhe der Landesgrenze Liechtenstein-Vorarlberg in ein Hochwuhrsystem mit 120 m Breite eingebettet. Das Hochwuhr reicht 10–12 m über den Talboden hinaus. Unterhalb davon wurde ihm ein Doppelprofil mit «Vorländern» und einem zweiten Damm mit einer totalen Profilbreite von ca. 300 m verpasst. Abgesehen von einem katastrophalen Dammbruch im Jahre 1927 bei Schaan (FL) hat sich das Konzept für den Hochwasserschutz weitgehend bewährt. Nach den schlimmen Erfahrungen des Jahres 1927 sollte die westlichste österreichische Ortschaft Bangs wegen der ständigen Hochwasserbedrohung endgültig aufgelassen werden, während die Siedlung in der nahen Rodungsinsel Matschels am Illspitz bereits im 19. Jh. verlassen wurde (FIEL, 1987). Die lokale Bevölkerung ignorierte allerdings die Räumungsanordnungen, spätere Überschwemmungen blieben aus. Mit der durchgängigen Rheineindämmung wurden die flankierenden Auenwälder zu nicht mehr überflutbaren Galeriewäldern. Die dahinter liegenden Streuwiesen wurden anfangs des 20. Jh. zunehmend intensiviert (Streuewiesenverlust in Liechtenstein, s. Tab. 1).

Tab. 1. Verlustbilanz Streueland (Flachmoore) in der liechtensteinischen Talebene (BROGGI, 1988).

1756	Koleffelkarte (erste einigermassen massstabsgetreue Karte FL	2330 ha
1830	Darstellung Oberamt der zu entwässernden Gebiete	1712 ha
1930	Schätzung Rechenschaftsbericht Regierung	1000 ha
1936	Arealstatistik Rechenschaftsbericht	500 ha
1955	Statistisches Jahrbuch FL	214 ha
1969	Landwirtschaftszählung 1969	176 ha
1983	eigene parzellenscharfe Kartierung	136 ha

Trotz der seit Mitte des 19. Jh. einsetzenden Industrialisierung weist die Rheintallandschaft um 1900 insgesamt eine dörflich kompakte Besiedlung mit ländlichem Charakter aus. Die einst kleinstrukturierte landwirtschaftliche Parzellenstruktur weicht erst nach dem 2. Weltkrieg grösseren, zusammenhängenden und maschinell nutzbaren Bewirtschaftungseinheiten.

Die Naturlandschaft des Flusstales entwickelte sich über viele Jahrhunderte in eine naturnahe Kulturlandschaft. Zwei Zäsuren waren hier bedeutsam: die im Verlaufe des 19. Jh. begonnenen Entwässerungen mit neuem Vorflutsystem (Binnenkanäle) und die erst Mitte des 20. Jh. einsetzende rationalisierte Landwirtschaft (s. Beitrag von KAISER in diesem Werk).

4 DIE BANALISIERUNG DER KULTURLANDSCHAFT

Zur Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung während des Zweiten Weltkrieges (Anbauschlacht Wahlen) fand nochmals eine weitergehende Kultivierung und Rodung des Galeriewaldes entlang des Rheins statt (s. Tab. 2 mit Auwaldverlusten in Liechtenstein).

Der Nutzungsdruck (Landwirtschaft, Verkehr, Siedlung, Erholung usw.) auf bisher wenig berührte Gebiete wird ab den 1950/60er Jahren spürbar und Nutzungskonflikte offensichtlich. Ein hoher Kiesverbrauch, bedingt durch den einsetzenden Bauboom, und der Autobahnbau auf Schweizer Seite (Rodung von ca. 60 ha «Auwald» auf der Strecke Haag–Trübbach) führten zu starken Kiesentnahmen aus dem Rheinbett. Die zwischenzeitlich gebauten Geschiebesperren der Wildbachverbauungen im Einzugsgebiet verminderten den kontinuierlichen Kiestransport. Die Kiesentnahmen von 15 Mio. Tonnen der Jahre 1946–1972 im Grenzraum Werdenberg-Liechtenstein verursachten eine Absenkung der Rheinsohle um ca. 4 bis 5 m. In der Folge sank auch der umgebende Grundwasserspiegel auf der Strecke des Hochwuhrbereichs, was nun eine landwirtschaftliche Intensivierung ohne weitere Entwässerungsmassnahmen zuliess. Die Entnahme des «grauen Goldes» musste 1972 als Folge eines Einsturzes der Rheinbrücke Schaan–Buchs wegen Unterspülung der Pfeiler eingestellt werden.

Bedingt durch die Grundwasserabsenkungen im Rheineinflussgebiet führten in den 1980er Jahren rund die Hälfte aller liechtensteinischen Fliessgewässer im Rheintal zumindest zeitweise kein Wasser (BROGGI, 1985). Mit dem Bau zahlreicher Kraftwerksspeicher im Rheineinzugsgebiet wurde der Abfluss von über 750 Mio. m³ Wasser vom Sommer- auf das Winterhalbjahr verlagert. Die Wassermengen im Rhein sind durch dieses Kraftwerksregime durch starke Schwankungen gekennzeichnet (Schwall-Sunk-probleme).

Der umgebende Talraum ist heute von zivilisatorischen Eingriffen dominiert. Hier liegen die grösseren Siedlungen, Industriegebiete und Infrastrukturen (Autobahnen, Pipeline, Hochspannungsleitungen). Rund 23% des Alpenrheintals sind den Siedlungsflächen zugewiesen (HARTMANN und SAUTER et al., 2004), zwischen 1960–2000 hat die Wohnbevölkerung um 60% zugenommen (STRITTMATTER PARTNER AG, 2002). Das Alpenrheintal kennt allerdings kein dominierendes Zentrum, sondern lässt sich als Netzwerk verschiedener Aktivitätspole mit Expansion urbaner und suburbaner Siedlungsmuster bzw. Auflösung oder Überprägung traditionell ländlicher Siedlungsmuster kennzeichnen (vgl. Abb. 3). Dabei gibt es zwei Bevölkerungsschwerpunkte: die «Ringstadt» im unteren Rheintal mit 160 000 Einwohnern und die «rechtsrheinische Bandstadt» von Hohenems bis Feldkirch mit 90 000 Einwohnern. Diese Siedlungsschwerpunkte werden durch ein Siedlungsband im unteren St. Galler Rheintal, demjenigen von Liechtenstein und dem Siedlungsschwerpunkt Buchs-Grabs, ergänzt. Das neuerliche Wachstum um 8% der Bevölkerung in der Periode 1990–2000 war beachtlich, wobei allerdings das grösste Wachstum ausserhalb der bisherigen Siedlungsschwerpunkte zu beobachten ist (Wohnen im Grünen). Dieses ungebremste Siedlungswachstum lässt nötige Vorstellungen für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung als dringlich erachten.

Der Verlust offener Flächen durch das Bauen ging vorerst auf Kosten der Landwirtschaft. In den letzten 50 Jahren sind so alleine in Liechtenstein ein Viertel des Kulturlandes verloren gegangen und zwischen 1955–1980 verdrei-

Tab. 2. Verluste an liechtensteinischem Auwald entlang des Rheins (BROGGI, 1999).

1756	Koleffelkarte	600 ha
1903	Waldwirtschaftspläne Forsttechniker Anderka	267 ha
1977	Forstamtlicher Rechenschaftsbericht	83,5 ha

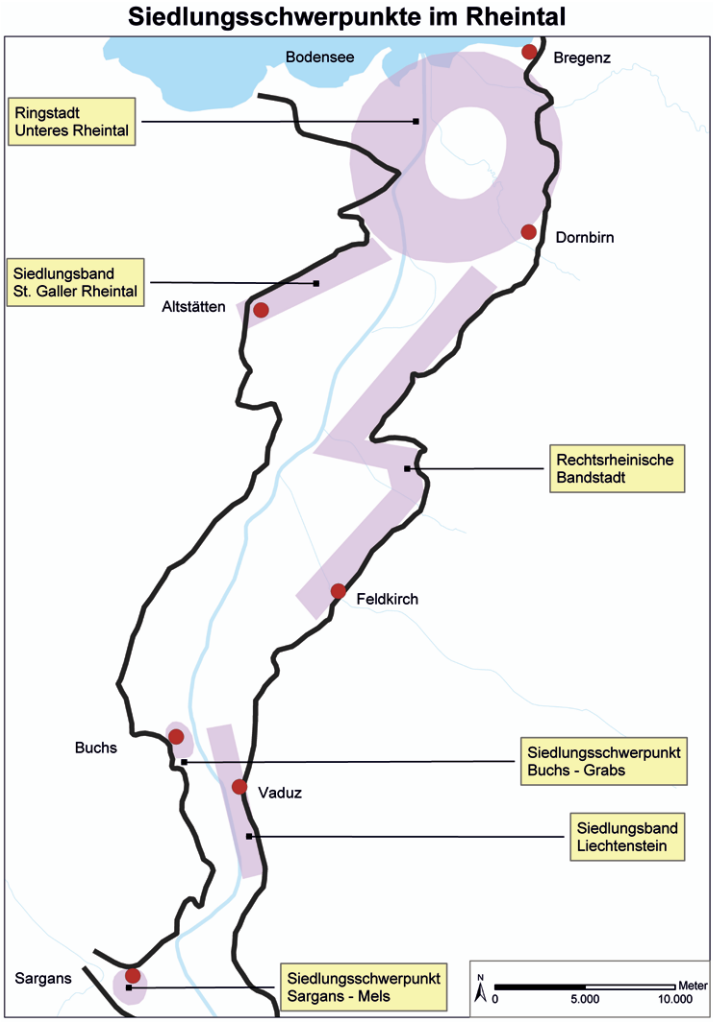


Abb. 3. Siedlungsschwerpunkte im Alpenrheintal mit der Ringstadt im unteren Rheintal und den flankierenden Siedlungsbändern beidseits des Rheins sowie dem Siedlungsschwerpunkt um Buchs-Grabs.

fachte sich dort die überbaute Fläche. Jede Minute wird in Liechtenstein ein Quadratmeter verbaut (BROGGI, 2001a). In der Schweiz wird der entsprechende Wert des Bodenverbrauches mit einer Sekunde angegeben, die Schweiz ist allerdings 256-mal grösser. Damit ist der Landschaftsverbrauch im kleinen Liechtenstein viermal höher als in der ebenfalls prosperierenden Schweiz anzusetzen.

Der Autobahnbau A 13 in der Schweiz und A 14 in Vorarlberg machten das Rheintal zusätzlich zu einem wichtigen Durchgangstal für den Strassenverkehr vom süddeutschen Raum auf dem Weg durch den San Bernardino-Tunnel nach Italien. Diese übergeordnete Erschliessung förderte ihrerseits wieder die Bildung von Industriegebieten an den Autobahneinfahrten. Die schweizerische Autobahn wurde zudem auf weiten Teilen unmittelbarer Begleiter des Rheines und beeinträchtigt das Verbindende.

5 DIE BEURTEILUNG DER LEBENSRÄUMLICHEN EIGENART DER ALPENRHEINLANDSCHAFT

Die ästhetische Ausdruckskraft einer Landschaft besteht aus der Summe und dem Ineinandergreifen der Teilräume, die überdies landschaftsökologisch intakt sein sollten. Damit ergibt sich auch ein räumlich-ästhetisches Erleben. Ästhetisches Erleben dürfte ein existentielles Bedürfnis jedes menschlichen Lebens darstellen. Diese sinnliche Wahrnehmung erzeugt dann ein gewisses «Angesprochensein», eine «Betroffenheit». Beim ästhetisch-räumlichen Erleben entsteht ein Verweisungszusammenhang zwischen Raum und Subjekt, in dem «etwas an etwas erinnert» und «eines auf ein anderes hinweist» (SMUDA, 1986). Die heutigen Strukturen der «kulturellen» Nutzung unseres Lebensraumes stehen in vielen Bereichen nicht im Einklang mit der ursprünglichen Natur- und Lebensraumvielfalt des Tales.

Kennzeichnend für das Alpenrheintal sind heute eine durchmeliorierte landwirtschaftliche Nutzung (mit Schwerpunkt Schweizer Seite), die ausgeprägte Zersiedlung (vor allem im unteren Rheintal), eine teilweise starke industrielle

Nutzung und die verkehrsmässige Ausrichtung als Durchgangstal. Prägend ist damit das Auftrennen und das Beschleunigen. Mit dem durchgehend kanalisierten Rhein und der flankierenden Autobahnführung entsteht eine Hierarchie der gestaltgebenden Elemente im Talraum (vgl. Abb. 4). In ihr nehmen die vom Menschen erst im letzten Jahrhundert gesetzten Akzente die höchste Rangstufe ein. Die natürlichen Ausdrucksformen des Raumes werden dem untergeordnet. Die Aufgliederung des Raumes führte zum Verlust vorhandener Raumpotentiale und vielfältiger Strukturen. Der Prozess der Ausräumung und der rasanten Überbauung machen den Talraum stellenweise gesichtslos, breiig (z. B. Blick vom Ardetzenberg in Richtung Norden). Dabei wird die Landschaftsgenese immer weniger wahrnehmbar und spürbar, die Verweisungszusammenhänge werden schwerer lesbar. Die einstige natürliche Flusslandschaft mit ihren zahlreichen landschaftsgenetischen Verweisen wird durch die erwähnten Trennlinien in Segmente zerlegt. Die einst formenden Kräfte sind nur mehr dem Eingeweihten erkenntlich (z. B. die alten Rheinprallhänge); der kanalisierte Rhein mit der ihn begleitenden Autobahn wird zur entwerteten, lärmbelasteten Randzone zwischen Vorarlberg/Liechtenstein und der Schweiz (vgl. Abb. 5). Nicht verwunderlich, dass man hier die Abwasserreinigungsanlagen, die Kehrichtverwertungsanlage, Schiess-



Abb. 4. Blick von der Festung Magletsch auf die Ruine Wartau in Richtung Mittagsspitze (am Hangfuss Balzers), Balzers und Luziensteig. Die Feldgehölze im Talraum folgen weitgehend den ehemaligen Giessgängen, die ihrerseits den Rhein flankierten. Nach den Grundwasserabsenkungen trockneten die Giessgänge, aus und sie wurden teils künstlich wieder bewässert.



Abb. 5. Blick auf den Alpenrhein in Richtung Balzers (FL): Der Wildfluss ist seit mehr als 100 Jahren durchgehend mit Dämmen flankiert, an die sich teils noch Galeriewälder anschliessen. Die schweizerische Autobahn begleitet häufig den Rhein und verstärkt dessen auftrennende Wirkung im Rheintal.

plätze und Deponien aller Art situierte. Alles deutet auf Abgrenzung, Beschränkung, Entsorgung, wenig auf ein Zueinander hin. Restpotentiale ästhetischer Ausdruckskraft liegen wie verlorengegangenes «Stückgut» herum.

Dennoch, es gibt sie noch, die überregional bedeutsamen, besonders wertvollen Naturräume: das Vorarlberger Bodenseeufer mit dem Rheindelta, das Lauteracher und Lustenauer Ried, der Rhein-Altarm mit der Hohenemser Kurve, das Altstättner Bannriet, den waldreichen Ill-Schwemmfächer, das Ruggeller und Bangser Riet, den Schlosswald Salez mit vielen Moorlinsen, den Eichenwald im Ceres (Buchs), die Heuwiese in Wartau, die heckenreiche Hangkante Triesen–Balzers mit den Magerwiesenparzellen sowie die Sarganserau (s. Abb. 6). Vor allem rechtsrheinisch wurden in Vorarlberg mit einem Erhaltungsprogramm «Streuewiesen» im Ausmass von ungefähr 640 ha Flachmoore geschützt (Broggi und Grabherr, 1991). Über die lokalen Feuchtgebiete s. auch Grabher, Klötzli, Schlegel et. al., in diesem Werk.

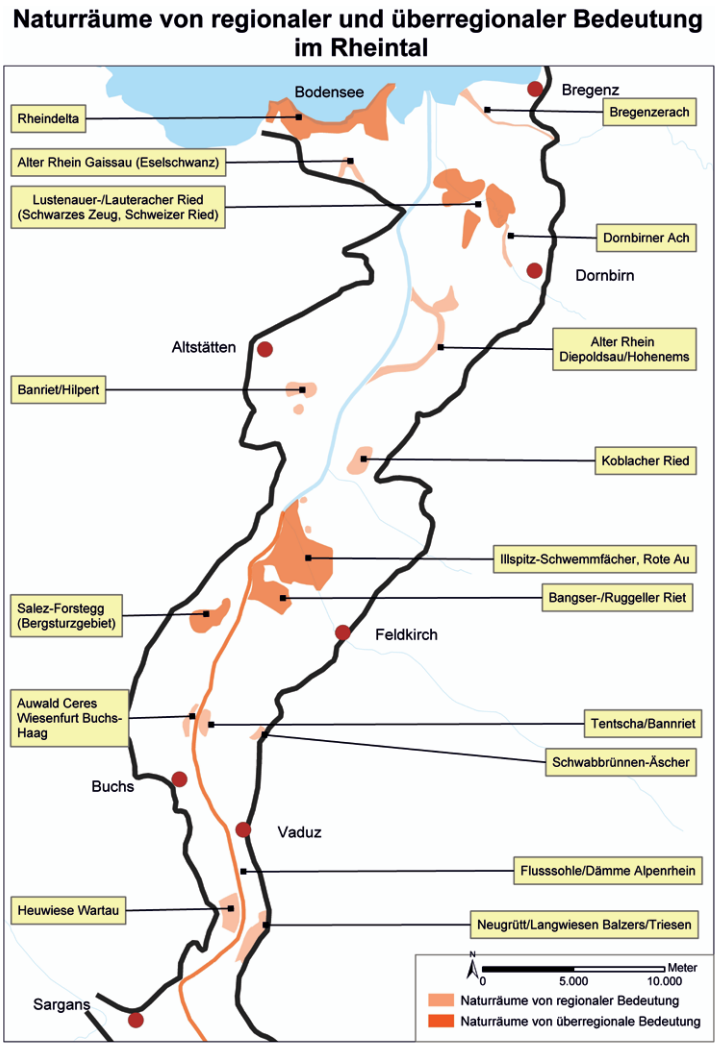


Abb. 6. Naturräume im Rheintal mit Benennung der Naturräume von überregionaler und regionaler Bedeutung. Vor allem im Vorarlberger Rheintal sind noch rund 10 Prozent Streuewiesen an der Gesamtfläche als Relikte der früheren Nutzungsgeschichte verblieben. In ihnen brütet noch die Uferschnepfe und der Grosse Brachvogel.

Es erscheint dringend notwendig, das noch vorhandene Raumpotential des Rheintales aufzuwerten. Vor allem eine Vernetzung des Rheins mit seinem Umfeld böte wieder Raum zur Entfaltung verlorengegangener Erlebnismöglichkeiten. Eine respektvolle Haltung gegenüber dem jeweiligen Nachbarn wäre es, wenn wir Grenzen naturnah gestalten würden, und eine teilweise freie Naturentfaltung am Rhein könnte eine verbindende Funktion für die Talgemeinschaft übernehmen. Über dieses angelaufene grosse, keineswegs utopische Wiederbelebungswerk wird in einem eigenen Artikel berichtet (siehe Beitrag Franco Schlegel).

6 WELCHE LANDSCHAFT FÜR DAS ALPENRHEINTAL VON MORGEN?

Unser jeweiliges Landschaftsempfinden ist eng mit der Bewirtschaftung über Jahrhunderte verbunden. Sie ist das Resultat von Arbeit, sowohl in den Agrargesellschaften als auch der Industriegesellschaft. Landschaft war so das stoffliche Produkt menschlicher Arbeit und änderte sich entsprechend der jeweiligen gesellschaftlichen Verhältnisse. Wir stehen heute im Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft. In dieser Transformationsgesellschaft, die auch als Dienstleistungsgesellschaft bezeichnet wird, löst sich die Wertschöpfung stark vom konkreten Ort, von der konkreten Aneignung des Bodens. Der fortschreitende Modernisierungs- und Rationalisierungsprozess führt uns in eine neue Landschaftsbetrachtung und -behandlung. Arbeit erfolgt immer mehr als geistige Dienstleistung. Der unmittelbare Bezug zu Raum und Zeit löst sich tendenziell auf. Es fallen weite Teile unserer Landschaft aus der Nutzung. Allein in Liechtenstein hat sich die Waldfläche im 20. Jh. verdoppelt (BROGGI, 2005). Diese sich verwaldenden Flächen werden als Objekte bisheriger Arbeit nicht mehr gebraucht. Es gibt zwar weiterhin eine wachsende Inanspruchsnahme von Boden. Dieser wird aber fast ausschliesslich für den Bau von Strassen, Häusern und Freizeitaktivitäten verwendet. Damit findet ein Ausdifferenzierungsprozess im Raum statt. Immer noch steigt der Landschaftsverbrauch, während die Aneignung von Natur im peripheren Umfeld zunehmend wegfällt.

Wir selbst geraten damit zwischen tradierte Bilder der Kulturlandschaft (aus der Zeit der Agrargesellschaft) und sind auf der Suche nach zukünftigen Raumnutzungs- und Gestaltungsmustern. Bei einem solchen Transformationsprozess bedarf es einer eingehenden Analyse dessen, was Landschaft ist, wie sie entstand und worauf der bisherige Landschaftskonsum basierte. Der landschaftliche Wandel geht offensichtlich der gesellschaftlichen Zielformulierung voraus. Die Ziellosigkeit drückt sich derzeit in einem Mangel an reformerischen Konzepten der Ökonomie, der Gesellschaft, der Bildung aus. Unsere raumordnerischen bisherigen Aussagen sind meist statisch und selten in ihren Überlegungen vernetzt. Im Zeichen der laufenden Globalisierung wächst andererseits die Bedeutung der Regionalisierung, mit der Wiederentdeckung von Identität (BROGGI, 2001b). Wir stehen unter dem wachsenden Einfluss einer Erneuerung der Bildersprache, ja es ist eine eigentliche Marketingwelle, ausgestattet mit vielen Sprechblasen (z. B. keine Gemeinde ohne Leitbild), zu beobachten. Es will emotionale Verbundenheit geknüpft werden. Landschaften werden mit Marken (Brandings, Brandscape-Gedanke) versehen. Sie verkörpern Werte und Eigenschaften (PÜTZ, 2004). Das Erleben des Raums soll zum Markenerlebnis werden. Das Sarganserland wird so zum «Heidiland», obwohl die Idee dort historisch gar nicht hingehört, «gute» regionale Elemente werden stattdessen diesem sinnleeren «Branding» untergeordnet. Das mittlere Rheintal soll andererseits zum «Chancental» mutieren, dies alles im Kampfe um die Ressource «Aufmerksamkeit». Die Koppelung von Marke und Landschaft wird im Werdenbergischen mit einer Naturparkidee verfolgt. Es wird damit der Gedanke der Partizipation verbunden. Anstatt nur zu inszenieren soll der Besucher eingebunden werden, zum Teil der Markenwelt werden. Das soll eine Identifikation des Einzelnen mit dem Ort und gegebenenfalls mit der «Marke» erzeugen. Wird dies zu einem bestimmten Konsumverhalten führen, wie wir dies von Freizeitparks schon kennen? Bedeutsam wird sein, die regionstypischen Gewohnheiten, lokale Marken und Unverwechselbares hervorzuheben und nicht Opfer perfekter Markeninszenierung zu werden. Das Bemühen um Differenzierung, Authentizität, Glaubwürdigkeit wird hier vordringliche Aufgabe sein. Wie gesagt, noch ist eine neue Struktur aus Arbeiten und Wohnen, Freizeit und Mobilität nicht zu erkennen. Es wird Zeit für eine Aufarbeitung über die Landesgrenzen hinaus, für das ganze Alpenrheintal.

7 DIE SUCHE NACH ZUKÜNFTIGEN RAUMNUTZUNGEN UND GESTALTUNGSMUSTERN IST ZU ERÖFFNEN

Noch läuft ein «Film» ab, der mit folgenden Stichworten umschrieben werden könnte: ungebremstes Siedlungswachstum mit fortschreitender Zersiedlung, Landschafts-Zerschneidung, Rückgang von Freiflächen und landwirtschaftlich genutzten Flächen, Bodenversiegelung, Gefährdung der Biodiversität mit zunehmendem Druck auf Schutzgebiete, Beeinträchtigung der Landschaftsästhetik sowie steigende Infrastrukturkosten. Das Denken in Kategorien der Gemeindeautonomie und der staatlichen Souveränitäten ist einer dringend notwendigen räumlichen Koordination hinderlich. Der Leidensdruck wächst, die Suche nach zukünftigen Raumnutzungen und Gestaltungsmustern muss eröffnet werden. Nicht die austauschbare Region ist gefragt, sondern die nicht imitierbare, auf lokale Stärken aufbauende Agglomeration hat Zukunft (s. STRITTMATTER PARTNER AG, 2002). Es geht darum, einen geographisch homogenen Raum und nicht teilstaatliche Territorien zu stärken. Die haushälterische, flächeneffiziente und bodenschonende Siedlungsentwicklung wird als wichtiges Handlungsfeld einer nachhaltigen Entwicklung erkannt. Erst die Vernetzung und das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren (Schlüsselbranchen, Infrastruktur, Lebensqualität, Bildung, Forschung) führt zu einem unverwechselbaren strategischen Vorteil für die Region. Kooperation stärkt das Alpenrheintal.

Ein Forschungsnetzwerk «Perspektiven Alpenrheintal» der Hochschule Liechtenstein, der Eidgenössischen Forschungsanstalt Wald, Schnee und Landschaft (WSL) sowie der Universität Innsbruck will sich dieser Themenstellung im Alpenrheintal annehmen (HOCHSCHULE LIECHTENSTEIN et al., 2005).

Obwohl sich die skizzierten Phänomene und Trends im Prinzip global beobachten lassen, erscheint die Analyse im Alpenrheintal aus folgenden Überlegungen besonders bedeutsam:

- Die Auswirkungen von Globalisierung und Europäisierung lassen sich hier mit der sich verändernden Bedeutung der nationalstaatlichen Grenzen als überschaubares und facettenreiches «Forschungslabor» besonders günstig untersuchen.
- Politische, ökonomische und soziale Veränderungen sowie deren siedlungsstrukturelle Auswirkungen lassen sich durch die Grenzsituation und die überschaubare Einheit direkter und früher als in anderen Regionen erkennen.
- Die Topographie des Alpenrheintals bringt es mit sich, dass die Flächenreserven für Siedlungszwecke besonders knapp sind und daher die Notwendigkeit einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung besonders dringlich wird.
- Das Alpenrheintal kennt mangels dominierendem Zentrum eine Polyzentralität und dezentrale Konzentration und liefert für diesen Typus entsprechende Resultate.
- Der Zeitpunkt für das Projekt ist günstig, weil das Alpenrheintal seit Mitte der 1990er Jahre verstärkt Teil der europäischen Integration ist (EU-Beitritt Österreichs, EWR-Beitritt Liechtensteins, Bilaterale Verträge der Schweiz mit der EU, Interreg III-Projekte) und sich dadurch die räumlichen Wirklichkeiten mehr und mehr von politischen Strukturen lösen. Dennoch ist das Bewusstsein einer Talgemeinschaft noch keineswegs ausgeprägt.
- Es lässt sich im Zuge der Globalisierung ein Trend beobachten, den man mit einer «Entterritorialisierung der Märkte» bezeichnen könnte. Dies ist mit der Tatsache verbunden, dass Boden immer mehr zum mittelfristigen Standortsfaktor wird und immer weniger Lebens- und Produktionsgrundlage für Grossbetriebe ist. Es werden zunehmend Strategien der Standortsspaltung gefahren. Auf der Suche nach dem wirtschaftlich besten Standort werden alte überprüft und in Frage gestellt. Auf Standortstreue ist darum kein Verlass. Für die räumlich mobilen Produktionsfaktoren werden Standorte zu einem austauschbaren Faktor der Leistungserbringung im internationalen Standortswettbewerb. Diesen Rahmenbedingungen, Herausforderungen

und Veränderungen muss sich die Raumordnungspolitik grenzüberschreitend stellen.

- Die ersten Projekte, das Entwicklungskonzept Alpenrhein (INTERNATIONALE REGIERUNGSKOMMISSION, 2004) und «Erholung und Freizeit im Alpenrheintal» (HARTMANN und SAUTER et al., 2004), lassen als gemeinsame Erkenntnis ableiten, dass eine intakte Natur in möglichst grösseren Räumen der ruhende Pol in der Hektik darstellt und deren ungeschmälerter Erhalt besonders bedeutsam ist. Der wieder zu belebende Alpenrhein ist hier die gemeinsame Naht- und Andockstelle (Abb. 7).



Abb. 7. Der Alpenrhein mit seinem Hochwuhrsystem ist landschaftlich wenig attraktiv ausgestaltet, birgt aber mit den Kiesinseln und den rund 60 ha grossen rheinseitigen sekundären Halbtrockenrasen wertvolle Faunen- und Florenelemente in sich. Hier findet sich beispielsweise eine beachtliche Population der Hummelragwurz.

8 LITERATUR

BROGGI, M.F. 1985. Ökologisches Gewässerinventar im Talraum des Fürstentums Liechtenstein, Berichte der Bot.-Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, 14, 179–210.

BROGGI, M.F. 1988. Landschaftswandel im Talraum Liechtensteins, Sonderdruck Historisches Jahrbuch FL, 325 pp.

BROGGI, M.F. 1995. Alpenrhein-Landschaft gestern-heute-morgen. Nationalpark 1/95, 42–47.

BROGGI, M.F. (Red.) 1999. Monographie Alpenrhein, Ber. Bot. Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, 26, 306 pp.

BROGGI, M.F. 2000. Das Alpenrheintal – im Zeitraffer seiner Landschaftsgeschichte. In: «Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege», W. KONOLD, R. BÖCKER, U. HAMPICKE, ecomed, Landsberg. X-1.1.

BROGGI, M.F. 2001a. Raumplanung in Liechtenstein – ausser Spesen nichts gewesen? – Versuch einer kritischen Bilanz. In: Raumplanung in Liechtenstein, Beiträge Liechtenstein-Institut, Nr. 13, 33–42.

BROGGI, M.F. 2001b. Raum- und Regionalpolitik im Verhältnis zur Landschaftsvielfalt und -eigenart. In: «Eine Landschaft und ihr Leben: das Zürcher Oberland», B. NIEVERGELT & H.R. WILDERMUTH (Hrsg.), Zürcher Hochschulverlag, 30, Zürich, vdf, 301–320.

BROGGI, M.F. 2005. Liechtensteinische Raumentwicklung – Status, Bilanz, Perspektiven, Referat vom 12. April 2005. Liechtenstein-Institut, Manuskript (erscheint in Festschrift aus Anlass der Emeritierung von Prof. Dr. Klaus Ewald, ETHZ).

BROGGI, M.F. & GRABHERR, G. 1991. Biotope in Vorarlberg. Endbericht zum Biotopinventar Vorarlberg – Natur und Landschaft in Vorarlberg, 4, 224 pp.

BROGGI, M.F., SCHLEGEL, H. & MAEDER, H. 1990. Am Alpenrhein – Liechtenstein-Werdenberg, Buchs Druck und Verlag, 232 pp.

BROGGI, M.F. & WILLI, G. 1997. Abklärung Mindestbedarf von naturnahen Ausgleichsflächen in landwirtschaftlichen Gunstlagen des liechtensteinischen Alpenrheintals. Ber. Bot.-Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, 24, 237–302.

FIEL, K. 1987. Nofels – Geschichte eines Dorfes, Selbstverlag, 227 pp.

HARTMANN-FRICK, H. 1959. Die Tierwelt des prähistorischen Siedlungsplatzes auf dem Eschner Lutzen-

güetle. In: «Jahrbuch des Historischen Vereins für das Fürstentum Liechtenstein 59», Vaduz, 5–223.

Hartmann & Sauter, Stauffer & Studach, Renat AG und Stadtland 2004. Erholung und Freizeit im Alpenrheintal: Grundlagen, Schlussfolgerungen und Handlungsfelder, technischer Bericht, 39 pp.

Hochschule Liechtenstein, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Geographie Universität Innsbruck 2005. Perspektiven Alpenrheintal – Das Forschungsnetzwerk für Landschaft, Ökonomie, Grenzen, Transport, Identität, April 2005. 4 pp.

Internationale Regierungskommission Alpenrhein 2004. Entwicklungskonzept Alpenrhein – Positionspapier, 12 pp.

Internationale Rheinregulierung 1992. Der Alpenrhein und seine Regulierung, BuchsDruck, Buchs SG, 430 pp.

Keller, O. 1989. Die geologische Entwicklung des Alpenrheintals. Werdenberger Jahrbuch 1990, 12–19.

Pütz, G. 2004. Die Lausitz als Logo? In: «Tourisme and Landscape, GAM-Graz Architecture Magazine 01», 65–91, Springer, Wien.

Strittmatter Planer AG 2002. Räumliche Entwicklung des Alpenrheintals – Analysen und Thesen. Im Auftrag der Raumplanungsfachstellen des Fürstentums Liechtenstein, der Kantone St. Gallen und Graubünden und des Landes Vorarlberg, 35 pp.

Smuda, M. 1986. Natur als ästhetischer Gegenstand und als Gegenstand der Ästhetik. Zur Konstitution von Landschaft, in: «Landschaft», Smuda, M. (Hrsg.). Suhrkamp Taschenbuch, Materialien.

Würgler, F.E. 1958. Die Knochenfunde aus dem spätrömischen Kastell Schaan. In: «Jahrbuch des Historischen Vereins für das Fürstentum Liechtenstein, 58», 253–282, Vaduz.

PD Dr. Mario F. Broggi, ETH-Rat, Zürich
Korrespondenzadresse: Im Bretscha 22, FL-9494 Schaan, E-Mail: mario.broggi@adon.li

Hydrotechnische Entwicklungen

Daniel Vischer (Wallisellen) und Leo Kalt (St. Gallen)

1 FLUSSKORREKTIONEN

Als erste schweizerische Flusskorrektion wird meist die 1711–1714 verwirklichte Kanderumleitung in den Thunersee bezeichnet. Dort entschieden die dafür zuständigen «Gnädigen Herren von Bern» ziemlich eigenmächtig über das Wohl ihrer Untertanen. So wurde insbesondere den begründeten Protesten der Thuner und der anderen Seeanwohner gegen das Werk nicht Rechnung getragen, was dann Nachbesserungen erforderte, die bis weit ins 19. Jahrhundert hinein dauerten (VISCHER, 2003). Ganz anders war es bei der Linthkorrektion von 1806–1816. Dort wollten republikanisch gesinnte Kreise der ortsansässigen Bevölkerung eine bessere Lebensgrundlage schaffen. Das wurde anfänglich zwar von dieser Bevölkerung eher misstrauisch aufgenommen. Als sich aber am Ufer des Walensees bis nach Walenstadt sowie in der oberen Linthebene die Erfolge rasch und überzeugend einstellten, erhielt die Linthkorrektion den Nimbus einer grossen nationalen Tat und diente als Vorbild für weitere flussbauliche Vorhaben (Abb. 1.1).



Abb. 1.1. Feldmesser in Stein am Rhein, 1730. Grössere Flusskorrektionen bedurften genauer Karten (Abbildung Museum Lindwurm, Stein).

1.1 Die Hinterrheinkorrektion im Domleschg von 1832–1892

Eine der ersten schweizerischen Flusskorrektionen nach der Linthkorrektion betraf den Hinterrhein im Domleschg. Wie immer in solchen Fällen gab eine Reihe von verheerenden Hochwassern den Anstoss dazu. Vorerst wurde als Träger eine Aktiengesellschaft unter Beteiligung des Kantons Graubünden und der Gemeinden gegründet. Dann begannen 1832 in Rodels und Cazis die Bauarbeiten unter der Leitung des Bündner Oberingenieurs Richard La Nicca (1794–1883). Bereits 1834 stellte ein erneutes Hochwasser das begonnene Werk auf die Probe, ohne grösseren Schaden anzurichten.

Als einige Jahre später keine weiteren Aktien verkauft werden konnten und das Geld ausging, übernahm der Kanton Graubünden die Gesellschaft, vermochte aber mangels eigener Mittel die Arbeiten auch nicht zügig voranzutreiben. Letzteres geschah erst wieder, als der Bund aufgrund des Eidgenössischen Wasserbaupolizeigesetzes von 1877 Beiträge von 30 und dann 40% an die Kosten ausrichtete. 1892 war das Projekt La Nicca auf seiner ganzen Länge von Cazis bis Rothenbrunnen abgeschlossen.

Der Talboden des Domleschgs bestand vor der Hinterrheinkorrektion in weiten Teilen aus Sand- und Kiesfeldern, das heisst aus Geschiebeablagerungen. Es galt also, dem Hinterrhein auf diesem Talboden einen eindeutigen Weg zuzuweisen und die ausserhalb davon liegenden Sand- und Kiesfelder einer landwirtschaftlichen Nutzung zuzuführen. Das geschah mit einer Methode, die bei anderen schweizerischen Flusskorrektionen Nachahmung fand und hier deshalb beschrieben werden soll: Zuerst wurde das zukünftige Hinterrheinbett als gestrecktes und einarmiges Gerinne festgelegt. Die entsprechenden Ufer bezeichnete man auf den Plänen als Korrektionslinien. Dann begann man von den beiden Talflanken her und praktisch rechtwinklig zu diesen Dämme zu schütten, die

schliesslich bei den Korrektionslinien endeten und dort mit Blöcken rundum gesichert wurden. Diese Sporren zwangen den Hinterrhein sukzessive in sein neues Bett, wo er sich eintiefte. Dann verband man die Sporrenköpfe mit so genannten Längswuhren und dämmte den Fluss damit ein. Links und rechts davon blieben also grosse viereckige Teilflächen zurück, die jeweils von einer Längswuhr, zwei Sporren und einer Talflanke eingefasst wurden (BISCHOFF A., 2001).

Diese abgeschlossenen Teilflächen dienten in der Folge als Kolmationsfelder. Das heisst, sie wurden temporär mit stark schlammhaltigem Wasser aus der bei Thusis in den Hinterrhein mündenden Nolla beschickt und überflutet. Dabei setzte sich der Schlamm ab, erhöhte so den Boden und machte ihn gleichzeitig fruchtbar. Pro Hektare wurden etwa 9000 m^3 Schlamm benötigt (BISCHOFF CH., 1977), was einer Schlammhöhe von durchschnittlich 0,9 m entsprach. Mit einer solchen Kolmation oder Aufschlämmung der Felder bediente man sich einer seit Alters bekannten Bewässerungstechnik.

1.2 Die Korrektionen weiterer Zuflüsse des Alpenrheins

Die untersten Strecken der Landquart und der Ill weisen mit dem Unterlauf des Hinterrheins eine gewisse Ähnlichkeit auf, das heisst, sie durchmessen zum Teil breite Talböden. Deshalb wurden sie bald auf die gleiche Weise korrigiert – die Landquart beispielsweise von Küblis bis zum Rhein in den Jahren 1876–1895 und später.

Die Verbauung dieser und aller anderen Zuflüsse des Alpenrheins geschah in erster Linie zum Schutz ihrer Anwohner vor Überschwemmungen, Überschotterungen oder Erosionsschäden sowie zur Gewinnung von Kulturland. Bei den eigentlichen Wildbächen kam auch noch die Forderung nach Geschieberückhalt dazu. Diese Forderung wurde zum ersten Mal explizite von den Verantwortlichen der Linthkorrektion von 1806–1816 erhoben. Durch ihr Werk wollten sie ja der fortschreitenden Aufschotterung der Linthebene Einhalt gebieten. Das konnte dauerhaft nur gelingen, wenn der Geschiebeanfall durch die Linth und deren Seitenbäche erheblich vermindert wurde. Deshalb entstanden im Einzugsgebiet der Linth ab 1840 auch die ersten modernen Wildbachverbauungen, und zwar aufgrund eines Gutachtens des Landesingenieurs von Tirol, Josef Duile (1776–1863). Sie umfassten Hangsicherungen in den Erosionstrichtern im Oberlauf, Sperrentreppen in den Schluchten (Tobel, Klamm) des Mittellaufs und Geschiebeauffangräume und Schussrinnen auf dem Schuttkegel im Unterlauf, beziehungsweise im Mündungsbereich. In gewissen Fällen wurden sie auch mit Lawinenverbauungen kombiniert.

Wie die Linthkorrektion für den Flussbau, so hatten auch die erwähnten ersten Wildbachverbauungen im Glarnerland für die ganze Schweiz Vorbildcharakter. Dazu trug der vom ETH-Professor Carl Culmann (1821–1881) ausgearbeitete «Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrat über die Untersuchung der schweizerischen Wildbäche» von 1864 bei. Es handelte sich um ein über 600-seitiges Gesamtkonzept zur Stabilisierung der Wildbäche und Wildflüsse mit einer Fülle von detaillierten Vorschlägen für alle wichtigen Beispiele. So bezeichnete Culmann den Trübbach als einen der schlimmsten Wildbäche des Kantons St. Gallen, dessen Verbauung im Gefolge der Alpenrheinkorrektion sehr dringlich sei. Dementsprechend baute man dort schon 1866 15 steinerne Sperren ein (VISCHER, 2003).

Sehr viel bekannter als diese Trübbachverbauung wurde dann die 1870 begonnene Zähmung der Nolla. Sie soll hier stellvertretend für die vielen, ihr folgenden Wildbachverbauungen skizziert werden: Die Nolla entwässert ein weitgehend im Bündnerschiefer liegendes Einzugsgebiet von 25 km^2 Oberfläche. Sie fliesst unterhalb ihrer Erosionstrichter durch eine 6 km lange Schlucht, in die einige kleinere Wildbäche einmünden, und erreicht dann bei Thusis den Hinterrhein (Abb. 1.2). Ihr Wasser ist selbst in Mittelwasserzeiten stark schwebstoffhaltig. Damit trübt sie den Hinterrhein und macht sich selbst im anschliessenden Alpenrhein durch eine feine Trübung bemerkbar. Dass sie deswegen bei Thusis teilweise gefasst und in die Kolmationsfelder des Domleschgs geleitet wird,

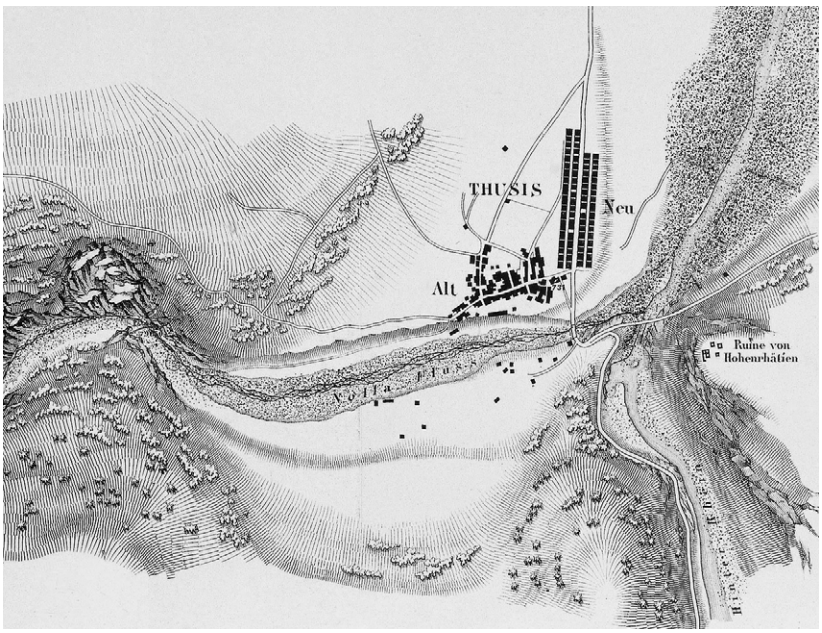


Abb. 1.2. Einmündung der Nolla in den Hinterrhein bei Thusis, nach A. von Salis, 1870.

wurde ja schon gesagt. In Hochwasserzeiten ist ihre Feststofffracht mit viel Geschiebe und Holz erst recht auffällig. Nicht selten dämmte sie damit den Hinterrhein auf, der anschliessend in einem reissenden Schwall ausbrach und das Domleschg heimsuchte. Dort brachte zwar die 1832 begonnene, aber erst Jahrzehnte später abgeschlossene Hinterrheinkorrektion eine gewisse Remedur. Doch wussten die Verantwortlichen sehr wohl, dass diese ohne Nollaverbauung weder vollständig noch dauerhaft sein konnte.

Um 1860 entwarf Adolf von Salis (1818–1891), der Nachfolger von La Nicca als Bündner Oberingenieur, eine Reihe von Steinsperren. Andere Fachleute, wie insbesondere Culmann, glaubten aber nicht, dass man solche in der wenig stabilen Nollaschlucht genügend sicher zu fundieren vermöge. Culmann schlug 1864 an ihrer Stelle Faschinensperren vor, die später durch Holzkastensperren verstärkt werden sollten, das wäre viel billiger. Doch beendete die Nolla diese Meinungsverschiedenheiten, indem sie nach einer fast 30-jährigen Pause 1868, 1869 und 1870 derart heftig aus ihrer Schlucht stürzte, dass sich die früheren Aufstau- und Schwallmechanismen im Hinterrhein wiederholten und der laufenden Hinterrheinkorrektion schwer zusetzten. Dementsprechend fand von Salis nun mit seinem mutigen Projekt sowohl bei seinem Kanton wie beim Bund Gehör. Er sah 1870 im hinteren Teil der Schlucht 8 Steinsperren von 15 bis 30 m vor und begann sogleich mit dem Bau der ersten drei. Als zwei davon 1872 ihre Endhöhe von 15 und 16 m erreicht hatten, stürzte die eine infolge Unterkolkung ein. Daher wurde beschlossen, inskünftig die Höhe von 12 m nicht mehr zu überschreiten und die Kolksicherung jeweils mit einer kleinen Gegenschwelle am Sperrenfuss zu gewährleisten.

Die zwei verbleibenden Sperren bestanden aus Trockenmauerwerk, waren im Grundriss leicht gekrümmt und besassen keinen Anzug. Sie waren bemerkenswert schlank, hielten aber den Beanspruchungen bis heute stand. Die weiteren grossen Sperren wurden zusammen mit vielen kleineren im Oberlauf erst später in Angriff genommen und bis 1902 vollendet. Neben konventionellen Hangsicherungsarbeiten wurde bei Tschappina noch ein 2,6 km langer Hangkanal zur Entwässerung von Rutschgebieten erstellt. Weil Adolf von Salis 1871 zum eidgenössischen Oberbauinspektor ernannt wurde, standen die Bauarbeiten hauptsächlich unter der Leitung des ihn ablösenden Bündner Oberingenieurs Friedrich von Salis (1825–1901).

Der Erfolg der Nollaverbauung stellte sich insofern bald ein, als an ihrer Mündung kein Aufstau des Hinterrheins in Thusis mehr vorkam. Infolge der verbreiteten Instabilitäten im ganzen Einzugsgebiet kamen die Bauarbeiten an der Nolla aber bis heute noch nicht zur Ruhe.

In anderen Worten: Bei der Stabilisierung des Nollabetts wurden im unteren Bereich relativ gute Erfolge erzielt. Die Stabilisierung des oberen Bereichs, das heisst die Verbauung der Runsen und anderer Schuttherde, dauert aber noch an (VISCHER, 2003).

Eine ähnliche Entwicklungsgeschichte liesse sich selbstverständlich auch für die Hunderte von anderen mehr oder weniger berüchtigten Wildbächen schreiben, die im Einzugsgebiet des Alpenrheins ebenfalls verbaut wurden, aber später oft wieder neue Sorgen verursachten und noch nach weiteren Massnahmen rufen. Eine beeindruckende Zusammenstellung der Anstrengungen in der Schweiz, in Liechtenstein und in Österreich findet sich im Jubiläumsband 1992 der Internationalen Rheinregulierung (BISCHOFF A., 1992; GUNZENREINER, 1992; WENZEL, 1992; FISCHER, 1992).

1.3 Die Korrektion des Alpenrheins

1.3.1 Der grösste Wildfluss der Alpen?

Der Alpenrhein wird etwa als der grösste Wildfluss der Alpen bezeichnet. Eine solche Bewertung wirft natürlich die Frage nach den Kriterien auf. Doch soll dieser Frage nicht weiter nachgegangen werden. Sicher verbindet man das Wort wild mit den Unterschieden zwischen dem Nieder-, Mittel- und Hochwasser. Über die ersten beiden wird im Kapitel Hydrologie berichtet. Hier soll in Ergänzung dazu noch auf das Hochwasser eingegangen werden. Als Grundlage dient eine neuere, von der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein in Auftrag gegebene Studie (IRKA, 2003).

Die Hochwasser des Alpenrheins entstehen durch Starkniederschläge, die auf einem grossen Teil des Einzugsgebiets niedergehen. Dabei hat die Lage der Nullgradgrenze einen entscheidenden Einfluss. Liegt sie hoch, wird ein grosser Teil der Starkniederschläge sofort abflusswirksam, während nur ein kleiner Teil als Schnee zurückgehalten wird; liegt sie tief, sind die Verhältnisse natürlich umgekehrt. Die Schneeschmelze allein vermag den Alpenrhein zwar anzureichern, führt aber nicht zu Spitzenhochwassern. Die Saison, in der die Hochwasser gewöhnlich entstehen, erstreckt sich von Mai bis September. Eigentliche Extremwerte sind im Juli, August und September zu erwarten.

In den letzten 800 Jahren traten am Alpenrhein viele Hochwasser auf. Von diesen können 17 als extrem gross oder gar katastrophal eingeordnet werden. Es sind dies die Ereignisse von 1206, 1276, 1343, 1374, 1480, 1566, 1570, 1618, 1640, 1750, 1762, 1764, 1834, 1868, 1927, 1954 und 1987. Wie auch in anderen Regionen der Schweiz gab es hochwasserreiche und hochwasserarme Perioden. Das 20. Jahrhundert gehörte zu den hochwasserarmen. Der grösste Wert wurde im Juli 1987 registriert und entsprach, statistisch gesehen, etwa der hundertjährlichen Spitze. Eine solche Spitze wird innerhalb eines Jahrhunderts also einmal erreicht oder überschritten. Noch grössere Spitzen sind entsprechend seltener. Der zitierte Bericht (IRKA, 2003) mündet in die statistischen Angaben gemäss Tabelle 1.1 aus.

Tab. 1.1. Statistische Hochwasserspitzen am Alpenrhein in m^3/s (IRKA, 2003)

Jährlichkeit	Bad Ragaz	Diepoldsau
30	1950	2450
100	2550	3050
300	3100–3600	4000–4600

Um noch einmal auf das Attribut «wild» für den Wildfluss Alpenrhein zurückzukommen, kann man den Unterschied zwischen der höchsten gemessenen Spitze und dem langjährigen Mittelwert der Abflüsse betrachten, indem man beispielsweise das Verhältnis bildet. Dieses beträgt für den Rhein in Diepoldsau rund 11 und liegt damit über dem Wert von knapp 8 der Rhone in Porte du Scex. Doch reicht es nicht an die Zahlen von 22 des Tessins in Bellinzona und von 24 der Thur in Andelfingen heran. Das widerspiegelt den bekannten Umstand, dass der Alpenrhein und die «Alpen»-Rhone weniger wild sind als etwa die Flüsse auf der Südabdachung der Alpen oder in den nördlichen Voralpen.

1.3.2 Streichwehre, Schupfwuhren, Hinterdämme

Die ersten Massnahmen zur Abwehr von Überschwemmungen und Ufererosionen wurden nach WEY (1890) etwa im 11. Jahrhundert ergriffen. Es war der Anfang eines Wuhrwesens, das bis zum Ende des 18. Jahrhunderts dauerte. Zunächst wurden Streichwuhren und Schupfwuhren erstellt. Die Streichwuhren waren Längswerke, die unmittelbar die Ufer verstärkten und damit erosionsfester gestalteten. Die Schupfwuhren bestanden aus einzelnen buhnenartigen Querwerken, die die Strömung von den Ufern wegwiesen. Sie hielten damit «ihre» Ufer von Strömungsangriffen frei, belasteten aber grundsätzlich die Gegenufer. Das führte zwangsläufig zu Streitereien, die vor allem vom 15. Jahrhundert an dokumentiert sind. Sie stellten aber nicht den einzigen Streitpunkt dar. WEY (1890) berichtete auch von Kontroversen um anders geartete, aber schlechte Wuhrarbeiten oder wegen der Unterlassung derselben. Einzelheiten über die historische Entwicklung bis 1853 trug insbesondere HUNGERBÜHLER (1854) zusammen.

Unter dem Eindruck einer Häufung von Hochwassern im 18. Jahrhundert begann man auch längere Rheinstrecken zu sichern. Dies geschah einerseits durch eine örtliche Vermehrung der Schupfwuhren und damit deren Verdichtung zu eigentlichen Buhnenreihen. Andererseits wurden in einigen flachen Gebieten Hinter- oder Binnendämme aufgeschüttet.

Die Akteure waren im Wesentlichen die Anlieger des Rheins und bei grösseren Vorhaben allenfalls auch die Rücklieger. Im Grundsatz war der Hochwasserschutz eine Angelegenheit der Rheintal-Gemeinden. Diese befestigten in der Regel ihre Ufer nur flussaufwärts und neben ihren Dörfern, um vor allem diese zu schützen. Flussabwärts unternahmen sie wenig oder nichts (KAISER, 2003). Das führte natürlich trotz allen Anstrengungen immer wieder zu Rückschlägen in Form von Überschwemmungen, Erosionen und Zerstörungen.

Die zunehmende Belastung der Wuhrpflichtigen und die endlosen Streitigkeiten führten auf der schweizerischen Seite schliesslich zum Eingreifen der eidgenössischen Tagsatzung. Den unmittelbaren Anlass dazu boten die katastrophalen Hochwasser von 1762 und 1764. Die Tagsatzung und die Zürcher Regierung beorderten den Zürcher Ingenieur-Hauptmann Hans Conrad Römer (1724–1779) vor Ort, wo dieser den Rheinlauf in Karten aufnahm (Abb. 1.3), die bestehenden Verbauungen beurteilte und Weiterungen vorschlug. Zu seinem Gutachten gehörten auch genaue Anweisungen für den Bau von Wuhren und Dämmen sowie ein Pflichtenheft für die von ihm als notwendig erachteten Wuhrmeister. Das begründete zwar noch keine Rheinkorrektion, aber zumindest eine gewisse «unité de doctrine», nach der sich das Wuhrwesen fortan ausrichtete.



Abb. 1.3. Schupfwuhren und Hinterdämme am Rhein bei Haag (Fliessrichtung von links nach rechts) aus einem Plan von H.C. Römer, 1700.

1.3.3 Zwei Schlüsselstellen

1817 machte ein grosses Hochwasser im Rheintal zwei Schlüsselstellen sichtbar: die Ebene bei Sargans und den Raum unterhalb der Illmündung. In der Ebene von Sargans liegt die Wasserscheide zwischen dem Rheintal und dem Gebiet des Walen- und Zürichsees nur wenige Meter über dem höchsten Rheinspiegel. Von den entsprechenden Sorgen wurde bereits im Kapitel «Hydrologie» berichtet (siehe auch VISCHER, 2003). Das Interesse der Wasserbauer konzentrierte sich aber auch auf den Raum unterhalb der Illmündung (siehe nächster Abschnitt). Schliesslich fasste der Kanton St. Gallen die ganze 60 km lange Rheinstrecke von der Tardisbrücke oberhalb von Ragaz bis zum Bodensee ins Auge und setzte sich mit den anderen Anliegerstaaten, das heisst mit Liechtenstein und Österreich, in Verbindung. Insbesondere schloss er 1837 mit Liechtenstein den «Vertrag … über die Uferbauten am Rhein längs der ganzen beidseitigen Gränze» ab. Schon zwei Jahre vorher hatte der kantonale Strassen- und Wasserbauinspektor Alois Negrelli (1799–1858) seinen «Normalplan» vorgelegt, der praktisch ein durchgehendes Doppelprofil zwischen Hochwasserdämmen vorsah. Den gleichen Bestrebungen widmete sich dann auch sein Nachfolger Friedrich Wilhelm Hartmann (1809–1874). Die Öffentlichkeit wurde aber erst durch eine Hochwasserserie ab 1846 aufgerüttelt (KAISER, 2003).

1853 begannen ernsthafte Planungsarbeiten. Im selben Jahr trat im Kanton St. Gallen das «Gesetz über eine durchgreifende Rheinkorrektion» in Kraft, wobei die Verantwortung für den Hochwasserschutz am Rhein von den Gemeinden an den Kanton überging. Ähnliche Kompetenzregelungen wurden auch in den andern Anliegerstaaten vorgenommen. Zudem wurden neue Kostenteiler festgelegt, so seitens der Schweiz erstmalig mit einer Beteiligung des Kantons St. Gallen und des Bundes. 1861 einigten sich die Uferstaaten auf so genannte Recesslinien, denen die neuen Hochwasserdämme folgen mussten (STUBER, 1949). Von der Tardisbrücke bis zur Illmündung sollte in der Regel ein einfaches Trapezprofil und von da bis Monstein (an der Grenze zwischen Au und St. Margrethen) ein Doppeltrapezprofil gewählt werden, wobei man das erste als Hochwuhr und das zweite als Doppellinien-System bezeichnete (Abb. 1.4).

1.3.4 Die Regulierung von Ragaz bis Monstein (so genannte St. Galler Korrektion)

Die Bauarbeiten begannen anfangs der 1860er Jahre. Hartmann, der verantwortliche St. Galler Oberingenieur, teilte seine Strecke in drei Sektionen ein, die je einem Sektionsingenieur unterstanden. Die Ausführenden waren ursprünglich Wuhrpflichtige sowie Ortsgenossen und später

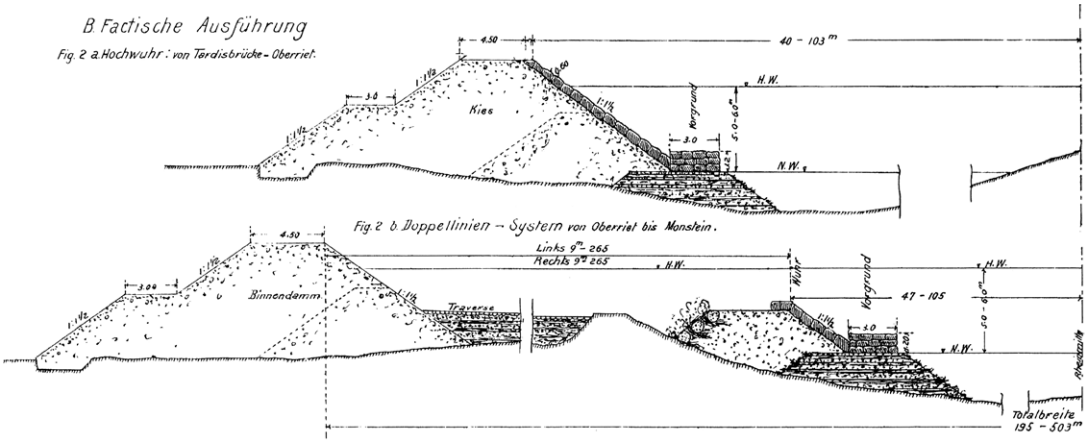


Abb. 1.4. Dammtypen für die St. Galler Rheinkorrektion, oben Hochwuhr, unten Doppellinien-System nach J. Wey, 1909.

zunehmend Bauakkordanten. Gearbeitet wurde von Hand. Nur allmählich wurde der Transport durch Rollbahnen erleichtert; die erste Baulokomotive fuhr ab 1874 (KAISER, 2003).

Beim einfachen Trapezprofil wurden die Hochwasserdämme aus Kies geschüttet und wasserseitig mit einem Steinbesatz gegen Erosion geschützt. Der Böschungsfuss wurde zusätzlich durch Steinlagen (Vorgrund) beschwert und ruhte im Niederwasserbereich auf einem Faschinenwerk. Die bald einsetzenden Auflandungen der Rheinsohle machten dann mehrere Dammerhöhungen erforderlich. Dort, wo landseitig alte Binnendämme lagen, wurden die von ihnen definierten Überschwemmungsflächen aufgehoben. Um diese intensiver kultivieren zu können, wurden sie teilweise aufgeschlämmt. Das bis zu mehreren Metern starke Ablagerungsgut stützte dann auch die neuen Hochwasserdämme landseitig. Nach WEY (1890) wurden im linken Hochwasserdamm zwischen Ragaz und Salez 5 Kolmationsschleusen eingebaut. Rechtsufrig wurde auf solche Massnahmen verzichtet.

Beim Doppeltrapezprofil wurden die Hochwasserdämme auf die gleiche Art aus Kies geschüttet, besassen aber ausser einer Grasnarbe keinen Erosionsschutz. Das Mittelgerinne wurde seitlich durch steinbesetzte Längswerke eingefasst, die etwas über das Vorland hinaufragten. Ihr wasserseitiger Fuss war ähnlich verstärkt und gegründet wie die Hochwasserdämme des einfachen Trapezprofils. Das Vorland wurde später bei Hochwasser folglich nur dann beansprucht, wenn das Wasser über die Längswerke stieg.

Die Koordination mit den rechtsufrigen Anliegerstaaten war bloss eine lockere, was zu Schwierigkeiten führte, wie beispielsweise zu einigen vermeidbaren Auflandungen im Rheinbett (VON SALIS, 1883). Auch schütteten die Liechtensteiner die Hochwasserdämme weniger hoch als die St. Galler (OSPELT, 1990), so dass sie schlechter geschützt waren. Dieser Unterschied wurde auch bei den späteren Dammerhöhungen nie ganz ausgeglichen und begünstigte schliesslich den einzigen grösseren Ausbruch des Rheins nach Abschluss der Regulierung, nämlich die katastrophale Überschwemmung Liechtensteins von 1927.

Hingegen wurden die jeweils laufenden Bauarbeiten durch mehrere ausbrechende Hochwasser behindert und verzögert. Das grösste war jenes des Jahres 1868, in welchem auch andere Gebiete unter verheerenden Überschwemmungen litten. Neben den Siedlungen und Kulturen wurde auch die 1858 erstellte Eisenbahnstrecke Rorschach–Chur betroffen. Besondere Sorgen bereiteten die schon erwähnten Sohlenhebungen im Rhein. Da und dort meldeten sich deshalb Zweifel an den Erfolgschancen. Einer der Sektionsingenieure empfahl 1873 in einem Bericht sogar, dem Rhein grosse Gebiete wieder zu überlassen und die dortigen Dörfer auf die Talflanken zu verlegen. Der St. Galler Oberingenieur Hartmann starb 1874 und wurde 1879 durch Jost Wey (1843–1908) ersetzt.

1.3.5 Binnenkanäle und Brücken

Zu den flankierenden Massnahmen gehörten der Bau der Binnenkanäle. Diese sollten insbesondere die Seitenbäche aufnehmen, so dass deren Mündungen keine gefährlichen Lücken mehr in den Hochwasserdämmen bildeten. Der linksseitige Werdenberger Binnenkanal wurde 1886 vollendet. Sein rechtsufriges Pendant war der liechtensteinische Binnenkanal. Zu erwähnen bleibt noch, dass es bis zur Rheinregulierung von der Tardisbrücke bis zum Bodensee keine Brücken gab, dafür je etwa ein Dutzend Fähren und Furten. Dann entstanden im Zuge der Bauarbeiten 10 Holzbrücken und eine Stahlbrücke. Die gesamte Rheinregulierung von Ragaz bis Monstein gelangte etwa 1890 zum Abschluss. Als eidgenössischer Inspektor wirkte von 1865 bis 1885 der bekannte Waadtländer Ingenieur William Fraisse (1803–1885).

1.3.6 Die Suche nach möglichen Laufverkürzungen

Von Ragaz bis Diepoldsau konnte der Lauf des Alpenrheins nicht wesentlich verkürzt werden. Dort liessen sich nur wenige Flusskrümmungen etwas ausgleichen. Erst unterhalb bei Diepoldsau und Gaissau und damit längs der Grenze

zwischen der Schweiz und Österreich ergab sich die Möglichkeit, zwei richtige Schlingen abzuschneiden. Zudem bestand als weitere Möglichkeit, einen direkten Weg von St. Margrethen aus zum Bodensee einzuschlagen. Aber waren solche Verkürzungen überhaupt nötig? Es scheint, dass man sie anfänglich bloss als lokale Massnahmen sah. Mit der Zeit entwickelten sie sich jedoch zu einem zwingenden Bestandteil der gesamten Alpenrhein-Regulierung.

Zunächst kümmerte man sich um die Verhältnisse bei Gaissau. Dort wurde die als Eselschwanz bezeichnete Schlinge immer grösser. Deshalb plante der Wiener Oberbaudirektor Franz Baraga (Lebensdaten unbekannt) schon 1792 zwei Begradigungsvarianten. Die eine sah einen reinen Schlingendurchstich vor, die andere eine Ableitung des Rheins vom Schlingenscheitel auf dem kürzesten Weg in den Bodensee. Die eidgenössische Tagsatzung lehnte beide ab – die zweite vor allem, weil diese Rheineck mit seinem Umschlaghafen für Flosse und Rheinschiffe vom Rhein getrennt und damit wohl stark beeinträchtigt hätte. 1821 brach aber der Rhein praktisch entlang dem Trassee dieser zweiten Variante aus, so dass seitens von Österreich deren Verwirklichung gefordert wurde. Dabei konnte man sich in technischer Hinsicht auf den versierten Tiroler Baudirektionsadjunkten Joseph Duile (1776–1863) stützen. Der Widerstand der Schweizer blieb aber bestehen.

Unter der Leitung von Duile wurde das Rheintal 1825/26 von der liechtensteinischen Grenze bis zum Bodensee in einer schönen «Grossen Rheinkarte» aufgenommen. Diese verwendete Duile, um 1826 ein Projekt für eine untere Rheinregulierung auszuarbeiten. Dazu gehörten Vorschläge zu kleineren Begradigungen und zu einem Diepoldsauer sowie einem Gaissauer Durchstich. Als Alternative wurde aber auch eine Ableitung gemäss Baraga vom Eselschwanz in den Bodensee aufgeführt (Götz, 1983; Pestalozzi, 1872; Rohner, 1992). Dieses Projekt wurde 1828 vom Zürcher Strassen- und Wasserbauinspektor Salomon Hegner (1789–1869) unter Weglassung der Durchstiche modifiziert. Die entsprechenden Korrektionslinien fanden die Zustimmung beider Uferstaaten und flossen auch in das im vorangehenden Abschnitt beschriebene Rheinregulierungsprojekt von Ragaz bis Monstein ein. Das Hin und Her um den Durchstich bei Gaissau oder die Ableitung beim Eselschwanz dauerte aber an (Kaiser, 2003).

1838 stellte Hartmann eine Ableitung des Rheins östlich von Fussach und damit den Fussacher Durchstich zur Diskussion. Als Reaktion auf das grosse Hochwasser von 1847 wurde diese Idee aufgegriffen und von beiden Uferstaaten durch zahlreiche Experten geprüft und dann entweder befürwortet oder abgelehnt. Auch entstanden noch einige andere Ableitungsvarianten (Abb. 1.5). Doch fühlten sich je nach Vorschlag bald die Österreicher, bald die Schweizer benachteiligt. Das änderte sich erst, als 1862 der österreichische Oberbaurat in Trient, Josef Meusburger (1822–1886), die Zweckmässigkeit des Fussacher Durchstichs bekräftigte und als Zusatzmassnahme den Diepoldsauer Durchstich empfahl. Da der eine auf österreichischem Boden zu liegen kam und der andere auf schweizerischem, ergab sich eine kompromissfähige «Opfersymmetrie». Von da an hiess die Losung bei den österreichischen Stellen jedenfalls: «Entweder beide Durchstiche oder keinen!» (Bergmeister, 1989; Bergmeister & Leipold-Schneider, 2000).

1.3.7 Der Staatsvertrag zwischen der Schweiz und Österreich von 1892

Die bilateralen Verhandlungen zwischen den beiden Anliegerstaaten zogen sich zunächst weiter hin, bis der Rhein erneut «mitredete». Das Rekordhochwasser von 1868, bei dem die Hochwasserdämme auf der Schweizer Seite an vier Stellen brachen, beschleunigte die Zustimmung der Schweizer. Und gleichsam auf den Wellen weiterer Ausbrüche schlossen Wien und Bern 1871 ein Präliminarabkommen ab, das beide Durchstiche vorsah. Auf Wunsch der Österreicher sollten diese unbedingt gleichzeitig verwirklicht werden, was technisch aber nicht sinnvoll war und deshalb zu langwierigen Disputen Anlass gab. 1888 und 1890 brach der Rhein dann auf der österreichischen Seite an

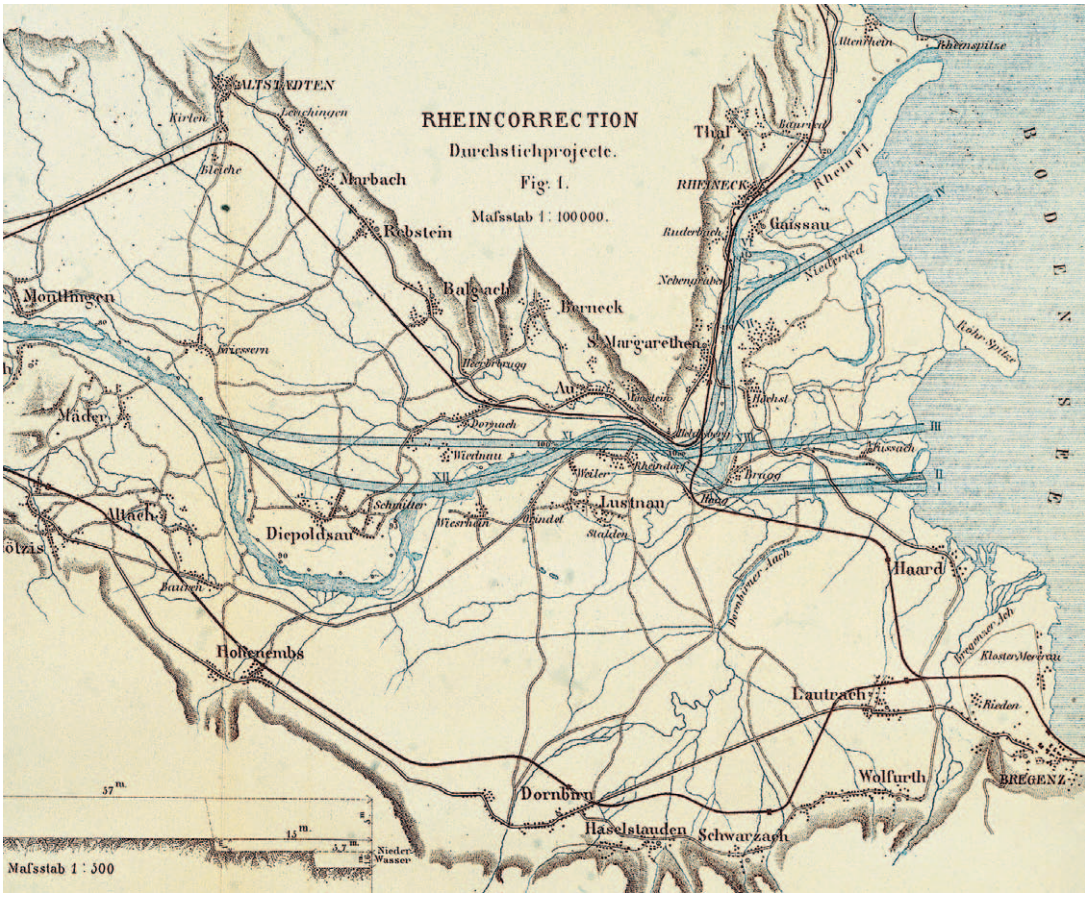


Abb. 1.5. Projekte für verschiedene Durchstiche im Unterlauf und Mündungsbereich des Rheins. Gemäss Staatsvertrag von 1892 wurden die Varianten XII (Diepoldsauer Durchstich) und II (Fussacher Durchstich) ausgeführt. Nach K. PESTALOZZI, 1872. (Norden ist rechts).

mehreren Stellen aus, was zum allseitigen Einlenken und zum Abschluss des Staatsvertrages von 1892 führte.

Bevor weiter auf diesen Vertrag eingegangen wird, soll noch auf zwei Entwicklungen hingewiesen werden. Erstens hatte die ab 1858 im Rheintal aufkommende Eisenbahn die dortige Rheinschifffahrt in wenigen Jahren überflüssig gemacht und auch den Niedergang der Flösserei eingeleitet. Auf diesen Flussverkehr brauchten die Pläne für die Durchstiche also nicht mehr Rücksicht zu nehmen – die Stilllegung des Umschlaghafens Rheineck wurde belanglos. Zweitens war die Rheinregulierung von Ragaz bis Monstein Mitte der 1870er Jahre bereits weitgehend beendet (REIFF, 1990) und zeigte mit aller Deutlichkeit, dass die neue Rheinsohle nicht auf der Sollkote verharrte. Die Sohle landete vielmehr auf und verminderte dadurch das Freibord. Darum wurde eine Erhöhung der Schleppkraft mittels einer Laufverkürzung im unteren Rheintal zwingend. Der Fussacher Durchstich brachte eine solche Verkürzung von 7 km und der Diepoldsauer Durchstich von 3 km – total also 10 km (PETER, 1955).

Der Staatsvertrag von 1892 zwischen dem österreichischen Kaiser und der Eidgenossenschaft wurde «zum Zwecke der Beseitigung der Überschwemmungsgefahr und der Versumpfung für die beiderseitigen Ufergebiete des Rheinstromes von der Illmündung stromabwärts bis zur Ausmündung desselben in den Bodensee» abgeschlossen. Er sah vor, folgende Werke auf gemeinsame Kosten auszuführen (KOENIG, 1992):

- Fussacher Durchstich
- Diepoldsauer Durchstich
- Normalisierung der Zwischenstrecke und der Strecke oberhalb
- Anpassung der Strassen, Bahnen (Brücken) usw.

Dabei sollte das früher schon für die Regulierung des Alpenrheins unterhalb der Illmündung vorgesehene Doppeltrapezprofil zur Anwendung gelangen. Die einzelnen Teile wurden dann auch ähnlich gestaltet, bis auf die Hochwasserdämme, die zumindest streckenweise gezont, das heisst mit einem Lehmkern und einem Stützkörper aus Kies oder Steinbruch-Schutt erstellt wurden.

1.3.8 Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee bis 1900

Die Bauarbeiten der «Internationalen Rheinregulierung», wie das Vorhaben fortan genannt wurde, begannen 1895 am Fussacher Durchstich. Sie standen unter der Leitung des österreichischen Rheinbauleiters Philipp Krapf (1854–1939) und beschäftigten über 1000 Arbeitskräfte. Zur Unterstützung der beträchtlichen Handarbeit wurden dampfbetriebene Baubahnen, Transportschiffe und Maschinen eingesetzt. Als schweizerischer Rheinbauleiter amtete Jost Wey. Weil das 5 km lange Trassee durch die damals noch in Fussach in den Bodensee mündende Dornbirner Ache zweigeteilt wurde, wählte Krapf entsprechend zwei Bausektionen. Nach WAIBEL (1992) bestand die untere Sektion «vornehmlich aus Schwemmsand (Laufletten) und wurde dazu noch durch den Seerückstau sowie durch das Wasser der Dornbirner Ache nachteilig beeinflusst». Der Erdaushub erfolgte mittels Schwimmbagger, und das Baggergut wurde im See verklappt oder mit Rollwagen an Land gebracht. Das in der oberen «Sektion anstehende Bodenmaterial war zum grössten Teil ein Gemisch von Torf und Lehm. Es wurde mit Trockenbaggern gewonnen, im Quer- und Längstransport zum Hochwasserdamm gefahren und dort zur Herstellung des Dammkerns wieder verwendet. Der Transport erfolgte bei geringen Entfernungen mit Schubkarren oder mit von Hand geschobenen Rollwagen (Muldenkipper), bei Längstransport auf einer 75-cm-Spur-Rollbahn im Lokomotivbetrieb.»

Insgesamt wurden rund 2 Millionen m^3 Material ausgehoben, 1,1 Millionen m^3 Dämme und Vorländer aufgeschüttet sowie 220 000 m^3 Blöcke eingebaut (KAISER, 2003). Die vor allem dem Erosionsschutz im Mittelgerinne dienenden Blöcke wurden in drei Steinbrüchen bei Hohenems gewonnen und mit einer Baubahn vor Ort gefahren (Näheres in HEER, 1992). Das für die Faschinenteppiche unter den Leitwerken benötigte Weiden- und Erlenholz im Ausmass von fast 60 000 m^3 musste mehrheitlich aus Bayern und Baden-Württemberg bezogen werden.

Die Fertigstellung und Inbetriebnahme des Fussacher Durchstichs – einschliesslich dreier Stahlbrücken – erfolgte im Mai 1900. Damit wurde die Rheinmündung um 8 km nach Osten verlegt. Zurück blieb bloss ein kleiner Altlauf, der so genannte Alte Rhein (Abb. 1.6). Die weiteren, im Staatsvertrag von 1892 vereinbarten gemeinsamen Arbeiten folgten im 20. Jahrhundert. Der Bau der begleitenden Binnenkanäle war linksufrig Sache der Schweiz und rechtsufrig Sache Österreichs. Linksufrig handelte es sich vor allem um den in den Alten Rhein ausmündenden Rheintaler Binnenkanal. Die gleiche Arbeitsteilung galt aber auch bei der Anpassung der Nebengewässer, wie beispielsweise



Abb. 1.6. Der seit der Eröffnung des Fussacher Durchstichs 1900 abgeschnittene alte Mündungsarm des Rheins, so genannter Alter Rhein, hat sich seither zu einer schönen Flusslandschaft entwickelt (Foto aus KALT, 1992).

rechtsufrig bei der bedeutenden Korrektion der Dornbirner Ache mit der Verlegung ihrer Mündung von Fussach nach Hard.

1.3.9 Der Diepoldsauer Durchstich und die weiteren Arbeiten im 20. Jahrhundert

Nach der Eröffnung des Fussacher Durchstichs stellten sich zunächst die erwünschten Verhältnisse ein. Das heisst, die Rheinstrecke flussaufwärts tiefte sich in den 1900er Jahren ein. Zunächst erfolgten dort deshalb nur Normalisierungsarbeiten, die im Wesentlichen aus Anpassungs- und Regulierungsarbeiten am Mittelgerinne bestanden. Gemäss dem Staatsvertrag von 1892 sollte weiter flussaufwärts nun noch der Diepoldsauer Durchstich gebaut werden. Angesichts der erwähnten Sohleneintiefungen sträubten sich die Vertreter der Schweiz anfänglich dagegen. Doch erfolgte 1908/09 der Baubeginn unter der Leitung des schweizerischen Rheinbauleiters Karl Böhi (1869–1945). Entgegen den Absichten dauerten die Bauarbeiten für den 5,5 km messenden Durchstich verhältnismässig lange. Als Ursache dafür werden unvorhersehbare Ereignisse, wie die Setzungsabläufe in den Torfstrecken, angegeben. Zudem wirkte sich der Erste Weltkrieg von 1914–1918 in einem Mangel an Arbeitskräften aus (WAIBEL, 1992). Erst im Frühjahr 1923 war die Projektverwirklichung genügend weit fortgeschritten, um den Rhein umzuleiten. An der Sprengung des Absperrdamms und der damit verbundenen Freigabe des Durchstichs am 18. April 1923 nahmen Tausende von Schaulustigen teil.

Nun galt es, auch an der flussaufwärts davon bis zur Illmündung gelegenen Strecke die erforderlichen Normalisierungsarbeiten durchzuführen. 1924 wurde zwischen Österreich und der Schweiz ein weiterer Staatsvertrag abgeschlossen, der neben einer Verschiebung der Bautermine auch die auf dem wachsenden Delta im Bodensee notwendigen Vorstreckungsarbeiten festschrieb (siehe nächster Abschnitt). Schliesslich konnten alle zwischen den beiden Staaten bisher vereinbarten Bauarbeiten 1934 beendet werden. Damit nahm die Rheinstrecke von der Illmündung bis zum Bodensee im Wesentlichen die heutige Gestalt an. Dasselbe galt seit etwa 1890 auch für die Rheinstrecke von Reichenau bis zur Illmündung. War die Alpenrheinkorrektion damit abgeschlossen?

Diese Frage kann bejaht werden, wenn man nur die Lage des Flusslaufs betrachtet. Sie muss aber verneint werden, wenn man an die laufend erforderlichen Unterhalts- und Anpassungsarbeiten denkt. Ein Wildfluss vom Ausmass des Alpenrheins bleibt ja mit oder ohne Korrektion ein dynamisches Gewässer (siehe Abschnitt über das Regime des Alpenrheins). Zwar wird im korrigierten Fluss seine Breite mit Dämmen fixiert. Dafür reagiert seine Sohlenlage umso empfindlicher auf den stets wechselnden Geschiebeanfall. Und genau das konnte man jetzt am Alpenrhein überall beobachten. Noch vor Beendigung der Bauarbeiten am Diepoldsauer Durchstich zeigten sich dort mächtige Geschiebeablagerungen (WAIBEL, 1992). Beim gewählten Doppelprofil füllte sich namentlich das Mittelgerinne. Wider Erwarten brachte also die Verkürzung des Flusslaufs von der Illmündung bis zum Bodensee von 35 auf 25 km keine Vertiefung oder zumindest Stabilisierung der Rheinsohle. Es drohte nun vielmehr eine Hebung und damit eine Verringerung der Abflusskapazität, beziehungsweise der Hochwassersicherheit. Der korrigierte Rhein war offensichtlich nicht in der Lage, das aus dem Einzugsgebiet anfallende Geschiebe bis in den Bodensee weiter zu transportieren.

Anfänglich begegnete man den Auflandungen mit dauernden Baggerungen. Doch betrachtete man das nicht als nachhaltige Lösung – umso mehr als sinnvolle Deponien für das Baggergut fehlten. Man strebte bald bauliche Eingriffe in Form einer Anpassung des Abflussquerschnitts an. Bei einem Doppelprofil gilt grundsätzlich Folgendes:

- Der Gesamtquerschnitt muss das Bemessungshochwasser bei einem genügenden Freibord aufnehmen; im Fall des Alpenrheins unterhalb der Illmündung ging es um die Ableitung von 3100 m^3/s bei 1 m Freibord bis zur Dammkrone.

- Das Mittelgerinne muss bei Geschiebeanfall die Geschiebeweiterführung gewährleisten – und das bis zum Bemessungshochwasser.

Darum bezog sich die geplante Anpassung in erster Linie auf das Mittelgerinne, was zwei Fragen aufwarf: Wie gross war damals die Geschiebeführung, das heisst der Geschiebeanfall und -durchgang in m^3/s? Wie musste das Mittelgerinne gestaltet sein, damit es diese Geschiebeführung weitergab und so weder Sohlenhebungen noch -eintiefungen erfuhr?

Diese Fragen liessen sich vor 1930 nicht beantworten. Die Wissenschaft des Geschiebetransports war noch nicht so weit. Folglich zog die Internationale Rheinbauleitung den ETH-Professor Eugen Meyer-Peter (1883–1963) bei, der einerseits Formeln für den Geschiebetransport entwickelte und andererseits in seiner 1930 eröffneten Versuchsanstalt für Wasserbau in Zürich hydraulische Modellversuche durchführte (Abb. 1.7). Die erste so genannte Geschiebetriebformel veröffentlichte er 1934 zusammen mit seinen Mitarbeitern Henry Favre (1901–1966) und Hans-Albert Einstein (1904–1973). Sie galt zunächst für eine einheitliche Korngrösse. Später trug er noch einer naturnahen Kornmischung Rechnung und veröffentlichte 1948 mit seinem Mitarbeiter Robert Müller (1908–1987) jene Geschiebetriebformel, die ihn weltbekannt machte. Diese Zusammenarbeit zwischen den Rheinbauleitern und den Forschern in Zürich, die sich auch in Feldversuchen äusserte, ist ein herausragendes Beispiel für eine fruchtbare Interaktion von Praxis und Wissenschaft.

Das Ergebnis aller Anstrengungen mündete nach einem umfangreichen Variantenstudium in das so genannte Umbauprojekt IIIb aus, das eine sukzessive Verengung des Mittelgerinnes vom Diepoldsauer Durchstich flussabwärts sowie andere Flussbauarbeiten vorsah. Der Baubeginn erfolgte 1944, doch machte der Umfang des Projekts eine neue internationale Vereinbarung in Form des Staatsvertrags von 1954 erforderlich. Dessen Wortlaut hielt die technischen Ziele nochmals klar fest: Gewährleistung des Bemessungsabflusses von 3100 m^3/s und des



Abb. 1.7. Modelle des Mittelgerinnes des Rheins in der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) der ETH Zürich, 1938 (Foto VAW).

Geschiebedurchgangs. Das wurde in der Folge durch eine Erhöhung, Verstärkung und Zurücksetzung der Dämme sowie einer Ausweitung des Lichtraumprofils unter den Brücken und einer Umgestaltung des Mittelgerinnes erreicht. Die entsprechenden Bauarbeiten dauerten bis etwa 1970.

Abschliessend muss hier betont werden, dass in diesem Abschnitt nur die Arbeiten der Internationalen Rheinregulierung beschrieben wurden. Gleichzeitig liefen seinerzeit auch bedeutende Arbeiten oberhalb der Illmündung. Ein Hinweis auf die dortige Dynamik des Rheins und die damit verbundenen Probleme vermittelt der Abschnitt über «dramatische Sohlenveränderungen» im Kapitel Hydrologie.

1.3.10 Die Rheinvorstreckung im Bodensee

Wenn es gelingt, einen Fluss wie den Alpenrhein bezüglich seines Bettes – das heisst seiner Breite und seiner Höhenlage – im Gleichgewicht zu halten, so verlagert sich seine Dynamik

zwangsläufig an die Mündung. Oder noch einschlägiger ausgedrückt: Wenn der Alpenrhein auf seiner immerhin rund 90 km langen Strecke keine Feststoffe ablagert und ihm auch keine entnommen werden, so gelangen diese vollumfänglich an die Mündung, wo sie sich manifestieren. Dort formen das Geschiebe und der gröbere Schweb ein wachsendes Delta; dort setzt sich der feinere Schweb weiträumig und insbesondere in strömungsarmen Buchten ab; dort breitet sich das anfallende Geschwemmsel aus! An sich könnte man dieser Dynamik den Lauf lassen, wenn sie für die Anwohner keine unliebsamen Folgen hätte. Solche Folgen treten aber bei der Rheinmündung auf:

- Der immer länger werdende Alpenrhein verliert an Gefälle, was zumindest in seinem unteren Teil zu Sohlenhebungen durch Geschiebeablagerungen und damit zu einer Verminderung der Hochwassersicherheit führen kann.
- Die mündungsnahen Buchten werden zunehmend vom Delta überdeckt und die etwas entfernteren können allmählich infolge von absinkenden Schwebstoffen verlanden.

Dabei kommt der zweiten Folge insofern ein besonderes Gewicht zu, als sie für die Betroffenen seit 1900 – also seit der Vollendung des Fussacher Durchstichs – neu ist, das heisst mensch- und nicht naturgemacht.

Es wurde schon gesagt, dass sich die für das Delta zuständige Internationale Rheinregulierung im Staatsvertrag von 1924 auf eine bestimmte Deltagestaltung verpflichtete. Die Veranlassung dazu gaben vor allem die Auflandungen gegen Hard. Man versuchte in der Folge, den mündenden Rhein nicht bald dahin, bald dorthin oder mehrarmig ausströmen zu lassen, sondern ihn durch einen mit Leitdämmen eingefassten Lauf über das Delta zu den grossen Seetiefen zu lenken. In diesen Seetiefen würde sich das Deltawachstum zwangsläufig verlangsamen. Ein solcher Lauf wird in der Fachsprache als Vorstreckung bezeichnet.

Es dauerte aber einige Jahrzehnte, bis die Vorstreckung die grossen Seetiefen erreichte – ja erreichen konnte. Deshalb musste man nach dem Zweiten Weltkrieg von 1939–1945 feststellen, dass sowohl die Fussacher wie die Harder Bucht von Rheinsedimenten stark verfüllt waren (Waibel, 1992). Dementsprechend arbeitete die Internationale Rheinregulierung neue Varianten aus und wurde im Staatsvertrag von 1954 auf die Verwirklichung einer – wie es heisst – «Vorstreckung der Regulierungswerke des Fussacher Durchstiches auf dem Schuttkegel im Bodensee» verpflichtet. Die Varianten zeichneten sich alle dadurch aus, dass sie eine Ablenkung der Vorstreckung von der bisherigen Nordrichtung nach Nordwesten anstrebten. Damit sollte das Delta nicht mehr quer zum See und gleichsam auf Lindau zielend weiter wachsen, sondern längs dem See. Entsprechend hätte die Harder Bucht weitgehend von weiteren Verlandungen verschont werden können; die Fussacher Bucht gedachte man mit einem Schutzdamm vor der Deltabildung abzuschirmen. Die Variantenwahl erfolgte in Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich sowie mit dem früheren Leiter derselben, Professor Gerold Schnitter (1900–1987), und führte zum Vorstreckungsprojekt 1972, das zur Ausführung gelangte und später nach Massgabe neuer Einsichten mehrmals leicht geändert wurde. Es liegt in der Natur der Sache, dass diese Arbeiten heute noch in Gang sind.

1.3.11 Naturierungsbestrebungen

Im Wort Korrektion steckt das lateinische «rectus», das unter anderem gerade, in gerader Richtung und richtig bedeutet. Eine ähnliche Interpretation lässt sich für das Wort Regelung oder Regulierung anführen. Damit ist auch klargestellt, was die Flusskorrektionen oder Flussregulierungen ursprünglich anstrebten: eine Begradigung der Flüsse! Damit wollte man die Abflussverhältnisse so verbessern, dass die Anwohner und deren Lebensgrundlagen fortan weder Hochwassern noch Versumpfungen ausgesetzt werden. Und wenn das gelang, so betrachtete man die Begradigung als Erfolg. Dies war fast uneingeschränkt im 19. Jahrhundert der Fall, wo die hiesige Gesellschaft ohnehin daran war, eine wohlgeordnete Kulturlandschaft auf-

zubauen, in der auch Felder, Strassen und Waldränder geometrische Formen annahmen.

Die gleiche Auffassung einer Kulturlandschaft hielt sich weit bis ins 20. Jahrhundert hinein. Ja, auch die heutige Gesellschaft ist sich weitgehend darin einig, dass es eigentlich diese Kulturlandschaft ist, die es zu pflegen und zu erhalten gilt. Aber was ist eine Kulturlandschaft? Ist das eine Landschaft, die nur vom Menschen genutzt wird – also eine ausschliesslich nützliche Landschaft? Oder gibt es darin noch Gebiete, die ungenutzt bleiben, etwa als Denkmal unberührter Natur oder als Refugium für darauf angewiesene Tiere und Pflanzen? Eine allseits anerkannte Definition der Landschaft gibt es nicht. Doch besteht heute ein Konsens darüber, dass die Kulturlandschaft möglichst naturnah gehalten und von «Oasen» einer Naturlandschaft durchsetzt sein soll.

In diesem Sinn passten die Instanzen des Wasserbaus um 1980 ihre Ziele an. Seither gilt, dass bauliche Hochwasserschutzmassnahmen von Naturierungsmassnahmen begleitet werden. Und bei den Letzteren geht es um die Schaffung von Lebensraum für jene Tiere und Pflanzen, die im betroffenen Gewässer oder an dessen Ufern leben. Es geht aber auch um die Erreichung einer gewissen Ästhetik der Gewässerlandschaft. In manchen Fällen können die Naturierungsmassnahmen sogar für sich – also nicht bloss als Begleitung anderweitig ausgerichteter Flussbauten oder Wildbachverbauungen – ergriffen werden.

Am Alpenrhein suchen die Anliegerstaaten diesbezüglich nach einem gemeinsamen Entwicklungskonzept. Als Plattform dient die «Internationale Regierungskommission Alpenrhein» (IRKA), die aus Vertretern des Landes Vorarlberg, des Fürstentums Liechtenstein und der Kantone St. Gallen und Graubünden besteht. Zurzeit sind unter ihrer Leitung mehrere Studien- und Projektgruppen an der Arbeit. Was sind die Hauptprobleme? Es gibt solche politischer, rechtlicher, finanzieller und technischer Art. Augenfällig ist der Umstand, dass der Alpenrhein samt seinen Dämmen vielerorts gleichsam in einem Korsett von angrenzenden Verkehrswegen und Gebäuden steckt, so dass es schwierig ist, dort den notwendigen Raum für Änderungen am Flusslauf zu finden. Aber man hat doch auch schon einige Vorbilder, wie man an anderen Flüssen unter ähnlichen Voraussetzungen vorgegangen ist.

Vorbilder für Strecken, die nicht oder nur wenig korsettiert sind, bietet der Alpenrhein bereits selber. 1994–1996 wurde nämlich am Alpenrhein bei Felsberg eine Aufweitung des Flussbetts realisiert. Das war hydraulisch und geschiebetechnisch machbar, weil sich der Fluss dort tendenziell eintieft. Denn eine Aufweitung wirkt einer solchen Erosion grundsätzlich entgegen. Ein weiteres Beispiel ist an der Mündung der Ill in den Alpenrhein zu sehen. Die 1999 durch ein Illhochwasser erfolgte Zerstörung einer 6 m hohen Blockrampe wurde dort zum Anlass für eine Umgestaltung genommen. Die Mündung wurde dabei abgekrümmt und mit zwei kleineren Blockrampen geschützt. Damit die neue Mündungsstrecke für Fische durchgängig ist, wurde gleichsam als zweiter Mündungsarm der Ill ein kleines, rampenloses Umgehungsgerinne geschaffen (KALT, 2004).

Noch grössere Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich an der Rheinmündung in den Bodensee. Sie werden nach Massgabe der anfallenden Feststoffe schon seit den 1990er Jahren laufend ausgenützt, das heisst, dass die Rheinvorstreckung sowohl auf die flussbaulichen Ziele und die Erholungsbedürfnisse des Menschen als auch auf die Erhaltung und Förderung einer artenreichen und schönen Deltalandschaft ausgerichtet ist. Die Rheinmündung liegt ja in einem Naturschutzgebiet von europäischer Bedeutung: Dort gedeihen Pionierpflanzen, dort gibt es unberührte Brutplätze für Wasservögel, dort halten zahlreiche Zugvögel Rast (KALT, 2004). Abb. 1.8 zeigt ein aktuelles Luftbild des Gebietes. Es lohnt sich, das Rheindelta unter kundiger Führung zu besuchen, einmal der Fauna und Flora wegen, dann aber auch wegen der einzigartigen Landschaft. «Augenzwinkernd» sei hier noch angeführt, dass im hohen Norden Europas an Mitternachtssonnen-Begeisterte Ansichtskarten verkauft werden, die eigentlich den Sonnenuntergang vom Rheindelta aus zeigen.



Abb. 1.8. Luftbild der Rheinvorstreckung im Mai 2004 (aus DWA – Landesverband Bayern, Mitglieder-Rundbrief 1/2005).

2 DIE NUTZUNG DER WASSERKRAFT

Die Wasserkraftnutzung ist im hier betrachteten Rheingebiet seit 2000 Jahren heimisch. Das wird anschliessend in einem kurzen Streifzug durch die Geschichte erläutert. Dann folgt eine zusammenfassende Darstellung der heutigen Wasserkraftwerke.

2.1 Von der Wassermühle zum allgemeinen Antrieb durch Wasserräder

Welche Hilfen standen dem Menschen vor dem heutigen technischen Zeitalter zur Verfügung, um schwere Arbeiten zu leisten? Es waren einerseits «belebte Motoren» – also von menschlicher oder tierischer Muskelkraft angetriebene Geräte vom Hebel zur Kurbel bis zum Hand- oder Tretrad und Göpel (Rundlauf). Andererseits bestand die Möglichkeit, Wasser- oder Windkraft für den Antrieb solcher Geräte zu nutzen, sofern die entsprechenden Ressourcen vorhanden waren. Letzteres traf im hier betrachteten Rheingebiet nur für die Wasserkraft zu.

Es wird allgemein angenommen, dass die Römer die Wasserkraftnutzung in unseren Breiten einführten. Man hat tatsächlich Beispiele von römischen Wassermühlen aus den ersten Jahrhunderten n. Chr. gefunden, das heisst ausgegraben (GÄHWILER und SPECK, 1991). Denkbar wäre ja auch, dass die Kelten noch vorher solche Mühlen erstellt hätten, wurden sie doch gerade von den Römern als geschickte Wagenbauer und damit gleichsam als Mechaniker bezeichnet. Doch fehlen entsprechende Beweise. Nun waren die Römer bezüglich technischen Kenntnissen und Organisationstalent für die Erstellung von nützlichen Geräten und Bauten prädestiniert. Ihre Macht und Leistungsfähigkeit beruhten aber auch auf einer sehr ausgedehnten Sklavenhaltung. Und sie setzten ihre Sklaven bei Bedarf rücksichtslos für «belebte Motoren» ein – so insbesondere beim Antrieb von Mühlsteinen. Deshalb erfuhren die römischen Wassermühlen keine sehr grosse Verbreitung.

Die römische Mühlebautechnik ging nach dem Untergang des weströmischen Reiches im Jahr 476 vielerorts verloren. Als eine Art Kulturkorridor ins Mittelalter hinein wirkten aber die damals aufkommenden Klöster. Den Benediktinern wurde sogar durch ihren Ordensgründer das Betreiben einer Mühle vorgeschrieben, um sie von weltlichen Dienstleistern unabhängig zu machen. Andere Orden folgten ihnen diesbezüglich (VISCHER, 2004). Im germanischen Einflussbereich verschwand die Sklavenhaltung weitgehend. Zwar gab es dafür Leibeigene, die aber gewisse Rechte besassen und von ihren geistlichen und weltlichen Herren nicht beliebig für «belebte Motoren» bemüht werden konnten.

Ein erster Aufschwung des Wassermühlenbaus setzte im 8. und 9. Jahrhundert unter den Franken ein. Aus dieser Zeit stammen in unserem Gebiet denn auch die ersten schriftlichen Erwähnungen von Mühlen. Einen zweiten und noch viel bedeutenderen Aufschwung brachte das 11. und 12. Jahrhundert, weshalb diese Zeit etwa als «erste industrielle Revolution» bezeichnet wird. Nun wurden nicht mehr vorwiegend natürliche Gewässer genutzt, sondern zunehmend auch künstliche, das heisst Mühlekanäle

mit Mühleteichen. So konnte man sich den Gefahren von Hochwassern und Eisgängen besser entziehen. Eine historische Arbeit in einem englischen Gebiet zeigt, dass es dort damals auf 250 Einwohner eine Mühle gab. Im Raum des Alpenrheins und des Bodensees dürften es zufolge der andern landwirtschaftlichen Gegebenheiten deutlich weniger Mühlen gewesen sein (SCHNITTER, 1992). Sie standen in den Städten oder in eigentlichen Mühleweilern oder dann allein abseits der Siedlungen.

Bis zur «ersten industriellen Revolution» handelte es sich bei den Mühlen fast ausschliesslich um Getreidemühlen. Das Wort Mühle hängt deswegen mit dem Wort Mahlen zusammen. Von da an benutzte man aber das Wasserrad auch ausserhalb des Müllereigewerbes. Denn mit diesem Rad erzeugte man neben der Drehbewegung nun noch Auf- und Ab- sowie Hin- und Herbewegungen. Dementsprechend traten neben die Getreidemühlen andere Mühlen für das Dreschen, das Zermalmen von Malz zum Bierbrauen, das Klopfen von Hanf, das Walken von Tüchern, die Zerkleinerung von Rinde und anderer Materialien zur Herstellung von Farbe oder Gerblauge, das Sägen von Holz und Stein, das Zerstampfen von Erzen, den Antrieb von Blasebälgen in Erz- und Glashütten, das Schmieden von Eisen usw. Aber auch die Drehbewegung diente nicht mehr bloss dem Umlauf der Mühlesteine, sondern dem Bohren, Schleifen, Drechseln und Pressen mittels Kollergängen usw.

Das Wasserrad in seinen verschiedensten Formen wurde bald zum Universalantrieb des Gewerbes (Abb. 2.1). Diese Entwicklung dauerte über das Ende des Mittelalters hinaus bis weit in die Neuzeit. Auf eine Aufzählung von Beispielen im betrachteten Gebiet soll hier aber verzichtet werden. Allein im Prättigau könnte man sich dabei schon verweilen (SIMMEN, 1993). Hingegen sei noch vermerkt, dass es ab dem 15. Jahrhundert ausser den an Land stehenden Anlagen noch schwimmende, in Form von Schiffsmühlen gab. Vermutlich kamen sie hauptsächlich auf der unteren Strecke des Alpenrheins vor. Jedenfalls lassen sich zwischen



Abb. 2.1. Mulin Schnaus bei Ilanz (historisches Objekt). Wasserrad aus Holz mit Blechschaufeln als Antrieb für eine mechanische Werkstätte mittels Seiltransmission (Foto Ueli Giger, Schnaus).

Ruggell und Gaissau 20 einstige Standplätze lokalisieren (BURMEISTER, 1992). Aber auch im Seerhein in Konstanz soll es anfangs des 15. Jahrhunderts eine Schiffsmühle gegeben haben (GRIM, 1995).

2.2 Vom Direktantrieb zur Stromerzeugung

Die Wasserräder waren mit den Maschinen, die sie antrieben, mechanisch verbunden. Sie gaben ihre Kraft also direkt an den zugehörigen Gewerbebetrieb ab. Oder noch besser gesagt: Sie waren Bestandteil dieses Betriebs. Deshalb musste sich das auf Antriebskraft angewiesene Gewerbe also an einem Bach, Fluss oder Kanal niederlassen. Die Verfügbarkeit von Wasserkraft war einer der wichtigsten Standortfaktoren. Freilich war die Kraft der Wasserräder begrenzt, so dass auch der Umfang der Gewerbebetriebe begrenzt blieb.

Das änderte sich im 19. Jahrhundert, als die Turbinen aufkamen. Sie vermochten gegenüber den Wasserrädern mehr Wasser und höhere Drü-

cke bei meist besserem Wirkungsgrad zu verarbeiten. Das ermöglichte eine Kraftversorgung für grössere Gewerbebetriebe und schliesslich für Fabriken. Deshalb wurden vielerorts die Wasserräder durch Turbinen ersetzt, was einen Umbau der «Mühlen» erforderte. Andernorts erstellte man neue kleine Wasserkraftwerke – eben Werke, die Kraft liefern –, die der Turbinentechnik besser angepasst waren. Aber auch die Turbinen trieben die Maschinen mechanisch an. Das heisst, die Turbinenhäuser waren ebenfalls Bestandteil eines Gewerbebetriebs oder einer Fabrik. Doch war diese Verbindung nicht immer bequem, stand doch das Turbinenhaus oft in einem Tobel, wo sich die Fabrik nur schlecht hineinzwängen liess.

Man ersann deshalb Kraftübertragungen, um die Fabrik etwas abseits des Turbinenhauses – also zum Beispiel auf der Schulter eines Tobels – errichten zu können. Das hätte man schon im Zeitalter der Wasserräder machen können, doch waren diese meist zu schwach, um grössere Übertragungsverluste zu überwinden (Abb. 2.1). Bei den Turbinen gab es diesbezüglich mehr Möglichkeiten. Nach der Erfindung des Drahtseils um 1840 entwickelte man Seiltransmissionen («transmissions télédynamiques», wie die Welschschweizer sagen). Mit ihnen liess sich die Turbinenkraft über mehrere hundert Meter «weiterreichen». Oder man trieb mit den Turbinen direkt Wasserpumpen oder Kompressoren an und leitete die Energie durch Rohre in Form von Druckwasser oder Druckluft weiter. Auf diese Weise liessen sich Distanzen von einigen Kilometern überwinden. Der Konsument musste das Druckwasser dann durch Hausturbinen und andere Wassermotoren in mechanische Kraft zurückverwandeln oder die Druckluft mit entsprechend andern Wandlern.

Im 19. Jahrhundert kam aber neben der Wasserturbine ein Konkurrenzantrieb auf: die Dampfmaschine! Sie besass den Vorteil, nicht ortsgebunden zu sein. Somit liess sie sich dort einsetzen, wo man Kraft brauchte – sogar auf Fahrzeugen, sprich Lokomobilen und Lokomotiven. Ihr Nachteil war, dass ihr Rohstoff, nämlich Brennholz und Kohle, nicht gratis anfiel. Dennoch hätte die Dampfmaschine die Wasserturbine wohl längerfristig weitgehend verdrängt, wenn nicht Ende des 19. Jahrhunderts ein idealer Energieträger verfügbar geworden wäre: der Strom! Mit seiner Hilfe konnte die Energie jeder Kraftmaschine und damit auch der Wasserturbine weit herum verteilt werden – ja, über Fahrdrähte oder Stromschienen selbst an Fahrzeuge. Die Folge war, dass ab etwa 1900 alle Kraftwerke und damit auch die Wasserkraftwerke sukzessive zu Stromerzeugern umgebaut oder als solche neu gebaut wurden. Von da an versorgten die Wasserkraftwerke bald nicht mehr ein benachbartes Gewerbe oder eine Industrie im Direktantrieb mit Kraft, sondern produzierten Strom, der in ein Übertragungsnetz eingespeist wurde. Heute ist die Bezeichnung Wasserkraftwerk deshalb ein Synonym für eine Stromfabrik mit Wasserturbinen.

2.3 Das Beispiel Schaffhausen

Es ist bekannt, dass hinter der Industrialisierung des hier betrachteten Rheingebiets die eben geschilderte Möglichkeit und Entwicklung der Wasserkraftnutzung steht. Das kann man beispielsweise bei den vielen Textilbetrieben sehen, die diese Industrialisierung einleiteten und lange Zeit trugen. Darauf sei jedoch nicht eingegangen, sondern auf die Verhältnisse in Schaffhausen.

Längs den Stromschnellen in Schaffhausen, den so genannten Lächen, waren die Bedingungen für eine Wasserkraftnutzung in Stadtnähe verhältnismässig günstig. Sicher gab es dort schon im Mittelalter einige am Ufer angeordnete Mühlen. Für den Beginn der Neuzeit zeigt ein Prospekt von 1644 einen langen und zwei kurze Uferkanäle mit insgesamt 18 Wasserrädern. Anfangs des 19. Jahrhunderts, das heisst 1831 und 1850/51, erstellten dort Industrielle zwei in Ufernähe stehende Kleinkraftwerke. Und 1864 bis 1866 wurde fast der ganze Bereich der Lächen vom ersten eigentlichen Hochrheinkraftwerk in Beschlag genommen. Wegen seinem auffälligen Damm und als Hommage an den Initianten Heinrich Moser (1805–1874) bezeichnete man diese Anlage als Moserdamm.

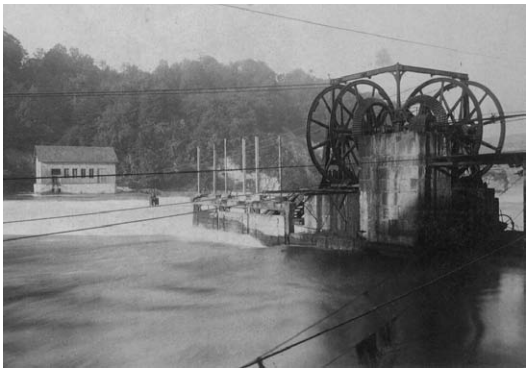


Abb. 2.2. Moserdamm in Schaffhausen, Inbetriebnahme 1866; links das Maschinenhaus, Mitte der Damm und das Wehr, rechts das Getriebe für die Richtungsänderung der Seiltransmission (Foto Elektrizitätswerk Stadt Schaffhausen).

Das Kraftwerk Moserdamm bestand aus vier Elementen: einem den ganzen Rhein querenden Damm, einem am linken Ufer stehenden Maschinenhaus, einem im felsigen Rheinbett ausgesprengten gedeckten Ableitungskanal und einer fast 500 m langen Seiltransmission. Letztere war nötig, um die von zwei Turbinen erzeugte Kraft zu den am rechten Ufer entstehenden Fabriken zu übertragen (Abb. 2.2). Eine dritte Turbine gab ihre Kraft mittels einer 120 m langen Torsionswelle an eine linksufrige Fabrik ab. Das Stromzeitalter begann dann 1882, als im Maschinenhaus eine kleine Dynamomaschine installiert wurde. Da der Energiebedarf weiter anstieg, ergänzte man die Anlage 1890/91 durch ein zweites Maschinenhaus mit 5 Turbinen. Zwei Turbinen dienten der elektrischen Kraftübertragung durch Gleichstrom, drei trieben neue Seiltransmissionen an. Diese imposanten Transmissionen wurden erst 1900 nach der vollständigen Elektrifizierung beider Maschinenhäuser abgebrochen (VISCHER, 2000).

An der Stelle des einstigen Moserdamms steht heute das 1960–1963 gebaute moderne Niederdruckkraftwerk Schaffhausen mit zwei grossen Kaplanturbinen von 5,9 m Durchmesser.

2.4 Der heutige Kraftwerkspark und seine Einflüsse

Es wurde bereits betont, dass die ersten Kraftwerke zunächst nur einem benachbarten Betrieb oder einer nahen Siedlung dienten. In der Pionierzeit der Elektrifizierung wurde ihr Strom dort ausser in Kraft auch in Licht umgewandelt. Dementsprechend trugen sie häufig den Namen Licht- und Kraftwerke. Sie arbeiteten im so genannten Inselbetrieb, das heisst ohne Verbindung untereinander.

Das änderte sich mit dem Bau der Übertragungsnetze und der langen Hochspannungsleitungen. Damit konnten mehrere Kraftwerke zusammenarbeiten und viele, selbst weit abgelegene Nutzer versorgen. Dieser so genannte Verbundbetrieb setzte um 1910 ein. Wie schon angedeutet, ermöglichte er eine örtliche Trennung der Kraftwerke als Stromfabriken von den Stromkonsumenten. Das machte Regionen mit reichlichem Wasserkraftpotential für den Bau von grossen Wasserkraftwerken attraktiv. So wie man eben in anderen Gebieten Kohle für die Dampfmaschinen und Heizungen schürfte, so gewann man hier nun die «weisse Kohle», das heisst den Strom.

Zu einer solchen Region der «weissen Kohle» wurde auch der alpine Raum des hier betrachteten Rheingebiets. Dort wurden deshalb – zuerst zögerlich, dann immer umfassender – grosse Wasserkraftwerke, ja ganze Systeme von Wasserkraftanlagen gebaut. Die Initianten und Träger waren zum grössten Teil die Energieversorgungsunternehmen der bedeutenden Städte und der Wirtschaftsregionen nördlich der Alpen bis ins deutsche Rheinland hinunter. Der Aufschwung dauerte etwa von 1910 bis 1945 (Abb. 2.3). Dann setzte nach dem Zweiten Weltkrieg bis anfangs der 1970er Jahre eine eigentliche Blütezeit des Wasserkraftwerkbaus ein.

Eine weitere wichtige Gewinnungsstätte für die «weisse Kohle» war der Hochrhein, wo nach den kleinen Wasserkraftwerken am Rheinfall und dem Kraftwerk Moserdamm in Schaffhausen 10 grosse Wasserkraftwerke unterhalb des Rheinfalls erstellt wurden. Das erste, Rheinfelden, ging 1898 in Betrieb, das letzte, Säckingen, 1966. Weil diese Niederdruckanlagen aber am Rand oder ausserhalb des betrachteten Rheingebiets liegen, wird hier bloss auf die Verhältnisse im alpinen Raum eingegangen.

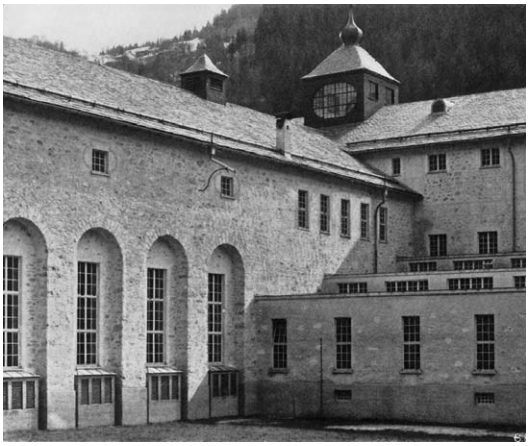


Abb. 2.3. Kraftwerkzentrale Küblis, Inbetriebnahme 1922. Teilansicht aus Norden (Fotoarchiv Rätiaenergie, Küblis).

Für die Alpenkraftwerke gab es eine Bauweise, die international etwa als die «alpine» bezeichnet wird. Es handelt sich um Kraftwerke, die eine grosse Fallhöhe ausnützen, das heisst um Hochdruckanlagen. Von der Fassung des Triebwassers an einem Wildbach führt ein Druckstollen durch die Talflanke oder zu einem Nachbartal und endet im Wasserschloss. Dieses gleicht die Druckschwankungen aus, die sich bei raschen Produktionsänderungen ergeben. Vom Wasserschloss wird das Triebwasser über eine offen geführte Druckleitung oder in einem Druckschacht hinunter zum Maschinenhaus geleitet. Dort beaufschlagt es die Turbinen – bei sehr hohen Drücken sind es Peltonturbinen und bei mittleren Drücken Francisturbinen – und wird dann an den nächsten Wildbach oder an die nächste Hochdruckanlage abgegeben. Diese Turbinen sind direkt mit Generatoren gekuppelt, deren Strom in Mittelspannung anfällt und für den Abtransport ins Unterland auf Hochspannung transformiert wird. Denn bei Hochspannung sind die Übertragungsverluste in den Hochspannungsleitungen am kleinsten.

In der Regel folgen sich mehrere solche Hochdruckanlagen, die man deshalb als Kraftwerkstufen bezeichnet. Auch diese Mehrstufigkeit ist für die alpine Bauweise typisch. Die oberste Stufe weist in der Regel anstelle einer Bachfassung einen Stausee auf. Dieser gleicht den unregelmässigen Wasseranfall aus. Wenn im Winter im Einzugsgebiet «Stein und Bein» gefroren ist, ist dieser Wasseranfall naturgemäss klein. Im Sommer steigt er dann infolge der Schnee- und Eisschmelze sowie der Regenfälle auf ein Mehrfaches an. Der Stausee dient nun als Speicher, der einen Teil der reichlichen Sommerzuflüsse zurückhält, um die spärlichen Winterzuflüsse aufzubessern. Deshalb wird er Saisonspeicher genannt. Im Unterschied dazu gibt es noch kleinere Becken, die auf einen Ausgleich des Triebwasserbedarfs – etwa zwischen Tag und Nacht oder auch in kleineren Perioden – ausgerichtet sind und als Ausgleichsbecken bezeichnet werden. Sie sind nicht bloss am Kopf der obersten Stufen – dann gleichsam als Ministauseen – zu finden, sondern auch zwischen den Stufen.

Zu den bekannten mehrstufigen Hochdruck-Systemen gehören die Vorderrheinkraftwerke, die Hinterrheinkraftwerke, die Kraftwerke Zervreila (Abb. 2.4), die Kraftwerke an der Julia und Albula, die Kraftwerke im Prättigau, die Kraftwerke im Sarganserland, die Vorarlberger Illwerke und die Kraftwerke an der Bregenzer Aach.

Die einzige grössere Niederdruckanlage am Alpenrhein steht in Reichenau. Von den Niederdruckanlagen am Hochrhein war ja bereits die Rede. Weitere, an Reichenau flussabwärts anschliessende Fluss- oder Kanalkraftwerke wurden verschiedentlich projektiert, aber nicht



Abb. 2.4. Staumauer und Stausee Zervreila, 1957, kurz vor der Vollendung (Foto Rostetter, Ilanz).

gebaut. Sehr ernsthaft weiterverfolgt wurde ein Projekt für 5, sich an der liechtensteinisch-schweizerischen Grenzstrecke aneinander reihende Flusskraftwerke. Ein erstes Konzessionsprojekt erreichte die zuständigen Behörden hüben und drüben 1981. Dann folgten wegen vielen Bedenken und Einsprachen mehrere Abklärungen und Projektanpassungen. Der in der Schweiz gesetzlich vorgeschriebene Umweltverträglichkeitsbericht konnte erst 1990 vorgelegt werden (STREICHENBERG, 1990). Schliesslich fiel die behördliche Umweltverträglichkeitsprüfung negativ aus. Den Ausschlag dazu gaben die möglichen negativen Folgen für die grossen anstehenden Grundwasservorkommen, für die Fischerei und für die Natur. Auch ist zu sagen, dass die Wirtschaftlichkeit dieser Niederdruckanlagen aus damaliger Sicht eher marginal erschien. Der Alpenrhein hat dort für die Wasserkraftnutzung im Verhältnis zu seiner Wasserführung offensichtlich ein zu niedriges Gefälle. So kommt es, dass der Rhein von Reichenau bis Schaffhausen kein einziges Wasserkraftwerk antreibt.

Es ist hier nicht möglich, alle Wasserkraftwerke im Hoch- und Niederdruckbereich zu beschreiben. Eine gute Übersicht über die österreichischen Anlagen vermitteln MATT (1992) und über die schweizerischen WEBER und ZGRAGGEN (1992). In der zweitgenannten Publikation werden allein für die zum betrachteten Rheingebiet gehörenden Teile Graubündens, St. Gallens und Appenzells 61 Kraftwerkszentralen mit mehr als 300 kW Ausbauleistung aufgeführt, sowie 28 Stauseen mit Talsperren, die eine gewisse Grösse aufweisen und darum bezüglich Sicherheit der Aufsicht des Bundes unterstehen. Die Entwicklung der Architektur widerspiegelt sich besonders bei den Anlagen in Graubünden (CLAVUOT und RAGETTLI, 1991; Abb. 2.3).

Über den Einfluss der Wasserkraftwerke auf den Abfluss wurde bereits im Abschnitt Hydrologie geschrieben. Gerade die alpinen Hochdruckanlagen leiten ihr Triebwasser aus einem Wildbach ab und geben es kilometerweit unterhalb wieder an diesen oder einen anderen Wildbach zurück. Dadurch schaffen sie zwischen der Fassung und der Rückgabe ins Gewässernetz eine Restwasserstrecke. Mit den Saisonspeichern bewirken sie unterhalb der Rückgabe eine Anreicherung der Winterabflüsse zu Lasten der Sommerabflüsse. Und weil ihre Produktion eng den Konsumwünschen folgt, erzeugen sie dort zudem tägliche Abflussschwankungen. Sowohl die saisonalen wie die täglichen Abflussänderungen überlagern sich natürlich im Alpenrhein und werfen auch dort gewisse ökologische Probleme auf. Deshalb ist heute eine Diskussion in Gang, wie man diese Probleme lösen oder zumindest mildern könnte.

2.5 Die Rolle der Speicherseen

Um die Produktionsweise der mit einem Speicher versehenen Kraftwerke, das heisst der Speicherkraftwerke, zu verstehen, sei nochmals daran erinnert, dass heute das Produkt aller Kraftwerke aus Strom, das heisst aus Kilowattstunden besteht. Und diesen Strom kann man nicht speichern. Darum muss jede Kilowattstunde, die verbraucht wird, im selben Moment erzeugt werden. Wenn also eine Hausfrau ihre Kochplatte anstellt, muss irgendwo eine Turbine (oder der Verbund aller Turbinen) sekundenschnell reagieren und den entsprechenden Zusatzbedarf produzieren. Dasselbe gilt für einen Lokomotivführer, der mit seinem Zug anfährt und damit einen Zusatzbedarf schafft, der von den Kraftwerken unverzüglich abgedeckt werden muss. Die Zusatzproduktion, die einem solchen Zusatzbedarf gegenübersteht, kann aber nur dort erfolgen, wo eine Rohstoffreserve vorhanden ist, also im Fall der Wasserkraft durch Speicherwasser. Der umgekehrte Vorgang ergibt sich, wenn die Hausfrau ihre Kochplatte abschaltet und der Lokomotivführer seinen Zug anhält. Dann entfällt der Zusatzbedarf, die Turbine produziert sofort weniger und die Rohstoffreserve an Speicherwasser wird entsprechend geschont.

Im Verbundnetz der allgemeinen Stromversorgung übernehmen deshalb die mit Saisonspeichern und Ausgleichsbecken versehenen Hochdruckanlagen die sekundenschnelle Abstimmung der Stromproduktion an die Konsu-

mentenwünsche, eine Betriebsweise, die man als Spitzendeckung bezeichnet. Die Kraftwerke ohne Speicher und insbesondere die Niederdruckanlagen an den Flüssen mit ihren nicht bewirtschaftbaren Stauhaltungen vermögen diese Abstimmung nicht zu leisten. Sie können höchstens das im Fluss momentan anfallende Wasser nutzen.

Nicht abstimmungsfähige Wasserkraftanlagen, wie eben die Niederdruckanlagen oder die Dampfkraftwerke, produzieren zeitweise Strom, der im Moment gar nicht gebraucht wird – zum Beispiel im Sommer in den Stunden nach Mitternacht. Dann ist es sinnvoll, den Überschussstrom zu den Hochdruck-Speicherwerken zu leiten und dort Speicherpumpen zu betreiben. Diese fördern Wasser von einem niederen Speicher hinauf zu einem höheren und ergänzen so die dortige Rohstoffreserve. Damit übernehmen sie die Rolle von Ladegeräten für eine grosse Batterie. Aus diesem Grund sind verschiedene der genannten grossen Systeme von Hochdruckanlagen mit solchen Pumpen ausgerüstet und betreiben neben der natürlichen Speicherung auch eine so genannte Pumpspeicherung. Das erste derartige Ladegerät entstand allerdings nicht in den Alpen, sondern 1909 in Schaffhausen. Dieses kleine Pumpspeicherwerk arbeitet dort zwischen dem Rhein und einem rund 160 m höher gelegenen Speicherbecken, dem Engeweiher.

3 IDEEN ZU EINER BODENSEE-REGULIERUNG

3.1 Extremzustände und Regulierziele

Ein Teil der Bodenseehydrologie wird bereits im Abschnitt «Der Bodensee, ein stehendes, aber dennoch dynamisches Gewässer» beschrieben. Als Ergänzung dazu sollen hier noch andere Studien über die Verhältnisse am Bodensee zusammengefasst werden (VISCHER, 2001).

Nach den laufenden Erhebungen der Landeshydrologie ergeben sich die mittleren und extremen Seestände im Ober- und Untersee gemäss Tab. 3.1. Nun ist für die Seeanwohner und -benutzer natürlich wichtig, wie häufig extrem niedrige und extrem hohe Seestände auftreten. Mit Blick auf die Hochstände führte die schweizerische Landeshydrologie deshalb eine Analyse der mittleren Wiederkehrperioden durch. Dabei konnte sie sich auf ungewöhnlich lange Messreihen stützen, nämlich auf 134 Jahre (1866–1999) am Obersee und auf 114 Jahre (1886–1999) am Untersee. Als Schadensgrenze gilt am Obersee die Kote 397,14 m ü. M. und am Untersee die Kote 396,85. Tab. 3.2 zeigt, wie oft im Mittel diese Koten sowie höhere Koten überschritten werden: Der Bodensee steigt dementsprechend alle 3 bis 4 Jahre über die Schadensgrenze. Wie allgemein bekannt, sind die Verhältnisse am Untersee etwas prekärer als am Obersee.

Die Höchststände treten gewöhnlich zwischen Mai und September auf. So etwa 1890 am 3. September im Obersee und am 4. September im Untersee oder 1999 am 11. Juni im Obersee und am 24. Mai im Untersee. Für die Betroffenen besonders unangenehm ist die lange Dauer der zugehörigen Ausuferungen. 1987 lag bei-

Tab. 3.1. Mittlere und extreme Seestände im Bodensee in m ü. M.

	Obersee	Untersee
Mittelwert (Periode 1930–1999)	395,60	395,40
Tiefstwert (Januar 1949)	394,59	394,31
Höchststand (September 1890)	398,00	397,76
Höchststand 1999 zum Vergleich	397,89	397,67

Tab. 3.2. Mittlere Wiederkehrperiode schädlicher Hochwasserstände in Jahren

Überschreitung	Obersee	Untersee
der Schadensgrenze	4	3–4
0,2 m darüber	7–8	7
0,4 m darüber	15–20	15
0,6 m darüber	40–50	40
0,8 m darüber	150	100–150

spielsweise der Obersee während 6 Wochen über der Schadensgrenze und der Untersee während 7 Wochen, und das im Sommerhalbjahr, das heisst in der Vegetations- und Touristiksaison. Die Tiefststände sind demgegenüber eher eine Erscheinung des Winterhalbjahres, und zwar vor allem der Monate Januar bis März.

Mit Blick auf die Hochstände lassen sich folglich die Regulierziele klar formulieren: Weder der Ober- noch der Untersee sollen über ihre Schadensgrenzen steigen. Das erfordert eine Vergrösserung des Abflusses aus beiden Seen während den Hochwasserperioden und bringt den Unterliegern somit mehr Wasser. Deshalb muss als Einschränkung beachtet werden, dass der Rheinabfluss von Stein bis Neuhausen nicht über eine gewisse Grenze – gedacht wird an 1050 m^3/s – steigen darf.

Etwas weniger scharf umreissbar sind die Regulierziele hinsichtlich der Tiefstände. Diese könnten beispielsweise um 0,2 bis 0,3 m über die bisherigen Extremwerte angehoben werden, um der Entblössung der Ufer vorzubeugen, eine genügende Überdeckung der Abwasserleitungen zu gewährleisten und die Schifffahrt zu erleichtern. Zu diesem Zweck müsste der Abfluss aus beiden Seen während den Niederwasserperioden gedrosselt werden. Dabei wäre freilich den Unterliegern von Stein bis Neuhausen ein Minimalabfluss im Rhein von 115 m^3/s zu garantieren; das entspricht dem bisherigen Minimalwert.

Die Ermöglichung eines grösseren Abflusses in Hochwasserperioden erfordert zwangsläufig eine Ausweitung (Verbreiterung, Vertiefung) des Abflussquerschnitts. Das würde jedoch auch einen grösseren Abfluss in Niederwasserperioden verursachen und beiden Seen niedrigere Tiefstände bescheren als bisher. Das will man, wie gesagt, nicht; im Gegenteil, man möchte höhere Tiefstände. Deshalb braucht es im erweiterten Abflussquerschnitt ein Regulierwehr, das in Mittel- und Niederwasserperioden die erforderliche Abflussdrosselung besorgt. Da beide Seen hydraulisch eng zusammenhängen, käme nur am Ausfluss des Untersees ein solches Regulierwehr zu stehen.

Die hier dargestellten hydrologischen Gegebenheiten und die Regulierziele entsprechen den heutigen Verhältnissen. Im Folgenden soll aber noch auf frühere Ideen und Projekte mit zum Teil anderen Voraussetzungen eingegangen werden.

3.2 Rückbau eines alten Wehrs in Konstanz und erste Regulierungsprojekte

Schon im Mittelalter baute man im Seerhein Fischfachen, Mühlen und andere Anlagen ein, die den Ausfluss aus dem Obersee behinderten. Im 15. Jahrhundert kombinierte man die Mühlen dann mit der Konstanzer Rheinbrücke. Schliesslich lehnten sich an diesen Übergang einige stattliche Gewerbebetriebe mit mehreren Räderwerken an. Um deren Kraft zu erhöhen, wurden seewärts Fangdämme (Leitwerke) und zwischen den Pfeilern Schwellen angeordnet, letztere zum Teil mit Stellfallen, das heisst mit kleinen aufgesetzten Schützen (Abb. 3.1). Auf diese Weise entstand gleichsam ein Wehr, das den Oberseespiegel entsprechend anhob. Der Aufstau dürfte zwar bloss im Dezimeterbereich gelegen haben, was bei Nieder- und Mittelwasser belanglos war, aber bei Hochwasser doch störte. Bei den betroffenen Seeanliegern spielte wohl, wie in ähnlichen Fällen, auch eine gewisse psychologische Überhöhung des Effekts mit. Als die Brücke 1856 samt ihren Mühlen abbrannte, erwirkten jedenfalls die damaligen Uferstaaten Baden, Bayern, Österreich, Schweiz und Württemberg, dass die Mühlen nicht wieder erstellt und die Leitwerke und Schwellen beseitigt wurden, was man als Rückbau bezeichnen kann. Die Ratifizierung dieser Vereinbarung, die auch eine Entschädigung an Konstanz festschrieb, erfolgte 1858 (Grim, 1995).

Die Ausbaggerungen, die damals und später im Konstanzer Trichter und im Seerhein erfolgten, geschahen zu Gunsten der Schifffahrt und beeinflussten das Seeregime nicht. Ebenso wenig wirkten sich einige kleinere Abgrabungen am Eschenzerhorn aus, die im Nachgang zu den verheerenden Ausuferungen von 1876 und 1890 vorgenommen wurden. In dieser Zeit begann

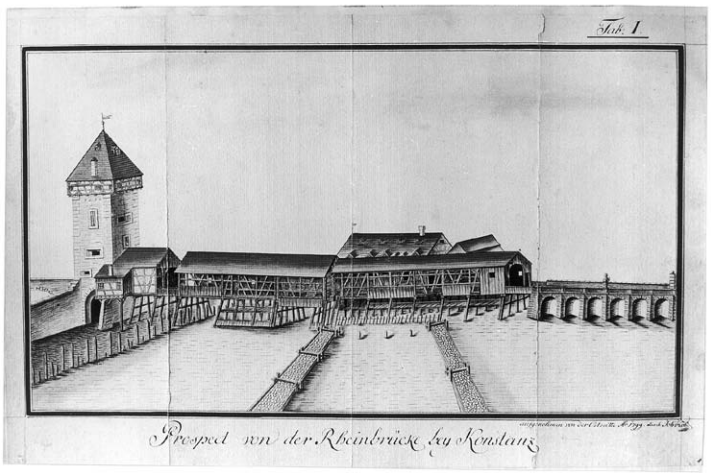


Abb. 3.1. Konstanzer Rheinmühlen und Rheinbrücke. Aquarell von J. v. Lob, 1799 (Rosgarten-Museum, Konstanz).

man aber bereits umfassende Sanierungspläne auszuarbeiten. Ausschliesslich auf den Hochwasserschutz ausgerichtet war das Projekt von Max Honsell (1843–1910), Wasserbauingenieur des Grossherzogtums Baden (KONOLD, 2000). Honsell schlug darin 1879 die Baggerung einer Rinne in der Rheinsohle von Stein bis zur Bibermündung vor, sowie den Einbau von grossen Schützen im Moserdamm bei Schaffhausen. Dieser Damm querte damals den Rhein zu Gunsten eines Kraftwerks, das seine Energie über Seiltransmissionen an die Industrie abgab. Ein weiterreichendes Projekt präsentierte 1891 der Linthingenieur Gottlieb Heinrich Legler (1823–1899), der ausser einer Absenkung der Hochstände im Bodensee auch eine Nieder- und Mittelwasserhaltung vorsah. Deshalb empfahl er neben einer Baggerung im Rhein von Stein bis zum Moserdamm auch die Umwandlung dieses Dammes in ein bewegliches Wehr sowie den Bau eines Bodensee-Regulierwehrs bei Stein oder am Eschenzer Horn.

Bis ins 19. Jahrhundert hinein bestand die Meinung, der Untersee würde von den Felsen am Rheinfall oder den felsigen Stromschnellen in Schaffhausen, den «Lächen», eingestaut oder zumindest vom 1864–1866 dort erstellten Moserdamm. So wurde ja bereits im Abschnitt «Einige Besonderheiten des Hochrheins bis zum Rheinfall» auf eine 1821 publizierte Idee hingewiesen, das Rheinbett in Schaffhausen durch einen grossen Umleitstollen zu ergänzen, der im Unterwasser des Rheinfalls ausmündet. Im gleichen Abschnitt wird aber auch gesagt, dass der Abfluss aus dem Untersee weder vom Rheinfall oder den Lächen in Schaffhausen noch vom einstigen Moserdamm und dem heute dort stehenden Kraftwerk Schaffhausen bestimmt wird, sondern von der Rheinstrecke zwischen Stein und Hemishofen.

3.3 Regulierprojekte des 20. Jahrhunderts und eine neue Idee

Der Schwerpunkt fast aller Projekte des 20. Jahrhunderts bestand in einem Regulierwehr im Hochrhein zwischen Eschenz und Hemishofen. Dazu wurden mehr oder weniger umfangreiche Ausweitungen im Hochrhein von Öhningen bis Diessenhofen und im Seerhein vorgesehen. Wenn in den gleichen Projekten überdies noch Massnahmen im Rhein bei Schaffhausen Erwähnung finden, so zielen diese auf den dortigen Hochwasserschutz ab und nicht auf die Bodenseeregulierung. Die wichtigsten Projekte datieren von 1902, 1912, 1922, 1924, 1926, 1953, 1972 und 1973.

Das Letztgenannte wurde von der Firma Locher von Zürich im Auftrag des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft und mit Begleitung durch einen Internationalen Technischen Ausschuss mit Vertretern aus den drei heutigen Bodensee-Anliegerstaaten Deutschland, Österreich und der Schweiz erstellt. Dieses so genannte Projekt Locher 1973 entsprach einem ausgereiften Bauprojekt mit einem detaillierten Kostenvoranschlag und einem Regulierreglement, das den weiter oben erwähnten Regulierzielen gerecht wurde. Es schlug Sohlenbaggerungen im Konstanzer Trichter von 0,2 Millionen m^3 vor und in der Rheinstrecke von Stiegen bei Öhningen bis Schupfen oberhalb von Diessen-

hofen von 4,5 Millionen m^3. Das Regulierwehr sollte bei Hemishofen, 1,3 km unterhalb der alten Eisenbahnbrücke und der seither gebauten hohen Strassenbrücke zu stehen kommen. Sein 110 m langer Wehrkörper hätte 4 mit Schützen versehene Wehröffnungen enthalten. Der grösste Aufstau wäre bei Niedrigwasserabfluss mit 2,8 m und bei Hochwasserabfluss mit 0,1 m aufgetreten. An Nebenanlagen wurden eine Schiffsschleuse von 110 m Länge und 12 m Breite sowie eine Kleinbootschleuse und ein Fischpass projektiert.

Das Projekt Locher 1973 fusste im Wesentlichen auf dem in ähnlicher Weise entstandenen Projekt Locher 1953. Doch wurde Letzteres später durch eine Schleuse von 165 m Länge und 12 m Breite erweitert und zu einem Bestandteil eines 1964 vom Auftraggeber veröffentlichten Projekts für «Die Schiffbarmachung des Hochrheins» gemacht (EAW, 1964). Gegen diese Schiffbarmachung erhob sich eine starke Opposition, die den Hochrhein und damit insbesondere den Rheinfall möglichst naturnah sowie den Bodensee frei von europäischen Güterschiffen mit den zugehörigen Umschlaghäfen halten wollte. Schliesslich versammelte sich die Opposition 1969 zu einer Grosskundgebung in Hemishofen, wo sie sich unter anderem vehement gegen die Wehr- und Schleusenprojekte im dortigen Raum richtete. Eines der auffälligsten Ergebnisse war dann eine erfolgreiche Verfassungsinitiative im Kanton Thurgau, die dessen Regierungsrat 1973 verpflichtete, sich gegen jede Bodenseeregulierung zu stellen (VISCHER, 1989).

Da die Opposition offensichtlich stark am geplanten Regulierwehr mit Grossschleuse in Hemishofen Anstoss nahm, versuchte man noch Projekte ohne einen solchen Eingriff auszuarbeiten. So entstand unter anderem das Projekt «Bächtold und Stadelmann 1972». Es hätte mit weniger Ausbaggerungen die Regulierziele in Hochwasserperioden nicht ganz erreicht und den Untersee im Niederwasserfall um rund 1 m abgesenkt. Das erschien jedoch als untragbar. Deshalb stellten die Projektverfasser noch zwei Zusatzprojekte zur Diskussion: Das eine versuchte, die Nachteile durch verschiedene Erdbewegungen an den Ufern des Unter- und Obersees sowie des Seerheins zu mildern, das andere führte ein Regulierwehr in Form eines langen Schlauchwehrs mit Schiffsschleuse zwischen Öhningen und Eschenz ein (Abb. 3.2).

1973 veröffentlichte der bereits erwähnte Internationale Technische Ausschuss eine Begutachtung und wies am Rande auf eine Alternative hin: Das Hochwasserproblem liesse sich statt mit flussbaulichen Massnahmen auch mit einem Entlastungsstollen lösen (INTERNATIONALER TECHNISCHER AUSSCHUSS, 1973). 1976 konkretisierte der im Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft für Seeregulierungen zuständige Sachbearbeiter diese Möglichkeit wie folgt: Am Ufer des Untersees zwischen Mammern und Eschenz könnte ein gut 6 km langer Stollen zur Thur nordwestlich von Frauenfeld ausgebrochen werden, der als Hochwasserentlastung dienen würde. Er käme dort in die Molasse zu liegen und müsste so bemessen sein, dass er bis 500 m^3/s zu fassen vermöchte. Auf diese Weise liesse sich ein Ansteigen des Bodensees über die Schadensgrenze ohne Ausbaggerungen im Hochrhein vermeiden. Selbstverständlich würde das Thurbett unterhalb der Stollenausmündung dadurch zeitweise stärker beansprucht als heute. Weil die Thurhochwasser nur kurz andauern und meist ablaufen, bevor die Höchststände im Bodensee erreicht sind, gäbe es dort aber kaum Kapazitätsprobleme.

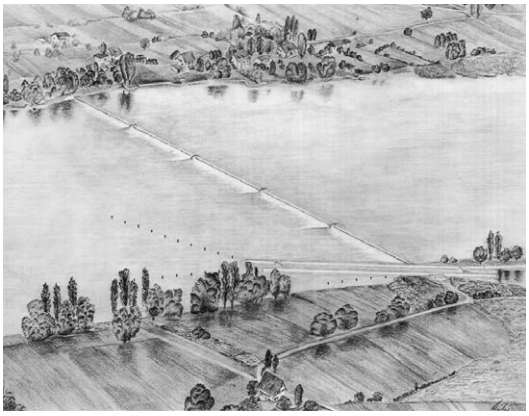


Abb. 3.2. Zusatzprojekt von Bächtold 1973 mit überflutbarem Schlauchwehr zwischen Öhningen–Eschenz und Schiffsschleuse.

Eine solche «Überlaufsicherung» mittels Stollen liesse sich theoretisch auch noch anders lösen, zum Beispiel durch einen Umleitstollen, der den Engpass im Rhein von Stein bis Rheinklingen oder Hemishofen seitlich umginge. Er käme aber ganz oder zum grossen Teil in grundwassergesättigte Schotter zu liegen und wäre wohl zu aufwändig. Auf jeden Fall würde ein Stollen nur das Hochwasserproblem am Bodensee lösen, nicht aber das Niederwasserproblem. Für das letztere müssten Ergänzungsmassnahmen in Form eines Regulierwehrs im Raum Eschenz – Hemishofen oder durch eine andere Drosseleinrichtung in Betracht gezogen werden. Wegen der bestehenden Schifffahrt mit Booten und Gastschiffen – die grösste Einheit ist das Motorschiff Schaffhausen mit 50 m Länge und 9,3 m Breite – wäre auch dieses Regulierwehr mit einer Schleuse zu versehen. Aus dem gleichen Grund könnte die alternative Drosseleinrichtung nicht aus einer festen Wehrschwelle bestehen; in Frage käme dafür eine Erhöhung der Rheinsohle von Stiegen bis Rheinklingen im Umfang von 0,3 m. Ein eigentliches Projekt dafür wurde aber nicht erstellt (VISCHER, 2001).

3.4 Frühe Umweltverträglichkeitsberichte und ein bleibendes Problem

Die Arbeiten für das Projekt «Locher 1973» und das alternative Projekt «Bächtold-Stadelmann 1972» wurden ab 1968 durch eine vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft eingesetzte Expertenkommission für Natur- und Heimatschutz begleitet. Diese stützte sich unter anderem auf hydrobiologische Untersuchungen von Jaag (JAAG, 1946, 1968). Dort beklagte jener insbesondere die Auswirkungen einer Regulierung auf die «so charakteristischen und einmaligen Lebensgemeinschaften der Kalktuffgerölle am Stromgrund sowie der so genannten Schnegglisande, die bei den Inseln Werd … zur Entwicklung gelangen und vom wissenschaftlichen und naturschützerischen Standpunkt aus ein Kleinod von Untersee und Rhein darstellen». (Vgl. SCHLÄFLI, in diesem Buch.)

Die Expertenkommission setzte sich intensiv mit dem durch die Regulierung veränderten Wasserkörper am Untersee und am anschliessenden Rhein auseinander. Dann beurteilte sie den Einfluss der entsprechenden Wasserstände, Strömungen und Sohlenveränderungen sowie der vorgesehenen Wehr- und Schleusenbauten auf die Umwelt. Aus den Akten geht hervor (KLÖTZLI, 1975/1976), dass sie sich schwergewichtig an folgenden Hauptfragen orientierte:

- Landschaft
- Avifauna (Wasservögel)
- Schilffelder und Ufervegetation
- Biologie des flachgründigen Flussbetts
- Fische und Laichplätze.

Abschliessend erstellte die Expertenkommission drei Berichte, und zwar je einen über das Projekt «Locher 1973», das Projekt «Bächtold-Stadelmann 1972» und den Vergleich beider Projekte. Das Ergebnis war, dass sie das Projekt «Bächtold-Stadelmann» gegenüber dem Projekt «Locher» eindeutig bevorzugte, sich aber grundsätzlich gegen jede Regulierung aussprach. Diese drei Berichte wurden 1975/76 abgeliefert, also zwei bis drei Jahre nach der Inkraftsetzung des Thurgauer Verfassungsartikels von 1973. Sie können als Vorbilder der im Umweltschutzgesetz von 1983 vorgesehenen Umweltverträglichkeitsberichte betrachtet werden, die den zuständigen Behörden die Umweltverträglichkeitsprüfung ermöglichen.

Weil der Bodensee und der Hochrhein internationale Gewässer sind, kommt die Zuständigkeit dem Bund zu. Er müsste also die Verantwortung für eine Bodenseeregulierung übernehmen und das Einvernehmen mit den betroffenen Stellen Deutschlands und Österreichs suchen. Angesichts der Opposition stellte er 1973 aber seine diesbezüglichen Bemühungen ein – und seitdem wirkt die verfassungsmässige Verpflichtung des Thurgauer Regierungsrats gegen die Bodenseeregulierung wie ein Moratorium.

Die immer wieder zu hoch steigenden und zu tief fallenden Bodenseestände blieben aber als Problem zurück: Die Ufer des Bodensees werden weiterhin alle drei bis vier Jahre bis zu 7 Wochen lang überschwemmt (Tabelle 3.2). Das betrifft allein auf der Schweizer Seite von Altenrhein bis Eschenz mehr als 20 Ortschaften (und auf der

deutschen und österreichischen doppelt so viele). Damit wird ein Gebiet einer Hochwassergefahr ausgesetzt, wie man sie heute in dieser Häufigkeit und Ausdehnung keiner vergleichbaren Region der Schweiz mehr zumutet. Und wenn etwa gesagt wird, dass man als Gegenmassnahme einfach alle Ufer mit den darauf stehenden Bauten und Verkehrswegen auf eine hochwassersichere Kote heben solle, wirkt das eher leichtfertig. Denn eine solche Massnahme wäre nur an wenigen Stellen möglich. Sie würde überall dort, wo sie historische Siedlungskerne betrifft, an jeder Umweltverträglichkeitsprüfung scheitern.

Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass sich nach den starken Seeausuferungen von 1999 (Abb. 3.3) ein Nationalrat und 10 Mitunterzeichner durch ein Postulat an den schweizerischen Bundesrat wandten, um dessen aktuelle Ansicht über eine Bodenseeregulierung zu erfahren. Die Antwort zeigte, dass der Bund in dieser Sache nur aufgrund einer Initiative der Kantone aktiv werden könnte und würde. Selbstverständlich wären für eine solche Initiative aber auch die anderen Uferstaaten zuständig. Denn auch dort gibt es bei den extremen Bodenseeständen Probleme. Längerfristig dürfte etwa die IRR (Internationale Rheinregulierung) mit Blick auf die Vorstreckung des Alpenrheins bei Fussach an einer Begrenzung der Höchststände interessiert sein. Ja, in Deutschland wurden schon mehrfach Stimmen laut, den Bodensee zwecks Steigerung der Trinkwasserentnahme selbst bei mittleren Wasserständen zu regulieren (GRIM, 1995).



Abb. 3.3. Überschwemmung von Ermatingen im Juni 1999 (Foto Keystone, Christoph Ruckstuhl).

4 LITERATUR

BERGMEISTER, U. 1989. Die Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee. – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1, 23–28.

BERGMEISTER, U. & LEIPOLD-SCHNEIDER, G. 2000. Umstritten und freudig begrüsst – 100 Jahre Fussacher Durchstich 1900–2000. – Vierteljahresschrift für Geschichte und Gegenwart Vorarlbergs 52, 1, 49–80.

BISCHOFF, A. 1992. Wildbachverbauungen im Rhein-Einzugsgebiet des Kantons Graubünden. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 309–311.

BISCHOFF, A. 2001. Fluss- und Wildbachverbauungen zur Zeit La Niccas und heute. Manuskript für ein Buch über La Nicca (vom Verfasser erhalten), 8 pp.

BISCHOFF, CH. 1977. Graubünden. In: «100 Jahre Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei», Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, Bern, 126–135.

BURMEISTER, K.H. 1992. Die Rheinmühlen. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 75–78.

CLAVUOT, C. & RAGETTLI, J. 1991. Die Kraftwerke im Kanton Graubünden. Verlag Bündner Monatsblatt, Chur, 247 pp.

EAW 1964. Die Schiffbarmachung des Hochrheins, Projekt 1961. Mitteilung Nr. 44 des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, Bern, 103 pp.

FISCHER, A. 1992. Wildbachverbauung im österreichischen Rhein-Einzugsgebiet. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 301–308.

GÄHWILER, A. & SPECK, J. 1991. Die römische Wassermühle von Hagendorn bei Cham ZG. Helvetia archaeologica 86, Schwabe & Co., Basel, 34–75.

GÖTZ, A. 1983. Gewässerkorrektionen im Wandel der Zeit. In: «Die Geschichte der Gewässerkorrektionen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz», PRO ACQUA, (Bd. 9E, p. 2.1–2.16), – Eigenverlag, Basel.

GRIM, J. 1995. Die «alte Rheinmühle» in Konstanz und ihre Wirkung als Regulierwehr. Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft, H. 19, Bonn, 59–69.

GUNZENREINER, U. 1992. Wildbachverbauung im Rhein-Einzugsgebiet des Kantons St. Gallen. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 312–315.

HEER, A. 1992. Die Dienstbahn. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 247–256.

HUNGERBÜHLER, J.M. 1854. Denkschrift über den Uferschutz am Rhein und die neuesten Bestrebungen für eine durchgreifende Stromregulierung von Ragaz bis zur Mündung des Rheins in den Bodensee. Huber und Komp., St. Gallen und Bern, 1854.

INTERNATIONALER TECHNISCHER AUSSCHUSS 1973. Bodenseeregulierung. Projekt 1973, Gesamtbericht Deutschland, Österreich, Schweiz. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern, unveröffentlicht, 30 pp.

IRKA 2003. Hydrologie Alpenrhein. Hrsg. Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Flussbau. Verfasser: Ingenieurbüro Heierli, Ingenieurbüro Hunziker, Zarn und Partner, Tergeso, Büro für Umweltfragen, 36 pp.

JAAG, O. 1946. Untersuchung zur Abklärung hydrobiologischer Fragen der Bodenseeregulierung. Bericht an das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern, unveröffentlicht, 256 pp., sowie Ergänzungsbericht von 1968, unveröffentlicht, 49 pp.

KAISER, M. 2003. Alpenrhein und Landschaftswandel. In: «Die Zeit des Kantons 1861–1914», SANKT-GALLER GESCHICHTE 2003, Bd. 6, Amt für Kultur, St. Gallen, 125–142.

KALT, L. 1992. Die Gestaltung des Alten Rheins vom Bruggerhorn bis zum Bodensee. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 266–272.

KALT, L. 2004. Alpenrhein. In: «Flussbau in der Schweiz, Entwicklung und Ausblick», MINOR, H.E. und W.H. HAGER, Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, Bd. 6, 38–53.

KLÖTZLI, F. 1975/76. Diverse Akten über die Tätigkeit der vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft eingesetzten Expertenkommission für Natur- und Heimatschutzfragen, unveröffentlicht.

KOENIG, F. 1992. Der Staatsvertrag Schweiz – Österreich von 1892. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 172–189.

KONOLD, W. 2000. Die Regulierung des Bodensees: eine alte Geschichte. Der Bürger im Staat. 50. Jg., H.2, Stuttgart, 82–86.

MATT, P. 1992. Österreichische Kraftwerke im Rhein-Einzugsgebiet. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 352–354.

OSPELT, A. 1990. Die Rheinkorrektion entlang der st. gallisch-liechtensteinischen Grenze. Werdenberger Jahrbuch 1990, 104–107. Historisch-Heimatkundliche Vereinigung des Bezirks Werdenberg, Buchs.

PESTALOZZI, K. 1872. Über die Rheincorrection im Canton St. Gallen. Separatdruck aus Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Zürich.

PETER, E. 1955. Die Korrektion des Rheins im Kanton St. Gallen. Schweizerische Bauzeitung 73, 25, 3–8.

REIFF, H. 1990. Die Vorbereitung und Ausführung der Rheinkorrektion in der Zeit von 1848 bis 1927. – Werdenberger Jahrbuch 1990, 82–92, Historisch-Heimatkundliche Vereinigung des Bezirks Werdenberg, Buchs.

ROHNER, H. 1992. Baragas-Plan von 1792 und Korrektionsvarianten im Vorfeld des Staatsvertrages von 1892. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 144–151.

SCHNITTER, N. 1992. Die Geschichte des Wasserbaus in der Schweiz. Olynthus, Oberbözberg, 242 pp.

SIMMEN, H. 1993. Es klappert die Mühle. In: «Wasser, ein Bündner Lesebuch», AG BÜNDNER KRAFTWERKE, Klosters, 149–153.

STREICHENBERG, A. 2000. Das Rheinkraftwerkprojekt Schweiz-Liechtenstein. Werdenberger Jahrbuch 1990. Buchsdruck, Buchs, 180–182.

STUBER, R. 1949. Das Rheintal in seinem Kampfe gegen den ungebändigten Rhein. – Jahrbuch unser Rheintaler, 21–35.

VISCHER, D. 1989. Ideen zur Bodenseeregulierung; Ziele, Altes und Neues. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik Nr. 1, Luzern, 32–37.

VISCHER, D. 2000. Von der Wasserstrasse zur Energieachse, Geschichte und heutiger Stand der Wasserkraftnutzung am Hochrhein. Der Bürger im Staat, 50, 2, Stuttgart, 93–98.

VISCHER, D. 2001. Verminderung der Hochwasserstände im Bodensee und Anhebung der Niederwasserstände. Bericht über die Möglichkeiten und Grenzen an das Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel, unveröffentlicht, 41 pp.

VISCHER, D. 2003. Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert. Bericht des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Serie Wasser, Nr. 5, Bern, 208 pp.

VISCHER, D. 2004. Klösterliche Wasserwirtschaft im hohen Mittelalter, erläutert an schweizerischen Beispielen. Wasser, Energie, Luft, 96, 9/10, Baden, 253–259.

VON SALIS, A. 1883. Das Schweizerische Wasserbauwesen; Organisation, Leistungen und Bausysteme. Stämpfli, Bern.

WAIBEL, F. 1992. Die Werke der Internationalen Rheinregulierung. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 206–235 pp.

WEBER, G. und ZGRAGGEN, R. 1992. Schweizerische Kraftwerke im Einzugsgebiet des Rheins. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 355–359.

WENZEL, H. 1992. Wildbach- und Rüfenverbauungen im Rhein-Einzugsgebiet des Fürstentums Liechtenstein. In: «Der Alpenrhein und seine Regulierung», INTERNATIONALE RHEINREGULIERUNG, Buchsdruck, Buchs, 316–319.

WEY, J. 1890. Geschichtliche Darstellung der technischen Entwicklung der Rheincorrection. – Schweizerische Bauzeitung, XV, 4, 19–34.

Prof. em. Dr. Dr. h.c. D. Vischer, c/o Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich, E-Mail: vischer@vaw.baug.ethz.ch

Dipl. Ing. ETH L. Kalt, Rheinbauleiter, Baudept. St. Gallen, CH-9001 St. Gallen, E-Mail: leo.kalt@sg.ch

Die Rheinwasserqualität zwischen Bodensee, Tössegg und Basel

Hermann U. Hardmeier

1 VIELE FAKTOREN BESTIMMEN DIE WASSERQUALITÄT

Der Rhein zwischen Bodensee und Nordsee dient in seinem Einzugsgebiet mehr als 20 Millionen Menschen als Trinkwasserspender. Allein aus dieser Sicht ist eine einwandfreie Wasserqualität in stetiger Anstrengung anzustreben und zu erhalten. Auch die Nutzung als Bade- und Fischgewässer sowie als Erholungsraum für Einheimische und Touristen setzen ein sauberes und appetitliches Flusswasser voraus (Abb. 1).



Abb. 1. Der Rhein bei der Tössegg.

Das Ziel, eines der bedeutendsten Fliessgewässer Europas sauber und den Nutzungen zugänglich zu erhalten, setzt verantwortungsvolles Handeln aller Oberlieger an der Flussstrecke voraus. Unseren heutigen Ohren mag diese Forderung selbstverständlich klingen. Bis gegen Ende der Sechzigerjahre des letzten Jahrhunderts diente jedoch der Rhein, wie viele andere Fliessgewässer auch, als Abwasser- und Abfallentsorgungskanal und präsentierte sich dementsprechend vielerorts verschmutzt und unappetitlich. Das Selbstreinigungsvermögen des Flusses wurde eindeutig überstrapaziert und die Fantasie, auch an die Unterlieger zu denken, fehlte.

Ab den Siebzigerjahren wurden am Rhein und in seinem weiteren Einzugsgebiet zunehmend Kläranlagen gebaut und in Betrieb genommen. So die Anlage für die Stadt Schaffhausen und angrenzende Gemeinden im Jahre 1970. In den letzten Jahren sind viele dieser Anlagen bereits in zweiter Generation erneuert und ihre Reinigungsleistung noch einmal verbessert worden.

Auch die gesetzlichen Anforderungen an die anzustrebende Flusswasserqualität und an die zulässigen Restschadstoffgehalte in Kläranlageausläufen und Abwässern aus Industrieanlagen sind zunehmend verschärft worden (Eidgenössische Gewässerschutzverordnung, 1998). Dies hat es den Vollzugsorganen ermöglicht, überall wo notwendig, Sanierungsmassnahmen zu fordern und auch durchzusetzen. Als Folge des Grossbrandes in einem Lagerhaus der Sandoz in Basel (1986) und des damit verbundenen Abgangs von mehr als 20 Tonnen hochgiftiger Pestizide in den Rhein, verabschiedeten 1987 die Rheinminister das «Aktionsprogramm Rhein 2000» und, nach dessen Ablauf, das Folgeprogramm «Aktionsprogramm Rhein 2020». Die bisherigen Erfolge werden weiter unten dargestellt.

Neben diesen technischen und rechtlichen Massnahmen wird die Qualität des Rheins durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Zunächst bestimmt natürlich der Bodensee und sein Einzugsgebiet ganz wesentlich die Wasserqualität des Hochrheins und der unterliegenden Abschnitte. Für die Verbesserung der Rheinwasserqualität mussten deshalb auch Massnahmen im ganzen Bodenseegebiet durchgesetzt werden. Zwischen Stein am Rhein und Basel wurden aber zwischen 1898 und 1966 auch nicht

weniger als 11 Flusskraftwerke gebaut, die einen grossen Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit und damit auf die Sohlen- und Uferbeschaffenheit der Flussstrecke haben (BUWAL, SU 375, 2004). Der durchgehende Geschiebetransport mit seinem Einfluss auf die Sohlenbeschaffenheit ist nicht mehr möglich. Die Durchgängigkeit des Gewässers für die Wanderfische, z. B. für den Lachs, ist durch die Stauanlagen verunmöglicht worden. Inzwischen verhelfen kostspielige Massnahmen an den Wehren, die Durchgängigkeit schrittweise wieder herzustellen.

Wie steht es nun aber mit der Rheinwasserqualität heute? (Vgl. auch VISCHER in diesem Buch).

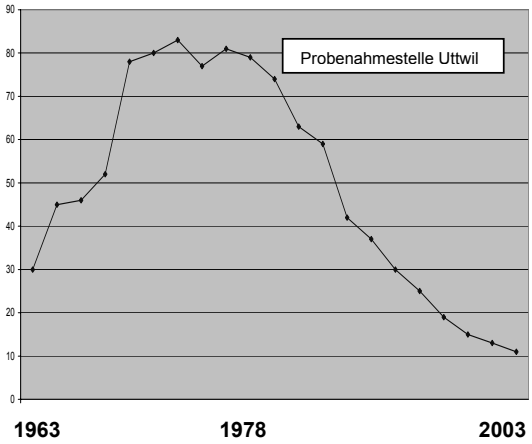


Abb. 2. Gesamtphosphorgehalt im Bodensee in mg/m^3.

2 DIE RHEINWASSERQUALITÄT HEUTE

Nach all den gemachten und noch andauernden Anstrengungen und erheblichen Investitionen zur Verbesserung und Sicherung der Rheinwasserqualität sind entsprechende Erfolge zu verzeichnen. Anhand einiger Betrachtungen soll dies im Folgenden veranschaulicht werden:

2.1 Anorganisch chemische Parameter

Im Vergleich der **Phosphorgehalte** im Bodensee für die Probenahmestelle Uttwil (IGKB, NR. 31, 2004) und im Rhein für die Probenahmestelle Salzstadel, SH (ALU, 1975–2005), kann gezeigt werden, wie technische Massnahmen bei den Kläranlagen (Einführung der Phosphatfällung) und gesetzliche Vollzugsmassnahmen (EIDGEN. STOFFVERORDNUNG, 1986) zu einer markanten Senkung der Gehalte in Bodensee und Rhein geführt haben.

Die Abb. 2 veranschaulicht für den Bodensee die stetige Zunahme der Phosphorgehalte bis auf über 80 mg/m^3 in den Siebzigerjahren und ab den Achzigerjahren, bedingt durch die erwähnten Massnahmen, die markante Absenkung bis auf 10 mg/m^3.

Aus Abb. 3 ist die Absenkung der P-Gehalte für den Rhein ab ebenfalls den Achzigerjahren ersichtlich. Die grössere Dynamik des Fliessgewässers und die direktere Zusatzwirkung der Kläranlagen begünstigte, im Vergleich zum

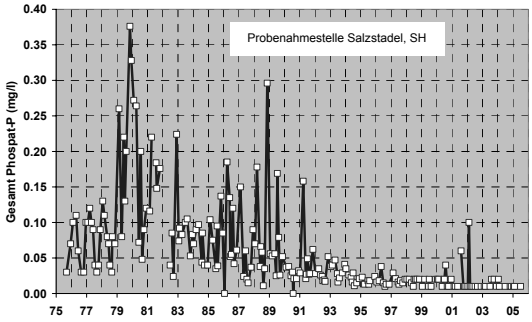


Abb. 3. Phosphat-P-Gehalte im Rhein in mg/l.

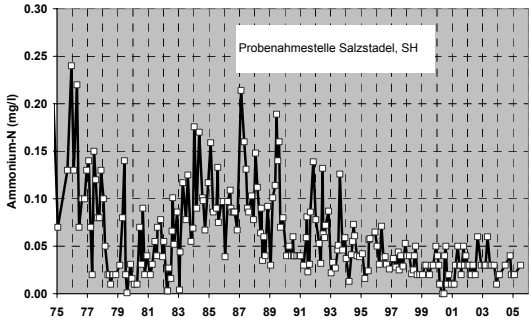


Abb. 4. Ammoniumstickstoffgehalte im Rhein in mg/l.

trägeren Seespeicher, einen beschleunigten Abbau.

Für Werte < 50 mg P/m^3 gilt ein Gewässer als weitgehend unbelastet und wird zur Güteklasse I gezählt (LAWA-RICHTLINIEN).

Ähnlich erfolgreich zeigt sich in Abb. 4 die Abnahme der **Ammoniumstickstoffwerte** im

Rhein. Dies ist vor allem auf die Nitrifizierung in den Kläranlagen und auf die vorsorglichen Massnahmen in der Landwirtschaft zurückzuführen.

Gemäss den LAWA-Richtlinien wird ein Gewässer mit Konzentrationen < 40 mg N/m³ ebenfalls als relativ unbelastet bewertet.

Analoge Verbesserungen der Rheinwasserqualität ab Ende der Siebzigerjahre bis heute sind für andere von uns routinemässig gemessenen Parameter festzustellen. So können für **Nitratstickstoff** im Mittel Gehalte unter 1 g/m³, für den **gelösten organischen Kohlenstoff** (DOC) unter 2 g/m³ und für den Sauerstoffgehalt um 10 g/m³ gemessen werden. Dies sind alles Werte, die nach den erwähnten LAWA-Richtlinien für unbelastete Gewässer der Güteklasse I gelten. Einzig die **Nitritstickstoffgehalte** können in Einzelfällen den als unbelastet taxierten Wert von unter 10 mg/m³ übersteigen und bis 20 mg/m³ erreichen. Ein solches Gewässer ist der Güteklasse I-II zuzuordnen und gilt somit immer noch als sehr gering belastet.

Zwischen Stein am Rhein und Tössegg schwanken die Werte nur geringfügig. Mit Ausnahme der Probenahmestelle Tössegg selbst, wo, wegen dem Einfluss der gegenüber dem Rhein deutlich mehr belasteten Töss erhöhte Gehalte bei den chemischen Parametern festgestellt werden. Vom Bodensee bis oberhalb der Tössegg kann deshalb der Rhein generell als unbelastet bis sehr gering belastet gelten.

2.2 Mikrobiologie

In den Sommermonaten, zwischen Juni und August, werden zwischen Stein am Rhein und Tössegg durch das ALU regelmässig bei allen Badeplätzen Proben für mikrobiologische Untersuchungen erhoben. Bestimmt werden *Escherichia coli* und Salmonellen, letztere bei positiven Befunden auch typisiert. Die Bewertung erfolgt nach den EMPFEHLUNGEN FÜR DIE HYGIENISCHE BEURTEILUNG VON SEE- UND FLUSSBÄDERN, 1991.

Seit 15 Jahren können bis auf die Höhe von Rüdlingen in aller Regel sog. A- und B-Bewertungen vorgenommen werden. Dies bedeutet, in der Terminologie der Empfehlungen, dass von der Mikrobiologie her eine gesundheitliche Beeinträchtigung beim Baden auf diesem Rheinabschnitt nicht zu erwarten ist.

Erhöhte, aber immer noch tolerierbare Belastungen (C-Bewertungen) sind fallweise im Bereiche der Thureinmündung, sowie bei Rüdlingen und bei der Tössegg feststellbar, dort im Einflussbereich der Töss.

Obwohl durch Witterungseinflüsse, punktuelle landwirtschaftliche Abgänge, Vogelkot und dergleichen kurzfristige Verschlechterungen stellenweise auftreten können, musste an keiner Stelle je eine D-Bewertung vorgenommen und damit ein Badeverbot verfügt werden.

2.3 Biologische Untersuchungen am Hochrhein

Seit 1990 wird im Rahmen eines koordinierten Untersuchungsprogramms am Hochrhein im Fünfjahresturnus der biologische Zustand erfasst. Träger des Programms sind die Rheinanliegerkantone, der Bund und das Land Baden-Württemberg. Zwischen Stein am Rhein und Basel wurden an 9 Flussquerschnitten Tauchprobenahmen zu den Wasserwirbellosen und an 126 Stellen Uferprobenahmen durchgeführt. An zusätzlich 2 Stellen erfolgten Probenahmen von Phytoplankton.

Aus der zusammenfassenden Bewertung 2002 ist zu entnehmen:

- Die **Planktonentwicklung** wird weitgehend durch die Ausschwemmungen aus dem Bodensee bestimmt. Auf der Fliessstrecke ist die zusätzliche Bildung von Plankton und Algen nur bedingt gegeben. Dominant sind Kieselalgen und Blaualgen.
- Von den **Wasserpflanzen** im Hochrheinabschnitt oberhalb Schaffhausen dominiert der strömungsliebende Flutende Hahnenfuss *(Ranunculus fluitans)*, der sich, im Vergleich zu den Probenahmen 1990/1992, mindestens vorübergehend, stark zurückgebildet hat.
- Im Hochrhein konnten erfreulicherweise 232 **Wirbellose** taxiert werden. Damit erweist sich die Hochrheinstrecke, insbesondere

oberhalb der Aaremündung, als ein bedeutendes Artenreservoir für den gesamten Rhein! Die grösste Artenvielfalt findet sich in den Freifliessstrecken.

- Von den **Fischen** sind, ausgenommen der Aal, die Langdistanzwanderer, zu denen etwa der Lachs gehört, noch nicht in den Hochrhein vorgedrungen. In der freien Fliessstrecke zwischen dem Untersee und Schaffhausen dominiert die Äsche (Abb. 5), daneben Bachforelle, Barbe und Alet. In den Staubereichen des Hochrheins ist das einst dominierende Rotauge, aber auch Barben und Brachsmen im Bestand seit Mitte der Neunzigerjahre rückläufig.



Abb. 5. Rheinäsche.

2.4 Organische Spurenstoffe und Schwermetalle

Der Rhein weist oberhalb des Rheinfalls in der Regel 300 – 500 m^3/s, bis Basel dann rund den zweifachen Durchfluss auf. Einträge von Spurenstoffen aus hauptsächlich Landwirtschaft und Kläranlagenabläufen unterliegen deshalb einer sehr grossen Verdünnung.

Regelmässig gemessen werden die wichtigsten organischen Spurenstoffe und Schwermetalle seit 1993 mit der **Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein**, die vom Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt im Auftrag des BUWAL's und des Landes Baden-Württemberg betrieben wird. Die organischen Spurenstoffe in der Wasserphase werden online kontinuierlich (teilweise 14-täglich) gemessen, die Schwermetalle in zweiwöchigen Mischproben, die Schwebestoffe monatlich zweimal.

Aus dem JAHRESBERICHT 2003 für diese Station ist zu entnehmen:

- Die Konzentrationen der **Schwermetalle** Cd und Hg liegen in der Regel unterhalb der Bestimmungsgrenze. Pb, Cr, Cu, Ni und Zn sind im Jahresmittel, je nach Metall, von unterhalb 1 µg/l bis gegen 2 µg/l feststellbar.
- Von den 60 untersuchten gängigen **Pestiziden (Insektiziden, Herbiziden u. a.)** konnten 21 in Konzentrationen meist knapp oberhalb der Nachweisgrenze (> 0,005 µg/l) gefunden werden. Konzentrationen > 0,1 µg/l (Grenzwert) wurden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht gefunden. 2003 wurde z. B. Atrazin in einer mittleren Jahreskonzentration von 0,014 µg/l detektiert. Obwohl dieser Gehalt unbedenklich ist, ergibt sich rechnerisch mit der grossen Wasserführung des Rheins immerhin doch noch eine Jahresfracht von 370 kg! Im Mehrjahresvergleich stellt man eine erfreuliche stetige Abnahme der Atrazinkonzentrationen fest, was auf die positive Wirkung von rechtlichen Regelungen schliessen lässt.
- Für die 14-täglich untersuchten Phenylharnstoff- und Phenoxialkankarbonsäure-**herbizide**, für die untersuchten Organochlor- und Nitrophenon**insektizide** sowie für die während unterschiedlichen Zeitperioden untersuchten gängigen **Pharmaka** gelten vergleichbare Feststellungen, wie für die Pestizide. Interessant ist dabei z. B. der Coffeingehalt von an sich ebenfalls unbedenklichen 0,07 µg/l im 145-Tage-Mittel, was aber einer Fracht von ca. 550 kg entspricht oder einem Äquivalent von 7,37 Mio. Tassen Kaffee. Coffein ist biologisch schlecht abbaubar und gelangt via Kläranlageausläufe und Regenentlastungen in den Rhein.
- Täglich werden auch 23 leichtflüchtige **chlorierte Lösungsmittel** analysiert. Deren gesamter Summenmittelwert wurde über das Jahr zu 0,132 µg/l bestimmt, also in einer sehr niedrigen Konzentration.
- Von den 9 untersuchten leichtflüchtigen nichthalogenierten Verbindungen **(BTX-Aromaten, MTBE)** lagen 6 immer unterhalb

der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l. Das treibstoffbürtige MTBE (Antiklopfzusatz) dagegen wurde auch im Rhein mehrfach bis zu einer Maximalkonzentration von 4,5 µg/l festgestellt. Dagegen lagen die Konzentrationen der 32 untersuchten **schwerflüchtigen organischen Verbindungen** alle unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l.

Die Untersuchung der **Schwebestoffe** zeigt, dass dort, wegen den kummulativen adsorptiven Effekten, in der Regel bedeutend höhere Konzentrationen von Spurenstoffen gefunden werden können, als in der Wasserphase. Je nach Herkunft, Sedimentaufwirbelung usw. sind auch Verbindungen noch nachweisbar, die längst nicht mehr angewendet werden dürfen. Von den Pestiziden sind das längst verbotene Lindan und Hexachlorbenzol, allerdings über die Jahre stetig abnehmend, immer noch nachweisbar. Die PCB-Kongeneren sind 2003 zu 84 µg/kg und die PAK zu 3,3 mg/kg Schwebematerial bestimmt worden.

Bei den Schwermetallgehalten sind die Zielvorgaben der IKSR im Aktionsprogramm «Rhein 2000» erreicht. Erhöhte Werte sind bei Zn, Cu und Ni feststellbar.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass sowohl in der Wasserphase wie auch im Schwebestoffmaterial die vorgegebenen Ziel- oder Grenzwerte, soweit vorhanden, für die meisten untersuchten Verbindungen eingehalten werden.

2.5 Spezialuntersuchungen

- In einer Arbeit von Christian Wegner, Universität Jena, 2001, wurde das seit Jahren jeden Sommer, etwa zwischen Juni und September, auftretende **Schaumproblem** unterhalb des Rheinfalls untersucht.

  Da zwischen 1967 und 1971 die vom Flutenden Hahnenfuss *(Ranunculus fluitans)* besiedelte Flussfläche von 2,2 auf 31,1 ha und parallel dazu auch die Schaumbildung im Rheinfallbecken mit Verschleppung bis mehrere Kilometer stromabwärts, explosionsartig zugenommen hatte, wurde bald einmal ein ursächlicher Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen vermutet. Dies insbesondere auch deshalb, weil der Hahnenfuss stark schaumbildende Substanzen (u. a. Saponine) bildet und synthetische Detergentien als Alleinursache für den Schaum nicht in genügendem Ausmass nachgewiesen werden konnten.

  Im Verlaufe der Arbeit fand Wegner in Extrakten von *R. fluitans* **sechs Saponine**, davon zwei bisher noch unbekannte. Ferner konnte er **vier Glykoglycerolipide**, deren Vorkommen in Ranunculaceen erstmals konkret festgestellt wurde, beschreiben. Der Nachweis wurde u. a. mittels Liquidchromatografie mit massenspektrometrischer Detektion (LC-MS) geführt, mit einer Nachweisgrenze < 1 ng.

  Die oberflächenaktiven Saponine wurden im weiteren Fortgang der Arbeit sowohl im Rheinwasser als auch in den Schaumproben (hier mit ihrem charakteristischen Fragmentierungsmuster) gefunden. Im Schaum, nicht aber im Wasser, wurden auch einzelne, aber nicht alle der Lipide detektiert.

  Naheliegend ist, dass die Kläranlageausläufe auch Restkonzentrationen von synthetischen Tensiden enthalten und damit solche auch im Rheinwasser vorkommen müssen. Diese wurden denn auch gefunden. Allerdings konnte nur ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Schaumbildung und der Wasserkonzentration der natürlichen Saponine gefunden werden. Für die synthetischen Schaumbildner war kein logischer Zusammenhang feststellbar. Ausserdem sind die Hahnenfusssaponine nur im Sommer, also während der Schaumbildung, im Wasser vorhanden, die synthetischen Verbindungen jedoch ganzjährig.

  Gemäss Wegner ist davon auszugehen, dass die Hauptursache für die Bildung von Schaum im gigantischen Mixer Rheinfall mit den Inhaltsstoffen des *R. fluitans* gegeben ist. Detergentien aus Haushalt und Industrie, die in den Kläranlagen weitgehend aber nicht 100-prozentig abbaubar sind, sowie allenfalls andere Effekte, können möglicherweise unterstützend für die Schaumbildung wirken.
- An heissen und sonnenintensiven Sommertagen wurde schon mehrmals das Phänomen der **«biogenen Entkalkung»** festgestellt

(HELLMANN, 1986, und ALU, 1998 und 2003), z. B. im Juni 03 auf der Höhe von Diessenhofen. Beobachtet werden kann dabei eine plötzlich auftretende weissliche Trübung des Wassers über den ganzen Flussquerschnitt.
Verantwortlich für diese Erscheinung ist eine durch Hitze und Sonneneinstrahlung explosionsartig auftretende Vermehrung von assimilierenden Grünalgen. Durch deren stressartigen CO_2-Konsum wird das Kalk-Kohlendioxidgleichgewicht gestört und feinkristalliner Kalk ausgeschieden.
Im oben beschriebenen Fall haben wir entsprechende Proben mittels Rasterelektronenmikroskop, REM, untersuchen lassen und damit sowohl die feinkristalline Struktur wie auch deren Spektrallinien von Calziumcarbonat eindeutig nachweisen können (Abb. 6 und 7).

- Wie bereits erwähnt, haben, in der Nachbearbeitung des Sandoz-Grossbrandes in Basel, bei dem 1986 rund 500 km Flussstrecke durch Insektizide belastet und dadurch ein grosses Fisch- und Nährtiersterben ausgelöst wurde, die Minister der Rheinanliegerstaaten 1987 das sog. **Aktionsprogramm Rhein 2000** ins Leben gerufen. Ziel dieses Programms war und ist es, das Ökosystem Rhein erheblich zu verbesern. Zum Symbol dafür wurde die Wiederansiedlung des Lachses gewählt. Weiter sollte der Rhein als Trinkwasserreservoir nachhaltig gesichert werden. Ausserdem wurde angestrebt, die Schadstoffbelastung der Flusswassersedimente zu reduzieren und die Wasserqualität in der Nordsee zu verbessern.
  In der Bilanzierung (IKSR, 2003) kann dieses Programm der **Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins,** in der auch Schaffhausen vertreten ist, als sehr erfolgreich bezeichnet werden:

1. Die punktförmigen Schadstoffdirekteinleitungen wurden um 70–100% reduziert und der Anschlussgrad von Kommunen und Industrie von 85 auf 95% gesteigert. Die Elimination des nordseebelastenden Stickstoffs wurde, u. a. auch mit dem Neubau der ARA Röti in Schaffhausen, stark vorangetrieben.



Abb. 6. Ausgeschiedene $CaCO_3$-Kristalle an Pflanzenmaterial angelagert.

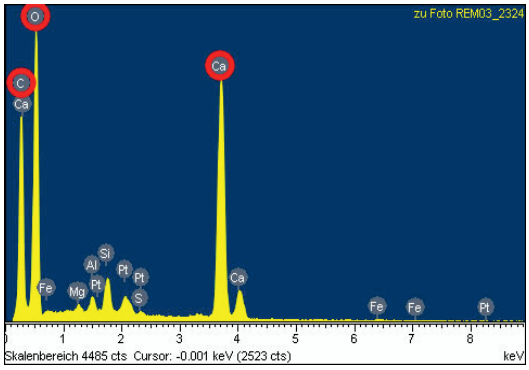


Abb. 7. Die REM-Spektralaufnahme eines Einzelkristalls zeigt, neben Verunreinigungen, die typischen Elemente des $CaCO_3$.

Hier besteht aber noch Handlungsbedarf. Die Zielvorgaben der IKSR für die Belastung der Sedimente, wir haben es weiter oben ausgeführt, sind für einzelne Stoffe ganz oder nahezu erfüllt. Die Belastung des Rheinwassers mit Schadstoffen hat sich erheblich vermindert, und die IKSR-Ziele sind für fast alle Verbindungen eingehalten.

2. Die Empfehlungen der IKSR zur Störfallvorsorge wurden, in der Schweiz mit dem Erlass der EIDGEN. STÖRFALLVERORDNUNG, 1991, umgesetzt. Die Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen sind erheblich zurückgegangen.
3. Die Tierwelt im Rhein hat sich erholt, und die Fische, mit Ausnahme der fettreichen Aale, sind wieder essbar. Im Rhein leben heute 63 Fischarten und es fehlt eigentlich nur noch der Stör. Dank hohen Aufwändungen für

die Herstellung der Passierbarkeit der Wehre können die Wanderfische, Lachs und Meerforelle, von der Nordsee bis in den Oberrhein und von dort in einige Nebenflüsse gelangen und laichen. Bis Anfang 2003 konnten mindestens 1900 Lachse in das Rheinsystem zurückkehren. Basel und damit auch Schaffhausen sind für diese Fische aber noch nicht erreichbar.

4. Die ab 2000 vorgenommene Bewertung der Gewässerstruktur zwischen Bodensee und Nordsee (Sohle, rechtes und linkes Ufer mit Umfeld) zeigt durchgehend grosse ökologische Defizite und damit noch einen entsprechenden Handlungsbedarf.

Um die Arbeit am Rhein weiterführen zu können, wurde von der IKSR das Nachfolgeprogramm **Rhein 2020** gestartet, das sich den vorhandenen Defiziten und der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinien (WRRL) am Rhein widmen wird.

3 LITERATUR

Eidg. Gewässerschutzverordnung (SR 814.201). 1998.

BUWAL. 2004. Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein, 1999–2002. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 375.

IGKB. 2004. Limnologischer Zustand des Bodensees 2003–2004, Bericht Nr. 31.

Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, ALU. Div. Jahre. Analysendaten und Fallbeschreibungen Biogene Entkalkung auf www.umweltschutz-sh.ch.

Eidgenössische Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (SR 814.013). 1986.

Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Stadt. 2003. Jahresbericht der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein.

WEGNER, C. 2001. Ranunculus fluitans und Rheinfallschaum, Dissertation an der Friedrich-Schiller-Universität, Jena.

HELLMANN, H. 1986. Analytik von Oberflächengewässern. Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Internationale Kommission zum Schutze des Rheins, IKSR. 2003. Bilanz Aktionsprogramm Rhein.

IKSR. 2004. Rhein Lachs 2020.

IKSR. 2004. Schriftenreihe Rhein Aktuell. Nr. 22.

Umweltbundesamt Berlin: Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

BAG, BUWAL, Verband der Kantonschemiker und Verband der Kantonsärzte der Schweiz. 1991. Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von Flussbädern.

Eidgenössische Verordnung über den Schutz vor Störfällen (SR 814.012). 1991.

Hermann U. Hardmeier, Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, ALU,
CH-8201 Schaffhausen, E-Mail: hermann.hardmeier@ktsh.ch

Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung und des Hochwasserschutzes am Rhein

Ruedi Schneider (Schaffhausen)

1 EINLEITUNG

Zur Deckung des Energiebedarfs für die aufstrebende Industrialisierung wurden am Hochrhein im angehenden 20. Jahrhundert die ersten Laufkraftwerke gebaut. Die technischen Möglichkeiten im Wasserbau machten aber auch die grossräumige Korrektion von Flüssen zum Schutz gegen Hochwasser und für die Landgewinnung möglich. Im Vordergrund stand der ökonomische Nutzen und der Hochwasserschutz. Ökologie war damals ein noch wenig bekannter Begriff. Wie sich jetzt herausstellt, hat diese einseitige Betrachtungsweise gravierende Folgen.

Das erste Kraftwerk am Hochrhein wurde in Rheinfelden vor über hundert Jahren gebaut. Die Betriebsaufnahme erfolgte im Jahre 1898. Es war das erste grosse Flusskraftwerk Europas. Die angehende Industrialisierung benötigte Energie, und so folgten Schlag auf Schlag weitere Kraftwerke. Doch nicht allein die Energiegewinnung war Motor dieser Entwicklung, sondern auch die Pläne zur Schiffbarmachung des Hochrheins. Der Einstau war unabdingbar für eine genügende Fahrwassertiefe zu jeder Jahreszeit.

Die Auswirkungen dieser Eingriffe in die Ökosysteme zeigen schon früh negative Folgen. Doch erst mit den in den letzten Jahren gewonnenen Erkenntnissen im Bereich der Ökologie und Hydrologie lassen sich die negativen Folgen wissenschaftlich erklären. Die «Flusssünden» mögen aus dem Zeitgeist der beginnenden Industrialisierung und in Anbetracht der mangelhaften Kenntnisse ökologischer und hydrologischer Zusammenhänge noch zu entschuldigen sein. Heute jedoch, im Wissen um die Folgen und um deren Ursachen ist es höchste Zeit zu sanieren, was noch möglich ist.

2 NEGATIVE FOLGEN

Ein natürliches Fliessgewässer stellt ein Kontinuum dar, d. h. es ist ein zusammenhängendes System, in welchem sich von der Quelle bis zur Mündung alles Leben grundsätzlich frei bewegen kann. Ausnahmen sind grosse Wasserfälle, welche auch für Fische unüberwindbar sind. Flüsse sind sehr vielfältige Lebensräume. Sie umfassen nicht nur den aquatischen Lebensraum, sondern auch wechselfeuchte Uferzonen, Auen und trockene Erosionshänge.

Der ca. 120 km messende Hochrhein zwischen Untersee und Basel ist durch insgesamt 11 Kraftwerke schwer beeinträchtigt. Die gesamte Flussstrecke ist eine Abfolge von Stauhaltungen, das Flusskontinuum ist mehrfach unterbrochen. Dadurch hat sich die Zusammensetzung der Biozönosen deutlich verändert. Wo früher strömungsliebende Arten mit hohem Sauerstoffbedarf dominierten, finden sich heute weniger anspruchsvolle Stillwasserarten. Darüber hinaus ist der genetische Austausch der Organismen erschwert oder verhindert. Am gesamten Hochrhein gibt es nur noch etwa 25 km frei fliessende Flussstrecke.

Verlorener Fliesscharakter: Der Hochrhein war früher ein sehr dynamischer Fluss mit starker Strömung, stellenweise wurden die Ufer erodiert, andernorts erfolgten Auflandungen. Der Hochrhein transportierte Unmengen von Geschiebe, welche durch die Seitenflüsse insbesondere die Thur und die Aare eingetragen wurden. Die Flusssohle war zumindest bei Hochwasser in Bewegung und wurde dadurch immer wieder gereinigt. Sie war Lebensraum für vielerlei Kleintiere und Laichgrund für viele Fischarten (z. B. Äsche), welche auf lockeren Kies als Laichgrund angewiesen sind. Die starke Strömung erodierte insbesondere Steilhänge, so dass Hangrutschungen entstanden. Auf dem

freien Rohboden siedelten sich Pionierpflanzen an. Diese Gebiete waren besonders reich an heute seltenen und geschützten Pflanzen. Sie waren Lebensraum für Reptilien und Vögel. Steile Hangrutschungen boten dem Eisvogel und Uferschwalben Gelegenheit, ihre Niströhren zu graben.

Innere Kolmation: In den Staubereichen ist die Fliessgeschwindigkeit stark reduziert. Damit reicht die Schleppkraft nicht mehr aus, das Geschiebe flussabwärts zu transportieren, und die Flusssohle wird nicht mehr umgelagert. Bei tiefer liegendem Grundwasserspiegel infiltriert Wasser durch die Gewässersohle in den Boden. Die im Wasser enthaltenen Schwebstoffe werden im Porenraum der Filterschicht eingelagert. Damit nimmt die Durchlässigkeit ab, und die Gewässersohle verfestigt sich. Der Austausch mit dem Grundwasser (Infiltration/Exfiltration) wird dadurch behindert. Die kolmatierte Sohle ist als Lebensraum für viele Kleinlebewesen und als Laichgrund verloren.

Äussere Kolmation (Sedimentation): In den Bereichen mit sehr kleinen Fliessgeschwindigkeiten, insbesondere im Nahbereich der Wehre, werden Feinsedimente in mächtigen Schichten abgelagert. In Extremfällen kann ein Staubereich komplett verlanden. Dieser Vorgang ist am Klingnauer Stausee (Aare) bereits sehr weit fortgeschritten.

Konstante Staupegel: In den Stauhaltungen werden die Pegel durch die Wehrstellung geregelt. D. h. die Wasserstandsschwankungen betragen in hydrologischen Normaljahren nur wenige Dezimeter. Wechselfeuchte Zonen fehlen. Kiesbänke und Felsen, welche in den Wintermonaten regelmässig zum Vorschein kamen, sind allesamt eingestaut. In den Staubereichen führte dies zum gänzlichen Verschwinden jener Flora und Fauna, welche auf solche Lebensräume spezialisiert ist (Rehsteiners Vergissmeinnicht, Gift-Hahnenfuss usw.).

Behinderte Fischwanderung: Mit dem Bau der Kraftwerke am Hochrhein verschwanden die Wanderfische, wie insbesondere Nase, Schneider und Lachs. Die Kraftwerke wurden zwar teilweise mit Fischtreppen versehen, doch funktionieren sie in vielen Fällen schlecht, keine davon ist lachsgängig. Viele Fischpopulationen sind genetisch voneinander abgeschottet, was teilweise zu Inzucht führt.

Unpassierbare Seitenbäche (Abb. 1): Viele Seitengewässer sind ebenfalls verbaut, mit Abstürzen versehen, oder der Mündungsbereich ist verlandet. Damit wird den Fischen der Zugang zu wichtigen Laichplätzen und zu kühlerem Wasser verwehrt.



Abb. 1. Die nicht niveaugleiche Mündung des Saarkanals unterhalb Sargans verhindert den Fischaufstieg in das Seitengewässer. (Foto: P. Rey).

Restwasserstrecken am Hochrhein: Die meisten Kraftwerke am Hochrhein sind Laufkraftwerke, welche das Wasser unmittelbar nach der Turbinierung wieder in den Fluss abgeben. Albbruck-Dogern, vor allem aber Rheinau sind Ausleitungskraftwerke: Das Nutzwasser wird ausgeleitet und nach der Turbinierung über einen Kanal oder Stollen dem Fluss wieder zugeleitet. Damit kann ein grösseres Gefälle genutzt werden. Es entsteht jedoch eine Restwasserstrecke, welche nur noch einen Bruchteil der natürlichen Wassermenge führt.

Hartverbauungen: Bedingt durch die Kraftwerkbauten wurden oft Hartverbauungen (z. B. Blockwurf) durchgeführt, im Extremfall die Ufer sogar zubetoniert und begradigt. In den monoton verbauten Ufern finden sich kaum noch Nischen und Unterstände für Kleinfische oder Kleintiere.

Uferbereiche und Auen: Auen werden von der Flussdynamik immer wieder umgestaltet. Sie zeichnen sich durch eine Vielzahl unterschiedlichster Lebensräume aus, auch abhängig vom Fortschritt der Sukzession. Die Begradigung der Flüsse und die Abtrennung der Auen vom Flusssystem, deren Entwässerung und Nutzbarmachung für die Landwirtschaft und zur Gewinnung von neuem Siedlungsgebiet waren schwere Eingriffe in die Ökosysteme. Die Auen waren natürliche Retentionsflächen, welche Hochwasserspitzen speicherten und das Wasser später kontinuierlich an den Fluss zurückgaben. Als Folge der Trockenlegung der Auen haben die Hochwasserspitzen für die Unterlieger zugenommen.

Der menschliche Landbedarf hat die Uferbereiche schrumpfen lassen, etwa wenn Verkehrsträger entlang von Ufern gebaut werden und so das Hinterland vom Fluss abgeschnitten wird. Im Gegenzug mussten Siedlungen und technische Infrastrukturen vor Hochwasser mit Hartverbauungen und Hochwasserschutzdämmen geschützt werden. Weil der Hochrhein auf langen Strecken in tiefen Rinnen zwischen Steilufern fliesst, fehlt das Potenzial zu grossen Korrektionen, wie sie am Alpenrhein stattfanden.

Ökologische Verarmung am Alpenrhein (Abb. 2): Der einst mäandrierende Fluss mit teilweise mehreren Armen, riesigen Auen und Giessen war ein vielfältiges Gewässersystem von 90 km Länge. Der Alpenrhein war jedoch unberechenbar, und wer sich in Flussnähe ansiedelte, riskierte sein Leben. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde deshalb im Rahmen der Internationalen Rheinregulierung der Alpenrhein in ein Doppeltrapezprofil gezwängt, verbaut, begradigt und der Lauf verkürzt. Bei den grossen Seitengewässern wurde gleichermassen verfahren. Diese Korrektionen erschlossen zwar neue Siedlungsgebiete und neues Landwirtschaftsland und dämmten die Hochwassergefahr. Anderseits zeigen sich heute gravierende ökologische Folgen. Durch die Begradigung und Einengung erhöhte sich die Fliessgeschwindigkeit. Damit nahm die Schleppkraft zu und die Sohle wurde abgetieft. In der Folge sank der Grundwasserpegel, und die wertvollen Giessen in den alten Auen versiegten. Die Torfböden der Riedgebiete beginnen sich zu zersetzen. Der Eintiefungsprozess ist oberhalb Buchs noch immer im Gange. Die Eintiefung hat zur Folge, dass die Seitengewässer über Rampen in den Rhein stürzen, die für Fische nicht mehr passierbar sind.

Der allgemeine Artenschwund ist am Beispiel der Fische besonders deutlich zu erkennen. Von den 30 um 1850 noch festgestellten Arten existieren heute noch 17. Aus den abgeschnittenen Nebenarmen verschwanden die Stillwasserarten wie Schleie, Karpfen oder der Bitterling. Häufig sind heute nur noch 6 Arten: Bachforelle, Elritze, Äsche, Hasel, Groppe und Brachsen.

Restwassertrecken an Gebirgsflüssen (Abb. 3): Wie im gesamten Alpenraum werden in den Einzugsgebieten von Vorder- und Hinterrhein Bäche um- und abgeleitet und durch Stollensys-



Abb. 2. Das regulierte Gewässernetz des Alpenrheins auf der Höhe Schaan (Liechtenstein) ist an den begleitenden Baumstreifen zu erkennen. (Foto: P. Rey).



Abb. 3. Ableitung des Rheins bei Sedrun durch die Kraftwerke Vorderrhein AG. Das im Gerinne belassene Restwasser ist gleich Null. (Foto: Archiv Rheinaubund).

teme den Speicherseen zugeführt. Die Bestimmungen des Gewässerschutzgesetzes, wonach eine Bewilligung für Wasserentnahmen nur erteilt werden kann, wenn eine angemessene Restwassermenge gewährleistet ist, gilt nur für neue Konzessionen. Fast alle Konzessionen wurden jedoch in den Boom-Jahren 1950 bis 1970 noch vor der Inkraftsetzung des Gewässerschutzgesetzes erteilt. In vielen Fluss- und Bachbetten ist daher kaum noch Wasser zu finden. Die Wasserläufe sind aus der Gebirgslandschaft als gestaltende Elemente vielfach verschwunden.

Sunk und Schwall am Alpenrhein (Abb. 4): Der Verbrauch von elektrischer Energie ist im Tagesverlauf nicht konstant. Während der Verbrauchsspitzen werden daher Maschinen zugeschaltet – es wird Spitzenenergie produziert. Moderne Anlagen können innert Sekunden auf Abruf hochgefahren werden. Diese Art der intervallmässigen Energieerzeugung im 6000 km^2 grossen Einzugsbereich des Rheins hat grosse Abflussschwankungen über den Tagesverlauf zur Folge. Flussflächen können trocken fallen, und somit gehen die im Flussbett lebenden Kleinlebewesen und Jungfische zugrunde, wenn sie der Wasserlinie nicht folgen können. Bei Schwall werden sie (und die Fischeier) abgeschwemmt. Der Schwall trübt zudem das Wasser und fördert die Kolmation.



Abb. 4. Sunk, Schwall und Trübung durch Feinsedimente infolge intermittierendem Kraftwerksbetrieb aus der Landquart. (Foto: P. Rey).

Verminderter Erholungswert: Der aktuelle Zustand der Landschaft ist für die darin aufgewachsene Generation der Referenzzustand. So findet jede Generation die Landschaft in der Regel schön, so wie sie ist. Die Erinnerung an verlorene Naturwerte ist das «Privileg» der älteren Generation. Die Änderungen in der Landschaft erfolgen häufig in kleinen Schritten und werden kaum wahrgenommen. Tatsache ist, dass sich unsere Landschaft in den vergangenen 100 Jahren massiv verändert hat. So sind etwa 90% unserer Flüsse durch technische Massnahmen beeinträchtigt. Wo früher kilometerlange Uferpartien mit Kiesufern und Kiesbänken zum Lagern und Spielen einluden, sind in den Stauhaltungen die Ufer meist steil und auf weite Strecken verbaut. Unsere Flüsse gehören trotzdem zu den attraktivsten Erholungsräumen für den Menschen. Erholungssuchende finden sich daher in Massen an den wenigen verbliebenen Flachufern und naturnahen Flächen ein. Augenfällig wird der erhöhte Erholungswert der Gewässer an der Thur, am Rhein (Schaaren, Petri) und auch am Bodensee (vgl. LEUTERT und PFÄNDLER, in diesem Werk bzw. auch BAUMANN et al.).

3 HOFFNUNG FÜR DEN RHEIN?

Der Handlungsbedarf ist auf Regierungsebene erkannt, die bestehenden Gesetze und Richtlinien sind gute Grundlagen für einen effizienten Gewässerschutz. Sowohl am Hochrhein wie auch am Alpenrhein haben sich die Länder und Kantone in internationalen Gremien zusammengeschlossen, und die Umweltverbände haben eigene Initiativen lanciert. Auch verschiedene Kraftwerke wie beispielsweise das Kraftwerk Schaffhausen investieren erhebliche Mittel, um im Stau- bzw. Konzessionsbereich vermehrt Renaturierungsarbeiten durchzuführen; als Lohn winkt mit dem nature-made-star-Strom-Label die höchste Auszeichnung, welche ein Wasserkraftwerk erreichen kann (vgl. den Beitrag von VOGELSANGER, in diesem Werk). Die Absichten geben zur Hoffnung Anlass, dass der Rhein und seine Seitengewässer zumindest langfristig

wieder etwas von ihrer ursprünglichen ökologischen Qualität zurückgewinnen werden.

Leider gibt es auch umgekehrte Tendenzen, etwa die Lockerung der raumplanerischen Vorgaben oder der Restwasservorschriften des Gewässerschutzgesetzes. Wie schon in den 50er Jahren, als die wilde Flusslandschaft durch den Bau des Kraftwerkes Rheinau in den gestauten Wassermassen unterzugehen drohte und dem Rheinfall zwei Meter Fallhöhe abgezwackt werden sollten, setzen sich auch heute noch verantwortungsbewusste und weitblickende Menschen, Vereine und Kommunen für den Erhalt unserer Gewässer ein – zum Wohl der zukünftigen Generationen (Abb. 5).

Der Rheinaubund, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Natur und Heimat, ist hervorgegangen aus den Volksbewegungen gegen den Bau der Kraftwerke in Rheinau und am Spöl. Der Kampf ging zwar verloren, doch wurde die Diskussion um Naturwerte erstmals breit in der Bevölkerung und auf Regierungsebene diskutiert. Mit dem Rheinaukampf wurden die Grundlagen für die Einführung des Verfassungsartikels für Natur- und Heimatschutz gelegt, dem später die Einführung des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) folgte.



Abb. 5. Durch den Einstau des Kraftwerks Rheinau verminderte sich die Fallhöhe des Rheinfalls bei Niedrigwasser um zwei Meter. Die Querlatte zeigt den Pegel nach dem Einstau. (Foto: Archiv Rheinaubund).

4 LITERATUR

REY, P. 2004. Alpenrheinzuflüsse und Bäche am Alpenrhein, Natur und Mensch (6), 10–15.

KÜRRY, D. & ZOLLHÖFER, J. 2003. Kriterien für einen Biotopverbund am Hochrhein, Gewässerdirektion südlicher Oberrhein/Hochrhein.

SCHÄLCHLI, ABEGG + HUNZIKER, 2000. Geschiebehaushalt am Hochrhein, Bundesamt für Wasser und Geologie.

Ruedi Schneider, Geschäftsführer Rheinaubund, Postfach 1157, CH-8201 Schaffhausen,
E-Mail: info@rheinaubund.ch

Natur im Staubereich des Kraftwerkes Schaffhausen

Walter Vogelsanger (Schaffhausen)

1 EINLEITUNG

Die Wasserkraft ist eine begehrte, erneuerbare Energiequelle. Bau und Betrieb eines Wasserkraftwerkes sind aber mit Eingriffen in die Landschaft und in Lebensräume verbunden. Die Folgen für Umwelt und Natur sind vielfältig und komplex. Am Beispiel des Wasserkraftwerkes Schaffhausen am Hochrhein werden nachfolgend Auswirkungen auf den Rhein-Fluss aufgezeigt. Ausführlich soll aber auch dargestellt werden, wie durch gezielte Massnahmen Lebensräume für Pflanzen und Tiere sowie Erholungsräume des Menschen deutlich aufgewertet werden können.

2 DAS KRAFTWERK SCHAFFHAUSEN

Die Stromschnellen bei Schaffhausen werden seit dem Mittelalter zur Energiegewinnung genutzt. Bis Mitte des 19. Jahrhunderts erfolgte diese Nutzung durch Wasserräder. Im Zuge der Industrialisierung wurde die Wasserkraftnutzung am Rhein ab 1851 schrittweise ausgebaut und ab 1882 auf Elektrizität umgestellt.

Das heutige Flusskraftwerk entstand in den Jahren 1960–1967. Es ist ausgelegt für eine Jahresnutzung von etwa 170 Millionen Kilowattstunden und einer genutzten Wassermenge von 500 m^3/sec. Das Stauwehr ist für einen max. Hochwasserabfluss von 1250 m^3/sec. dimensioniert. Je nach Wasserführung beträgt das nutzbare Gefälle zwischen Oberwasser und Unterwasser 5–8 Meter. Der Rhein wird durch das Wehr auf einer maximalen Länge von 12 500 Metern aufgestaut. Die Kraftwerksbauten überbrücken den gesamten Rhein und sind eingezwängt zwischen Verkehrsanlagen und Fabrikbauten am Nordufer und einem felsigen Steilhang am Südufer (Abb. 1; s. auch VISCHER, in diesem Werk).

Im Rahmen der Bauarbeiten sind auch sehr umfangreiche Uferschutzmassnahmen im gesamten Staubereich realisiert worden. Gemäss Konzessionsbestimmungen «*sind die Rheinufer vom Kraftwerkunternehmen nach Anweisung der Behörden instand zu halten und soweit durch besondere Bauten gegen Wasserangriff zu sichern, als eine Schädigung erwartet werden kann oder nach Inbetriebnahme des Werkes festgestellt wird*».

3 EINFLUSS DER WASSERKRAFTNUTZUNG AUF DIE UMWELT

Die Auswirkungen eines Flusskraftwerkes auf die Landschaft und auf den Fluss als Lebensraum sind sehr vielfältig. Einzelne Aspekte werden dabei durchaus positiv wahrgenommen. Dazu gehören in Schaffhausen zum Beispiel die Verhinderung von Hochwasser im Staubereich durch die Regulierungsmöglichkeit des Wasserstandes oder die durch die Stauhaltung erleichterte Schifffahrt. Meist negativ werden folgende Einflüsse eines Flusskraftwerkes empfunden:



Abb. 1. Wehr des Kraftwerkes Schaffhausen vom Unterwasser her gesehen.

3.1 Störung des Landschaftsbildes und Barriere-Wirkung des Kraftwerkbaues

Der Bau eines Kraftwerkes in einem Flusslauf bedeutet eine starke Veränderung des Landschaftsbildes. In Schaffhausen ist es gelungen, die Gebäude einigermassen harmonisch in die Umgebung einzufügen. Jedes Bauwerk im Fluss wirkt als Barriere, was die Durchlässsigkeit der «Lebensader Fluss» erheblich stört. Dies trifft in erster Linie die Fische. Aber auch Schwemmgut wird angetrieben und aufgestaut, und bei Hochwasser können riesige Mengen Kies und Sand vor dem Wehr abgelagert werden, die man wieder ausbaggern muss.

3.2 Reduktion der Fliessgeschwindigkeit und erhöhte Sedimentation im Staubereich

Jedes Flusskraftwerk verändert die Flussdynamik. Der Stau verringert die Strömungsgeschwindigkeit stark, was zu Ablagerungen («Kolmatierung») und zu negativen Veränderungen des Sauerstoffgehaltes des Flusswassers führen kann. Beim Kraftwerk Schaffhausen werden Wasserspiegelschwankungen verhindert, was sich negativ auf die Ufergehölze mit Auencharakter auswirkt.

3.3 Uferverbauungen und Ufererosionen

Vor allem im Zusammenhang mit der Motorschifffahrt («Wellenerosion») und dem höheren Wasserstand nehmen die Erosionsschäden am Ufer deutlich zu. Im Zusammenhang mit dem Kraftwerkbau wurden deshalb viele Uferschutzbauten erstellt. Eine Untersuchung im Staubereich des Kraftwerkes stellte 1987 fest, dass nur noch 6% völlig natürliche Ufer vorhanden waren, 46% davon waren mit «harten» Verbauungen (Betonmauern, Betonplatten) versehen (Abb. 2) und der Rest entfiel auf Schutzbauten wie leichtes Bauwerk (15%), Block- oder Steinsatz (26%) sowie Flachuferschüttungen.

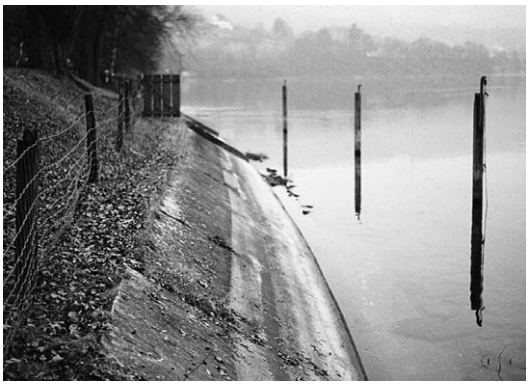


Abb. 2. Massive Betonplatte als Erosionsschutz.

4 MASSNAHMEN ZUR ÖKOLOGISCHEN VERBESSERUNG DER UMWELT IM STAUBEREICH

Beim Kraftwerk Schaffhausen hat die Geschäftsleitung relativ früh konkrete Massnahmen zur Verbesserung der Umwelt im Staubereich eingeleitet. Aufgrund der Untersuchung von 1987 wurden klare Grundsätze für den künftigen Uferunterhalt erarbeitet. Diese Grundsätze geben z. B. vor, dass

- Verbauungen im Wesentlichen nur vorgenommen werden zum Schutz von Menschen, Gebäuden, wertvollem Kulturland usw.;
- neue Uferschutzmassnahmen nach Möglichkeiten «sanft» und «naturnah» erfolgen sollen;
- nötige Uferschutzbauten durch Lebendverbauungen zu ergänzen sind;
- eine gezielte Pflege der Ufervegetation zu fördern ist;
- «flankierende Massnahmen» im Naturschutz (Vernetzungsprojekte) unterstützt werden;
- grossräumig Uferteilstrecken zu renaturieren sind;
- eng mit Behörden, Fachleuten und Verbänden zusammengearbeitet wird.

Diese Grundsätze sind konsequent umgesetzt worden. Erhebliche Beiträge des Kraftwerkes fliessen seit rund 20 Jahren in ökologische Massnahmen im Staubereich. Zu den konkreten Massnahmen gehören:

4.1 Renaturierung von Uferteilstrecken

In den vergangenen 15–20 Jahren konnten rund 1500 Meter Rheinufer gezielt renaturiert werden. Dazu gehört der Abbruch harter Schutzbauten



Abb. 3. Renaturiertes Ufer im «Rheinhölzle».

und die Neugestaltung naturnaher Ufer (s. SIESSEGGER und TEIBER, in diesem Werk). Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei einer Uferneigung von maximal 20% praktisch keine Ufererosion mehr stattfindet (Abb. 3). Aktuellstes Beispiel einer solchen Renaturierung ist die Sanierung des Rheinufers beim Campingplatz Langwiesen im Frühjahr 2005 (Abb. 4a, Abb. 4b; s. LEUTERT und PFÄNDLER, in diesem Werk).



Abb. 4a. Ufer bei der Badeanlage Langwiesen. Vor der Renaturierung.



Abb. 4b. Ufer bei der Badeanlage Langwiesen. Nach der Renaturierung.

4.2 Verzicht auf Verbauungen

Eine wesentliche Massnahme ist der Verzicht auf neue Schutzbauten in Absprache mit Behörden und Grundeigentümern. An verschiedenen Orten werden Ufererosionen bewusst zugelassen und damit kleinere Uferabbrüche, Rutschungen, Unterspülen der Ufer und umstürzende Uferbäume mit Totholzstruktur in Kauf genommen. Auf diese Weise werden wieder vielfältige Lebensräume für zahlreiche Lebewesen geschaffen. Unter anderem erhält der Eisvogel an erodierten Steilhängen Brutmöglichkeiten (Abb. 5) oder Jungfische finden in Ufernähe vermehrt Unterschlupf. Eindrückliche Beispiele ungestörter Flussdynamik mit vielfältigen Uferstrukturen finden sich im Staffelwald bei Obergailingen und im Schaarenwald. Diese Massnahme setzt eine sehr enge Zusammenarbeit mit Anstössern und Wasserbaubehörden voraus.



Abb. 5. Eisvogel-Brutröhre im Steilufer.

4.3 Aufwertung und Schutz von Lebensräumen im Rhein

Es gibt auch die Möglichkeit, Lebensräume direkt im Fluss aufzuwerten und zu schützen. Interessantes Beispiel dafür ist der Versuch, den sedimentierten Flussboden (Kolmatierung) an geeigneten Stellen mit Schreitbaggern aufzulockern und damit die Laichmöglichkeiten für die Äsche zu verbessern. Solche Einsätze an geeigneten Stellen haben sich offensichtlich bewährt und werden bei Bedarf weitergeführt. Eine erfolgreiche Massnahme ist zudem die Sperrung von Uferteilstrecken während der



Abb. 6. Einlauf eines Seitenbaches in den Rhein («Chleewiesbach»).

Laichzeit (z. B. im «Rheinhölzle» bei Büsingen) für Weidlingsfahrer («Stachler»). Dadurch kann verhindert werden, dass die kiesigen Flachufer nach der Laichablage mechanisch gestört werden.

Als wirksam erwies sich zudem die Ausbaggerung von Bachzuflüssen in den Rhein in den Jahren 2003 und 2004 (z. B. Petribach und Kleewiesbach auf der Gemarkung Schlatt). Ziel dieser Arbeiten war u. a. die Entfernung von Aufstiegshindernissen für Fische. Vor allem aber sind dadurch «Kühlwasserzonen» geschaffen worden, wo zahlreiche Fische auch bei hohen Wassertemperaturen im Rhein überleben können (Abb. 6). Weniger spektakuläre Beispiele solcher Verbesserungseingriffe werden immer wieder umgesetzt (Schaffung kleiner Buchten, Bau von Buhnen, Deponie von Steinen im Uferbereich als Schlupfwinkel für Jungfische oder zur Strömungsberuhigung, Fixierung umgestürzter Uferbäume usw.).

4.4 Pflege der Ufervegetation

Eine vitale und artenreiche Ufervegetation ist ein wesentlicher Teil einer vielfältigen Uferlandschaft. Gesunde Uferbäume bilden zudem einen sehr guten Erosionsschutz (Abb. 7). Das Kraftwerk setzt ein ganzes Massnahmenpaket zur Förderung und Erhaltung des Uferbewuchses um:

- Information der Uferanstösser (inkl. kostenlose Beratung durch Fachleute)
- regelmässige Beurteilung der Uferbäume (Gesundheitszustand, Sicherheitsrisiken usw.) und Ausarbeitung von Pflegekonzepten
- finanzielle Beteiligung bei Holzereiarbeiten
- Pflanzung von Einzelbäumen
- punktueller Schutz exponierter oder seltener Bäume.



Abb. 7. Ufervegetation bei Gailingen.

4.5 Flankierende Massnahmen im Naturschutz

Der Rhein ist Teil eines Lebensraumverbundes. Für das gesamte Ökosystem «Hochrhein» spielt daher auch die weitere Umgebung eine wichtige Rolle. Das Kraftwerk hat daher schon früh Projekte aktiv unterstützt, welche als so genannte «Vernetzungselemente» im Zusammenhang mit dem Rhein stehen. Bestes Beispiel dafür ist der Auenwald in der «Petri» (Gemeinde Schlatt), der vor rund 15 Jahren im Rahmen eines grossen gemeinsamen Projektes saniert worden ist (Abb. 8). Beiträge des Kraftwerkes flossen u. a.



Abb. 8. Auenwald «Petri» im Staubereich des Kraftwerkes Schaffhausen.

an die Renaturierung von Seitenbächen, die Ausbaggerung von Altlauf-Relikten sowie die Wiederherstellung verlandeter Weiher. Weitere Projekte sind konkret geplant. Zurzeit wird ein entsprechendes Vorhaben bei der Schaarenwiese im Detail geprüft und voraussichtlich im Winter 2005/2006 umgesetzt.

4.6 Fischtreppe beim Kraftwerk

Ein gängiges Mittel, Staustufen für die Fische durchgängig zu machen, ist der Bau von Fischtreppen. Die Fischtreppe beim Kraftwerk Schaffhausen funktioniert zwar grundsätzlich, wird aber nicht von allen Fischarten akzeptiert. Zurzeit werden mit erheblichem Aufwand bauliche Anpassungen ausgetestet (Erhöhung der «Lockströmung», Optimierung der Strömungsverhältnisse in der Treppe usw.). Vor einigen Jahren wurde zudem die Erstellung eines «Umgehungsgerinnes» im Detail geprüft. Die topographischen Verhältnisse rund um das Stauwehr machen ein solches Projekt jedoch unmöglich.

4.7 Planerische Massnahmen

Die Politik kann wesentlich dazu beitragen, die Umwelt zu schützen. Im Hochrhein führten konkrete Vorschriften zu einer besseren Situation. Als Beispiele können dafür aufgeführt werden:

- Beschränkung der Fahrtgeschwindigkeit für Motorboote
- Einstellung der Schifffahrt bei extremer Wasserführung (z. B. Hochwasser im Mai 1999)
- Bau von Schiffen, die weniger Wellen und damit geringere Ufererosion verursachen.

4.8 Öffentlichkeitsarbeit

Es ist entscheidend, dass die Bevölkerung (Anwohner, Nutzer, Politiker, Behörden) über die Bedeutung spezieller Umweltbereiche und -massnahmen informiert ist. Das Kraftwerk Schaffhausen versucht, diese Information durch Vorträge, Exkursionen, Führungen, Publikationen, Medienveranstaltungen und Informationstafeln im Staubereich zu vermitteln. Eine profimässige Marketingabteilung der Städtischen Werke unterstützt dabei in effizienter Weise die zuständigen Leute der Abteilung Uferunterhalt.

5 NACHHALTIGE FINANZIERUNG DES UFERUNTERHALTES

Der Uferunterhalt kostet Geld. Das Kraftwerk Schaffhausen wendet jährlich erhebliche Mittel für diese Arbeiten auf. Seit Jahren fliessen dabei jährlich mindestens Fr. 100 000.– in Umweltschutzmassnahmen, die klar über die gesetzlich vorgesehenen Schutzbauten hinaus gehen. Es gilt, die Finanzierung dieser Projekte langfristig sicherzustellen. Im Jahr 1999 haben die Städtischen Werke flächendeckend die ISO-Norm 14 001 eingeführt. Seither fördert ein kleines Umweltmanagement-Team auch die entsprechenden Vorhaben im Uferunterhalt. Seit 2003 ist das Kraftwerk nach dem System «naturemade star» zertifiziert und weist damit aus, dass die Stromproduktion nach höchsten Umweltstandards erfolgt. Der Verkauf von umweltfreundlich produziertem Strom («Clean Solution») äufnet erhebliche Beträge für die Unterhaltsarbeiten im Staubereich. Ein detailliertes Managementkonzept legt auf Jahre hinaus Aufwertungsprojekte fest. Ein kleines interdisziplinäres Team mit Persönlichkeiten aus Verbänden, Behörden und Vertretern des Kraftwerks legt Prioritäten fest und überwacht die Arbeiten. Eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterführung der umweltfördernden Unterhaltsarbeiten im Staubereich ist damit gegeben. Zu wünschen bleibt, dass die Länder (Schweiz, Deutschland) und Kantone künftig entsprechende Arbeiten in jeder Beziehung unterstützen.

6 ZUKUNFTSAUSSICHTEN

Der Hochrhein wird auch künftig genutzt werden, und die Stromproduktion wird auf lange Sicht noch eine dieser Nutzungsmöglichkeiten sein. Negative Umwelteinflüsse werden bleiben. Durch gezielte Massnahmen können diese aber wesentlich reduziert werden. Neue Lebensräume werden entstehen, Pflanzen und Tiere erhalten wieder Möglichkeiten für Neuansiedlungen. Der Mensch wird seine oft unersättlichen Ansprüche mässigen müssen,



Abb. 9. Hochrhein bei Büsingen.

denn die Hochrheinlandschaft mit ihren hohen Natur- und Kulturwerten ist auch unser Lebensraum (Abb. 9).

7 LITERATUR

ARBEITSGEMEINSCHAFT «RENATURIERUNG DES HOCHRHEINS», 1996. 1. Hochrhein-Fachtagung, Lebendiger Hochrhein, Beiträge zur Umsetzung des Aktionsprogrammes «Rhein 2000», 23 pp.

BUWAL, 1996. Rückkehr der Lachse in Wiese, Birs und Ergolz. Schriftenseite Umwelt 258, 116 pp. und Anhang.

GEWÄSSERDIREKTION SÜDLICHER OBERRHEIN/ HOCHRHEIN, 1998. Materialien Gewässer, Band 1, «Ökologisches Gesamtkonzept Hochrhein», 45 pp. und Anhang.

INTERKANTONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZE DES RHEINS, 1994. Lachs 2000, Aktionsprogramm, 29 pp.

KRAFTWERK SCHAFFHAUSEN AG, Diverse interne Unterlagen.

NIEDERHAUSER, P. 1983. Nutzung der Wasserkraft am Rhein: Moserdamm, Pumpspeicher, Rheinfallwerke. Sonderdruck aus Band 60/1983 der Schaffhauser Beiträge zur Geschichte. Verlag K. Augustin AG, Thayngen, 169–184.

VAW/ETH und BASLER und HOFMANN AG, 1986. Wellenerosion am Rhein. Hauptbericht Nr. 885/2. Mitteilung Nr. 88 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 1986.

VOGELSANGER, W. 1989. Sonderdruck aus «Natur und Mensch», Nr. 1, Herausgeber Rheinaubund, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Natur und Heimat, 8 pp.

Dr. Walter Vogelsanger, Stadtforstmeister, Stadthausgasse 10, CH-8200 Schaffhausen

5 Naturschutz und Renaturierung

Synopsis: Naturschutz und Renaturierungen

Die Herausgeber

Im Kapitel «Natur und Mensch am Rhein» ist von der Angst des Menschen vor unberechenbaren Naturgewalten die Rede, vom Schutzbedürfnis und von technischen Lösungen, die ihm Sicherheit, Arbeit und Nahrungsgrundlagen brachten. Es zweifelt niemand daran, dass dies auch in der Gegenwart noch Schwerpunkte sein müssen. Hochwasser-, Natur- und Landschaftsschutz werden heute aber als gleichwertige Forderungen anerkannt – zum gegenseitigen Vorteil. Die Aussage «Respekt vor der Natur» hat nicht nur eine ökologische – ästhetische, sondern auch eine naturethische Seite. Diese schliesst sowohl den traditionellen Natur- und Landschaftsschutz, wie auch die Bestrebungen zur Renaturierung geschädigter oder zerstörter Landschaften und Lebensräume mit ein. So bietet der Beitrag «Respekt vor der Rheinlandschaft» von Stähli eine philosophische Basis für ein sinnvolles menschliches Tun und Lassen in der Natur, die wir als Mitwelt zu achten haben. Ausgehend vom kosmologischen Naturverständnis eines Franziskus von Assisi stellt der Autor die holistische Grundhaltung der Vor- und Fürsorglichkeit gegenüber unserer Mitwelt in den Mittelpunkt. Diese Haltung weist uns Menschen einen Platz innerhalb und im Einklang mit der Natur zu. Tiere, Pflanzen, Steine und Ganzheiten (zum Beispiel Flusslandschaften) haben einen Eigenwert, der unabhängig ist von der Nützlichkeit für menschliche Zwecke. Diese Haltung besagt, dass wir besorgt sein müssen um alles Sein um uns, womit auch die Ökologie zu einer grundlegenden Wissenschaft für die Naturphilosophie wird. Stähli nennt als Beispiele die Greina-Ebene und die Auenlandschaft zwischen Zizers und Mastrils und fordert: «Lassen wir sie leben um ihrer selbst willen!». Oder im Zusammenhang mit den folgenden Renaturierungsbeispielen: Wir haben gegenüber der Natur Schulden, zahlen wir sie so gut wie möglich zurück!

Göldi greift das Thema auf und spannt auch bildlich einen Bogen von den «ordentlichen» Verbauungsmethoden (Begradigung, Pflästerung, Kanalisierung) der frühen siebziger Jahre zum naturnahen Wasserbau, wie er heute verstanden wird, und gibt damit einen Einblick in die pionierhafte Renaturierungspraxis an Bächen und Flüssen im Rheineinzugsgebiet des Kantons Zürich.

Der Grundsatz «So wenig als möglich und so stark wie erforderlich verbauen» wird an der Thur, einem Nebenfluss des Rheins, schrittweise verwirklicht. Im Beitrag mit dem hoffnungsvollen Titel «Die Thur – ein Fluss lebt auf» erklären Baumann et al., wie man der Forderung, den Hochwasserschutz mit der Ökologie zu versöhnen, im Thurgau – und in interkantonaler Zusammenarbeit am ganzen Thurlauf – nachleben will. Wie diese Rückführung von einem monotonen in ein dynamisches Flusssystem gelungen ist, kann an der Thur am Teilstück zwischen Frauenfeld und Andelfingen bereits erlebt werden.

Renaturierungen – rückführen von zerstörten oder geschädigten Ökosystemen in naturnahe Zustände – sind auch am Bodenseeufer, das in den letzten 50 Jahren weitgehend in ein starres Korsett gezwungen wurde, nötig (Siessegger und Teiber). Mit den regionalen Uferplänen von Bayern und Baden-Württemberg von 1984 wurde erstmals auf dringende Renaturierungsmassnahmen hingewiesen. Seit den 70er Jahren sind seeweit etwa 70 Massnahmen (Beseitigung von Ufermauern und Strömungshindernissen, Anlegen von Flachböschungen, Wiederbesiedlungen ehemals verbauter Uferabschnitte) durchgeführt

worden. Die Autoren geben in ihrem Aufsatz Antwort auf die Fragen, warum Renaturierungen nötig sind und wie sie aussehen sollen. Anhand von Beispielen wird gezeigt, wie am Bodensee ökologisch wichtige, funktionsfähige Flachwasserzonen neu geschaffen wurden.

Weitere Beiträge befassen sich mit ausgeführten oder geplanten Renaturierungen, z. B. im bekannten Naturschutz- und Erholungsgebiet Schaaren am Rhein ob Schaffhausen (LEUTERT und PFÄNDLER). Auch visionäre Projekte am Alpenrhein werden «auf dem Weg zur Wirklichkeit» vorgestellt. SCHLEGEL sieht grosse ökologische Defizite am Alpenrhein und beschreibt die Leitlinien, die im Jahr 2005 als Grundlage für ein Entwicklungskonzept dienen sollen mit dem ein nachhaltiges Gleichgewicht zwischen Sicherheits-, Nutzungs- und Schutzfunktion angestrebt wird. Schlegel geht auch ausführlich auf das Projekt eines Hochwasser-Entlastungsstollens vom Rhein zum Walensee ein. Diesen Weg über die Talwasserscheide bei Sargans ins Walenseetal haben geschichtlich bezeugte Rheinhochwasser bereits früher eingeschlagen.

Für die Erhaltung der heimischen Artenvielfalt reichen unsere «klassischen», meist kleinflächigen Naturschutzgebiete bei weitem nicht aus. Naturschutz muss in zunehmendem Mass auch aus den Kerngebieten hinaus in die Landwirtschaftszonen und auch in die Siedlungsgebiete getragen werden. Für SCHLEGEL et al. heisst das konkret, dass die grossflächige und überaus erfolgreiche Renaturierung der alten Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder bei Altstätten und Oberriet zu Aufwertungsmassnahmen im ganzen St. Galler Rheintal bis in die Hanglagen führen muss. Ein ehrgeiziges Ziel, das auch BRÜLISAUER in seinem Beitrag über die Naturschutzplanung im St. Galler Rheintal beschreibt. Anstatt mit Verboten und Geboten wird mit Anreizen und dem Prinzip der Freiwilligkeit angestrebt, dass ganze Landschaften ökologisch aufgewertet werden. Wird gar die Vision von einem Naturpark von nationaler Bedeutung in der Region Werdenberg – Toggenburg bald Wirklichkeit?

Im thurgauischen Seebachtal im Einzugsgebiet von Thur und Rhein ist ebenfalls eine grosszügige Moorrenaturierung erfolgreich angelaufen (RIEDER et al.). In einer vor über 60 Jahren entwässerten Moorlandschaft um die Nussbaumer Seen konnte durch Landumlegungen eine Fläche mit Torfböden an den Seen im Umfang von ca. 60 ha erworben werden. Dieses Kerngebiet in der «glazialen Typlandschaft von nationaler Bedeutung zwischen Thur und Rhein» besitzt einen hohen landschaftsgeschichtlichen Wert und ein grosses Naturpotential. Erfolgreiche Bibereinbürgerung (vgl. MÜLLER und GEISSER in diesem Buch), Versuche des Geobotanischen Instituts der ETH Zürich zur Ansiedlung von Flachmoorarten, Uferabflachungen, Abtrag nährstoffreicher Oberböden, Schaffung von flachen Mulden als Amphibienbiotope, Schliessen von Drainagen, Vernetzungsmassnahmen und sorgfältig erarbeitete Pflegepläne haben bereits jetzt einen deutlichen Anstieg der Artendiversität zur Folge und versprechen langfristig eine Regeneration dieser schönen Seenlandschaft. Das von der «Stiftung Seebachtal» in Angriff genommene Werk darf Modellcharakter beanspruchen. Ob es auch einmal zur Gründung eines Naturparkes im Gebiet von nationaler Bedeutung zwischen Thur und Rhein kommen wird? Schwerpunkte sind vorhanden: Renaturierte Thur (vgl. BAUMANN in diesem Buch), Ittinger Wald, Seebachtal, Andelfinger Seenplatte, Etzwiler Ried, Hangsumpf Espi bei Mett-Schlatt, Schaarenwald und Schaarenwiese am Rhein (vgl. LEUTERT und PFÄNDLER, in diesem Buch).

Naturschutzarbeit hat am Rhein und in seinem Einzugsgebiet eine lange Tradition. Nur wenige bedeutende Schutzgebiete konnten in diesem Buch erwähnt und beschrieben werden. Viel Naturpotential von hoher Schutzwürdigkeit gibt es vor allem noch am Bünder Rhein. Davon berichten die Autoren RAGAZ und HARTMANN in ihrem Beitrag «Inventarobjekte am Rhein in Graubünden». Beide Quellbereiche des Rheins, die Quelle am Tomasee für den Vorderrhein und Gletscher und Gletschervorfelder am Rheinwaldhorn für den Hinterrhein, liegen in

Gebieten «von nationaler Bedeutung». Tiefe Schluchten (Rofla, Via Mala, Rheinschlucht im ehemaligen Flimser Bergsturzgebiet) sind einzigartige Geotope und Biotope für seltene Pflanzen und Tiere sowie historisch wichtige Wegstrecken. Seltene Auenwälder von nationaler Bedeutung in der Bergregion und in den Tälern sind dank intensiver Naturschutzarbeit erhalten geblieben und zu unersetzbaren Freilandlabors, Lebensräumen und Schutzobjekten geworden (vgl. ROULIER, in diesem Buch).

Rheinabwärts verdient vor allem das liechtensteinische Naturschutzgebiet «Ruggeller Riet» genannt zu werden (KLÖTZLI). Es kann als eigentliches Zentrum der Vielfalt gelten, dem als Artenreservoir für viele Vegetations- und Landschaftstypen, aber auch für mancherlei Singularitäten an Pflanzen, Pflanzengesellschaften und Tieren grosse Bedeutung zukommt. Pfeifengraswiesen («die Mutterflächen des Streulandes») in diversen Ausbildungen, Hochstaudenrieder und die schönen Kopfbinsenrieder mit viel Mehlprimeln, Orchideen, Wollgras und bemerkenswerten Seltenheiten lassen sich nennen.

Das Bodenseeufer steht seit Jahrzehnten unter einem grossen Nutzungsdruck, und OSTENDORP (2004) zieht in seiner Publikation «Was haben wir aus dem Bodenseeufer gemacht» (Schriften des Vereins für die Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Heft 122) mit Recht eine kritische Bilanz. Zähe Naturschutzarbeit hat aber immer wieder Erfolge gebracht (vgl. auch die Beiträge von JACOBY und von KLÖTZLI, Bodensee, in diesem Buch). Von europäischer Bedeutung und entsprechend ausgezeichnet ist das Naturschutzgebiet «Wollmatinger Ried» westlich von Konstanz (HERRMANN und KLEIN). Es ist ganz der Dynamik des Wassers von Seerhein und Untersee ausgesetzt. Vor allem die markanten Wasserstandsschwankungen sind ein entscheidender Standortsfaktor für das 756 ha grosse Reservat mit den vielen botanischen und zoologischen Raritäten. Die Autoren schildern die aktuellen Forschungsvorhaben, die vor allem auf die bestmögliche Pflege für das Ried ausgerichtet sind.

Über den Naturschutz am Zürcher Rhein berichtet KEEL. Die Landschaft zwischen Rhein-Thur-Glatt und Töss weist heute noch ein hohes Biodiversitätspotential auf. Doch die Verluste sind gross und geben z. B. bei den Magerwiesen zu grosser Besorgnis Anlass. Für einzelne Arten war es nötig, spezifische Aktionspläne zu erarbeiten und neue Lebensräume anzulegen, um das vorhandene Artenpotential erhalten zu können. Am Beispiel «neuer Lebensraum für Magerwiesen» im Rafzerfeld wird versucht, diese Strategie konkret zu verwirklichen.

Den zu beklagenden und noch drohenden Verlusten an Natur- und Landschaftswerten stehen Erfolge gegenüber: Neue Lebensräume werden geschaffen und vorhandene Schutzgebiete durch sachgemässe Pflege wieder aufgewertet (vgl. HIRT und HOFMANN, in diesem Buch). Die Erkenntnis, dass unserer Mitwelt Sorge zu tragen ist, wächst, und als notwendig gerühmte Projekte in Natur und Landschaft werden von der Bevölkerung kritisch hinterfragt.

Die Thur – ein Fluss lebt auf

Marco Baumann (Frauenfeld), Christian Göldi (Zürich), Urs Gunzenreiner (St. Gallen) und Matthias Oplatka (Zürich)

1 EINLEITUNG

«Hochwasserschutz und Ökologie widersprechen sich nicht – mehr.» Das ist der Tenor des modernen Hochwasserschutzes, wie er in der Schweiz praktiziert wird. Nachhaltiger Hochwasserschutz gibt dem Fliessgewässer mehr Raum. In diesem Raum findet das abfliessende Wasser genügend Platz, entwickelt sich eine standortgerechte und vielfältige Flora und Fauna und finden die Menschen einen abwechslungsreichen Erholungsraum.

Die Thur verbindet. Von ihrer Quelle am Säntis bis zur Mündung im Rhein durchfliesst sie die drei Kantone St. Gallen, Thurgau und Zürich. In den beiden Appenzell entspringen grössere Seitenflüsse wie Sitter, Urnäsch und Glatt. Die Thur mit ihren plötzlich auftretenden Hochwassern war von je her ein «Problemfluss». Das Gleiche gilt streckenweise für die grossen Seitengewässer. Trotz umfangreicher Hochwasserschutzmassnahmen im 19. Jahrhundert sind seit dem Hochwasserereignis von 1978 neue Ausbauetappen in den Kantonen St. Gallen, Thurgau und Zürich geplant oder umgesetzt worden.

Bei vielen Fragestellungen wie Hochwasserschutz, Sohlenerosion, Ökologie usw. treten in allen Kantonen des Thur-Einzugsgebietes ähnliche Probleme auf. Da Massnahmen im Oberlauf auch zu unerwünschten Auswirkungen im Unterlauf führen können, besteht ein grosser Koordinationsbedarf über die Kantonsgrenzen hinaus. Im Rahmen einer interkantonalen Arbeitsgruppe, in der das Bundesamt für Wasser und Geologie mit vertreten ist, werden die anstehenden Probleme und Fragen zum Thema «Thur» diskutiert. Dabei wurden erste Ansätze für eine zukünftige Strategie zum Hochwasserschutz an der Thur entwickelt. In einer «Vision Thur» wurden die gemeinsamen Ziele für eine nachhaltige Thurlandschaft und mögliche Massnahmen zu deren Umsetzung aufgezeigt. Dieser Ansatz, d. h. dass fünf Kantone zusammen die Defizite und die Zukunft ihres gemeinsamen Flusssystems bestimmen, ist ein Beispiel dafür, wie innerhalb des gesamten Rheineinzugsgebietes auf «lokaler» Stufe der moderne Hochwasserschutz angewendet wird (vgl. auch VISCHER in diesem Buch).

2 MODERNER HOCHWASSERSCHUTZ

Der schweizerische Wasserbau orientierte sich seit dem frühen 19. Jahrhundert an der Idee der «Gewässerkorrektion», mit den Methoden Verbauung, Kanalisierung oder gar der Überdeckung der Fliessgewässer. Damit wurden im 19. und 20. Jahrhundert nicht nur die Gefährdungen reduziert, die von den Wassermassen der unkontrollierten Fliessgewässer ausgingen, sondern es wurde auch ein massiver Gewinn an Kulturland ermöglicht. Die Gewässerkorrektion war ein wichtiger Beitrag zur Eindämmung von Krankheiten wie der Malaria.

Die Flussbegradigungen und Uferverbauungen als wichtige Teilbereiche des Wasserbaus vermochten angesichts des technischen Fortschritts Siedlungen, Transport- und Infrastrukturanlagen immer effektiver vor Hochwasser zu schützen. Der Schutz wurde auf beinahe sämtliche in der Gefahrenzone liegenden Sachwerte ausgedehnt, Kulturlandflächen genossen somit prinzipiell denselben Schutz vor Hochwasser wie etwa Siedlungen, öffentliche Verkehrsnetze und andere Infrastrukturanlagen (ZAUGG, 2005). Die Schutzziele wurden nicht differenziert betrachtet.

Die Ziele und Inhalte des Wasserbaus haben sich seit den 1970er Jahren wesentlich verändert. Im Rahmen der ökologischen Bewegung wurde eine Neuorientierung des Wasserbaus gefordert (BUWAL/BWG, 2003). Wesentliche Elemente

der neuen Orientierung des Wasserbaus und Hochwasserschutzes sind:

- Der Unterhalt der Wasserbauten und passive Massnahmen werden zu vorrangigen Elementen des nachhaltigen Hochwasserschutzes. Wasserbauliche Massnahmen werden erst angeordnet, wenn Unterhalt und passiver Hochwasserschutz die differenziert definierten Schutzziele nicht mehr gewährleisten können.
- Die Verbindung und Koordination mit angrenzenden Fachbereichen, insbesondere die Verbindung von Hochwasserschutz und Ökologie, wird zu einer zentralen Forderung.
- Der Einbezug von Interessengruppen und Öffentlichkeit in die Meinungsbildungs- und Entscheidfindungsprozesse dient der breiten Abstützung der Ziele und Inhalte des heutigen Hochwasserschutzes.

Der moderne Hochwasserschutz zielt auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem Schutz vor Hochwasser einerseits und dem Schutz von Gewässern und angrenzenden Gebieten wie etwa Auenlandschaften andererseits. Anstelle der harten Verbauung soll den Fliessgewässern wieder mehr Raum zugestanden werden. Dieser nachhaltige Hochwasserschutz und die entsprechenden Zielsetzungen werden in den folgenden Abschnitten am Beispiel des Einzugsgebiets der Thur aufgezeigt (vgl. Tab. 1).

3 DIE THUR, EIN FLUSS MIT ZUKUNFT FÜR MENSCH, NATUR UND LANDSCHAFT

3.1 Charakteristik der Thur

Die Quellen der Thur liegen in der Tüfenwies, oberhalb von Unterwasser, wo die Säntisthur entspringt, und bei Wildhaus, Ursprungsort der Wildhauser Thur. Bis zur Mündung in den Rhein hat die Thur eine Gesamtlänge von rund 127 km. Dabei überwindet sie eine Höhendifferenz von 1150 m (vgl. Tab. 2).

Die Thur durchfliesst im Oberlauf das Toggenburg. Sie windet sich hier durch breite Talsohlen oder hat sich in tiefe Schluchten mit natürlichen Stromschnellen oder Abstürzen eingefressen. Die Thur hat im Oberlauf den Charakter eines Gebirgsflusses.

Ab Schwarzenbach weisen der Mittellauf (bis Bischofszell) und der Unterlauf bis zur Mündung typische Merkmale von Mittellandflüssen auf. Die Thur fliesst in mehr oder weniger breiten Flussebenen, die sich aufgrund fluvialer Schotterablagerungen nach der Eiszeit gebildet haben. Ursprünglich hatte die Thur in diesen Abschnitten unterschiedlichste Gerinneformen. Zum Teil bestanden verzweigte Gerinne (vgl. Abb. 1). Unterhalb von Gütighausen (ZH) entstanden bei einem Moränendurchstich Talmäander.

Tab. 1. Wandel vom integralen zum nachhaltigen Hochwasserschutz (Darstellung nach ZAUGG, 2005).

	Integraler Hochwasserschutz	**Nachhaltiger Hochwasserschutz**
Ziele	Vollständiger, technisch orientierter Hochwasserschutz Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion und Bekämpfung von Krankheiten	Nachhaltiger Hochwasserschutz Erhaltung und Förderung des naturnahen Zustandes der Gewässer
Ausprägung	Kostenintensiv Gleicher Schutz für alle Objekte	Kosteneffizient Differenzierte Schutzziele
Landschaftsbild	Kanalisierte Fliessgewässer	Fliessgewässer mit ausreichend Raum
Ausbauart	Starre, uniforme und zumeist naturferne Verbauungen	Angepasste, wenn möglich naturnahe Verbauungen
Entscheidungsfindung	«technokratisch», primär auf Expertenwissen beruhend, intransparenter Einbezug anderer Interessen.	Auf Expertenwissen beruhend, unter transparentem Einbezug divergierender sozialer Interessen.

Tab. 2. Signalement der Thur.

Signalement der Thur			
Länge	Quellen–Rhein		127 km
Höhendifferenz	Quellen–Rhein		ca. 1150 m
Höchster Punkt:	Säntis		2502 m ü. M.
Einzugsgebiet			1750 km^2
davon:	Öd- und Unland		39,9 km^2
	Wald		435,7 km^2
	Weiden		140,8 km^2
	Wies- und Ackerland, Obst, Reben		974,0 km^2
	Siedlungsgebiet		159,6 km^2
Abflussmengen bei Messstation	Jonschwil	Halden	Andelfingen
Durchschnittliche Jahresabflussmenge von 1904 bis 2003	21,1 m^3/s	38,8 m^3/s	47,0 m^3/s
Niedrigstes Tagesmittel	1,04 m^3/s	3,01 m^3/s	2,24 m^3/s
Spitzenabfluss	565 m^3/s	1170 m^3/s	1130 m^3/s

Im 1750 km^2 grossen Einzugsgebiet der Thur entspringen rund 456 Bäche oder Flüsse, welche die Thur speisen. Bei vielen handelt es sich um typische Gebirgsbäche, die in zum Teil tief eingeschnittenen Tobeln oder Schluchttälern fliessen. Die wichtigsten Zuflüsse sind der Necker, die Glatt, die Sitter mit der Urnäsch und die Murg.

Die Thur hat ein wildbachähnliches Wasserregime. Starke Regenfälle im grossen Einzugsgebiet, häufig verbunden mit gleichzeitiger Schneeschmelze oder wassergesättigten Böden, führen in kurzer Zeit zu einem starken Ansteigen der Wasserspiegel in den Seitengewässern und damit in der Thur. Weder Seen noch grosse Stauanlagen gleichen die Wassermassen aus. Bedrohliche Hochwassersituationen können entstehen. So betrug die Wasserführung der Thur beim Auffahrtshochwasser vom 13. Mai 1999 um 02.45 Uhr bei Andelfingen 1130 m^3/s, am Tag vorher um 01.00 Uhr an gleicher Stelle nur 80 m^3/s.

Immer wieder traten in der Vergangenheit Thurhochwasser auf. Die Ereignisse im 19. Jahrhundert (1849, 1852, 1876) mit grossen Überschwemmungen an der Thur lösten in den betroffenen Kantonen die Planung und Realisierung von umfassenden Korrektionsmassnahmen aus. Im Kanton Thurgau zum Beispiel wurden die Vorarbeiten 1845 in Angriff genommen, und 1862 unterbreitete der Regierungsrat dem Grossen Rat ein Korrektionsprojekt. Diese Korrektionen wurden ab 1877 vom Bund aufgrund des neuen Wasserpolizeigesetzes subventioniert. In der Folge wurde die Thur im Raume Wattwil bis Lichtensteig und ab Schwarzenbach bis zur Mündung in den Rhein fast lückenlos korrigiert. Der Flusslauf wurde dabei begradigt und die Ufer weitgehend verbaut. Wo notwendig, wurden Hochwasserschutzdämme und Binnenkanäle erstellt (vgl. Abb. 2). Diese Arbeiten dauerten an der ganzen Thur bis in die 40er Jahre des letzten Jahrhunderts und schufen die Voraussetzungen für die intensive Nutzung der früheren Überschwemmungsräume.

Im Oberlauf der Thur und in den Seitengewässern beschränkten sich die Hochwasserschutzmassnahmen auf breitere, intensiv genutzte Talräume, auf erosionsgefährdete Tal-



Abb. 1. Die Thurauen bei Niederbüren vor der Korrektion um 1920. Foto: Tiefbauamt SG.

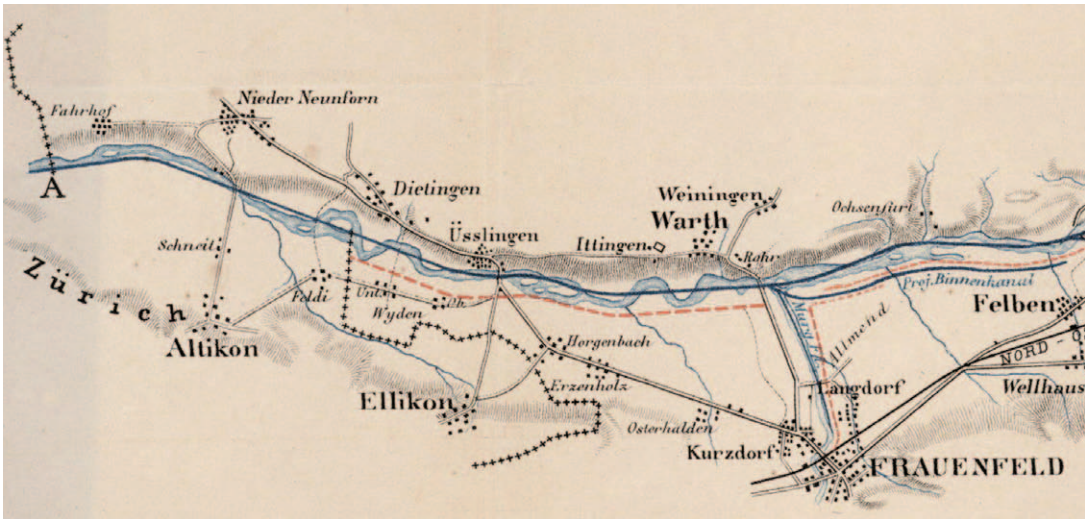


Abb. 2. Die 1. Thurkorrektion im unteren Thurgauer Thurtal. Ausschnitt aus Karte von A. SCHMID, 1879.

flanken und auf Wildbachverbauungen. Grosse Abschnitte weisen heute noch einen natürlichen Zustand auf.

3.2 Hochwasserschutzprojekte

Die im 19. Jahrhundert begonnenen Flusskorrektionen an der Thur vermochten die Hochwassergefahren wohl teilweise zu bannen. Doch zeigten Hochwasserereignisse mit zum Teil grossen Überschwemmungen im letzten Jahrhundert (1910, 1965 und 1978), dass der Hochwasserschutz verbessert werden muss. Nach dem Ereignis von 1978 wurden deshalb in den Kantonen Thurgau und Zürich umfangreiche Planungen für eine weitere Thurkorrektion an die Hand genommen (BAUMANN, 2003a; BAUMANN, 2003b; vgl. Tab. 3). Im Kt. St. Gallen werden Hochwasserschutzmassnahmen im Raum Wattwil und Alt St. Johann geplant (vgl. auch SCHLEGEL, in diesem Werk).

Bei der Planung und Realisierung von Thurprojekten sind sehr unterschiedliche Aufgaben und Konflikte zu lösen. Je nach Kanton treten diese auch unterschiedlich akzentuiert auf. Ein Grundproblem liegt im Raum- bzw. Landbedarf. Zur Abminderung der Hochwasserspitzen wären an der Thur grosse Rückhalteräume erwünscht. Die Realität zeigt aber, dass aufgrund der heutigen intensiven Nutzung der früheren Überschwemmungsbereiche solche Rückhalteräume nur noch an wenigen Stellen und dann nur von geringer Grösse realisiert werden können (z. B. Raum Grubenau bei Weinfelden-Bürglen oder Raum Allmend bei Frauenfeld).

Hochwasserschutzbauten (z. B. Dämme), aber auch ökologische Aufwertungsmassnahmen, wie sie von der Gesetzgebung gefordert werden, können ohne Inanspruchnahme von Land nicht realisiert werden. Die Landflächen stehen aber oft nur beschränkt zur Verfügung, da grosse Teile der an die Thur angrenzenden Flächen in Privatbesitz sind, mit Ausnahme des Kt. Zürich. Konflikte und politische Auseinandersetzungen sind damit vorprogrammiert und oft nur in langwierigen Verfahren zu lösen.

Die geplanten oder realisierten Ausbauten für den Hochwasserschutz sind in stark schutzbedürftigen Gebieten (Siedlungsgebiet, Verkehrsträger u. a.) ausgelegt auf ein hundertjährliches Hochwasser. Extremereignisse, die unter Berücksichtigung der weltweiten Klimaveränderung allenfalls häufiger zu erwarten sind, könnten aber erheblich grösser sein (FALLSTUDIE THUR, 2003). Die bisher durchgeführten Extremereignisstudien (ZH, TG, SG) zeigen einen beträchtlichen Handlungsbedarf im Hinblick auf die Vorsorge für Extremereignisse auf. Neben der Ausscheidung von Gefahrenzonen und deren Umsetzung

Tab. 3. Hochwasserschutzprojekte im Einzugsgebiet der Thur.

Thurprojekte	Stand Juni 2005
Kanton Zürich	
Erneuerungsunterhalt Etappen I–III, Gütighausen–Binnenkanal	realisiert 1987/92
Erneuerungsunterhalt Etappe IV, Binnenkanal–Feldisteg	1. Teil realisiert 1991/96
(gemeinsame Strecke mit Kanton Thurgau)	2. Teil realisiert 2001/2003
Erneuerungsunterhalt Etappe V, Alten–Andelfingen	realisiert 1997/2004
Thurauenprojekt Mündung–Eggrank	in Planung
Kanton Thurgau	
Thurkorrektion Etappe I, Üesslingen–Rorerbrücke	realisiert 1994–96
Thurkorrektion Etappe II, Feldisteg–Üesslingen	realisiert 1998–2001
Thurkorrektion Etappe III, Binnenkanal–Feldisteg	realisiert 2001/2003
(zusammen mit Kanton Zürich)	
Thurkorrektion Rorerbrücke–Bischofszell:	
Abschnitt Kradolf–Schönenberg	in Ausführung
Abschnitt Weinfelden–Bürglen	in Planung
Kanton St. Gallen	
Thurkorrektion Wil–Zuzwil–Uzwil	realisiert 2000
Renaturierung Thurauen bei Wil	Realisierung ab 2004

in den Richt- und Nutzungsplanungen können bauliche Anpassungen (z. B. Dammsollbruchstellen) zu intensiven Diskussionen führen.

Die Probleme bei Massnahmen für den Hochwasserschutz an den Seitengewässern sind ähnlich gelagert wie an der Thur. In Gebieten mit hoher Nutzungsintensität (Siedlungs- und Landwirtschaftsgebiete u. a.) fehlen auch hier die Landreserven. Aufgrund der teilweise gebirgigen Topografie stellen mögliche Extremereignisse eine spezielle Herausforderung dar. Grosse Niederschlagsmengen in den höher gelegenen Gebieten können neben Hochwassern auch Rutschungen und starke Geschiebeführungen zur Folge haben.

3.3 Geschiebehaushalt der Thur und der Seitengewässer

Verschiedene Geschiebehaushaltsstudien, die im Zusammenhang mit den Thurprojekten im Auftrag der Kantone erstellt wurden, kommen zum Schluss, dass heute an der Thur und einzelnen Seitenzuflüssen ein Geschiebedefizit besteht. Dieses dürfte sich in Zukunft noch verstärken, sofern keine Massnahmen getroffen werden. So könnte die Geschiebefracht bei der Zürcher Schwelle unterhalb von Niederneunforn von heute ca. 12 000 m^3 pro Jahr in 30 bis 50 Jahren auf rund 8000 m^3 pro Jahr zurückgehen.

Mit diesem Geschiebedefizit verbunden ist eine allgemeine Sohlenerosion der Thur und einzelner Seitengewässer. Heute schon beträgt die Sohlenerosion zwischen Rorerbrücke und dem Wehr Grüneck (bei Pfyn) im Kanton Thurgau rund 50 cm (zwischen 1990 und 1999). Rund 4 m beträgt die Sohlenerosion sogar in den Thurauen unterhalb von Schwarzenbach (zwischen 1912 und 1999). Sohlenabsenkungen gefährden die Standfestigkeit von Uferverbauungen, erhöhen die Gefahr von Erosionen an Naturufern und haben unerwünschte Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel im Thurtal. Damit verbunden ist auch die Gefährdung der vom Grundwasserstand abhängigen Auenstandorte und der Trinkwasserversorgung der Gemeinden entlang der Thur. Daher wurden vermehrt Sohlensicherungen eingebaut, wie Schwellen und Rampen.

Ursache für das Geschiebedefizit in der Thur und teilweise der Seitengewässer und der damit verbundenen Sohlenerosion sind verschiedene zusammenwirkende Faktoren:

- Die Seitenzuflüsse bringen zu wenig Geschiebe in die Thur. Gründe dafür sind zum Teil in Schwellenverbauungen und

Geschieberückhalt in kleineren Seitenbächen oder bei regelmässigen Kiesentnahmen (z. B. Sitter und Urnäsch) sowie bei der Verbauung der Rutschhänge liegen.
- Entlang der korrigierten Thur fehlen grössere natürliche Geschiebequellen wie z. B. Erosionshänge an Prallufern.
- Für den heutigen Geschiebeeintrag ist als Folge des weitgehend kanalisierten Flusslaufes eine zu grosse Geschiebetransportkapazität vorhanden. Gleichzeitig halten die in den letzten Jahrzehnten eingebauten Wehre, Schwellen und Aufweitungen erhebliche Kiesmengen zurück, was oberhalb dieser Bauwerke durchaus erwünscht sein kann, unterhalb aber fehlt.

3.4 Flussdynamik

Die Thur floss durch ihr alpines Einzugsgebiet von rund 1750 km^2 vor der im 19. Jahrhundert begonnenen 1. Thurkorrektion im Unter- und Mittelland in einem breiten und natürlichen Bett mit alternierenden Kiesbänken, Mäandern und Verzweigungen. In den breiteren Talebenen des Oberlaufes und den grösseren Seitengewässern (Murg, Sitter, Necker usw.) dürften ähnliche Zustände geherrscht haben.

Die häufigen grösseren oder kleineren Hochwasser führten immer wieder zu Laufveränderungen, Kiesablagerungen, Auflandungen und zu Kolken sowie Uferanrissen. So entstanden die unterschiedlichsten Strukturen im Flussbett, am Ufer und im weiteren Überschwemmungsgebiet und damit vielfältige aquatische und terrestrische Lebensräume mit ihren flusstypischen Tier- und Pflanzenarten.

Diese flussdynamischen Prozesse wurden als Folge der Korrektionsbauten weitgehend gestoppt. Die Flussbegradigungen mit den Uferverbauungen an der Thur und den Seitengewässern führten zu einer Monotonisierung des Gewässersystems mit entsprechend ungünstigen Lebensverhältnissen für Pflanzen- und Tierarten der Fliessgewässer. Erst im Rahmen der ab 1987 realisierten Thurprojekte in den Kantonen St. Gallen, Thurgau und Zürich wurde eine neue Richtung in Bezug auf grössere Flussdynamik und Strukturreichtum in Sohle und an Ufern eingeschlagen (vgl. Abb. 3). In den noch nicht umgebauten Flussabschnitten besteht aber nach wie vor ein Defizit an flusstypischen Strukturen und damit an entsprechenden Lebensräumen.

4 ENTWICKLUNGSZIELE FÜR EIN NACHHALTIGES GEWÄSSERSYSTEM THUR

Die Aufgaben an der Thur und an den Seitengewässern sind vielfältig. Unterschiedlich und oft widersprüchlich sind auch die Lösungsansätze. Je nach Region oder Kanton sind unterschiedliche Randbedingungen und auch andere politische Kulturen zu berücksichtigen. Unter Einbezug der geltenden Gesetze werden Grundsätze für den nachhaltigen Umgang mit dem Gewässersystem Thur aufgestellt.

Die Grundsätze besagen, dass der Thur und ihren Seitengewässern ausreichender Gewässerraum gewährt werden soll, dass eine ausreichende Wasserführung sichergestellt werden soll, dass eine gute Wasserqualität erhalten bleiben



Abb. 3. Das neue Flussbett in der grossen Aufweitung bei Altikon-Niederneunforn.

soll und dass mit den vorhandenen natürlichen und wirtschaftlichen Ressourcen haushälterisch umgegangen werden soll. Im Klartext heisst das zum Beispiel, dass Rückhalteräume für das anfallende Regenwasser geschaffen werden müssen (Retentionsräume), dass die intensive Landnutzung bis an den Gewässerrand eingeschränkt wird, dass ausreichende Restwassermengen in die Wassernutzungskonzessionen aufgenommen werden und dass der Wasserqualität genügend Beachtung geschenkt werden muss. Schutzziele müssen differenziert festgelegt und Massnahmen entsprechend den Schutzzielen geplant werden.

Wird der Hochwasserschutz gemäss den modernen Grundsätzen umgesetzt, müssen der Ist-Zustand («altes» System) sowie das neugestaltete dynamische System kontinuierlich mit den Zielvorstellungen verglichen werden. Die Systeme können dem Wandel unterworfen sein. Erfahrungen aus einem überstandenen Hochwasser lassen meist auch die Schutzziele in neuem Licht erscheinen. Eine wissenschaftlich fundierte Beobachtung ausgewählter Parameter erlaubt es, Eingriffe so zu planen, dass die optimale Wirkung für Gewässer, Sicherheit, Natur und Landschaft erreicht werden kann. Auf diesen Beobachtungen basiert dann auch die dringend zu erstellende Unterhalts- und Pflegeplanung. Die Erfahrungen zeigen, dass damit – und vor allem mit deren Umsetzung – ein hoher Sicherheitsgewinn zu erzielen ist.

Trotz grosser Anstrengungen und Investitionen im vorletzten und letzten Jahrhundert kann keine 100%ige Sicherheit vor Hochwasser garantiert werden. Deshalb wird heute vermehrt auch über die Akzeptanz und Zumutbarkeit gewisser Risiken gesprochen. Die Hochwasserschutzpolitik soll dazu beitragen, den Lebensraum angemessen zu schützen und den Umgang mit naturgegebenen Unsicherheiten bzw. Gefahren zu verbessern (PLANAT, 2004). Die Gewässer müssen respektierte Bestandteile von Natur und Landschaft sein. Diese ganzheitliche Betrachtung setzt voraus, dass bei der Problemlösung alle Betroffenen miteinbezogen werden: Gewässerschutz, Wasserwirtschaft, Fischerei, Forst, Landwirtschaft, Natur- und Landschaftsschutz, Raumplanung usw. Alle diese Ansprüche unter einen Hut zu bringen, ist die Herausforderung an die Wasserbauer des 21. Jahrhunderts.

5 AUSBLICK

Während vieler Jahre wurde heftig um die Neugestaltung der Thur zwischen Frauenfeld und Andelfingen gerungen. Trotz der verschiedenen Interessen an der Thur haben am Schluss alle in die gleiche Richtung gezogen. Das Resultat lässt sich sehen: Aus dem monotonen Kanal ist eine vielfältig strukturierte und abwechslungsreiche Thur entstanden – eine Flusslandschaft, die aber nicht nur diese Qualitäten aufweist, sondern auch Sicherheit bringt (Abb. 4). Steilufer, Flachufer, Kiesbänke wechseln sich ab mit Kolken und Stromschnellen.

Vielfalt vor Einfalt war die Devise der Wasserbauer – und diese Devise haben sie auch umgesetzt. Sie machen damit deutlich, dass richtig verstandener Hochwasserschutz und Ökologie keineswegs Gegensätze sind, sondern sich ergänzen. Je besser der Hochwasserschutz die natürlichen Vorgänge eines dynamischen Fliessgewässers berücksichtigt, umso wirkungsvoller ist das auch für den Natur- und Umweltschutz. Die realisierten Hochwasserschutzprojekte sind ein doppelter Gewinn: sie sind sowohl Schutz für die Menschen und ihre Wohn- und Arbeitsbereiche, als auch Schutz für die Natur. Sie sind Schutz vor der Thur, und sie sind gleichzeitig Schutz für die Thur.

Mit den umgesetzten Hochwasserschutzprojekten wurde der Flussraum umgestaltet, wurde der naturnahe Raum gestärkt. Dadurch ist er für viele noch attraktiver geworden – auch als Freizeitraum. Eine natürliche Flusslandschaft ist nicht nur für tausende Arten ein wichtiger Lebensraum, sondern hat auch für den Menschen eine hohe Lebensqualität und einen grossen Erholungswert. Die Thur wird in diesem Sinn zur Ressource, die sich gleichzeitig selber gefährdet. Ressource, weil ein sanfter Ausflugstourismus möglich ist. Bedrohung, weil die Gefahr ihrer Übernutzung besteht.



Abb. 4. Thur bei Niederneunforn-Altikon, vorher (2000) und nachher (2004).

«Mehr Raum den Fliessgewässern» ist oft einfacher gesagt als umgesetzt, denn zuerst muss der Raum vorhanden sein, und dann müssen die Besitzverhältnisse auch noch stimmen. Die zwischen Frauenfeld und Andelfingen realisierten Hochwasserschutzprojekte sind geprägt vom Ausgleich der Interessen. Ein Ausgleich, der nur dank enger Zusammenarbeit aller Interessenten erreicht wurde. Alle, die in Beziehung zum Fluss, zur Landschaft und zur Natur stehen, haben Verantwortung übernehmen müssen und auch übernommen. Alle Nutzungs- und Interessengruppen mussten konstruktiv mitwirken und haben dies getan. Das Beispiel Thur zeigt, dass ein moderner, nachhaltiger Hochwasserschutz im Miteinander gelingt – im Miteinander von Bevölkerung, Landwirtschaft, Naturschutz und öffentlicher Hand.

In der Broschüre «Die Thur – ein Fluss mit Zukunft für Mensch, Natur und Landschaft» sind die Grundsätze für diese Entwicklung festgehalten. Sie wurde von den fünf Anstösserkantonen und dem Bundesamt für Wasser und Geologie erarbeitet. Die Broschüre gibt einen guten Überblick über den Zustand des Gewässersystems heute, erläutert Ursprung und Charakter einzelner Problemkreise und hält Ideen und Vorstellungen fest, wie die Probleme gelöst werden könnten. Der wichtigste Schritt zur Entwicklung der Thur gemäss den darin beschriebenen Vorstellungen ist die Broschüre selber; sie dokumentiert den Willen der Regierungen aller fünf Kantone des Einzugsgebietes der Thur und des Bundes, dieses Gewässersystem gemeinsam zu erhalten, als Lebensraum und einzigartige Landschaft für Menschen, Tier und Pflanzen.
Bezug: Wasserbaufachstellen der Kantone

6 VERDANKUNGEN

O Land, das der Thurstrom sich windend durchfliesst,
dem herrlich der Obstbaum, der Weinstock entspriesst.
O Land mit den schmelzenden Wiesen besät,
wo lieblich das Kornfeld der Abendwind bläht.

Johann Ulrich Bornhauser:
Thurgauer Lied, 1841, 2. Strophe

Das Autorenteam dankt allen, die für eine naturnahe und hochwassersichere Thur und Thurlandschaft arbeiten:

- Willi Diggelmann, Landesbauamt Appenzell I.-Rh.
- Martin Eugster, Kant. Tiefbauamt Appenzell A.-Rh.
- Anita Enz, Amt für Umwelt TG
- Marcel Tanner, Amt für Umwelt TG
- Manuell Epprecht, Bundesamt für Wasser und Geologie
- Den Fachleuten in den kantonalen Wasserbau-Fachstellen und in den Gemeinden, die den wertvollen Gewässerunterhalt und Pflege der Ufer garantieren und umsetzen.
- Den Wasserbauunternehmern, Wuhrakkordanten, Wasserbauspezialisten, die bei den Sanierungsarbeiten ihr Wissen und Können fachgerecht einsetzen.

Dieser Artikel ist Jakob Graf, Kant. Tiefbauamt Appenzell A.-Rh., gewidmet, unserem Thurfreund und Appenzeller Wasserbauer, der leider zu früh verstorben ist.

7 LITERATUR

BAUMANN, M. 2003a. Die 2. Thurkorrektion im Thurgau – Hochwasserschutz und Lebensraumgestaltung. «Wasser Energie Luft». 95. Jahrgang (1/2), 15–19.

BAUMANN, M. 2003b. Hochwasserschutz, Flussraumaufwertung und Grundwasser im Thurtal – Vorgehen zur Lösung von Konflikten. Bulletin für angewandte Geologie Vol. 8 (2), 47–55.

BUWAL/BWG, 2003. Leitbild Fliessgewässer Schweiz. Für eine nachhaltige Gewässerpolitik. Bern, 12 pp.

GRUPPE «KLIMA UND HYDROLOGIE» DER FALLSTUDIE THUR, ETH ZÜRICH, 2003. Einfluss von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Abfluss der Thur. «Wasser Energie Luft». 95. Jahrgang (11/12), 337–343.

NATIONALE PLATTFORM NATURGEFAHREN PLANAT, 2004, Sicherheit vor Naturgefahren. Vision und Strategie. PLANAT-Reihe 1/2004. Bern, 40 pp.

SCHMID, A. 1879. Die Flusskorrektionen im Kanton Thurgau. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, 207–225.

ZAUGG, M. 2005. Mehr Raum den Fliessgewässern. Dissertation Universität Zürich, 239 pp.

8 WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Kantonale Fachstellen für Wasserbau AI, AR, SG, TG, ZH und BWG 2001. Die Thur – ein Fluss mit Zukunft für Mensch, Natur und Landschaft, 44 pp.

MINOR, H.-E. und HAGER, W.H. 2004. Flussbau in der Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, Band 6, VAW ETH Zürich, 140 pp.

Politische Gemeinde Neunforn 2003. Thur – Hefte zum Lebensraum Neunforn. Heft 1, 31 pp.

SPALTENSTEIN, A. 2004. Zwischen Freiheit und Zwang. Jahrhundert-Bauwerke an der zürcherischen Thur. Kdmz, Zürich, 112 pp.

Dr. Marco Baumann, Abteilung Wasserwirtschaft/Wasserbau, Amt für Umwelt, Bahnhofstrasse 55, CH-8510 Frauenfeld, E-Mail: marco.baumann@tg.ch

Christian Göldi, ehem. Abteilungsleiter Wasserbau Kanton Zürich, Kohlfirststrasse 37, CH-8203 Schaffhausen, E-Mail: goeldi@swissworld.ch

Urs Gunzenreiner, Sektion Wasserbau, Tiefbauamt des Kantons St. Gallen, Lämmlisbrunnenstr. 54, CH-9001 St. Gallen, E-Mail: urs.gunzenreiner@sg.ch

Dr. Matthias Oplatka, Abteilung Wasserbau, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, AWEL, Walcheplatz 2, Postfach, CH-8090 Zürich, E-Mail: matthias.oplatka@bd.zh.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region: 361–382

Uferrenaturierungen am Bodensee

Berthold Siessegger und
Petra Teiber-Siessegger (Wasserburg)

1 EINLEITUNG

Die ausserordentliche Bedeutung des Bodensees findet ihren Ausdruck sowohl in der ihn umgebenden Kultur- und Erholungslandschaft als auch in seinem Siedlungs- und Wirtschaftsraum. Zur nachhaltigen Sicherstellung des für den Menschen immer wichtiger werdenden Trinkwassers bedurfte es in den vergangenen Jahrzehnten grösster Anstrengungen. Sehr viel schwieriger gestaltete sich jedoch die Verbesserung der Ufer- und Flachwasserzonen des Bodensees. Eine Vielzahl von Nutzungsansprüchen, die am Bodensee geltend gemacht werden, konkurriert mit den Bestrebungen, die Umweltqualität des Sees und seiner Umgebung zu erhalten und zu stärken. Das Bodenseeufer stellt dabei die am stärksten gefährdete Zone im Gefüge der Bodenseelandschaft dar. Sein natürliches Ökosystem reagiert auf massive bauliche Eingriffe sehr empfindlich. Im Laufe des vergangenen Jahrhunderts hat das Bodenseeufer dadurch sehr viel von seiner ursprünglichen Natürlichkeit verloren. So befindet sich gegenwärtig nur noch die Hälfte der Uferstrecke in einem naturhaften Zustand (TEIBER, 2003). Der Rest wurde durch mächtiges Mauerwerk und massive Verbauungen in ein starres Korsett gezwängt. Die zahlreichen ökologischen Defizite, welche im Zeitabschnitt der Eutrophierung in der Ufer- und Flachwasserzone aufgetreten sind, können mit den erfolgten Sanierungsmassnahmen im Rahmen der Abwasserreinigung alleine nicht behoben werden. Auch die Unterschutzstellung besonders gefährdeter Flachwasserzonen reichte nicht aus, um ein ökologisches Gleichgewicht wiederherzustellen.

Erosive Prozesse im Uferbereich des Bodensees haben jahrzehntelang schwere Schäden hervorgerufen. Die Ursachen für die starken Erosionsschäden sind vor allem auf die zunehmenden technischen Eingriffe zurückzuführen. Mit dem Bau von Ufermauern, Häfen und anderen massiven Verbauungen veränderte sich das Wellen- und Strömungsgeschehen in der Ufer- und Flachwasserzone (UFWZ) des Bodensees. Das natürliche Gleichgewicht zwischen Erosion und Sedimentation, das sich über die Jahrhunderte eingestellt hatte, wurde immer stärker gestört. Erosionen einerseits sowie übermässige Verlandung und Verschlammung andererseits wirkten sich auf die Fauna und Flora sehr ungünstig aus. Auch die Schilf- und Binsenröhrichte wurden in hohem Masse geschädigt (s. Beitrag KLÖTZLI, Bodensee, in diesem Buch).

Zur Wiederherstellung funktionsfähiger Ufer- und Flachwasserzonen waren zusätzliche Massnahmen in Form von Renaturierungen erforderlich. Uferrenaturierungen und Schilfpflanzungen waren sogar bereits Anfang des vergangenen Jahrhunderts im Gespräch und einige wurden auch durchgeführt (SCHRÖTER und KIRCHNER, 1902). Andererseits wurde zur selben Zeit auf der schweizerischen Seite des Bodensees die Frage nach dem besseren Uferschutz – Schilf oder Ufermauern – heftig diskutiert. Mit der Entscheidung für das Mauerwerk begann die massive Verbauung des Bodenseeufers.

Nachdem die Probleme und Folgewirkungen der Erosion und Sedimentation zunehmend in den Blickpunkt der Wissenschaft gelangten, wurden seit den 1980er Jahren vermehrt Massnahmen zur Renaturierung und Revitalisierung von Uferzonen durchgeführt. Im Folgenden wird eine Methode beschrieben, welche seit einem Vierteljahrhundert erfolgreich zur Sanierung und Renaturierung geschädigter Uferzonen eingesetzt wird. Sie basiert auf einem empirischen Modell, welches seit den 1970er Jahren am Institut für Seenforschung (Langenargen, Deutschland) entwickelt wurde. Typische Beispiele geben einen Überblick über die Anwendbarkeit

der Methode sowie über den Gesamtablauf derartiger Renaturierungsmassnahmen.

2 WARUM RENATURIERUNGEN?

2.1 Einflüsse auf die Ufer- und Flachwasserzone

Durch den Einfluss des Menschen wurden weltweit Seen verändert. Die Änderungen betrafen nicht nur die Wasserqualität, sondern auch die Ufer- und Flachwasserzonen (UFWZ). Am Bodensee setzten diese Veränderungen vor allem im 19. und 20. Jahrhundert in grossem Umfang ein. Immer mehr Häuser wurden am See gebaut – häufig verbunden mit einem kleinen privaten Hafen. Um sowohl im Sommer wie auch im Winter direkt am Wasser wohnen zu können, wurden im Bereich der Niedrigwasserlinie mächtige Mauern errichtet und die landseitig gelegene Uferzone aufgefüllt (s. Abb. 1). Die natürliche Ufervegetation wurde auf diese Weise zunehmend zerstört, und die ökologische Kontaktzone zwischen Wasser und Land ging verloren.

Zusätzlich wurden Uferbereiche für die Ansiedlung von Industrie und Freizeiteinrichtungen beansprucht und teilweise zerstört. Viele Städte und Gemeinden bauten Uferpromenaden, Parkanlagen und Strandbäder sowie Häfen, Campingplätze und andere Freizeiteinrichtungen. Vor allem die ca. 300 Hafenanlagen mit ihrer notwendigen Infrastruktur zerstörten weite Bereiche der UFWZ des Bodensees. Eine seeweite Erhebung über den Uferzustand in den Jahren 2000/01 (TEIBER, 2003) zeigte einen Verbauungsgrad von 47,2% auf (Abb. 2). Am bayerischen Bodenseeufer sind sogar 76% des Ufers hart verbaut. Die Hälfte davon wurde durch den Bau von Villen (die so genannten «Lindauer Villen», fast ganzheitlich unter Denkmalschutz stehend) in der Zeit von Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts verursacht. Mit den damit verbundenen Auffüllungen gingen zudem ca. 28 ha an wertvoller ökologischer Kontaktzone verloren. Für den gesamten See belaufen sich die durch Auffüllungen verloren gegangenen Flächen auf weit über 300 ha (siehe Bayerischer Bodenseeuferplan).

2.2 Biotische und abiotische Folgen der zunehmenden Einflussnahme durch den Menschen

Der zunehmende Einfluss der durch den Menschen verursachten strukturellen Änderungen zog zahlreiche negative Folgewirkungen nach sich (Abb. 3).

Ein grosser Teil der natürlichen Ufervegetation verschwand, womit auch ein Teil der Brut- und Überwinterungsplätze sowie der Laichbiotope für Fische verloren ging. Das empfindliche Gleichgewicht zwischen Wasserbewegungen, Sedimentation und Erosion einerseits und die Entwicklung empfindlicher Vegetation auf der anderen Seite wurde gestört.

Aufgrund der massiven Uferbefestigungen kam es zu einer Änderung der hydrologischen

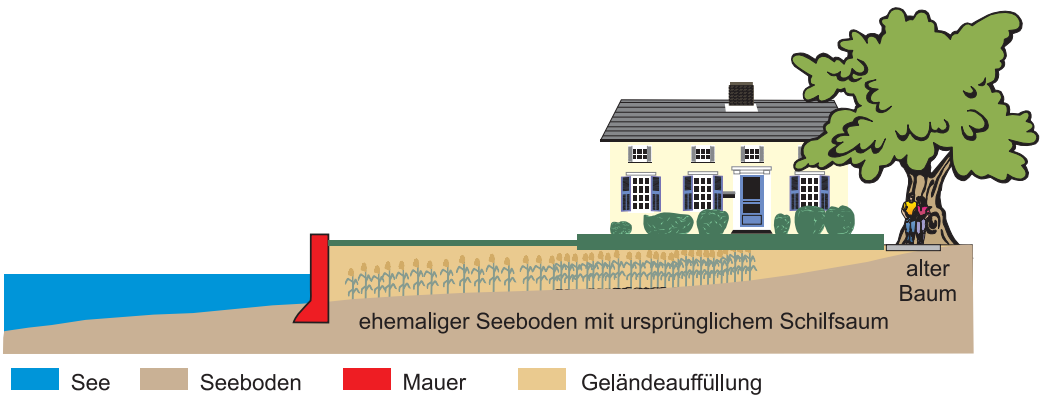


Abb. 1. Schematische Darstellung der Zerstörung von Ufer- und Flachwasserzone durch Bebauung.

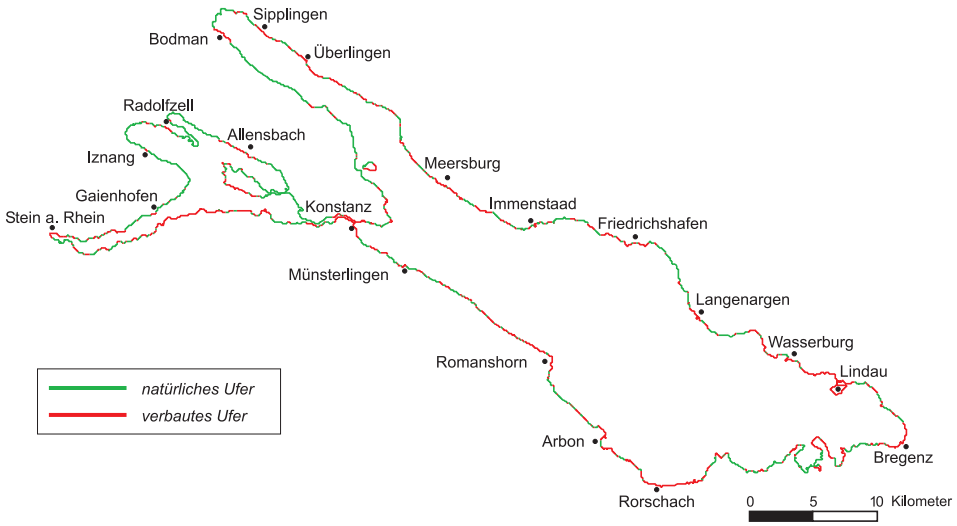


Abb. 2. Verbaute Bereiche des Bodenseeufers (rot dargestellt) (Quelle: TEIBER, 2003).

Verhältnisse. Das Wellen- und Strömungsgeschehen änderte sich und damit auch die Vorgänge von Sedimentation und Erosion. Wellen können an einem hart verbauten Ufer nicht mehr auslaufen und ihre kinetische Energie abbauen. Stattdessen werden sie von den Mauern in Bereiche der vorgelagerten Flachwasserzone zurückgeworfen. Im direkten Uferbereich verursachen sie uferparallele Strömungen, die drei- bis vierfach höhere Geschwindigkeiten (bis 50 cm/s) aufweisen als an einem natürlichen Uferabschnitt (SIESSEGGER, 1970). Die Folge davon ist verstärktes Erosionsgeschehen am Ufer und im Litoral vor den verbauten Bereichen. Auch benachbarte natürliche Uferabschnitte werden durch Erosion und Sedimentation beeinflusst.

Wellen und Strömungen wirken bei den Umlagerungsprozessen in gemeinsamer Weise: *die Welle erodiert, die Strömung transportiert.*

Im ufernahen Litoral werden durch die reflektierten Wellen verstärkt Sedimente aufgewirbelt und durch die Strömungen abtransportiert. An anderer Stelle werden sie wieder abgelagert und akkumulieren. Die Strömungen im Uferbereich können durch Hindernisse, wie Häfen oder Buhnen, stark beeinflusst werden (SIESSEGGER, 1970; PIROTH und PLATHE, 1994).

Bis heute halten diese durch strukturelle Änderungen in den Uferbereichen verursachten Erosions- und Sedimentationsvorgänge fast unvermindert an. In der kurzfristigen Verlandung von Hafenbecken und Schifffahrtsrinnen finden

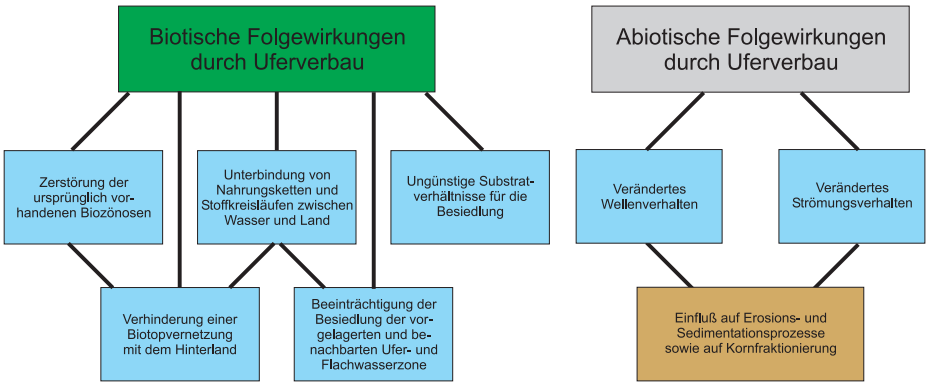


Abb. 3. Biotische und abiotische Folgewirkungen durch vom Menschen verursachte strukturelle Änderungen.

diese Prozesse ihren deutlichen Ausdruck. Der Verlust von ökologischer Kontaktzone sowie die Schädigung natürlicher Uferbereiche durch Erosion machten Massnahmen notwendig, um die Ufer- und Flachwasserzone am Bodensee vor weiteren Schäden zu bewahren, ihre volle ökologische Wirksamkeit wieder herzustellen und um sie nachhaltig zu schützen.

3 WIE RENATURIEREN?

Bis in die 1980er Jahre hinein bevorzugte die Wasserwirtschaft zur Sicherung des Ufers den Verbau mit Blockmaterial. Dieser so genannte «biologische Uferverbau» schien den Wellen am besten zu widerstehen und den ökologischen Verhältnissen gerecht zu werden. Er beanspruchte auch relativ wenig Platz. Untersuchungen ergaben jedoch einen Zusammenhang zwischen hartem Uferverbau (Mauern, Blockwerk) und verstärkter Erosion in benachbart liegenden natürlichen Bereichen (SIESSEGGER, 1977). Ufersubstrate, wie z. B. Asphalt, Beton oder Stahl, sind extrem ungeeignet für die Besiedlung mit benthischen Organismen (KOTHÉ, 1982; MELUF, 1981). Im Gegensatz dazu bietet natürliches steiniges Material, z. B. Wacken oder Kies, mit einer Oberfläche, welche bis zu 50fach höher ist als glattes Material, wesentlich bessere Lebensbedingungen. Ausserdem bietet das Lückensystem für Organismen besseren Schutz vor Strömungen und Räubern.

3.1 Einfache Massnahmen: Schutzzäune und Absperrungen

Einfache Massnahmen zum Schutz der bedrohten und geschädigten Schilfsäume können durch Einzäunungen mittels Holzplanken oder Drahtgeflechten erfolgen. Bereits Ende der 1970er Jahre schlug Prof. F. A. Klötzli von der ETH Zürich angesichts des starken Schilfrückganges im Altenrheingebiet die Errichtung eines bis heute bestehenden Schutzzaunes vor, welcher konstruktionsbedingt (Schwimmkörper) die verschiedenen Wasserstände während des Jahres berücksichtigt. Dieser konnte über Jahrzehnte hinweg einen fortschreitenden Schilfrückgang aufhalten.

Hervorzuheben sind auch die am Untersee von der Wasserwirtschaftsverwaltung in grossem Umfang angelegten Einzäunungen geschädigter Schilfsäume. Einzäunungen sind sinnvoll bei Schäden, welche durch Trampelpfade und Schilfschneisen (Schifffahrt) entstanden sind. Mit den lediglich zeitbeschränkt (10–15 Jahre) eingebrachten Holzabsperrungen konnten sehr deutliche Verbesserungen erreicht werden. Die Schneisen und schilffreien Flächen erfuhren aufgrund der eigenen Kraft des Restschilfbestandes eine Revitalisierung. Durch starke Erosions- und Verschlammungsprozesse hervorgerufene Schilfschäden können damit allerdings nicht behoben werden.

3.2 Eine ökologische Methode zur Uferrenaturierung

Um das Seeufer als funktionierendes Ökosystem nachhaltig zu schützen, müssen die Schäden, welche durch frühere Fehlentwicklungen entstanden sind, so weit wie möglich rückgängig gemacht werden. Massnahmen zur Uferrenaturierung müssen Strukturen und Lebensbedingungen schaffen, welche möglichst naturnah sind und alle ökologischen Aspekte berücksichtigen. Dies gilt vor allem in Bezug auf habitatspezifische Ansprüche. Weitere negative Einflüsse durch die Massnahmen müssen dadurch verhindert werden, dass die physikalischen Ungleichgewichte aufgehoben werden. Das Erosions- und Sedimentationsgeschehen muss in ein Gleichgewicht zurückgeführt werden.

3.2.1 Anforderungen an eine ökologische Methode zur Renaturierung geschädigter oder verbauter Uferzonen

Um standortspezifische Verhältnisse in geschädigten oder gestörten Uferabschnitten wiederherstellen zu können, müssen eine Reihe grundsätzlicher Randbedingungen beachtet werden. Solche sind:

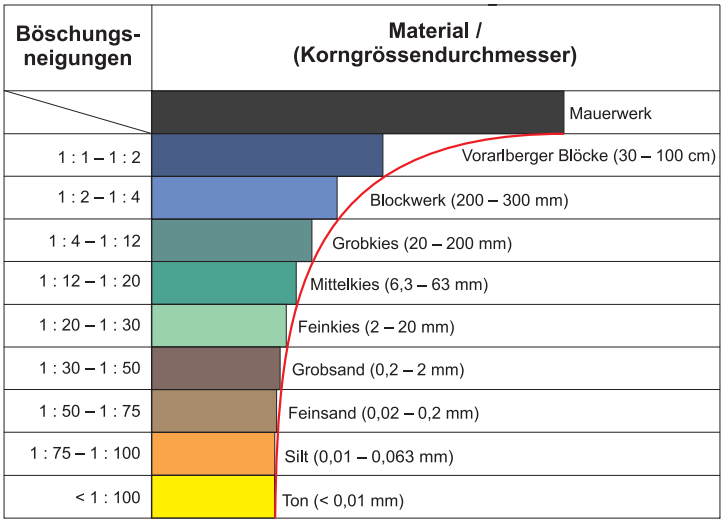
- Es dürfen keine massiven technischen Elemente, wie z. B. Mauern, Blockwerk,

Buhnen, Spundwände (Stahl, Holz), verwendet werden.
- Vorhandene massive Bauten müssen entfernt werden, da sie das Ökosystem hydrodynamisch negativ beeinflussen.
- Neue Uferstrukturen müssen einen sanften Uferschutz gewährleisten.
- Die hydrologischen Bedingungen für Wellen und Strömungen in der UFWZ müssen so verbessert werden, dass zerstörerische Kräfte durch Erosion und Sedimentation nicht mehr auftreten können. Dies wird durch flache Uferböschungen und strömungsgünstigen Uferverlauf erreicht.
- Gefährdete Bereiche, wie z. B. Areale mit archäologischen Kulturschichten, Schilf- oder Binsen-Röhricht, müssen so geschützt werden, dass nachhaltig keine negativen Folgewirkungen aus dem Eingriff auftreten können.
- Ein weiterer Verlust von UFWZ durch die Renaturierungsmassnahme selbst muss auf ein Minimum reduziert werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn durch bestehende Ufernutzungen eine neue Uferlinie festzulegen ist.
- Das renaturierte Ufer sollte den ökologischen Bedingungen, wie sie an natürlichen Ufern herrschen, optimal angeglichen werden. Kenntnisse über die bestehenden ökologischen Prozesse und über andere limnologische Zusammenhänge in der UFWZ sind deshalb unabdingbar.
- Zum Aufbau der neuen Uferzone dürfen ausschliesslich standortspezifische Substrate herangezogen werden.
- Falls es die ökologischen Zielvorgaben zulassen, kann eine bessere Zugänglichkeit zum Ufer (für die Öffentlichkeit) in die Renaturierungsmassnahme mit einbezogen werden.

3.2.2 Wissenschaftliche Grundlagen der ökologischen Uferrenaturierung

Eine erfolgreiche Renaturierung kann nur mittels wissenschaftlicher Grundlagen realisiert werden. Die wissenschaftlichen Grundlagen wurden sowohl durch empirische als auch durch theoretische Untersuchungen erarbeitet. Im Rahmen der Vorarbeiten für die deutschen Bodenseeuferpläne (s. Kap. 3.4) wurden ca. 200 Querprofile durch die UFWZ untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass verbaute Uferbereiche und ihre benachbarten Abschnitte Veränderungen, wie z. B. erodiertes Litoral oder Kliffkanten, aufwiesen. In ungestörten Bereichen mit natürlich erhaltenen Uferzonen dagegen zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen den Korngrössen der Ufersubstrate und dem Neigungswinkel der Böschungen (Abb. 4).

Abgesehen von weiteren Standortbedingungen – wie etwa der Breite der betreffenden Flachwasserzone sowie der Exposition des



Die Angaben beziehen sich auf die dominierenden Kornfraktionen (ca. 60% Anteil). Änderungen davon ergeben sich je nach:
- der Exposition des Uferabschnittes zum vorherrschenden Wellenangriff,
- dem Zustand des betreffenden Ufers und dessen vorgelagerter Flachwasserzone,
- dem Uferzustand der benachbarten Bereiche.

Abb. 4. Korrelation zwischen Substrat und Böschungsneigung (aus SISSEGGER und TEIBER, 2001).

Standortes von den wellen- und strömungswirksamen Verhältnissen – lässt sich erkennen, dass sehr flache Böschungen naturgemäss feinere Substrate (Sand und Ton) aufweisen und diese im Gleichgewicht halten, während mit steileren Böschungen zunehmend gröbere Substrate dominieren. Berechnungen konnten diese Zusammenhänge bestätigen (DITTRICH et al., 1999).

3.2.3 Beschreibung der Renaturierungsmethode

Aufgrund der Zusammenhänge zwischen Böschungsneigung und Ufersubstrat wurde am Institut für Seenforschung eine Methode entwickelt, mit welcher sowohl Kliffkanten an natürlichen Uferabschnitten als auch verbaute Uferabschnitte saniert werden können. Wichtigster Bestandteil dieses Renaturierungsmodelles ist der so genannte «Böschungsfuss».

Die schematischen Darstellungen in Abb. 5 lassen das Prinzip der Renaturierung erkennen. Der obere Querschnitt in der auf der linken Seite dargestellten Schemazeichnung zeigt die Ausgangslage mit einer durch Erosion zerstörten Schilffront und einer Kliffkante. Die blauen Linien markieren die Wasserspiegelschwankungen zwischen dem sommerlichen Hochwasserstand und dem winterlichen Niedrigwasserstand des Bodensees. Im mittleren Querschnitt ist dargestellt, wie der Böschungsfuss in das Gewässerbett im Bereich der NW-Linie (also während der winterlichen Jahreszeit) eingelassen wird. Der Böschungsfuss wird mit einer Neigung von 1:8 bis 1:20 oder flacher – grundsätzlich entsprechend der Korrelation – aus Wacken- oder Kiesmaterial aufgebaut. Seine Breite beträgt in der Regel zwischen 5 m und 10 m. Der Verlauf des Böschungsfusses richtet sich nach den Windbedingungen am Standort. Die Einbautiefe in das bestehende Gewässerbett (Seeboden) beträgt in der Regel 30 cm bis 50 cm, die Höhe des Böschungsfusses über dem anstehenden Seebodenniveau liegt ebenfalls zwischen 30 cm und 50 cm. Nach dem Einbringen des Böschungsfusses in die vorgefertigte Trasse wird die entstandene «Wanne» zwischen der Böschungsfussoberkante und der Kliffkante mit Material, welches das ursprünglich erodierte Material ersetzt, aufgefüllt. Das Füllmaterial muss zum Standort passen und wird in einem standortspezifischen Böschungsneigungswinkel eingebracht. Der Böschungsfuss hat die Funktion, eine neuerliche Erosion des Böschungsmaterials zu verhindern, indem er die Grundwellen bricht und damit deren Energie mindert. Die feineren Substrate landwärts des Böschungsfusses werden dadurch vor neuerlicher Erosion geschützt.

Nach dem gleichen Prinzip wird auch bei der Renaturierung verbauter Uferzonen verfahren (Abb. 5, rechts). Wellen und Strömungen ero-

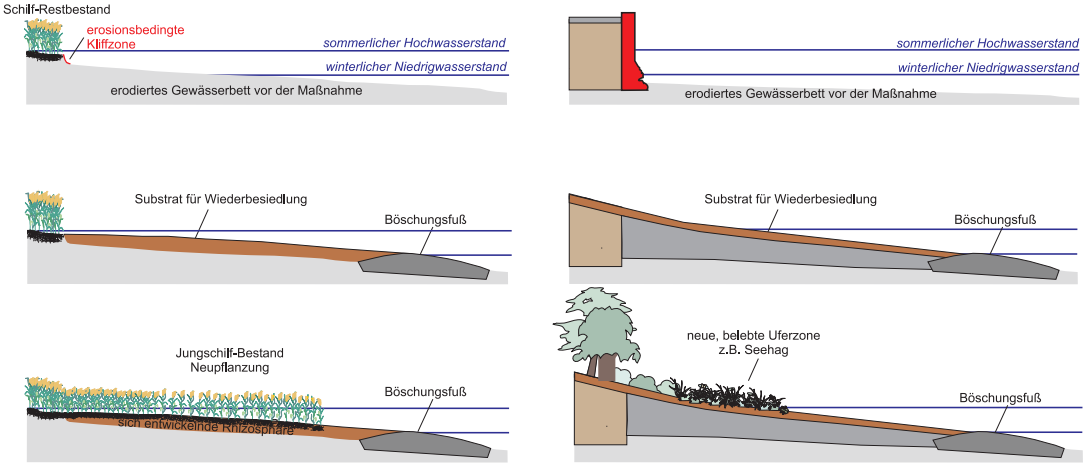


Abb. 5. Schematische Darstellung der Sanierung geschädigter natürlicher Uferzonen (links) und der Renaturierung verbauter Uferzonen (rechts) (aus SISSEGGER, 1992, verändert).

dierten den Seeboden vor der Mauer. Meistens ist der Sockel der Mauer ebenfalls erodiert und teilweise freigelegt. Zuerst wird die Mauer entweder vollständig abgerissen oder mindestens so weit abgenommen, dass die Mauerreste von der neu angelegten Böschung gut überdeckt werden. Dann wird der Böschungsfuss in das Gewässerbett eingebaut, und zwar unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und der Korrelation zwischen Neigung und Korngrösse. Die Neigung des Böschungsfusses reicht von 1:5 bis 1:10 bei einer Breite zwischen 3 m und 5 m. Das neue Ufersubstrat wird vom Böschungsfuss aus bis zur Böschungsoberkante des Ufers aufgelegt. Es wird je nach Neigungswinkel gemäss der Korrelationskurve ausgewählt.

In der Regel wird die neue Böschung mit einer standortgerechten Vegetation bepflanzt oder sie wird einer natürlichen Sukzession überlassen. Das Material für Böschung und Böschungsfuss kommt meistens aus umliegenden Kiesgruben und entspricht damit dem Moränenmaterial aus der letzten Eiszeit, was zum grossen Teil am Seeufer natürlicherweise ansteht. Bei flachen Böschungen wurde das zu verwendende Material teilweise auch aus Bereichen der vorgelagerten Flachwasserzone oder aus benachbart liegenden Verlandungsarealen genommen. Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den mit der beschriebenen Methode angelegten Böschungen nicht um statische Anlagen handelt. Vielmehr sorgen die auf die Böschungen einwirkenden Wasserbewegungen für eine Sortierung der verschiedenen Korngrössenklassen. Dadurch kommt es sogar zur Ausbildung wandernder kleiner Strandwälle. Insgesamt bleibt der neue Uferabschnitt jedoch stabil.

3.3 Voruntersuchungen und Anpassungen des Renaturierungsmodelles

Bevor eine Uferrenaturierungsmassnahme geplant werden kann, sind zahlreiche Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Die Erfahrungen zeigen, dass jede Massnahme speziell geplant werden muss. In der Regel gibt es zu jedem Projekt Voruntersuchungen in der Ufer- und Flachwasserzone sowohl des betreffenden Abschnittes als auch – als Referenz – der benachbarten UFWZ. Die Untersuchungen beinhalten morphometrische, limnologische, meteorologische, hydrologische und sedimentologische Parameter zum aktuellen Zustand. Ökologische Belange müssen ebenso berücksichtigt werden wie die festgestellten ökologischen Defizite. Historische Daten tragen zur Verbesserung der Planung wesentlich bei, weil sie häufig die Standortverhältnisse vor den technischen Eingriffen aufzeigen.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen stellen die Basis für die Festlegung des Umfangs, der Methode sowie der Ausgestaltung der Uferrenaturierung dar. Daneben muss meistens eine Anzahl von Aspekten bei der Anpassung der Renaturierungsmethode berücksichtigt werden. Es handelt sich häufig um privatrechtliche Eigentumsfragen, Denkmalaspekte oder um bestehende Nutzungen. In Ausnahmefällen können solche Umstände die Planung verzögern oder sogar stoppen.

3.4 Gesetzliche Aspekte: der «Bodenseeuferplan»

Untersuchungen in den 1970er und 1980er Jahren (Siessegger, 1977; Meluf, 1981) zeigten die verschiedenen, teilweise konfliktbelasteten Nutzungen auf, welche immer mehr Ufer- und Flachwasserzonenfläche beanspruchten und gefährdeten. Die Notwendigkeit, das Bodenseeufer zu schützen, stand dabei im Vordergrund. In Baden-Württemberg und Bayern wurden daher die so genannten «Bodenseeuferpläne» verabschiedet (Regierung von Schwaben, 1983; Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, 1984; Regionalverband Hochrhein-Bodensee, 1984). Dabei handelt es sich um gesetzlich verbindliche Regionalpläne, in denen für das deutsche Bodenseeufer so genannte «limnologische Schutzzonen» in der UFWZ ausgewiesen worden sind. So konnten ca. 80% des deutschen Bodenseeufers vor neuen technischen Eingriffen in die UFWZ unter Schutz gestellt werden. Andererseits wurden in den Plänen auch Bereiche ausgewiesen, in welchen Renaturierungsmassnahmen anzustreben

sind. Auch die Belange der Schifffahrt sind in den Bodenseeuferplänen aufgeführt; so zum Beispiel die Lage von Bojenfeldern, Stegen und Ankerplätzen, die im Rahmen der Erstellung des Bodenseeuferplanes neu definiert und optimiert wurden, so dass die durch die Schifffahrt beanspruchte Litoralfläche reduziert werden konnte. Weiterhin sind Massnahmen zur Verkehrsreduzierung und Regelungen hinsichtlich Erholungs- und Freizeiteinrichtungen vorgenommen worden. Da die Bodenseeuferpläne rechtsverbindlich sind, stellen sie ein seit über zwei Jahrzehnten wirksames Instrumentarium bei der Behandlung von Wasserrechts- und Genehmigungsverfahren dar.

3.5 Beispiele zur Uferrenaturierung

Massnahmen zur Wiederherstellung funktionsfähiger Flachwasserzonen am Bodensee werden in grösserem Umfang besonders seit Ende der 1970er Jahre durchgeführt.

3.5.1 Sanierung eines geschädigten Schilfufers (Lindau-Reutin)

Zum ersten Mal wurde Ende 1978 auf Empfehlung des Instituts für Seenforschung von der Stadt Lindau die Entscheidung getroffen, das stark gestörte Schilfufer in Lindau-Reutin in grossem Umfang zu revitalisieren. Die Schilffront war über Jahre hinweg aufgrund von Erosionsprozessen, die bereits zu Kliffhöhen von über 150 cm und zu tiefen Schneisen in der Schilffront geführt hatten, erheblich zurückgewichen (Abb. 6).

Der Schilfrückgang war über eine Uferlänge von nahezu einem Kilometer zu beobachten und schien unaufhaltbar. Starker Wellenschlag und starke Strömungen einerseits sowie eine ungünstige Exposition zum benachbart liegenden verbauten Ufer andererseits führten zu den intensiven Zerstörungen. Hochwasserstände und gleichzeitige Starksturmereignisse (West- und Föhnstürme) sowie die Ansammlung von Schlamm und Holz trugen zusätzlich zum Rückgang des Reutiner Schilfes bei. Der Niedergang konnte kontinuierlich über mehrere Jahre beobachtet werden (Abb. 7).

Das Renaturierungsprojekt wurde begleitet von Untersuchungen zu Strömungen und Wellen, einer Kartierung der Schilffront sowie der Untersuchung der Fisch- und Vogelwelt. Auf diese Weise konnte das Modell an die lokal vorherrschenden Bedingungen angepasst werden. Die baulichen Massnahmen begannen 1980. Erste Probleme traten aufgrund des weichen Untergrundes mit geringer Substratstabilität auf. Um den Bereich des Böschungsfusses zu stabilisieren, der auch als Baustrasse zur Durchführung der Massnahme diente, wurden stabilisierende Fliesmatten eingesetzt. Der Böschungsfuss wurde teilweise in den vorhandenen Seeboden eingebaut, der obere Teil ragte über den vorhandenen Seeboden heraus. Die so entstandene «Wanne» zwischen der Kliffkante am Schilf einerseits und der Böschungsfussoberkante andererseits wurde mit einem standorttypischen Sand-Kiesgemisch aufgefüllt. Die neu entstandene Böschung wurde teilweise mit Initialpflanzungen von Schilf be-





Abb. 6. Schilffront 1980 mit hohen Kliffkanten und freigelegten Rhizomen. Auf dem rechten Bild erkennt man den alten Bodenhorizont, der durch den Baum vor Erosion geschützt wurde.

pflanzt. Überwiegend wuchs das Schilf jedoch aus eigener Kraft seewärts in die neu geschaffene Böschung vor (Abb. 8 und 9).

Weil Treibholz immense Schäden an der Schilffront verursachen kann, wurden spezielle Schutzzäune aus Baustahlmatten errichtet, welche mit Durchlässen für Wasservögel und Fische versehen sind und von den Tieren auch angenommen werden. Im Laufe von zwei Jahrzehnten hat sich das Reutiner Schilfgebiet nahezu vollständig erholt und wesentlich ausgedehnt (Abb. 7).

Das extreme Hochwasserereignis von 1999 mit einem gleichzeitig erfolgten Starksturm am 02.06.99 verursachte erhebliche Schäden an der Schilffront und im gesamten Röhricht. Unmengen von Treibholz wurden in das Schilfgebiet gespült, da der Schutzzaun für den Hochwasserstand zu niedrig bemessen war. Bereits im Jahr 2001 hatten sich Schilflücken jedoch weitgehend

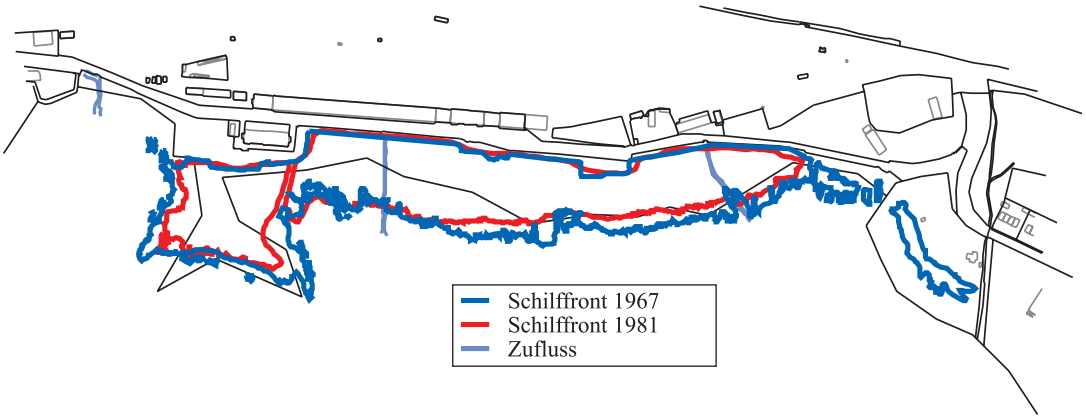


Abb. 7. Schilffrontdynamik des Reutiner Schilfgebietes in den Jahren 1967 und 1981.



Abb. 8. Vergleich der Schilffront des Reutiner Schilfgebietes in den Jahren 1981 und 1993 (oben) und zwischen 1993 und 2000 (unten).



Abb. 9. Entwicklung der so genannten «Schweinebucht» im Reutiner Schilfgebiet von 1980 bis 1995.

geschlossen, und das Schilfgebiet erlangte seine ursprüngliche Ausdehnung.

Umfangreiche Untersuchungen (WEYHMÜLLER et al., 2000) an anderen renaturierten Ufergebieten nach dem Hochwasser zeigten ebenfalls, dass alle mit diesem Renaturierungsmodell durchgeführten Massnahmen dem extremen Hochwasserereignis und dem gleichzeitig hereingebrochenen Sturm standhalten konnten. Durch Mauern geschützte Uferabschnitte dagegen sind bei demselben Extremereignis auf viele Kilometer Länge zum Teil völlig zerstört worden.

3.5.2 Renaturierung einer verbauten Uferzone vor Friedrichshafen

Der Uferbereich der Stadt Friedrichshafen am Nordufer des Bodensee-Obersees ist im Laufe von Jahrzehnten nahezu vollständig mit mächtigen Mauern verbaut worden. Im Jahr 2000 wurde der Uferbereich vor einer Promenade in ein naturnahes Ufer umgestaltet. Infolge der langen Mauerfluchten kam es im Uferbereich zwischen

dem Bundesbahnhafen und der Rotachmündung zu erheblichen Defiziten. Zum einen zeigten sich solche hinsichtlich der hydrodynamischen Situation. Extreme Wellenreflexionen, verbunden mit intensivierten Strömungen, wirkten sich weit über das verbaute Ufergebiet in das östlich der Rotachmündung gelegene Eriskircher Ried hinaus aus (GKSS, 1994). Hohe Kliffkanten kennzeichneten das Naturschutzgebiet zwischen Friedrichshafen und Eriskirch. Auch die ökologischen Verhältnisse waren äusserst ungünstig. Mächtige Schlammbänke führten zur Verödung des Ufers. Eine genaue Bestandesaufnahme von Flora und Fauna (TEIBER und WEYHMÜLLER, 1997) verdeutlichte die in Jahrzehnten entstandenen Defizite.

Nachdem der Übergangsbereich zwischen der Rotachmündung und dem beginnenden Eriskircher Ried bereits ein Jahr zuvor (1999) sehr erfolgreich revitalisiert worden war, wurden in den Monaten März und April 2000 die genannten langen Mauerfluchten teilweise durch Flachböschungen ersetzt und damit renaturiert.

Die Methode, um das Ufer in Friedrichshafen zu renaturieren, war im Grundsatz die gleiche, wie am bayerischen Bodenseeufer. Vor allem der Böschungsfuss zeigt ähnliche Elemente, allerdings wurde kein Flies zur Stabilisierung des Seebodens verwendet. Die Mauer wurde abgerissen und die neue Uferböschung im Neigungswinkel 1:12 bis 1:15 unter Berücksichtigung des Wellen- und Strömungsregimes aufgebaut.

Der Uferbereich erreichte hinsichtlich der hydrologischen und ökologischen Verhältnisse durch die Massnahme eine deutliche Verbesserung. Vor allem der Böschungsfuss erwies sich als ausgezeichnetes Biotop für die Entwicklung von Benthosorganismen. Konnten bei der Voruntersuchung insgesamt 34 Arten/Artengruppen gefunden werden, so traten nach der Renaturierung 42 Arten/Artengruppen auf. Bei den Eintagsfliegenlarven konnten drei neue Arten vorgefunden werden. Das Artenspektrum bei den Köcherfliegenlarven war vergleichbar mit dem vor der Renaturierung. Die Abundanzen waren identisch oder sogar höher als vor der Renaturierung (Tab. 1).

Eine Elektrobefischung (2003) lieferte den Nachweis, dass sich in dem renaturierten Uferabschnitt innerhalb von zwei Jahren ein hervorragender Fischbestand entwickeln konnte. Grundlage für die zeitlich rasch erfolgte Besiedlung bildete eindeutig der Böschungsfussbereich. Die Zahlen (Tab. 2) belegen die hohen Fangquoten in der revitalisierten UFWZ.

Durch die Uferrenaturierung wurde ausserdem der Zugang zum See deutlich verbessert, ohne ökologische Aspekte übermässig zu beeinträchtigen. Abb. 10 zeigt die Situation vor und nach der Massnahme.

3.5.3 Hochwasserschutz durch Revitalisierung von Schilf- und Binsenbeständen

Am österreichischen Bodenseeufer wurden in den vergangenen Jahren ebenfalls einige Uferbereiche renaturiert und revitalisiert. Im Februar 2002 begann im Naturschutzgebiet Rheindelta ein gross angelegtes Projekt zum Ufer- und Hochwasserschutz sowie zur Binsicht- und Schilfrevitalisierung. Im Zusammenhang mit der Verlegung des Alpenrheins sind im Rheindeltabereich Hochwasserschutzdämme errichtet worden. Durch das Extremhochwasser im Jahr 1999 wurden Teile der Dämme beschädigt und mussten saniert werden. Die vorgelagerten Röhrichte zeigten seit Jahren einen drastischen Rückgang an deren Front.

Zunächst erwog die Wasserwirtschaft den seewärtigen Teil des Dammes traditionsgemäss durch massive Verbauung mit Blockwerk oder Stahlspundwänden zu sichern. Der Einwand, dass derart massive Bauweisen für die ökologischen und limnologischen Verhältnisse nicht wieder gutzumachende negative Folgewirkungen hätten, veranlasste die verantwortlichen Ingenieure und Politiker, ein ökologisches Konzept zur seeseitigen Sicherung der Dämme in Erwägung zu ziehen. Dafür wurden jedoch umfangreiche limnologische Untersuchungen erforderlich. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen (TEIBER, 2002) bestätigten die Gefährdung des Natur-

Tab. 1. Ausgewählte Gruppen der Fauna der Geröllzone entlang der Uferstrasse vor und nach der Renaturierung (aus PHILLIPSON und TEIBER, 2003). Die Zahlen geben Häufigkeitsklassen bei einer Sammeldauer von 20 Minuten an: 1 = Einzelfund (1–2 Tiere), 2 = wenig (3–10 Tiere), 3 = wenig – mittel (11–30 Tiere), 4 = mittel (31–60 Tiere), 5 = mittel – viel (61–100 Tiere), 6 = viel (101–150 Tiere), 7 = massenhaft (> 150 Tiere).

Taxa	27.11.1996	21.02.2003
Gastropoda		
Bithynia tentaculata	2	2
Planorbis planorbis	–	1
Bathyomphalus contortus	–	–
Radix ovata	–	1
Radix auricularia	–	1
Radix peregra	–	1
Physella acuta	–	1
Ephemeroptera		
Caenis horaria	1	1
Caenis luctuosa	–	2
Caenis macrura	–	–
Rhitrogena germanica	–	1
Baetis rhodani	–	2
Trichoptera		
Hydroptila femoralis	–	2
Agraylea multipunctata	4	4
Orthotrichia tetensii	7	7
Goera pilosa	–	–
Ceraclea annulicornis	–	2
Mystacides sp.	2	2
Oecetis ochracea	2	2
Oecetis furva	2	–
Athripsodes cinereus	1	–
Leptocerus sp.	–	–
Ecnomus tenellus	1	2
Cyrnus trimaculatus	–	2
Polycentropus flavomaculatus	2	5
Psychomyidae juvenil	–	3
Tinodes waeneri	6	6

schutzgebietes und unterstrichen die Notwendigkeit, ökologisch fundierte Massnahmen gegen die weitere Zerstörung der UFWZ zu ergreifen. Als besonders gravierend erwies sich der deutlich sichtbare Niedergang eines Restbestands der ursprünglich am Bodenseeufer weit verbreiteten Binse (*Scirpus lacustris*). Erosion, Treibholz, Verschlammung, Vogelfrass und Bisamrattenverbiss hätten das bereits stark geschädigte Binsicht innerhalb weniger Jahre zunichte gemacht. Als erster Schritt für die Rettung des ca. 2500 m² grossen Restbestandes wurde ein Schutzzaun errichtet.

Tab. 2. Elektrobefischung im Bereich des Böschungsfusses (zwischen Ruderclub und Hünigraben) (aus PHILLIPSON und TEIBER, 2003).

Art	Anzahl						Gesamt
	bis 5 cm	6–10 cm	11–20 cm	21–30 cm	31–40 cm	> 40 cm	
Trüsche			62 (*12,3 cm)	1			63
Schmerle	häufig (*3,85 cm)	massenhaft (*7,45 cm)	3				> 300
Aal			2				2

* durchschnittliche Länge der gemessenen Fische

Die weiteren Massnahmen galten den geschädigten Bereichen des Polderdammes und gleichzeitig einer Revitalisierung der dem Damm vorgelagerten Schilfvegetation. Der Schutz vor Hochwasser- und Sturmereignissen einerseits sowie die gleichzeitige Revitalisierung der Schilf- und Binsichtareale stellten eine Herausforderung und ein Risiko für die Planung und Durchführung der Massnahme dar. Die Wasserwirtschaft konnte jedoch letztlich von der Anwendung eines ökologischen Konzepts überzeugt werden. Grundlage der Massnahmen bildete das an vielen anderen Standorten rund um den See angewandte Renaturierungsmodell. Die Anwendung des Modelles im Bereich des Hochwasserschutzes erfolgte damit zum ersten Mal am Bodensee. Innerhalb einer ersten Teststrecke von 250 m Länge ist im Jahr 2002 die Methode für die Massnahmen erprobt worden. Fünf Monate nach der Fertigstellung der Teststrecke wurden Nachuntersuchungen und ein zweijähriges Monitoring durchgeführt.

3.5.3.1 Ergebnisse der Nachuntersuchungen

Zoobenthos

Zur Untersuchung der Neubesiedlung des eingebrachten Böschungsfussmateriales wurden an vier Stellen Körbe in den Böschungsfuss eingebracht. Die Körbe waren so konstruiert, dass ein durch Stoff verstärktes Gazenetz, das am Korbboden ausgelegt wurde, mit Hilfe von Laschen am Rand des Korbes hochgezogen werden konnte (Abb. 11). Zunächst wurden die Körbe mit Steinen aus dem Böschungsfussbereich gefüllt und in den Böschungsfuss eingelassen. Nach einer Expositionszeit von 4 Monaten (Mitte Mai bis Mitte September) wurden die Körbe in unveränderter Lage geborgen. Um zu verhindern, dass Organismen bei der Entnahme der Körbe entweichen, wurde zunächst mit Hilfe von Laschen das Gazenetz vorsichtig am Korbrand hochgezogen, so dass sich die gesamte Steinfüllung in einem Netzbeutel befand. Dann erfolgte die Bergung des Korbes aus dem Böschungsfuss.



Abb. 10. Links: Ufersituation vor der Massnahme. Rechts: neue Uferböschung im Sommer nach der Durchführung der Massnahme.



Abb. 11. Oben links: frisch eingebrachter Versuchskorb. Oben rechts: Versuchskorb 4 Monate später. Unten links: geborgener Versuchskorb mit hochgezogenem Netzbeutel. Unten rechts: Besiedlung der Böschungsfusswacken mit Benthosorganismen.

Sämtliche Steine wurden in einer Wanne abgewaschen und die darauf siedelnden Organismen gesammelt, gewogen und bestimmt (Tab. 3). Die Neubesiedlung der eingebrachten Böschungen erfolgte in der nur wenige Monate dauernden Zeit geradezu stürmisch.

Fischfauna

Zur Ermittlung des Fischbestandes wurden zwei Elektrobefischungen durchgeführt. Die erste erfolgte im Juni 2003 entlang der Teststrecke und in benachbarte Referenzbereiche hinein. Die zweite folgte im September 2004 entlang des gesamten zur Revitalisierung vorgesehenen

Tab. 3. Nassgewicht und Abundanz der Makrozoobenthosorganismen im Böschungsfussbereich fünf Monate nach Abschluss der Bauarbeiten.

	Nassgewicht g/m²*	Individuen/m²*	Nassgewicht [kg] bezogen auf den Böschungsfuss der Teststrecke**	Nassgewicht [kg]/ha Böschungs-fussfläche*
Dreissena polymorpha	794	29 976	980	7 940
Gastropoda/Hirudinea/ Turbellaria	113	3 353	140	1 130
Oligochaeta/Crustacea/ Insektenlarven	6	5 529	8	63
Gesamt	913	38 858	1 128	9 133

* Sammeltiefe: 0–25 cm; ** Sammeltiefe 0–25 cm und 247 m Böschungsfusslänge bei 5 m Breite = 1235 m²

Uferabschnittes. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 aufgeführt. Es zeigte sich, dass der Böschungsfuss der Teststrecke (Abschnitt A) mit seiner etwas gröberen Struktur ein hervorragendes Biotop und Versteck für Fische ist. Die hohe Anzahl von Aalen im Juni 2003 erstaunte sogar den zuständigen Fischereiaufseher. Im Bereich der Flachwasserzone vor der noch nicht renaturierten Schilffront (Abschnitt A1) konnten keine Fische nachgewiesen werden. Im Herbst 2004 wurden – mit Ausnahme weniger grösserer Aale – fast ausschliesslich Fische mit einer Länge zwischen 10 und 15 cm oder kleiner gefangen. Die Anzahl der Aale im Böschungsfussbereich der Teststrecke ging allerdings deutlich zurück. Zwei Gründe sprechen für diesen Rückgang. Nach Aussage eines Anrainers fand das reichliche Aalvorkommen bei den Sportfischern grosses Fanginteresse, was zur deutlichen Verminderung der Aale führte. Ausserdem wurde im Sommer und Herbst 2003 ein seeweites Aalsterben beobachtet, was auf die extremen Verhältnisse – äusserst niedrige Seewasserstände bei gleichzeitig sehr hohen Wassertemperaturen – zurückzuführen war. Im Übrigen ergab die Befischung der gesamten überplanten Uferstrecke, dass in den Bereichen vor den erodierten Schilfarealen (Abschnitte C, H) und vor dem Binsicht (Abschnitt B) mit reinem Sanduntergrund die wenigsten Fische zu finden waren. Für das völlige Ausbleiben des bei der ersten Befischung noch festgestellten Schmerlenbestandes kommen ebenfalls die ungünstigen Lebensbedingungen im Herbst 2003 in Betracht. Lediglich dichte Makrophytenbestände (Abschnitt D) boten günstige Strukturen für Fische.

Gesamtsituation

Mit den neuen Standortbedingungen hatte sich die ökologische Situation deutlich verbessert. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Feststellungen:

Tab. 4. Ergebnisse der Elektrobefischungen im Juni 2003 und September 2004. Uferabschnitte: Böschungsfuss Teststrecke (A), erodierte Schilffront (A1, C, H), Binsicht (B), dichtes Makrophytenfeld (D), Mauer (G, K), Blockwurf (I, E), Weidenfaschinen (F)

	2003		2004									
Uferabschnitt	**A**	**A1**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**K**
Aal	53	–	7	–	–	–	–	–	–	–	1	–
Trüsche	4	–	133	–	8	2	1	–	–	–	–	2
Kaulbarsch	–	–	11	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Flussbarsch	–	–	2	–	–	–	–	2	1	–	2	–
Wels	2	–	23	–	1	2	–	1	–	–	1	3
Schmerle	26	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Karausche	–	–	–	–	–	1	1	5	–	–	7	–
Giebel	–	–	–	–	1	5	–	–	–	–	–	–
Barbe	–	–	2	–	–	–	–	10	–	–	–	–
Schleie	–	–	3	–	2	65*	1	–	–	1	–	1
Döbel	–	–	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–
Rotauge/Rotfeder	–	–	–	–	–	2	–	1	–	–	–	–
Ukelei	–	–	48	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Jungfische unbestimmt	–	–	30	–	2	–	–	–	–	–	–	–
Jungfischschwärme	–	–	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gesamt (ohne Schwärme)	85	0	263	0	14	77	3	21	1	1	11	6

* davon 6 Exemplare >10 cm, Rest <10 cm

- Durch die Entfernung der Stahlspundwand und des Blockmaterials konnte das hydrodynamische Geschehen verbessert werden, so dass die negativen Auswirkungen der Erosion durch Wellen und Strömungen gestoppt wurden.
- Der Böschungsfuss und die neue Flachböschung waren gegenüber dem Einfluss von Wellen und Strömungen stabil.
- Die Schäden an der Schilffront, wie z. B. Kliffkantenbildung und Schneisen, konnten behoben werden (s. Abb. 12).
- Das Schilf konnte sich erholen und ausdehnen.
- Benthosorganismen und eine Fischpopulation mit hoher Diversität besiedelten den neuen UFWZ-Bereich in hoher Abundanz (s. Tab. 3 und 4).



Abb. 12. Oben links: Situation 2001 vor der Massnahme (erodierte Schilffront, im Hintergrund massive Befestigungen durch Blocksteine und Spundwand). Oben rechts und Mitte links: Situation 2002 nach Fertigstellung der Baumassnahme. Mitte rechts: Situation 2005. Unten links: das durch den Schutzzaun sich wieder regenerierende Binsicht. Unten rechts: Bodenseevergissmeinnicht *(Myosotis rehsteineri)* im Bereich der Teststrecke.

- Durch den Schutzzaun um das Binsenareal konnte sich die Vegetation stabilisieren und regenerieren (Abb. 12).
- Ein Versuch mit der Ansiedlung der am Bodensee bedrohten Bodenseevergissmeinnichts verlief ausserordentlich positiv, weil es mit den eigens dafür eingebrachten Bodenstrukturen ideale Entwicklungsbedingungen fand (Abb. 12; vgl. DIENST und STRANG in diesem Buch).

Die aus der Teststrecke gewonnenen Erkenntnisse erlaubten die weiteren Baumassnahmen unter Anwendung des ökologischen Konzepts und die Durchführung der weiteren Massnahmen am Polderdamm.

Die Fortführung des Projektes auf einer Gesamtlänge von 900 m erfolgte im Februar/März 2005. In Anbindung an die Teststrecke wurde der weiterführende Böschungsfuss strömungskonform so angelegt, dass die auf das Ufer zulaufenden Strömungen und Wellen durch dessen Verlauf uferparallel geleitet werden. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Strömungsuntersuchungen wurde hierbei insbesondere das Wellen- und Strömungsgeschehen, welches aus dem nordwestlichen Windfeld resultiert, beachtet. Alle anderen Windfelder – insbesondere der für den östlichen Bodenseebereich wellenwirksame Föhn – spielen hinsichtlich der erosiven Prozesse und der Verlandungsvorgänge hier nur eine untergeordnete Rolle (s. Abb. 13).

Aufgrund des instabilen Untergrundes mussten Jutematten im Bereich des Böschungsfusses in Kombination mit Baustahlmatten eingebracht werden (Abb. 14). Im Gegensatz zu synthetischen Fliesen, welche für Renaturierungsmassnahmen ungeeignet sind, verrottet Jute im Laufe der Zeit. Nach der Fertigstellung des Böschungsfusses, der während der gesamten Massnahme die Funktion einer Baustrasse übernahm, wurde die neue Böschung zur Schilffront hin mit standortspezifischem feinem Material aufgebaut. Die Korrelation zwischen Böschungsneigung und Korngrösse wurde dabei jeweils strikt eingehalten. Wegen der Einbeziehung zweier in der Uferzone liegenden Hafenanlagen in die Gesamtkonzeption wurde die Massnahme erschwert. Um ein ausgeglichenes und dennoch stabiles Ufer zu erhalten, musste in Annäherung zu den Häfen ein langsamer Übergang von feinerem zu gröberem Material vorgenommen werden. Ein plötzlicher Wechsel bei der Korngrösse würde Instabilität und Erosion nach sich ziehen. Ende März 2005 wurden die Arbeiten abgeschlossen. Bereits wenige Wochen nach Abschluss der Revitalisierungsmassnahmen ist an der Schilffront eine stürmische Entwicklung und Ausdehnung in die neu eingebrachte Böschung hinein zu beobachten.

4 GESAMTBETRACHTUNG DER BISHERIGEN MASSNAHMEN

Infolge der internationalen Zusammenarbeit erwies sich das aufgezeigte Renaturierungsmodell seeweit als die erfolgreichste Methode sowohl für die Schilf-Revitalisierung als auch für die Wiederherstellung von funktionstüchtigen Flachböschungen und Flachwasserzonen. Insgesamt sind bisher seeweit ca. 30 km Uferzone renaturiert worden (Abb. 15, Tab. 5).

Die Wasserwirtschaftsverwaltungen von Bayern und Baden-Württemberg setzten von Anfang an auf das am Institut für Seenforschung (ISF) entwickelte Modell. In dessen Verwaltungsraum wurden ca. 50 grössere Massnahmen durchgeführt. Bei der Hälfte davon wurde Schilf revitalisiert oder neu angepflanzt.

Am schweizerischen Ufer basieren fast alle Massnahmen ebenfalls auf dem ISF-Modell. Sie weisen jedoch (leider) zum Teil Bauelemente auf, welche dem eigentlichen Ziel einer Revitalisierung – nämlich einer möglichst naturgetreuen Ufergestaltung – nicht entsprechen. Schwere Blöcke und massives Holzwerk widersprechen häufig den standortspezifischen ökologischen Bedingungen. Insgesamt sind am schweizerischen Ufer 6 grössere Massnahmen durchgeführt worden.

Das österreichische Bodenseeufer nimmt insofern eine herausragende Stellung für den gesamten See ein als hier einerseits sehr viel Uferzonen unter Naturschutz stehen, andererseits gerade in solchen Bereichen eine grosse Zahl

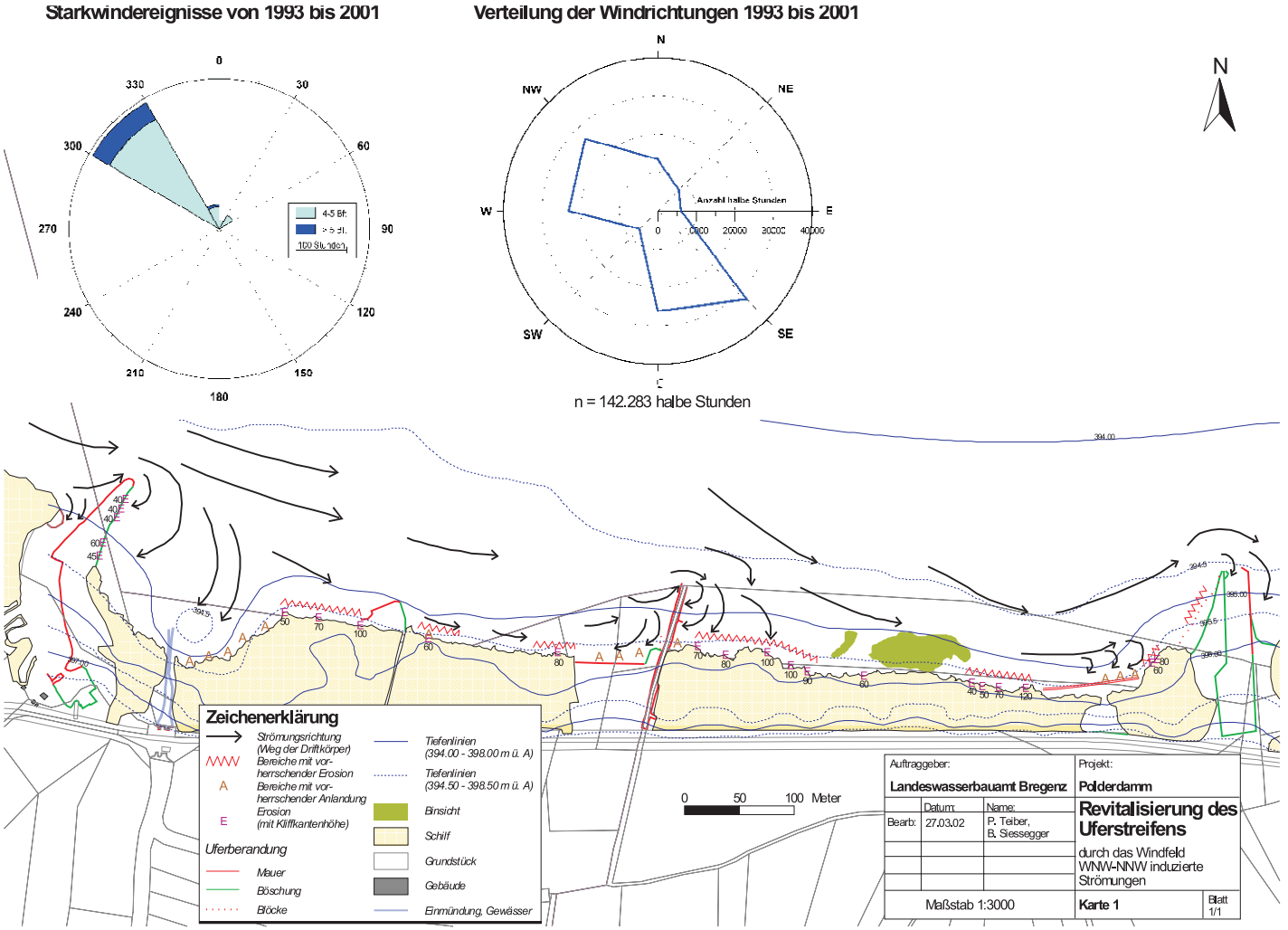


Abb. 13. Strömungskarte mit Angabe des vorherrschenden Starkwindfeldes und der hieraus resultierenden uferparallelen Strömungen. Die rote Zickzacklinie kennzeichnet die Schilffrontschädigungen, welche durch das Zusammenwirken von Strömungen und Wellen hervorgerufen werden.







Abb. 14. Oben links: Bauphase mit Anlegen des Böschungsfusses unter Verwendung von Jutematten. Unten links: Vermessung (2004) der erodierten Schilffront vor der Massnahme. Unten rechts: sanierte Kliffkanten nach der Massnahme (2005).

von massiven Schifffahrtsanlagen anzutreffen ist. Während das an Bayern angrenzende Bodenseeufer bis über die Stadt Bregenz hinaus auf einer Länge von über 4 km nahezu vollständig verbaut ist, breiten sich im Anschluss daran natürliche, jedoch häufig gestörte oder geschädigte UFWZ aus (Mehrerauer Uferzone). Die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Vorarlberg und die Landeshauptstadt Bregenz haben in den vergangenen Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, um ihre sensiblen Uferzonen zu revitalisieren. Bei allen fünf am österreichischen Ufer in der jüngeren Vergangenheit durchgeführten Massnahmen lag jeweils das beschriebene Renaturierungsmodell zugrunde. Auch die zur Durchführung der Massnahmen erforderlichen Angaben über Linienführung, Materialauswahl und Böschungsgestaltung erfolgten vom ISF aus.

5 ABSCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Integrierung naturwissenschaftlicher Belange in die Gesamtplanung erweist sich als unbedingt erforderlich. Für das baden-württembergische Bodenseeufer lag fast allen Renaturierungsmassnahmen das eigens dafür geschaffene und vom Land Baden-Württemberg finanzierte «Ökologieprogramm für den Bodensee» zugrunde. Seine Aufgabe bestand darin, für die vorgesehenen Renaturierungen limnologische

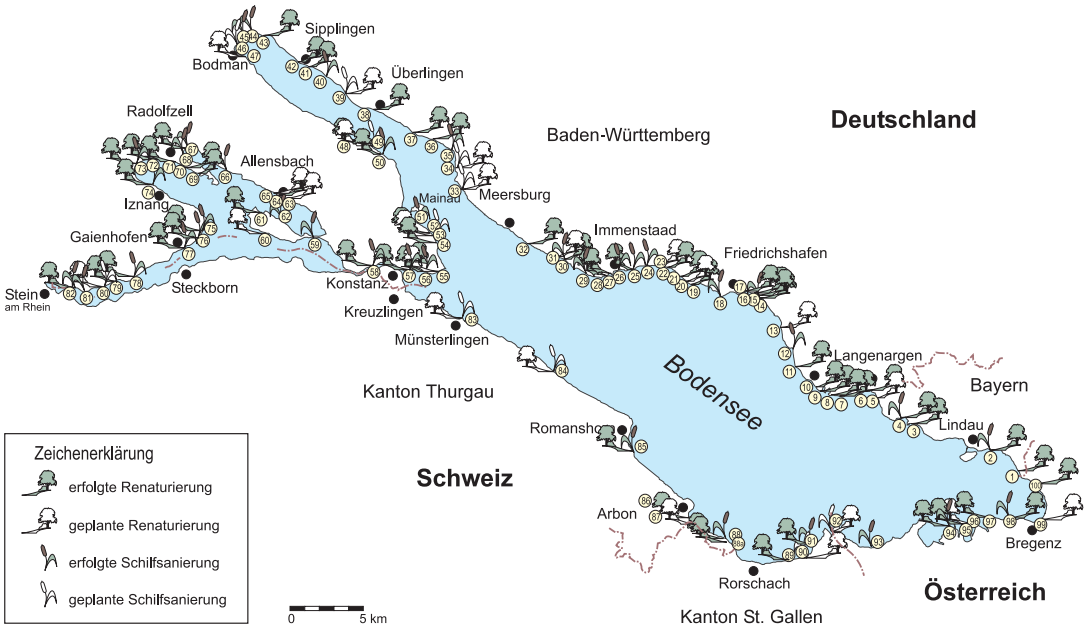


Abb. 15. Durchgeführte oder in Planung befindliche Renaturierungsmassnahmen am Bodensee.

und ökologische Bestandesaufnahmen zu erarbeiten. Auf deren Grundlage wurden vorliegende Defizite aufgezeigt und die massgeblichen Daten über Art, Umfang und Gestaltungsweise der Projekte geliefert. In einem GIS-Projekt sind Vor- und Nachuntersuchungen zu 22 grösseren Renaturierungsprojekten am Bodensee dargestellt (TEIBER et al., 1998).

Am Beispiel des Polderdammes im österreichischen Naturschutzgebiet «Rheindelta» erwies sich die zusätzliche Integrierung des wissenschaftlichen Teams in die Bauleitplanung als besonders erfolgreich. Die Kontinuität der wissenschaftlichen Begleitung während der gesamten Bauphase ermöglichte eine optimale Anwendung des Renaturierungsmodelles in der Praxis. Ein wöchentlich abgehaltener «jour fixe» und häufige Präsenz auf der Baustelle garantierten während der gesamten Bauphase einen reibungslosen und erfolgreichen Ablauf der Arbeiten.

Für den Bereich des österreichischen Ufers konnte auch zum ersten Mal der wissenschaftliche Nachweis für den ausserordentlichen Erfolg von Renaturierungsmassnahmen nach dem ISF-Modell erbracht werden. Um diesen Erfolgsnachweis erbringen zu können, waren genaue Bestandesaufnahmen vor Beginn der Massnahme, ständige wissenschaftliche Begleitung während der Arbeiten (auch in Form von Monitoring) sowie umfangreiche Untersuchungen nach dem Eingriff erforderlich. Solche Erfolgskontrollen sollten künftig allgemein durchgeführt werden, um die Bedeutung und die Sinnhaftigkeit von Schilfrevitalisierungen und Flachwassergestaltungen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Eine gegenwärtig vorgenommene ökologisch-limnologische Bewertung der UFWZ rund um den See wird wichtige Hinweise für die weiteren, seeweit vorzunehmenden Massnahmen ermöglichen. Die Bedeutung und der Wert der UFWZ sowohl für den Bodensee selbst als auch für die Menschen rund um den See sind so gross, dass viele bisher versäumte Anstrengungen dringend nachzuholen sind.

Tab. 5. Liste der am Bodensee durchgeführten Renaturierungsmassnahmen. Geplante Massnahmen: kursiv geschrieben. R = Renaturierung; S = Schilfanbau.

Nr.	Gebiet	Art	Nr.	Gebiet	Art	Nr.	Gebiet	Art
1	Lindau-Wäsen	R	35	Obermaurach	S	69	Radolfzell-Versehrtenbad	R+S
2	Lindau-Reutin	R+S	36	Nussdorf	R	70	Radolfzell-Strandbad	R
3	Wasserburg-Freizeitzentrum	R	37	Überlingen-Liebesinsel	R	70a	Radolfzell-Versehrtenbad	R+S
4	Wasserburger Bucht	R+S	38	Überlingen-Strandbad	R	71	Radolfzell-Ortslage	R
5	*Kressbronn-Ort*	*R*	*39*	*Spetzgart*	*R+S*	72	Radolfzell-Bahnhof	R
6	Kressbronn-Strandbad	R	40	Süssenmühle	S	73	Radolfzell-Herzen	R+S
7	Kressbronn-Tunauer Strand	R	41	Sipplingen-Ost	R	74	Iznang	R+S
8	Argenmündung-Ost	R	42	Sipplingen-West	R	75	Gaienhofen-Hornstaad	R+S
9	Langenargen-Malerecke	R	43	Ludwigshafen-Ost	R	76	Gaienhofen-Horn	R+S
10	Langenargen-Ort	R	44	Ludwigshafen-West	S	77	Gaienhofen	R+S
11	Langenargen-DLRG	R	45	Hornspitz	S	78	Wangener Bucht (Archäologie)	R+S
12	Langenargen-Schwendi	S	*46*	*Bodman-West*	*R+S*	79	Wangen	R
13	*Eriskirch-Strandbad*	*R*	*47*	*Bodman-Ost*	*R+S*	*80*	*Kattenhorn*	*R+S*
14	Friedrichshafen-Rotachmündung-Ost	R+S	48	Dingelsdorf-West	R	81	Öhningen-Oberstaad	S
15	Friedrichshafen-Rotachmündung-West	R	*49*	*Dingelsdorf-Ost*	*R+S*	82	Öhningen-Stiegen	R+S
16	Friedrichshafen-Uferstrasse	R	50	Dingelsdorf-Fliesshorn	R+S	*83*	*Münsterlingen*	*R+S*
17	Friedrichshafen-DB-Mole	R	51	Egg-Unigelände	S	*84*	*Seedorf/Kesswil*	*R+S*
18	Friedrichshafen-Strandbad	R+S	52	Egg	R	85	Luxburger Bucht	R+S
19	Friedrichshafen-Seemoser Horn	R	*53*	*Hohenegg*	*R+S*	86	Arbon	R
20	*Manzell-MTU*	*R*	54	Hohenegg/Nissenbaum, Ruppaner	R	*87*	*Steinach*	*R*
21	Manzeller Hölzle	R	55	Konstanz-Jakobsbad	R	88	Horn-West (Kanton Thurgau)	R+S
22	Fischbach-Seehag	R	56	Konstanz-Schmiedersche Kliniken	R+S	88a	Horn-Ost (Kanton Thurgau)	R+S
23	*Fischbach-West*	*R*	57	Konstanz-Seeuferweg	R+S	89	Staad-Calanda	R
24	Immenstaad-Lipbach	S	58	Seerhein/Unterfeld	R+S	*90*	*Speck/Staad*	*R+S*
25	Immenstaad-Dorniermole	R+S	59	Reichenau-Schopflen	S	91	Altenrhein	R+S
26	Immenstaad-Kniebach	S	*60*	*Reichenau-Anlegestelle*	*R*	*92*	*Altenrhein-Marina*	*R+S*
27	Immenstaad-Ortslage	R	61	Reichenau-Strandbad	R	93	Polderdamm	S
28	Immenstaad-West	R	62	Reichenau-Mittelzell	S	94	Alpenrhein	R+S
29	Immenstaad-Hardthof	S	*63*	*Allensbach-Strandbad*	*R*	95	Hard-Grüner Damm	R
30	Hagnau-Ost	R+S	64	Allensbach-Ost	R	*96*	*Hard-Industriehafen*	*R*
31	*Hagnau-West*	*R*	*65*	*Allensbach-West*	*R*	97	Bregenz-Wocherloch	R
32	Stetten-Seehag	R	66	Naturfreundehaus	R+S	98	Bregenz-Mehrerau	R+S
33	*Unteruhldingen-Pfahlbauten*	*R+S*	67	Markelfinger Winkel	R+S	*99*	*Bregenz-Ortslage*	*R*
34	*Seefelden*	*R+S*	68	Radolfzell-Hafen Martin	S	100	Lochau-Strandbad	R

6 LITERATUR

DITTRICH, A., WEISSER, H., BRENNER, S. & SCHNAUDER, I. 1999. Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten von Böschungen des Bodenseeufers. Bericht des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, Karlsruhe im Auftrag der Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Bereich Ravensburg.

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH 1994. Flächenhafte Seegangsuntersuchungen in der Friedrichshafener Bucht des Bodensee-Obersees. Abschlussbericht, 2. korrigierte Ausgabe, Oktober 1994.

KOTHÉ, P. (1982). Ufergestaltung bei Ausbau und Unterhaltung der Bundeswasserstrassen, Interner Bericht Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1–18.

MELUF (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg) 1981. Grundsätze zum Schutz der Flachwasserzone des Bodensees. Heft 11, 1–29.

PHILLIPSON, S. & TEIBER, P. 2003. Bestandsaufnahmen von Fischen und Makrozoobenthos in renaturierten Bereichen des Bodenseeufers bei Sipplingen und Friedrichshafen. Bericht im Auftrag der Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Bereich Ravensburg.

PIROTH, K. & PLATHE, E. J. (1994). Strömungsbeurteilung einer Leitwand in der Flachwasserzone vor dem Yachthafen Radolfzell. Bericht des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe (TH).

REGIERUNG VON SCHWABEN Hrsg. 1983. Flachwasserschutz am bayerischen Ufer des Bodensees.

REGIONALVERBAND BODENSEE-OBERSCHWABEN (RAVENSBURG) Hrsg. 1984. Bodenseeuferplan.

REGIONALVERBAND HOCHRHEIN-BODENSEE (WALDSHUT-TIENGEN) Hrsg. 1984. Bodenseeuferplan.

SCHRÖTER, C. & KIRCHNER, O. 1902. Die Vegetation des Bodensees. Teil II. Schriften des Vereins zur Geschichte des Bodensees 31, 1–86.

SIESSEGGER, B. 1970. Limnologische Untersuchungen über das Litoral am Bodensee (am Beispiel der Friedrichshafener Bucht). gwf-wasser/abwasser 111, 488–493.

SIESSEGGER, B. 1977. Zur Problematik der Ufernutzungen am Bodensee. Naturschutz (Oberschwaben) 14, 9–14.

SIESSEGGER, B. 1985. Flachwasserzonen des Bodensees. 10 Jahre LFU, 129–135.

SIESSEGGER, B. 1992. Auf dem Wege der Besserung – die schwierige Sanierung des Bodensees. Praxis Geographie 5, 43–47.

SIESSEGGER, B. & TEIBER, P. 2001. Erfolgsmodell für Renaturierungen am Bodensee. Ingenieurbiologie 3, 3–14.

TEIBER, P. 2002. Vorarlberger Rheindelta – Polderdammanlage Ausbaumassnahmen Hochwasserschutz – Revitalisierung des Uferstreifens. Abschlussbericht im Auftrag des Landeswasserbauamtes Bregenz.

TEIBER, P. 2003. Zustandsbeschreibung des Bodenseeufers – Statistische Auswertung. Abschlussbericht und GIS-Projekt im Auftrag der Internationalen Bodenseekonferenz (IBK).

TEIBER, P. & WEYHMÜLLER, M. 1997. Wissenschaftliche Begleituntersuchung für das Renaturierungsgebiet Friedrichshafener Bucht in der Flachwasserzone und der angrenzenden ökologischen Kontaktzone. Abschlussbericht im Auftrag der Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Bereich Ravensburg.

TEIBER, P., WEYHMÜLLER, M. & WEYHMÜLLER, M. 2001. Renaturierungen am Bodenseeufer. Bericht im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

WEYHMÜLLER, M., WEYHMÜLLER, M. & TEIBER, P. 2000. Die Auswirkungen des Hochwassers vom Frühjahr 1999 auf die Renaturierungsgebiete am Bodensee. Abschlussbericht im Auftrag der Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Bereich Ravensburg.

Dr. Berthold Siessegger und Dr. Petra Teiber-Siessegger, Friedrichshafenerstrasse 8, D-88142 Wasserburg, E-Mails: Siessegger@ufer-renaturierung.de, pteiber@t-online.de

Der Schaaren bei Schaffhausen – Naturschutz und Renaturierung

Fredy Leutert (Stetten) und Ulrich Pfändler (Schaffhausen)

1 NUTZUNG, SCHUTZ UND RENATURIERUNG

Der Passagier auf dem Schiff von Schaffhausen nach Stein am Rhein überschaut im Rheinknie gegenüber Büsingen eine weite, reizvolle Uferlandschaft: die Schaarenwiese, eingebettet in den von markanten Eichen geprägten Schaarenwald (Abb. 1).

Der Schaaren liegt in einer von Menschen bereits vor tausenden von Jahren besiedelten, genutzten und gestalteten Landschaft; so wurden im Rheinknie Reste eines Befestigungswalls aus der Bronzezeit und eines römischen Wachtturmes gefunden. Besonders bemerkenswert sind weiter die historischen Schanzenanlagen des österreichischen Brückenkopfs von 1799. Flurnamen wie Schanzenmoos, Russenwiesli, Mörderbuck oder Galgenacker zeugen von einer dramatischen Geschichte.

Die Schaarenwiese am Rhein ist eines der bedeutendsten Naherholungsgebiete der Stadt Schaffhausen; stark frequentiert wird auch der Rheinuferweg und der Veloweg Schaffhausen–Diessenhofen–Konstanz. Bereits 1879 wurden vom Forstamt zur Erhaltung der wertvollen Flora vier Tafeln angebracht, mit einem «Verbot über unberechtigtes Befahren der Rheinwiese bei Fr. 5.– Busse». Heute ist das Gebiet als Flachmoor von nationaler Bedeutung geschützt; ein ca. 20 m breiter Uferstreifen steht den Erholungssuchenden zur Verfügung. Seit dem 30. März 2004 ist auch die Schutzanordnung für das fast 300 ha grosse Sonderwaldreservat Schaaren in Kraft. Wichtige Meilensteine waren das Inventar schützenswerter Objekte im Wald ISOWA (Dürr und Ulmer, 1998) und der Regionale Waldplan Diessenhofen, 2000–2015.

Die Renaturierung und Vernetzung von Feuchtgebieten begann aber bereits Anfang der 1990er Jahre. Die Federführung liegt beim Forstamt Kanton Thurgau, für die Moore beim Amt für Raumplanung des Kantons Thurgau. Der Kanton Schaffhausen, wichtiger Grundeigentümer im Schaaren, hat sich bei vielen Projekten massgeblich beteiligt. Zahlreiche Aufwertungsmassnahmen hat Robert Steinemann mit dem Naturschutzverein «Turdus» initiiert. Die gute Zusammenarbeit zwischen den Kantonen, den Gemeinden Schlatt und Diessenhofen, dem Kraftwerk Schaffhausen, NGOs und privaten Sponsoren hat entscheidend zum Erfolg beigetragen.

2 BESONDERE STANDORTSVERHÄLTNISSE – REICHHALTIGE FLORA UND FAUNA

Unter der Schaarenwiese liegt die Grundwasserrinne des Rheinschotters; der Wasserspiegel korrespondiert hier mit dem Rheinpegel. In der im Herbst gemähten Schaarenwiese wachsen seltene alluviale Trespenrasen auf einer Kuppe, die sich nur 1,5 m über das Schilfröhricht des Rheinaltarms erhebt, dazwischen liegen Zonen mit Pfeifengraswiesen und Seggenriedern. Anders ist die Hydrologie in den rheinferneren Bereichen des Schaarenwaldes. Hier lagern fluvioglaziale Schotter mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von ca. 4 m und einer wellenförmigen Untergrenze. Darunter liegen die mächtigen Bändertone des aufgefüllten glazialen Zungenbeckens (Meyer et al., 1993; Schläfli, 1999). In der kiesigen Deckschicht fliesst das Grundwasser in ca. 2–3 m Tiefe von Südosten Richtung Rhein. An verschiedenen Stellen tritt Wasser in Form von Quellen an die Oberfläche oder staut sich in lehmigen Senken. Es entstanden kleine Verlandungsmoore mit Torfböden sowie ausgedehnte feuchte Eschenwaldgesellschaften. Auf den trockenen, steinigen Kuppen

und Terrassen findet sich eichenreicher Hainbuchenmischwald. Diese besonderen, kleinräumig wechselnden Bodenverhältnisse und das warme, trockene Klima der Region begründen das ausserordentlich vielfältige Mosaik seltener Wald- und Grünlandgesellschaften, vgl. BURNAND et al. (in diesem Werk).

Der Schaaren zählt floristisch zu den reichhaltigsten Gebieten im Thurgau und ist gut untersucht (TANNER, 1947; KLÖTZLI und SCHLÄFLI, 1972; LEUTERT, 1990). Besonders erwähnenswert sind Steppenrasenarten wie das Weisse Fingerkraut *(Potentilla alba)* und die Knollige Spierstaude *(Filipendula vulgaris)*, Bestände der Sibirischen Schwertlilie *(Iris sibirica)* und der Gelben Wiesenraute *(Thalictrum flavum)* oder die Vorkommen des Frauenschuhs *(Cypripedium calceolus)* im Wald. Ein Vergleich mit den älteren Florenlisten ist allerdings ernüchternd: Zahlreiche Pflanzenarten, die vor 40 bis 100 Jahren noch regelmässig im Schaaren gefunden wurden, sind heute verschollen oder extrem selten geworden.

Im Sonderwaldreservat Schaarenwald fand PARODI (2005) die hohe Zahl von 50–55 Brutvogelarten. In den Feuchtgebieten brüten u. a. Graureiher, Haubentaucher, Zwergtaucher, Blässhuhn, Teichrohrsänger und Rohrammer. Die Petribucht am Rhein ist ein wichtiger Überwinterungsplatz für Wasservögel. Vielfältig ist auch die Vogelwelt des Waldes, u. a. mit Pirol, Kuckuck, Schwarz-, Grün-, Grau-, Bunt-, Mittel- und Kleinspecht. Im Frühjahr 2005 wurde zudem eine balzende Waldschnepfe beobachtet, und in steil zum Rhein abfallenden Uferabschnitten hat auch schon der Eisvogel gebrütet. Das Gebiet beherbergt grosse Amphibienbestände, darunter Vorkommen von Springfrosch und Laubfrosch. In den zahlreichen kleinen Bächen und Rinnsalen leben die Larven der Gestreiften Quelljungfer *(Cordulegaster bidentata)*. Im Jahre 2004 wurden beachtliche 34 Tagfalterarten festgestellt, darunter auch im Thurgau selten gewordene Arten wie Grosser Fuchs *(Nymphalis polychloros)*, Veilchenperlmutterfalter *(Boloria euphrosyne)*, Märzveilchenfalter *(Argynnis adippe)* und Brombeerzipfelfalter *(Callophrys rubi)* (LEUTERT und PFÄNDLER, 2004).



Abb. 1. Die Schaarenwiese gegenüber Büsingen (D) ist eines der wertvollsten Naturschutzgebiete am Hochrhein. Zwischen den markanten Eichen auf der trockenen Kuppe der Halbinsel und dem Schilf des renaturierten Altarms (im Vordergrund) liegen Zonen mit Trespen-Halbtrockenrasen, Pfeifengraswiesen und Grossseggenried.

3 SCHUTZ- UND ENTWICKLUNGSZIELE IM SONDERWALDRESERVAT (Abb. 2)

«Schutzziel ist die ungeschmälerte Erhaltung des Schaarens als Lebensraum für seltene Pflanzen- und Tierarten sowie als naturnahe und schöne, vielfältig nutz- und erlebbare Kulturlandschaft. Zu erhalten und fördern sind insbesondere seltene Waldgesellschaften und Waldbestände, Feuchtgebiete und Uferbereiche, Waldlichtungen und vielfältige Übergangsbereiche Wald-Kulturland in ihrer natürlichen Zusammensetzung» (DEPARTEMENT FÜR BAU UND UMWELT DES KANTONS THURGAU, 2004). Für den Naturschutz ergeben sich folgende Erfordernisse (LEUTERT, 2002):

- Am Rheinufer vielfältige, struktur- und altholzreiche Uferwälder erhalten und schaffen, kleinräumige Standortsunterschiede akzentuieren, mit besonderer Rücksicht auf das Landschaftsbild.
- Feuchtgebiete und ihre naturnahen Randbereiche im Wald und am Waldrand erhalten, aufwerten, erweitern und miteinander vernetzen. Hohen Grundwasserspiegel erhalten.
- Dauernd lichte, nährstoffarme Waldteile (lichter Wald, Blössen) zur Förderung von licht- und wärmeliebenden Pflanzen- und

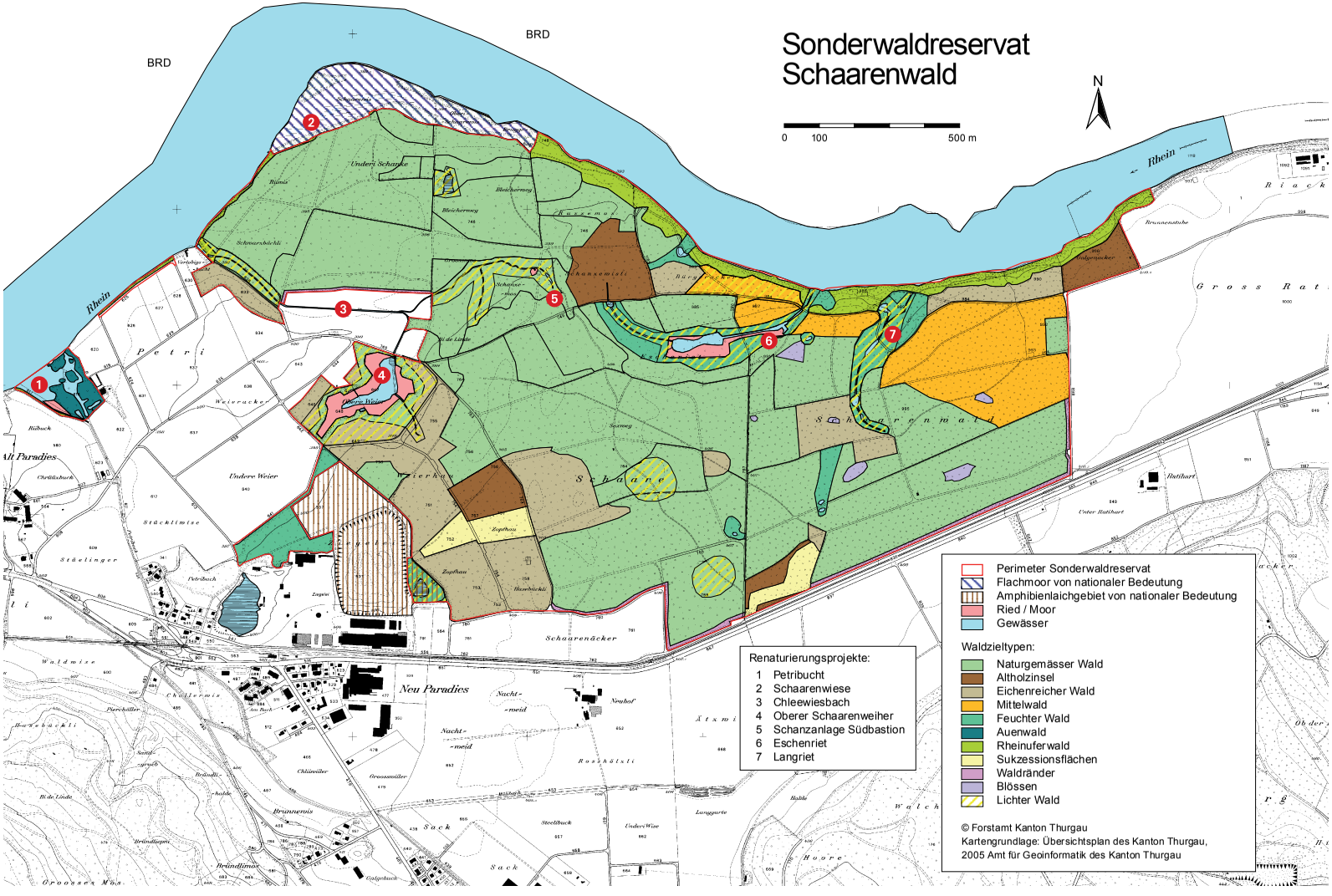


Abb. 2. Sonderwaldreservat Schaarenwald, Waldzieltypen gemäss Schutzanordnung vom 30. März 2004. Renaturierungsprojekte (Auswahl).

Tierarten erhalten, wiederherstellen und miteinander und mit den Feuchtgebieten vernetzen.
- Altholz- und totholzreiche Baumbestände erhalten. Alte Eichen in grosser Dichte erhalten.
- Vielfalt der naturnahen Waldbewirtschaftungsformen erhalten, insbesondere Mittelwald, stufiger Wald, Offenwald mit Streumahd, Eichen-Hochwald.
- Vielfältige und breite Übergangslebensräume vom Wald zum Offenland schaffen. Speziell die südexponierten Waldränder licht und mit Buchten ausgestalten.
- Stellenweise Flächen mit ungestörter Entwicklung ausscheiden (Altholzinseln, Windwurfflächen).
- Im weiteren Projektperimeter Grundsätze der naturnahen Waldbewirtschaftung einhalten. Dazu gehört die Förderung von standortheimischen Waldgesellschaften, z. B. durch vorzeitige Umwandlung von Fichtenbeständen, Förderung der Eiche an geeigneten Standorten.

4 RENATURIERUNGSPROJEKTE FEUCHTGEBIETE

Schaarenwiese (Abb. 1)
In der Schaarenwiese, dem schönsten Auengebiet am Hochrhein, ist bei der Pflege und der Gestaltung besondere Rücksicht auf das Landschaftsbild, die Geomorphologie, die archäologischen Fundstellen sowie den Erholungsbetrieb zu nehmen. Im verlandeten Altarm wurden bereits im Jahre 1992 schonend zwei Kleingewässer angelegt; später wurde der Anschluss an den Rhein vergrössert. Zwergtaucher und andere Wasservögel können nun ungehindert zwischen ihren Nahrungsgebieten im Rhein und den Brutgebieten im Schilf des Altarms pendeln, der auch Jungfischen als Kinderstube dient. Am oberen Ende begrenzt eine Tonschicht den Altarm gegen den Rhein. Hier wurde ein von Sickerwasser gespeister, flacher und warmer Weiher angelegt, dessen Wasserstand meist über demjenigen des Rheins liegt – Spring- und Laubfrosch setzen hier Laichballen ab (LIPPUNER, 2000). Ein Durchstich vom Rhein zum oberen Ende des Altarms, der die Schaarenwiese zur Insel gemacht hätte, wurde verworfen – es gibt keine historischen Belege für diese Verbindung und keine ökologische Notwendigkeit.

Oberer Schaarenweiher
Völlig andere Standortbedingungen wurden am Oberen Schaarenweiher angetroffen: ein Verlandungsmoor mit bis zu 4 m mächtiger Torfschicht über Seekreide und Ton (HOFMANN, 1993). Die Vegetation, u. a. mit Schneidebinsenried, Kopfbinsenried und Fadenseggensumpf, wurde bereits von ZOBRIST (1935) untersucht. Gemäss Pflegekonzept (PFÄNDLER und LEUTERT, 1994) wird das Gebiet entbuscht und gemäht. Ein verlandeter Weiher von 1500 m² wurde 1995 unter Schonung der bestehenden wertvollen Vegetation wieder hergestellt. Der Weiher ist über den Chleewiesbach mit dem Rhein vernetzt.

Chleewiesbach
Der stark verlandete Mündungsbereich in den Rhein wurde im Mai 2004 ausgebaggert, um den Fischeinstieg in den Mündungsbereich zu erleichtern. Ein von Osten in den Chleewiesbach einmündender Quellbach, der auf den letzten 80 m eingedolt war, wurde 1996 offen gelegt und naturnah gestaltet.

Eschenriet (Abb. 3)
Im vollkommen verlandeten und teils verbuschten Moor wurden 1994 offene Wasserflächen geschaffen. Der angrenzende Wald wurde zur besseren Besonnung stark ausgelichtet. Eine nördlich angrenzende grössere Waldfläche wurde durch Einstau wiedervernässt und teils überflutet. LIPPUNER (2000) nahm aufgrund der ausgezählten Laichballen an, dass an den neu geschaffenen Gewässern im Eschenriet rund 1000 adulte Springfrösche am Laichgeschehen teilnehmen; damit ist es das bedeutendste derzeit bekannte Springfrosch-Laichgewässer der Nordschweiz.

Inzwischen wurde auch der Graben östlich des Eschenriets aufgestaut. Im wiedervernässten, rund 1 ha grossen Bereich entsteht seit 2003



Abb. 3. Tümpel im lichten Eschenwald östlich des Eschenriets. Der Wald wurde ausgelichtet und durch Grabenstau wiedervernässt. Das entstehende Hochstaudenried wird im Herbst gemäht.



Abb. 4. Hinter dem rekonstruierten Wall der Südbastion des österreichischen Brückenkopfs lagen 1799 Soldaten in Stellung. Der Graben ist heute ein Amphibienlaichgewässer; im licht gehaltenen Wald hat sich eine blütenreiche Krautschicht angesiedelt. Ein Weg führt die Besucher durch Geschichte und Natur.



Abb. 5. Eichenwald im Bürgeracker. Der Bestand wurde zur Förderung licht- und wärmeliebender Pflanzen- und Tierarten stark ausgelichtet. Die Krautschicht wird teils gemäht.

ein parkartiger Wald mit einzelnen Eschen, Traubenkirschen, jährlich gemähter Riedvegetation und flachen Tümpeln.

Schanzanlage Südbastion (Abb. 4)
Die Synergien zweier ideeller Vereinigungen, «Rheinkastell» und «Turdus», wurden bei diesem Renaturierungsprojekt optimal genutzt. Die rund 2 ha grosse Stellung des österreichischen Brückenkopfs von 1799 wurde durch bauliche Eingriffe an Gräben und Wällen wieder erlebbar gemacht. In dem 8 m breiten Westgraben der Südbastion wird das Sickerwasser durch niedrige Lehmriegel flach angestaut. Auf den trockenen Schotterwällen hat sich nach einem Windwurf (Sturm «Lothar», Dezember 1999) eine blütenreiche Krautschicht entwickelt, die seither jährlich gemäht wird; der Wald bleibt dadurch im Bereich der Anlage sehr licht.

Weitere Renaturierungen wurden im Langriet und an anderen Orten realisiert oder sind noch in Planung.

5 WALDPROJEKTE

Verschiedene Tierarten des Schaarens sind auf Lebensraumkomplexe von Feuchtgebieten und lichtem Wald angewiesen. Beispielsweise bevorzugt der Springfrosch als Landlebensraum warme und eher trockene, lichte Wälder. Tagfalter wie der Veilchenperlmutterfalter benötigen miteinander vernetzte Krautfluren und -säume in lichten Waldflächen, auf Windwurfflächen und an Waldrändern. Im Sonderwaldreservat stellt das Forstamt Thurgau solche Lebensräume wieder her. Projektbeispiele:

- Eichen-Parkwald Bürgeracker: Auf der ca. 1,5 ha grossen Fläche in Verbindung zum Eschenriet stockt nach der Durchforstung ein sehr lockerer, hainartiger Bestand alter Eichen; die Krautschicht wird im Herbst gemäht (Abb. 5).
- Mittelwald östlich Langriet: Seit vergangenem Jahr wird der trockene, rund 10 ha grosse Waldbestand etappenweise durchforstet. Ziel ist ein lichter Eichen-Hainbuchenmischwald.

Die Eiche ist eine charakteristische Baumart der Rheinlandschaft. Mit der Erhaltung alter Eichen im Dauerwald, ihrer Förderung bei Durchforstungen und der gezielten Verjüngung nach der Räumung von Fichtenbeständen soll unter anderem der seltene Mittelspecht gefördert werden; 2005 wurden 4–5 Brutreviere festgestellt (PARODI, 2005), vgl. auch HIRT und HOFMANN sowie KEEL (in diesem Werk).

Für die Wanderer wurden entlang der Wege grosszügige Einblicke in die renaturierten Feuchtbiotope und die lichtdurchfluteten Waldteile geschaffen.

6 LITERATUR

DEPARTEMENT FÜR BAU UND UMWELT, 2004. Unterschutzstellung des Sonderwaldreservates Schaaren. Schutzanordnung samt Schutz- und Waldzieltypenplan.

DÜRR, CH. & ULMER, U. 1998. Inventar schützenswerter Objekte im Wald, Bezirk Diessenhofen. Forstamt des Kantons Thurgau. 19 pp.

HOFMANN, F. 1993. Geologische Begutachtung des Oberen Schaarenweihers im Hinblick auf eine Revitalisierung durch Anlage offener Wasserflächen. Gutachten im Auftrag des Planungs- und Naturschutzamtes des Kantons Schaffhausen und des Amtes für Raumplanung des Kantons Thurgau.

KLÖTZLI, F. & SCHLÄFLI, A. 1972. Das Pflanzenschutzgebiet Schaarenwiese. Mitt. thurg. naturf. Ges. 40, 85–98.

LEUTERT, F. 1990. Die Schaarenwiese am Rhein, ein Vegetationsvergleich. Mitt. thurg. naturf. Ges. 50, 31–38.

LEUTERT, F. 2002. Schaarenwald. Projektbericht zur Realisierung des Waldreservates. Departement für Bau und Umwelt des Kantons Thurgau, Forstamt Thurgau. 31 pp.

LEUTERT, F. & PFÄNDLER, U. 2004. Sonderwaldreservat Schaaren. Ökologische Wirkungskontrolle, Erstaufnahme 2004. Forstamt Kanton Thurgau.

LIPPUNER, M. 2000. Der Springfrosch (*Rana dalmatina* BONAPARTE 1840) – ein neu festgestelltes Faunenelement der Kantone Thurgau und Zürich. Mitt. thurg. naturf. Ges. 56, 89–110.

MEYER, CH., HUGENTOBLER, CH., PLANUNGSBÜRO KELLER & STÄHELI AG. 1993. Erweiterung Tonabbaugebiet Paradies. Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung. Keller Ziegeleien AG, Pfungen.

PARODI, P. 2005. Ornithologischer Bericht 2005. Sonderwaldreservat Schaarenwald-Petri. Forstamt Kanton Thurgau.

PFÄNDLER, U. & LEUTERT, F. 1994. Oberer Schaarenweiher, Gemeinde Unterschlatt. Schutz- und Pflegekonzepte für thurgauische Naturschutzgebiete. Amt für Raumplanung des Kantons Thurgau, Planungs- und Naturschutzamt des Kantons Schaffhausen, Kantonsforstamt Schaffhausen. 28 pp.

SCHLÄFLI, A. (Hrsg.) 1999. Erläuterungen zur geologischen Übersichtskarte des Kantons Thurgau 1:50 000. Mitt. thurg. naturf. Ges. 55, 102 pp.

TANNER, H. 1947. Der Naturschutz im Thurgau. Mitt. thurg. naturf. Ges. 34, 58–63.

ZOBRIST, L. 1935. Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchung des *Schoenetum nigricantis* im nordostschweizerischen Mittellande. Dissertation ETH Zürich.

Dr. Fredy Leutert, Büro für Angewandte Ökologie, Dorfstrasse 38, CH-8234 Stetten,
E-Mail: leutert@bluewin.ch

Ulrich Pfändler, oekoinfo, Büro für Umweltfragen, Meisenweg 2, CH-8200 Schaffhausen,
E-Mail: ulrich.pfaendler@swissworld.com

Einblick in die Renaturierung der Bäche und Flüsse im Kanton Zürich – Teileinzugsgebiet des Rheins

Christian Göldi (Schaffhausen)

1 DIE FLIESSGEWÄSSER IM KANTON ZÜRICH

Der Kanton Zürich weist eine Gesamtfläche von 1741 km² auf. Der mittlere jährliche Niederschlag im Kanton beträgt rund 1000 mm (1 m³/m² oder 1000 l/m²) (GREBNER und GÖLDI, 1983). Vergleicht man den Anteil des Einzugsgebietes des Kantons Zürich mit dem gesamten Einzugsgebiet des Rheins bei Laufenburg, wo alles abfliessende Wasser vom Kanton Zürich vorbeikommt, von 34 550 km², so beträgt dieser rund 5%. Misst man die Länge aller Bäche und Flüsse vom kleinsten Wiesenbächlein bis zur Thur und zum Rhein, so kommt man für den Kanton Zürich auf eine Gesamtlänge von 3613 km! In einer aufwändigen Untersuchung in den neunziger Jahren wurde mit einem Einsatzprogramm für stellenlose Berufsleute im Umweltbereich die Qualität des Gewässerlebensraumes (Ökomorphologie) erhoben. Dabei stellte sich heraus, dass 31% als natürlich/naturnah, 20% als wenig beeinträchtigt, 14% als stark beeinträchtigt und 6% als stark beeinträchtigt zu klassieren sind. 27% (rund 1000 km) sind eingedolt (verrohrt) worden (NIEDERHAUSER, 2000).

Im Folgenden wird die Entwicklung des Wasserbaus in dem vollständig zum hydrologischen Einzugsgebiet des Rheins gehörenden Kanton Zürich dargestellt.

2 ANFÄNGE DES NATURNAHEN WASSERBAUS

Die Bemühungen um einen naturnahen Wasserbau gehen zurück auf die frühen siebziger Jahre. Die damaligen Verbauungsmethoden der Begradigung, Pflästerung der Bachsohle und Kanalisierung (Abb. 1) wurden vor allem



Abb. 1. Grendelbach Effretikon, ein «ordentlich» ausgebauter Bach.

von den Fischerei- und Naturschutzbehörden bemängelt. Die Organisation des kantonalen Gewässerunterhaltsdienstes mit seinen fest angestellten Wasserbaugruppen ermöglichte auf unbürokratische Weise neue Wege für Bachverbauungen zu suchen. Wasserbauaufseher Adolf Huber war mit seinen Unterhaltsgruppen besonders experimentierfreudig. Er versuchte durch die unregelmässige Anordnung von bruchrohen oder runden Steinen bei kleinen Bachverbauungen mehr Struktur und naturnahe Gestaltung zu erreichen (Abb. 2). Diese unordentliche Bauart wurde nicht immer akzeptiert, sondern oft heftig wegen der ungenauen und nicht leicht zu berechnenden Methode kritisiert. Auch wurde bemängelt, dass die gewollten Unregelmässigkeiten einen sauberen und ordnungsgerechten Gewässerunterhalt nicht zulassen oder ausserordentlich erschweren (GÖLDI, 1995).

3 ENTWICKLUNG ERSTER GRUNDSÄTZE

Beim Ausbau des Kefikerbaches und bei der Verlegung des Mülibachs Saland in den Jahren 1979/80 wurden erste Grundsätze für einen

naturnahen Wasserbau entwickelt und angewendet: z. B.

- Kiessohle als wichtige Grundlage für die Lebewesen im Bachbett und für die Fortpflanzung der Bachforellen. (Konstruktive Folgerung: Die Sohle des Fliessgewässers ist so auszubilden, dass sich eine Kiessohle halten oder einspielen kann!)
- Ausführung der Ufer- und Böschungssicherungen nicht gezwungenermassen mit Blocksteinen oder Beton.
- Fischbecken als mögliche Fixpunktelemente in steilen Bachabschnitten.

Anlässlich der Pressefahrt zum Thema «Wasserbau im Kanton Zürich» im Sommer 1981 wurde der Mülibach Saland vom damaligen AGW-Chef Christoph Maag als Muster für die zukünftige Bauweise bei Bachausbauten vorgestellt. Es war sozusagen die Geburtsstunde des naturnahen Wasserbaus (GÖLDI, 1984).



Abb. 2. Waltensteiner Eulach, von Adolf Huber und seiner Unterhaltsequipe anfangs der siebziger Jahre «unordentlich» ausgebauter Bach.

4 DER NATURNAHE WASSERBAU WIRD ETABLIERT

Baudirektor Albert Sigrist wurde auf die neu entwickelten Ideen im Wasserbau aufmerksam und erkannte die Notwendigkeit einer naturgerechten Pflege der staatlichen Grünflächen entlang der Strassen und der Gewässer. Er erliess am 22. Februar 1983 eine Dienstanweisung betreffend naturnahe Gestaltung und Unterhalt kantonaler Anlagen. Diese Dienstanweisung ist heute noch gültig. In der Baudirektionsweisung wird u. a. gefordert, dass bei der Schaffung und beim Unterhalt von Gewässern und Grünflächen im Bereich von kantonalen Anlagen Massnahmen zu treffen sind, welche die Entstehung und Erhaltung einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt (-gemeinschaft) ermöglichen. Gestützt auf die Dienstanweisung der Direktion der öffentlichen Bauten erliess der Chef AGW, Christoph Maag, am 20. Mai 1983 eine entsprechende Weisung mit gleichem Titel für sein Amt. In der Amtsweisung sind die damals neuen und heute immer noch gültigen Grundsätze über den naturnahen Wasserbau (wie z. B. die Anwendung von sanften Verbauungsmethoden der Ingenieurbiologie) enthalten.

5 DAS WIEDERBELEBUNGSPROGRAMM FÜR DIE FLIESSGEWÄSSER

Gestützt auf die Erfahrungen bei den ersten Versuchen für einen Rückbau eines kanalisierten Baches in ein naturnahes Gerinne im Näfbach bei Neftenbach im Sommer 1983/1986/1987 (Abb. 3 und 4) sowie bei der Ausweitung der Reppisch bei der neuen Kaserne in Birmensdorf in den Jahren 1985/86 erarbeitete das AGW ein umfassendes Programm für die Rückführung von kanalisierten Bächen und Flüssen (Wiederbelebung, Renaturierung, Revitalisierung) in einen naturnahen Zustand.

Am 23. Oktober 1989 hat der Kantonsrat mit der Zustimmung für das Wiederbelebungsprogramm für die Fliessgewässer der Wasserbauverwaltung den Auftrag erteilt, ehemals kanalisierte und eingedolte (verrohrte) Bäche



Abb. 3. Näfbach Neftenbach, ausgeführt gemäss Projekt 1966.

und Flüsse wieder in einen naturnahen Zustand zurückzuführen. Zu diesem Zeitpunkt gab es noch keine diesbezüglichen gesetzlichen Vorschriften.

Baudirektor Eric Honegger schrieb im Vorwort zur Vorlage an den Kantonsrat: «Auf Bundesebene werden zurzeit die Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer und die Totalrevision des Wasserbaupolizeigesetzes vorbereitet. Die Wiederbelebung von Gewässern dürfte in beiden Gesetzen als wichtige Aufgabe bezeichnet werden. Das Wiederbelebungsprogramm des Kantons Zürich greift diesen bundesgesetzlichen Vorschriften voraus. Ich bin aber der Meinung, dass eine einmal als wichtig erkannte Aufgabe auch unterstützt und vorangetrieben werden soll, ohne auf eine entsprechende gesetzliche Verpflichtung des Bundes zu warten.» (Willi, Göldi und Keller, 1988)

Im Rahmen des Wiederbelebungsprogrammes wurden bis heute im Kanton Zürich 51 km Fliessgewässer renaturiert: 33 kantonale Revitalisierungsprojekte von insgesamt 15 km Länge wurden mit einem Aufwand von 5,1 Mio. Franken realisiert. An die 200 kommunale Projekte mit einer Länge von 36 km, davon 24 km Bachausdolungen und 12 km Revitalisierungen, wurden mit 5,5 Mio. Franken subventioniert. (Stand Ende 2004) (Gsell, 1999)

6 DIE ENTWICKLUNG DER GESETZE

Der Weg zu einem modernen Gewässerschutzgesetz in der Schweiz ist eine besondere Geschichte, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Am 17. Mai 1992 wurde das revidierte Gewässerschutzgesetz mit einem Ja-Stimmenanteil von 66,1% angenommen. Zusammen mit dem Bundesgesetz über den Wasserbau wurde damit die gesetzliche Grundlage für die Durchsetzung naturnaher Lösungen beim Hochwasserschutz massgeblich verbessert und die Idee der Wiederbelebung der Fliessgewässer erhielt damit eine starke Förderung.

Am 2. Juni 1991 wurde vom Zürcher Volk das neue Wasserbaugesetz, das «Wasserwirtschaftsgesetz», angenommen, und der Regierungsrat hat mit der Festsetzung des Naturschutzgesamtkonzeptes für den Kanton Zürich im Europäischen Naturschutzjahr 1995 die Bestrebungen «Mehr Natur in Siedlung und Landschaft» massgeblich unterstützt.



Abb. 4. Näfbach, mehrere Jahre nach der Umgestaltung.

Am 27. Februar 2005 ist ein weiterer Meilenstein im Gewässerschutz und Wasserbau in unserem Kanton erreicht worden. Mit der Annahme der neuen Verfassung für den Kanton Zürich haben die Stimmbürgerinnen und Stimmbürger auch dem Artikel 105, Abs. 3 «Sie (Kanton

und Gemeinden) sorgen für den Schutz vor Hochwasser und anderen Naturgefahren. Sie fördern die Renaturierung der Gewässer.» ihre Unterstützung ausgesprochen. (GÖLDI, 2005)

7 EIN WEGWEISENDER BUNDESGERICHTSENTSCHEID FÜR DIE GEWÄSSER

Das Projekt der Gemeinde Rickenbach für die Sanierung ihrer Kanalisation und die Verbesserung des Hochwasserschutzes sah vor, den Sulzergraben zu verlegen und dabei teilweise offen zu führen. Um das Hochwasser ableiten zu können, war geplant, den Sulzergraben in den Aspinzgraben einzuleiten und die Abflusskapazität des durchgehend eingedolten Aspinzgrabens durch eine Offenlegung zu erhöhen. Eine Gruppe von Landeigentümern erhob gegen die Offenführung der beiden Bäche Einspruch. Der Regierungsrat des Kantons Zürich wies die Rekurse ab, wonach die Einsprecher eine Verwaltungsgerichtsbeschwerde beim Bundesgericht einreichten. Das Bundesgericht hat mit Urteil vom 26. Februar 1996 die Verwaltungsgerichtsbeschwerde abgewiesen. Damit wurde die Bestimmung von Art. 38, GSchG (Überdecken oder Eindolen von Fliessgewässern) klar bestätigt.



Abb. 5. Die Thur bei Gütighausen als Kanal 1982.



Abb. 6. Die ausgeweitete Thur bei Gütighausen 1998.

8 AUSBLICK

Es ist kaum vorstellbar, dass die zukünftigen Wasserbauer die Bäche wieder kanalisieren und die Bachsohlen mit harter Pflästerung versehen werden. Der Grundsatz «So wenig als möglich und so stark wie erforderlich verbauen!» kombiniert mit den drei gleichwertigen Schwerpunkten Hochwasserschutz – Natur – Landschaft ist auch für die Zukunft eine gute Basis. Die Idee, für die zukünftigen Massnahmen grenzübergreifend das ganze Einzugsgebiet eines Gewässers in die Betrachtung einzubeziehen, wird sicher noch weiterentwickelt, so wie dies im AWEL[1] für den Massnahmenplan «Wasser für das Limmattal und die Glatt» in Bearbeitung ist. Dieses Vorgehen wird auch in der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie postuliert. Gelungene Beispiele sind die IKSR[2] und die interkantonale Zusammenarbeit der Kantone AI, AR, SG, TG und ZH im Einzugsgebiet der Thur (Abb. 5 und 6).

[1] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

[2] Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

9 LITERATUR

GÖLDI, CH. 2005. Der Wasserbau: Seit 1975 Teil des Umweltschutzes. Zürcher Umweltpraxis Nr. 40, 47–50.

PANTUCEK, P. & GÖLDI, CH. 2003. Erneuerte Flusslandschaft an der Thur. Gas Wasser Abwasser gwa 3, 179–185.

NIEDERHAUSER, P. 2000. Ökomorphologische Beurteilung der Fliessgewässer – Flächendeckende Erhebungen im Kanton Zürich. Gas Wasser Abwasser gwa Sonderdruck Nr. 1450, Wasserbau im Kanton Zürich, 5–14.

GSELL, H.G. 1999. 10 Jahre Wiederbelebungsprogramm. Gas Wasser Abwasser 11, 931–935.

GÖLDI, CH. 1995. Naturnaher Wasserbau. Gas Wasser Abwasser gwa 10a, Sondernummer zum 60. Geburtstag von Ch. Maag, 924–929.

WILLI, H.P. & GÖLDI, CH. & KELLER, G. 1988. Kanton Zürich – Wiederbelebungsprogramm für die Fliessgewässer. Bericht, Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau.

GÖLDI, CH. 1984. Naturnaher Wasserbau an Fliessgewässern – Ideen und Beispiele. Gas Wasser Abwasser gwa 3, 113–121.

GREBNER, D. & GÖLDI, CH. 1983. Niederschlagskarten für den Kanton Zürich. Schweizer Ingenieur und Architekt 48, 1141–1150.

Christian Göldi, ehem. Abteilungsleiter Wasserbau Kanton Zürich, Kohlfirststrasse 37, CH-8203 Schaffhausen, E-Mail: goeldi@swissworld.ch

Der Rhein – Lebensader einer Region: 394–401

Die Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder bei Altstätten und Oberriet (SG) Organismische Folgen ihrer ökologischen Aufwertung

Jürg Schlegel, Urs Weber und Ignaz Hugentobler (Altstätten)

1 AUSGANGSLAGE

Für die Erhaltung der heimischen Artenvielfalt reichen unsere «klassischen» Naturschutzgebiete, die nur knapp 2 Prozent der Landesfläche ausmachen, nicht aus. Zahlenmässig kleine Tier- und Pflanzenbestände drohen in isolierten Naturschutzgebieten genetisch zu verarmen und schon bei kleinen Katastrophen, zum Beispiel einem Fischbesatz von Amphibiengewässern, lokal zu verschwinden. Für den Erhalt und die Förderung langfristig überlebensfähiger Populationen und zur Stärkung der Artenvielfalt bedarf es der Schaffung und Vernetzung naturnaher Lebensräume in der ganzen Kulturlandschaft (Baur et al., 2004). Seit der Unterschutzstellung des Torfstichgebietes Bannriet/Spitzmäder/Burst, eines national bedeutenden Flachmoors und Amphibienlaichgebietes von rund 58 Hektaren, unterstützt der Verein «Pro Riet Rheintal» deshalb in zunehmendem Masse ökologische Aufwertungsmassnahmen in der ganzen St. Galler Rheinebene und an den unteren Hanglagen zwischen Au und Lienz (ca. 102 km^2). In Zusammenarbeit mit Landwirten, Grundeigentümern und Behörden schafft der seit 1987 bestehende Naturschutzverein in ehemals intensiv genutzten Parzellen der Ebene neue Feuchtlebensräume und legt Blumenwiesen, Buntbrachen und Kleingehölze an. Auf diese Weise wurden bisher rund 85 Hektaren Landwirtschaftsland ökologisch aufgewertet (Stand Mai 2005). Details zu den Vereinsaktivitäten können der Webseite www.pro-riet.ch entnommen werden.

2 UNTERSUCHUNGSPARZELLEN

In den Jahren 1994 und 1995 wurden auf sechs zuvor normal bewirtschafteten Landwirtschaftsparzellen im Umfeld des national bedeutenden Flachmoores Bannriet/Spitzmäder, Gemeinden Altstätten und Oberriet SG, ökologische Aufwertungsmassnahmen umgesetzt (Fläche total 4,7 Hektaren). Zu fördernde Zielarten waren Bewohner offener Flachwasserzonen und lückig bewachsener Böden, z. B. Amphibien, rastende Watvögel und Pionierlibellen. Zu ihren Gunsten wurden nach der Abhumusierung des nährstoffreichen Oberbodens flach ausufernde Weiher in die torfigen Böden eingetieft (vgl. Abb. 1). Das Weiherumfeld wird durch Landwirte extensiv als Wiese oder Streuefläche bewirtschaftet. Einzelne Gebüschgruppen ergänzen das Lebensraumangebot. Ob und wie die Pflanzenwelt und die Tiergruppen auf die Massnahmen reagieren, wurde zwischen 1994 und 2004 im Rahmen einer umfassenden Erfolgskontrolle untersucht.

3 AUSGEWÄHLTE RESULTATE

3.1 Vegetation

3.1.1 Artenspektrum

Von den insgesamt 285 festgestellten Blütenpflanzenarten kamen 241 spontan auf. Je grösser die Parzellenfläche, umso mehr spontane Arten waren zu finden (signifikant, P=0.02). Die übrigen Arten wuchsen dank Ansaat (Blumenwiese) oder Pflanzung (Sträucher). Die aufsummierte Artenzahl pro Parzelle betrug zwischen 128 und 175. Nach anfänglicher Zunahme der jährlichen Artenzahl schien im fünften Jahr ein Maximum erreicht oder bereits überschritten zu sein.

Auf den abhumusierten Böden entstanden insgesamt artenreiche Streueflächen, in denen Binsen die grösste Deckung einnahmen. In Testflächen führte eine Ansaat zu einigen



Abb. 1. Eine von insgesamt sechs Untersuchungsparzellen mit 1995 erstelltem Weiher. Bild: Ökobüro Hugentobler AG.



Abb. 2. Blatt des Mittleren Sonnentaus *(Drosera intermedia)* mit roten Tentakeln und tropfenförmigem Fangsekret. Bild: Ökobüro Hugentobler AG.

zusätzlichen Pflanzenarten und lenkte bzw. beschleunigte die Vegetationsentwicklung in Richtung einer zweischürigen Wiese. Dies galt ebenso für die Schnittgutübertragung aus einer Pfeifengraswiese.

Im Artenspektrum befand sich die bemerkenswerte Zahl von 27 Rote-Liste-Arten (MOSER et al., 2002), darunter verschiedene Raritäten wie etwa der gesamtschweizerisch stark gefährdete Mittlere Sonnentau *(Drosera intermedia)*, die im östlichen Mittelland vom Aussterben bedrohte Punktierte Segge *(Carex punctata)* und die gesamtschweizerisch als verletzlich taxierte Sibirische Schwertlilie *(Iris sibirica)*.

3.1.2 Verbreitung des Mittleren Sonnentaus

Im dritten Sommer nach Abhumusierung wurden 1997 auf einer Untersuchungsparzelle überraschenderweise mehrere hundert Exemplare des Mittleren Sonnentaus (*Drosera intermedia*, Abb. 2) gefunden. Im St. Galler Rheintal war die Art damals verschollen, nachdem ihr letztes bekanntes Vorkommen im Naturschutzgebiet Bannriet nach 1985 nicht mehr gefunden werden konnte. Der Mittlere Sonnentau deckt einen Teil seines Nährstoffbedarfs über tierische Nahrung («fleischfressende Pflanze»). Aufgrund seiner Ausbreitungsbiologie (POSCHLOD, 1990) ist anzunehmen, dass Samen oder andere Pflanzenteile mindestens seit der Melioration von 1942–1961 im Boden überlebt haben und durch die Abhumusierung von 1995 ans Licht und so aus dem Schlaf geweckt wurden.

Das vom Sonnentau bewachsene Areal nahm von 1997 bis 2001 stetig zu (vgl. Abb. 3), danach stabilisierte es sich bei einem Flächenanteil von knapp 10% der Parzelle.

3.2 Wat- und Wasservögel, Reiherartige, Störche und Regenpfeifer

Unter den je 9 Schnepfen- und Entenarten befanden sich 7 Arten, welche unseren Kenntnissen zufolge (VEREIN PRO RIET RHEINTAL, 1994) erstmals im Gebiet der Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder und deren Umgebung nachgewiesen werden konnten. Es handelte sich dabei um die Arten Kampfläufer *(Philomachus pugnax)*, Rotschenkel *(Tringa totanus)*, Zwergschnepfe *(Lymnocryptes minimus)*, Mandarinente *(Aix galericulata)*, Pfeifente *(Anas penelope)*, Schnatterente *(Anas strepera)* und Tafelente

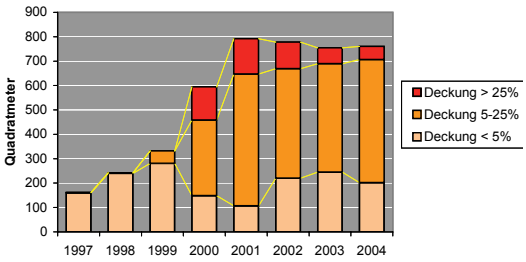


Abb. 3. Vorkommen des Mittleren Sonnentaus *(Drosera intermedia)* in einer der Untersuchungsparzellen mit Angabe der Deckungsklasse.

(Aythya ferina). Weitere Erstbeobachtungen gelangen für den Seidenreiher *(Egretta garzetta)* und den Flussregenpfeifer *(Charadrius dubius)*. Für den Kiebitz *(Vanellus vanellus)*, den Zwergtaucher *(Tachybaptus ruficollis)*, das Teichhuhn *(Gallinula chloropus)*, das Blässhuhn *(Fulica atra)* und die Stockente *(Anas platyrhynchos)* konnten Fortpflanzungsnachweise erbracht werden. Der Weissstorch *(Ciconia ciconia)* brütete regelmässig auf Horstplattformen in unmittelbarer Umgebung der Untersuchungsparzellen.

Wird die Wasserfläche in den jeweiligen Untersuchungsparzellen in Korrelation zu den Gesamtartenzahlen gesetzt, ergibt sich, wie aus dem Streudiagramm in Abb. 4 hervorgeht, der eindeutige Trend, wonach die Wasserfläche die Artenvielfalt positiv beeinflusst (lineare Regression; Regressionskoeffizient $R^2 = 0.94$).

3.3 Amphibien

Mit insgesamt 10 Amphibienarten erwiesen sich die neu geschaffenen Weiher im Kulturland als sehr artenreich. Kammmolch *(Triturus cristatus)*, Teichmolch (*Triturus vulgaris*, Abb. 5) und Laubfrosch *(Hyla arborea)* gelten gemäss Roter Liste (GROSSENBACHER in DUELLI, 1994) als stark gefährdet, Fadenmolch *(Triturus helveticus)*, Gelbbauchunke *(Bombina variegata)*, Erdkröte *(Bufo bufo)* und «Wasserfrosch» *(Rana esculenta/lessonae)* als gefährdet. Vom Fadenmolch, der sonst im St. Galler Rheintal vorwiegend an den Hanglagen vorkommt (KÜHNIS et al., 2002), liegen nur wenige Einzelfunde vor. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass es sich dabei um verschleppte oder eingesetzte Tiere handelte. Die Pionierart Gelbbauchunke nutzte die Untersuchungsgewässer nur vereinzelt kurz nach deren Erstellung.



Abb. 5. Männchen des Teichmolchs *(Triturus vulgaris)*. Bild: Ökobüro Hugentobler AG.

Kamm- und Teichmolch profitierten zweifelsohne von den neu geschaffenen Weihern und dehnten ihr Verbreitungsareal aus. Dies ist insbesondere aufgrund der speziellen Lebensraumansprüche des Kammmolchs, der im Gegensatz zum anspruchsloseren Bergmolch, weit weniger häufig in «von Menschenhand» geschaffenen Weihern vorkommt (THIESMEIER und KUPFER, 2000), ein beachtlicher Erfolg.

Rückläufig war die Bestandessituation beim Laubfrosch, der zwar in einer ersten Phase die Untersuchungsgewässer als Rufgewässer stark nutzte, in der Folge jedoch fast von der Bildfläche verschwand. Dass im letzten Beobachtungsjahr 2004 wieder 2 Männchen aus einem Untersuchungsgewässer riefen, ist ein Hoffnungsschimmer, zumal auch im weiteren Umfeld wieder mehr als 10 Männchen zu hören waren (zwischen 2000 und 2003 jeweils nur 2–3). Wie in anderen permanent Wasser führenden Weihern sind auch in den Untersuchungsgewässern die

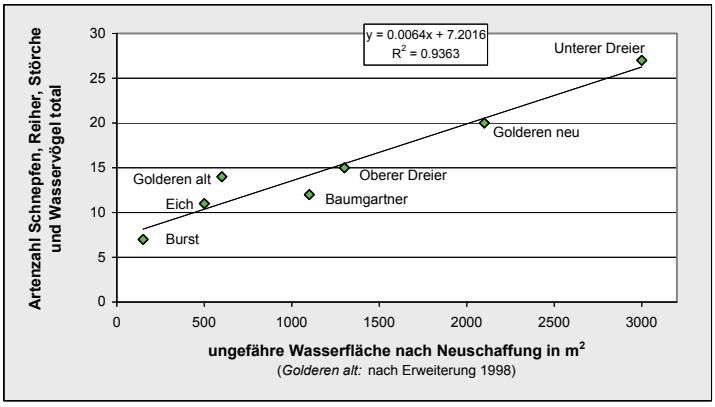


Abb. 4. Korrelation der Artenzahl der Schnepfen, Reiher, Störche und Wasservögel (Enten, Lappentaucher, Rallen) mit der Gesamtwasserfläche in den jeweiligen Untersuchungsparzellen.

Entwicklungsbedingungen für den Laubfrosch nicht ideal. Selbst falls einmal Eiablagen durch den Laubfrosch in den Untersuchungsgewässern stattgefunden haben sollten, dürfte der Prädatorendruck auf Laich und Quappen durch räuberische Wasserinsekten, Wasserwanzen und z. T. Fische mit Ausnahme der ersten ein bis drei Jahre nach Weihererstellung zu gross für eine erfolgreiche Entwicklung zu metamorphisierten Laubfröschen gewesen sein. Seit Anfang 2005 existieren im Naturschutzgebiet Bannriet periodisch überflutete Wiesen: Auf ökologisch weniger wertvollen Teilflächen wurden vier temporär geflutete Stauwiesen installiert (WEBER und SCHLEGEL, 2004). Obschon primär zur Förderung des Laubfroschs angelegt, könnten diese Stauwiesen auch dem Kamm- und evtl. auch dem Teichmolch zugute kommen. Erste Eifunde des Kammmolchs in zwei Stauwiesen im Mai 2005 deuten darauf hin, dass der Kammmolch von diesem zusätzlichen Lebensraumtyp profitieren könnte.

Mit einer wahren «Bestandesexplosion» reagierte der Wasserfrosch auf die neuen Weiher. Er war von Beginn weg mit Abstand die häufigste Amphibienart. Zweifellos von den neuen Weihern profitiert hat auch der Bergmolch (s. auch LIPPUNER und HEUSSER in diesem Werk).

3.4 Libellen

In den Untersuchungsparzellen konnten insgesamt 38 Libellenarten nachgewiesen werden (vgl. Tab. 1). Davon gelten gemäss Roter Liste (GONSETH und MONNERAT, 2002) eine Art als vom Aussterben bedroht, eine Art als stark gefährdet, eine Art als verletzlich sowie fünf als potenziell gefährdet. Für 27 Arten konnten Fortpflanzungshinweise (Beobachtung von Eiablage, Paarungsrad oder «Tandem-Stellung») erbracht werden. Die Arten Federlibelle *(Platycnemis pennipes)*, Feuerlibelle *(Crocothemis erythraea)*, Fledermaus-Azurjungfer *(Coenagrion pulchellum)*, Frühe Heidelibelle *(Sympetrum fonscolombii)*, Gefleckte Heidelibelle *(Sympetrum flaveolum)*, Kleine Königslibelle *(Anax parthenope)*, Kleines Granatauge *(Erythromma viridulum)*, Pokal-Azurjungfer *(Cercion lindenii)*, Schabrackenlibelle *(Hemianax ephippiger)*, Südliche Binsenjungfer *(Lestes barbarus)*, Südliche Mosaikjungfer *(Aeschna affinis)* und Torf-Mosaikjungfer *(Aeschna juncea)* konnten erstmals im Gebiet der Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder und deren Umgebung festgestellt werden (Grundlage: VEREIN PRO RIET RHEINTAL, 1994).

Bis zuletzt kamen immer noch neue Arten dazu, in zunehmendem Masse auch wärmeliebende Arten wie etwa die Südliche Mosaikjungfer (Erstnachweis 2003), die sonst eher im Mittelmeerraum verbreitet sind. Vergleicht man diese Artenzahl mit den total 32 für das Naturschutzgebiet Bannriet/Spitzmäder (SCHLEGEL et al., 1997) bzw. den ebenfalls 32 für das Naturschutzgebiet Ruggeller Riet (BIEDERMANN, 1990) und den 27 für das Naturschutzgebiet Kaltbrunner Riet (MEIER in BERCHTOLD et al., 1988) bekannten Libellenarten, wird die grosse Bedeutung der neuen Lebensräume im Landwirtschaftsland ersichtlich. Ebenso, wenn man das Naturschutzgebiet Gsieg-Obere Mähder in Lustenau, Vorarlberg (Flachmoor mit einer Fläche von ca. 73 Hektaren) mit seinen 35 Arten (WUST und ALGE, 1999) oder die Steh- und Fliessgewässer des unteren Vorarlberger Rheindeltas mit ihren 37 Arten (HOSTETTLER, 1996) als Vergleichsmassstab hinzuzieht. Die aufsummierte Artenzahl für die Untersuchungsparzellen und das Naturschutzgebiet Bannriet/Spitzmäder beträgt mittlerweile 40 Arten.

Besonders erwähnenswert ist das Vorkommen der gesamtschweizerisch vom Aussterben bedrohten Kleinen Binsenjungfer (*Lestes virens*, Abb. 6). Je ein Individuum fand sich in den Jahren 1997, 1998, 2002 und 2004 in drei verschiedenen Untersuchungsparzellen. Die Streuung deutet darauf hin, dass die Art verteilt im Gebiet auftritt, allerdings nur in Einzelexemplaren. Wo die Vermehrungsgewässer liegen, ist unklar. Das einzige sichere bekannte Vorkommen im gesamten Schweizer Alpenrheintal liegt im Naturschutzgebiet Bannriet/Spitzmäder und in den Untersuchungsparzellen (VEREIN PRO RIET RHEINTAL, 1994; CSCF, 2005). Auf Vorarlberger Seite galt die Kleine Binsenjungfer als verschollen, bis 1998 ein Exemplar westlich

Tab. 1. Während den Libellen-Kartierungen zwischen 1994 und 2004 festgestellte Arten mit Bezeichnung der ökologischen Präferenzen und des Gefährdungsstatus.

Vorzugshabitat (BELLMANN, 1987; DREYER, 1986; MAIBACH und MEIER, 1987; SCHORR, 1990)

e euryöke Arten (mit geringen Lebensraumansprüchen)
P Pionierarten (v. a. an Gewässern mit vegetationsarmen Ufern)
S «Sukzessionsarten» (v. a. an stark verwachsenen bzw. in Gehölznähe liegenden Gewässern)
F Fliessgewässer-Arten und Arten von (Wiesen)-Gräben
O Arten eher grossflächiger Gewässer, (Klein)-Seen
– keine eindeutige Zuordnung möglich

Bei Angabe von zwei ökologischen Typen steht neben dem Haupttypus der Subtypus in Klammern, z. B. e (S) = euryöke Art, die tendenziell eher an verwachsenen Ufern auftritt.

Art (alphabetisch nach dt. Namen)		**Vorzugs-habitat**	**Rote Liste** (GONSETH und MONNERAT, 2002)
Becher-Azurjungfer	*Enallagma cyathigerum*	e	
Blaugrüne Mosaikjungfer	*Aeschna cyanea*	e	
Blutrote Heidelibelle	*Sympetrum sanguineum*	S (e)	
Braune Mosaikjungfer	*Aeschna grandis*	O (S)	
Federlibelle	*Platycnemis pennipes*	S (F)	
Feuerlibelle	*Crocothemis erythraea*	–	
Fledermaus-Azurjungfer	*Coenagrion pulchellum*	S	potenziell gefährdet
Frühe Adonislibelle	*Pyrrhosoma nymphula*	S	
Frühe Heidelibelle	*Sympetrum fonscolombii*	P	
Gebänderte Prachtlibelle	*Calopteryx splendens*	F (S)	
Gefleckte Heidelibelle	*Sympetrum flaveolum*	S	stark gefährdet
Gemeine Binsenjungfer	*Lestes sponsa*	S	potenziell gefährdet
Gemeine Heidelibelle	*Sympetrum vulgatum*	e (S)	
Gemeine Smaragdlibelle	*Cordulia aenea*	S (e)	
Gemeine Winterlibelle	*Sympecma fusca*	S (e)	
Glänzende Smaragdlibelle	*Somatochlora metallica*	O (S, F)	
Grosse Heidelibelle	*Sympetrum striolatum*	e (P)	
Grosse Königslibelle	*Anax imperator*	e	
Grosse Pechlibelle	*Ischnura elegans*	e	
Grosser Blaupfeil	*Orthetrum cancellatum*	P (O)	
Herbst-Mosaikjungfer	*Aeschna mixta*	S (e)	
Hufeisen-Azurjungfer	*Coenagrion puella*	e	
Kleine Binsenjungfer	*Lestes virens*	S	vom Aussterben bedroht
Kleines Granatauge	*Erythromma viridulum*	S	
Kleine Königslibelle	*Anax parthenope*	O (S)	
Kleine Pechlibelle	*Ischnura pumilio*	P	
Kleiner Blaupfeil	*Orthetrum coerulescens*	F (P)	potenziell gefährdet

Art (alphabetisch nach dt. Namen)		**Vorzugs-habitat**	**Rote Liste** (GONSETH und MONNERAT, 2002)
Plattbauch	*Libellula depressa*	P	
Pokal-Azurjungfer	*Cercion lindenii*	S (F)	potenziell gefährdet
Schabrackenlibelle	*Hemianax ephippiger*	–	
Schwarze Heidelibelle	*Sympetrum danae*	S	potenziell gefährdet
Südliche Binsenjungfer	*Lestes barbarus*	S	
Südlicher Blaupfeil	*Orthetrum brunneum*	P	
Südliche Mosaikjungfer	*Aeschna affinis*	S	
Sumpf-Heidelibelle	*Sympetrum depressiusculum*	S	verletzlich
Torf-Mosaikjungfer	*Aeschna juncea*	S	
Vierfleck	*Libellula quadrimaculata*	S (e)	
Weidenjungfer	*Chalcolestes viridis*	S (Eiablage an Zweigen)	

Anzahl Libellenarten total = 38
Anzahl Rote-Liste-Arten = 8
Anzahl Arten mit Fortpflanzungshinweisen = 27

Dornbirn in einem Naturschutzgebiet entdeckt wurde (HOSTETTLER, 2001).

3.5 Heuschrecken

Systematische Kartierungen von Heuschrecken waren im Zeitraum 1994–1998 noch nicht Teil der Erfolgskontrolle. 1998 wurde in einer Untersuchungsparzelle erstmals eine Population der gemäss Roter Liste (NADIG und THORENS in DUELLI, 1994) stark gefährdeten Sumpfschrecke (*Stetophyma grossum*, Abb. 7) entdeckt. Im selben Jahr liessen sich in derselben und einer weiteren Untersuchungsparzelle einige Sumpfgrillen *(Pteronemobius heydenii)* vernehmen, die gesamtschweizerisch ebenfalls als stark gefährdet gelten. Eine ebenfalls nur noch selten vorkommende, gemäss Roter Liste gefährdete Heuschreckenart, die Lauchschrecke *(Parapleurus alliaceus)*, konnte ebenfalls vereinzelt beobachtet werden. Sie ist gemäss eigenen Beobachtungen im Raum Bannriet/Spitzmäder an einigen Standorten nachgewiesen. Da die Beobachtungen dieser drei seltenen Heuschreckenarten von überregionaler Bedeutung sind, wurden sie in dieser Erfolgskontrolle ab 1999 systematisch erfasst.

Die Sumpfschrecke erweiterte seit 1999 ihr Territorium innerhalb der Fundparzelle kontinuierlich. Sie kam seit 2003, mit Ausnahme eines trockeneren Randstreifens, in der ganzen Parzelle vor. Ihr Kernlebensraum lag jedoch weiterhin in den am stärksten vernässten Passagen. Einige wenige Individuen haben sich seit 2002 drei weitere Untersuchungsparzellen in Beschlag genommen, bisher jedoch ohne dort eigenständige Populationen aufbauen zu können.

Die Sumpfgrille, im ersten Kartierjahr nur vereinzelt aus zwei Untersuchungsparzellen rufend, besiedelte 2004 in diesen beiden Parzellen praktisch die gesamte Landfläche rund um die Weiher. Trotz unklarer Ausbreitungsmechanismen (ungeflügelte Art[1]) scheint sie sich im Gebiet rascher auszubreiten als die geflügelte Sumpfschrecke. 2004 kam sie in zwei weiteren Untersuchungsparzellen vor.

Weder von der Sumpfschrecke noch von der Sumpfgrille (Ausnahme: Einzelfunde der Sumpfgrille am Rand des Naturschutzgebietes

[1] Die einzige Beobachtung eines geflügelten Individuums aus der Schweiz stammt vom Ufer des Neuenburgersees aus dem Jahre 1993 (CARRON, 2001).



Abb. 6. Weibchen der Kleinen Binsenjungfer *(Lestes virens)*. Bild: T. Luijendijk (Internet).



Abb. 7. Sumpfschrecke *(Stetophyma grossum)*. Bild: Ökobüro Hugentobler AG.

Spitzmäder im Jahre 2004) liegen bisher Nachweise aus dem Naturschutzgebiet Bannriet/Spitzmäder vor. Das Fehlen systematischer Erhebungen im Naturschutzgebiet lässt es jedoch durchaus als möglich erscheinen, dass zumindest die Sumpfschrecke kleinräumig vorkommt und bisher übersehen wurde. Flächige Bestandeserhebungen sollen demnächst Klarheit über ihr Vorkommen oder Nichtvorkommen schaffen (SCHLEGEL, 2004).

Zusätzlich zu den drei beschriebenen Heuschreckenarten konnten in den Untersuchungsparzellen folgende gefährdeten Rote-Liste-Arten nachgewiesen werden: Feldgrille *(Gryllus campestris)*, Langflüglige Schwertschrecke *(Conocephalus discolor)* und Sichelschrecke *(Phaneroptera falcata)*.

4 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Obschon, oberflächlich gesehen, alle Untersuchungsparzellen einem vergleichbaren Grundmuster entsprechen (Flachgewässer mit breiten Verlandungszonen und umgebenden Extensivflächen im Landwirtschaftsland), unterscheiden sie sich hinsichtlich ihrer Fauna und Flora oft beträchtlich und weisen eine parzelleneigene Individualität auf.

Der Lebensraumtyp «Flachgewässer mit seichten Uferzonen» war bisher im Gebiet der Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder und Umgebung stark unterrepräsentiert. Als zusätzliches Lebensraumelement schafft er nun an den neu angelegten Weihern im Landwirtschaftsland für viele Tierarten, die bisher im Gebiet nicht oder nur in geringer Individuenzahl auftraten, die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Ansiedlung. Die zahlreichen Erstnachweise von rastenden Wat- und Wasservögeln sowie von Libellen sprechen diesbezüglich eine klare Sprache. Die überragende naturschützerische Bedeutung der Untersuchungsparzellen und das Vorkommen sehr seltener Arten, z. B. des stark gefährdeten Mittleren Sonnentaus, der vom Aussterben bedrohten Libellenart Kleine Binsenjungfer, der stark gefährdeten Amphibien Kammmolch, Teichmolch und Laubfrosch sowie der stark gefährdeten Heuschrecken Sumpfschrecke und Sumpfgrille machen es ratsam, diese und weitere Zielarten im Rahmen eines einfachen Biomonitorings auch künftig im Auge zu behalten.

Im detaillierten Schlussbericht zu dieser Erfolgskontrolle (SCHLEGEL und WEBER, 2005) werden die Resultate interpretiert und Schlussfolgerungen bezüglich Pflege und Unterhalt der Untersuchungsparzellen gezogen. Zudem werden Leitmotive für die Schaffung künftiger Weiher formuliert (Lagekriterien, Weihergrösse und -profil). Der Schlussbericht kann auf der Webseite www.pro-riet.ch unter der Rubrik «Projektbeispiele» integral eingesehen werden.

5 LITERATUR

BAUR, B., DUELLI, P., EDWARDS, P.J., JENNY, M., KLAUS, G., KÜNZLE, I., MARTINEZ, S., PAULI, D., PETER, K., SCHMID, B., SEIDL, I., SUTER, W. 2004.

Biodiversität in der Schweiz. Zustand, Erhaltung, Perspektiven. Forum Biodiversität Schweiz [Hrsg.]. Haupt Verlag Bern, Stuttgart, Wien, 237 S.

Bellmann, H. 1987. Libellen: beobachten, bestimmen. Neumann-Neudamm, Melsungen, 270 S.

Berchtold, U., Bolliger, P., Brunner, S. 1988. Naturschutzkonzept Kaltbrunner Riet. anthos spezial, 104 S.

Biedermann, J. 1990. Die Libellen-Fauna des Naturschutzgebietes Ruggeller Riet, Liechtenstein (Odonata). Ber. Bot.-Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 18, 219–233.

Carron, G. 2001. Nouvelles observations en Valais et discussion sur la mobilité du Grillon du marais Pteronemobius heydenii ……. Bulletin Romand D'Entomologie 19, 107–114.

Centre Suisse de Cartographie de la Faune CSCF. 2005. Datenbankauszug Libellen (www.cscf.ch).

Dreyer, W. 1986. Die Libellen. Gerstenberg Verlag, Hildesheim. 219 S.

Duelli, P. [Hrsg.].1994. Rote Listen der gefährdeten Tierarten in der Schweiz. BUWAL. 97 S.

Gonseth, Y., Monnerat, C. 2002. Rote Liste der gefährdeten Libellen der Schweiz. BUWAL und CSCF. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt, 46 S.

Kühnis, J.B., Lippuner, M., Weidmann, P., Zoller, J. 2002. Verbreitung, Biologie und Gefährdung des Kamm-, Faden- und Teichmolches im Alpenrheintal. Botan.-Zool. Gesellsch. Liechtenst.-Sargans-Werdenberg 29, 249–304.

Hostettler, K. 1996. Libellenfauna im Raume Lauterach-Lustenau-Dornbirn. Vorarlberger Naturschau 1, 301–322.

Hostettler, K. 2001. Libellen in Vorarlberg. Vorarlberger Naturschau 9, 109–134.

Maibach, A., Meier, C. 1987. Verbreitungsatlas der Libellen der Schweiz. Documenta Faunistica Helveticae. Centre suisse de cartographie de la faune & SBN, 228 S.

Moser, D., Gygax, A., Bäumler, B., Wyler, N., Palese, R. 2002. Rote Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. [Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Zentrum des Datenverbundnetzes der Schweizer Flora, Chambésy; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Chambésy]. BUWAL-Reihe «Vollzug Umwelt», 124 S.

Poschlod, P. 1990. Vegetationsentwicklung in abgetorften Hochmooren des bayerischen Alpenvorlandes unter besonderer Berücksichtigung standortskundlicher und populationsbiologischer Faktoren. – Diss. Bot. 152. Cramer, Berlin, Stuttgart, 281 S.

Schlegel, J., Weber, U., Güttinger, R., Hugentobler, I. 1997. Die Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder im St. Galler Rheintal. – Ber. der St. Gall. Naturwiss. Gesellschaft 88, 243–308.

Schlegel, J. 2004. Faunistische Bestandeserhebungen 2005 in den Naturschutzgebieten Bannriet und Spitzmäder (Altstätten und Oberriet SG). Projektbeschrieb. Verein Pro Riet Rheintal (Polykopie, 4 S.).

Schlegel, J., Weber, U. 2005. Erfolgskontrolle in ökologisch aufgewerteten, bisher intensiv genutzten Kulturlandflächen: Schlussbericht Untersuchungszeitraum 1994–2004. Verein Pro Riet Rheintal, Altstätten (Polykopie, 81 S.).

Schorr, M. 1990. Grundlagen zu einem Artenhilfsprogramm Libellen der Bundesrepublik Deutschland. Societas Internationalis Odontologica, Ursus Scientific Publishers, Bilthofen, 512 S.

Thiesmeier, B. und Kupfer, A. 2000. Der Kammmolch. Laurenti-Verlag, Bochum, 158 S.

Verein Pro Riet Rheintal 1994. Grundlagen und Perspektiven zum Schutz der Torfstichlandschaft Bannriet/Spitzmäder im St. Galler Rheintal. «Synthesebericht» [Autorenkollektiv]. (Polykopie, 128 S. & Anhang).

Weber, U., Schlegel, J. 2004. Stauwiesen für den Laubfrosch im Naturschutzgebiet Bannriet. Projekt 2005–2009 mit Erfolgskontrolle. Projektbeschrieb. Verein Pro Riet Rheintal (Polykopie, 11 S.).

Wust, E., Alge, R. 1999. Libellen und wirbellose Wassertiere des Naturschutzgebietes Gsieg-Obere Mähder, Lustenau (Vorarlberg). Vorarlberger Naturschau 6, 111–120.

Jürg Schlegel, dipl. Zoologe, Ökobüro Hugentobler AG, Schwalbenweg 16, CH-9450 Altstätten, E-Mail: info@bhu.ch, Homepage: www.bhu.ch

Urs Weber, dipl. Natw. ETH, Ökobüro Hugentobler AG, Schwalbenweg 16, CH-9450 Altstätten

Ignaz Hugentobler, Ökologe SVU, Ökobüro Hugentobler AG, Schwalbenweg 16, CH-9450 Altstätten

Der Rhein – Lebensader einer Region: 402–408

Moorrenaturierung im Thurgauer Seebachtal. Ein Modellfall?

Joggi Rieder, August Schläfli und Humbert Entress (Frauenfeld)

1 EINLEITUNG

Die Renaturierungsmassnahmen im Thurgauer Seebachtal mögen auf den ersten Blick keinen Zusammenhang mit dem Rheinfluss haben. Als Modellfall zur Wiederherstellung eines grösseren Feuchtgebietes und als Artenreservoir, das seinen Einfluss bis zum Hochrhein ausübt, ist es aber durchaus sinnvoll, das Gebiet in diesem Buch über den Rhein vorzustellen.

2 SEENGESCHICHTE

Die Geschichte der eiszeitlichen Restseen im Seebachtal ist durch geologische (z. B. GEIGER, 1943; MÜLLER, 1995), quartärbotanische und sedimentologische (RÖSCH, 1983 und 1995), archäologische (HASENFRATZ, 1995), historische (HAGEN, 1995; FRÜH, 1995) und neuere vegetationskundliche und faunistische Quellen (vgl. SCHLÄFLI, 1995) sehr gut erschlossen. Der vorliegende Überblick über die neuere Geschichte soll die Begründung zu den Renaturierungsmassnahmen, wie sie begonnen und noch geplant sind, liefern.

Der Torfabbau setzte im Thurgau 1742 mit einer Empfehlung des Zürcher Obervogtes im Thurgau, Dr. Füssli, ein. Dadurch wurde die frühere Weide- und Streunutzung allmählich ersetzt. Zuerst waren es örtlich wirksame Drainagen, welche eine oberflächliche Torfnutzung zur Deckung des steigenden Dünger- und Energiebedarfs möglich machten (vgl. KAISER, 1992).

Die erste grössere Korrektion und Absenkung des Seebachs erfolgte 1857–1862. Schon dieser Wasserentzug aus dem Moor wirkte sich auf die spezialisierte Pflanzen- und Tierwelt sehr nachteilig aus. Bei fehlendem Streuschnitt führte sie zudem zu einer massiven Verbuschung, die TANNER (1913) für das Bürgerriet eindrücklich beschrieb: «Ein fast undurchdringliches Gestrüpp von Besenreisig (= Faulbaum) bedeckt den nördlichen Teil desselben. Aus dem schwarzgrauen Gewirr seiner Zweige streben weisse Birkenstämme zum Licht empor. Sumpfföhren bilden den Rahmen gegen den See hin. Da, wo eine Lücke offen ist, hat sich sofort das Schilfrohr angesiedelt, oder wir finden schwellende Moospolster (Goldenes Frauenhaar), die Kriechende Weide, das Hundsveilchen. Als seltenere Einsprenglinge zeigen sich Mehlprimel, Aufgeblasener Enzian, Wassernabel, Langblätteriger Sonnentau; sehr selten trifft man das Blutauge.» Diese «seltenen Einsprenglinge» und viele andere Pflanzenarten sind heute im Gebiet nicht mehr zu finden.

Der intensive Torfabbau in den Jahren 1918–1922 führte zu einer weiteren starken Verarmung der biologischen Diversität. Während des Zweiten Weltkriegs gewann die Firma Saurer, Arbon, in der heute als «Saurerloch» bekannten tiefen, wassergefüllten Mulde grosse Mengen des begehrten Brennmaterials. Daneben gab es zahlreiche kleine Torfstiche einzelner Grundbesitzer.

Der Vollzug des «Plan Wahlen» zur Sicherung der Nahrungsversorgung der Schweiz wurde dem Moor fast ganz zum Verhängnis. 1943 wurde der Seebach vertieft und die Seespiegel um 150 cm abgesenkt, dies gegen den erbitterten Widerstand aus Naturschutzkreisen. Flachmoore und Flachufer wurden trockengelegt, und bereits 1944 konnten auf ehemaligen Moorflächen erste landwirtschaftliche Erträge geerntet werden.

Bald zeigte der intensiv bewirtschaftete und befahrene organische Boden erste Torfsackungen und Mineralisierung der oberen Torfschichten. Der intensive Ackerbau verbrauchte die Nährstoffreservoire der schwarzen Böden,

Düngung wurde nötig. Eine starke Eutrophierung der Seen und des Grundwassers durch Abwasser aus den Siedlungen, Düngerausschwemmungen aus den landwirtschaftlichen Kulturen und durch Torfmineralisierung war die Folge. Eine Wiedervernässung der sich immer mehr dem Grundwasserspiegel z. T. auch schon der Seekreide nähernden Bodenoberflächen liess auch die Erträge zurückgehen, und der Ruf nach einer weiteren Wasserabsenkung wurde laut. Die Fragen stellten sich so: erneute Entwässerung mit nur kurzfristigem Erfolg oder nachhaltige Melioration durch Rückgabe der vernässten Flächen an die Natur und Verbesserung der seefernen Flächen durch eine gute Erschliessung und Zusammenlegung von Kulturlandflächen? Die «Stiftung Seebachtal» setzte sich für den zweiten Weg ein.

3 DIE «STIFTUNG SEEBACHTAL»

1991 lancierte der Thurgauische Naturschutzbund (heute Pro Natura Thurgau) die Petition «zur Rettung der Hüttwilerseen und des Seebachtals». Ziel der Unterschriftensammlung war es, den Regierungsrat des Kantons Thurgau dazu zu bewegen, endlich Massnahmen gegen die sich immer deutlicher verschlechternde Wasserqualität und den dramatischen Lebensraumverlust und damit auch gegen den Artenrückgang zu ergreifen. Die Petition erwies sich als die erfolgreichste der Thurgauer Geschichte, über 17 000 Personen unterstützten den Aufruf an die Regierung. In der Folge wurde die Grosse Seebachtal-Kommission eingesetzt, deren Aufgabe es war, mögliche Massnahmen zu prüfen und deren Umsetzbarkeit abzuschätzen. Endlos zogen sich Sitzungen, Gutachtenstätigkeiten und Abklärungen hin. Das – als unrealistisch teuer bezeichnete – Ergebnis glich schliesslich eher einem landwirtschaftlichen Schutzprojekt, denn einem Massnahmenkatalog zur Verbesserung des natürlichen Lebensraumes im Seebachtal. Naturschutzorganisationen waren empört über dieses Resultat und beschlossen, private Initiative zu ergreifen. Zusammen mit einigen inte-ressierten Persönlichkeiten gründeten der Thurgauische Naturschutzbund, die Thurgauische Vogelschutzvereinigung und die Thurgauische Naturforschende Gesellschaft 1994 die Stiftung Seebachtal. Der Regierungsrat, offenbar doch beeindruckt von dieser Initiative, übertrug der neu gegründeten Stiftung die Aufgabe, Naturschutzmassnahmen im Seebachtal in Absprache mit dem Amt für Raumplanung umzusetzen.

Von Beginn weg war es die Zielsetzung der Stiftung Seebachtal, eine positive Entwicklung der Naturschutzsituation im Seebachtal nicht gegen den Willen der einheimischen Bevölkerung, sondern durch Überzeugung und Begeisterung, durch Zusammenarbeit mit Ämtern, Behörden und Privaten zu erreichen. Lokale und kantonale Behörden nahmen deshalb von Anfang an Einsitz im Stiftungsrat, mit Landwirten wurde gesprochen und über mögliche Landumlegungen verhandelt. Schon im ersten Jahr konnte die Stiftung einen Hof im Seebachtal kaufen, damit Land für eine Umlegung bereit stand. Die Stiftung, damals finanziell noch praktisch mittellos, wurde grosszügig durch den Fonds Landschaft Schweiz und die Dr.-Bertold-Suhner-Stiftung mit Anstossfinanzierungen unterstützt. Zwei weitere Landwirtschaftsbetriebe konnten erworben werden, das Land wurde getauscht – die Stiftung erhielt die landwirtschaftlich unattraktiven Parzellen im noch vorhandenen Moor-Perimeter um die Seen, der Landwirtschaft wurden Flächen mit mineralischen Böden in ausreichendem Abstand zu den Seen zugeteilt. Faire Grundsätze und eine völlig transparente Verhandlungspolitik waren Grundlage für zwei grössere Landumlegungen (freiwillige Güterzusammenlegungen), die ohne Polemik und zur Zufriedenheit aller Beteiligten abgeschlossen werden konnten.

Die Stiftung Seebachtal – heute mit rund 700 ideell und finanziell unterstützenden Mitgliedern – ist für Bevölkerung, Behörden und Landeigentümer zu einem Ernst zu nehmenden, verlässlichen Verhandlungspartner geworden. Sie ist im Seebachtal hervorragend integriert und geniesst Vertrauen. Gerade Letzteres erfüllt uns mit Freude und Dankbarkeit, nachdem

anfänglich praktisch nur Skepsis und offene Ablehnung unseren Zielsetzungen entgegenschlugen. Heute kann festgehalten werden, dass das Vorgehen der Stiftung nicht nur in Bezug auf die Umsetzung der naturschützerischen Ziele, sondern auch in Bezug auf Überzeugungsarbeit, Integration sowie Informations- und Verhandlungspolitik modellhaften Charakter hat. Elf Jahre nach ihrer Gründung hat die Stiftung Seebachtal den Tatbeweis erbracht, dass mit privater Initiative auch heute noch vieles im Naturschutz bewegt werden kann: Das Bild des Seebachtals hat sich zu Gunsten der Natur deutlich geändert.

4 MASSNAHMEN 2002 BIS 2004 (Abb. 1)

Die Grundlage für die zu treffenden Massnahmen war ein ausführlicher Bericht der Naturschutzkommission an die Stiftung Seebachtal aus dem Jahre 1994.

4.1 Renaturierungsmassnahmen

Im Jahre 1998 hat die Stiftung Seebachtal, welche heute im Besitz von rund 60 ha Land ist, mit ersten kleineren Renaturierungsmassnahmen begonnen. Im Jahre 2002 erfolgte die erste grössere Etappe im «Puurenriet» nordöstlich des Nussbaumersees. Das Ziel war die Abflachung der Ufer, die Schaffung von zurückversetzten Amphibientümpeln und langfristig die Etablierung einer artenreichen Ufervegetation. Mit der Uferabflachung sollte dem Nussbaumersee ein kleiner Teil der wertvollen Flachwasser- und Verlandungszone zurückgegeben werden, die durch die Seeabsenkung vollständig verloren gegangen ist. Die Bauarbeiten wurden im Herbst 2002, Ansaat und Bepflanzung im Frühjahr 2003 durchgeführt. Diese ersten Massnahmen dienten der Stiftung als Pilotprojekt. Anhand der Erfahrungen konnte die Planung der zweiten Etappe effizienter gestaltet werden.

In der 2. Etappe (Sommer 2003) wurden zwei Flächen renaturiert. Auf rund drei Hekta-

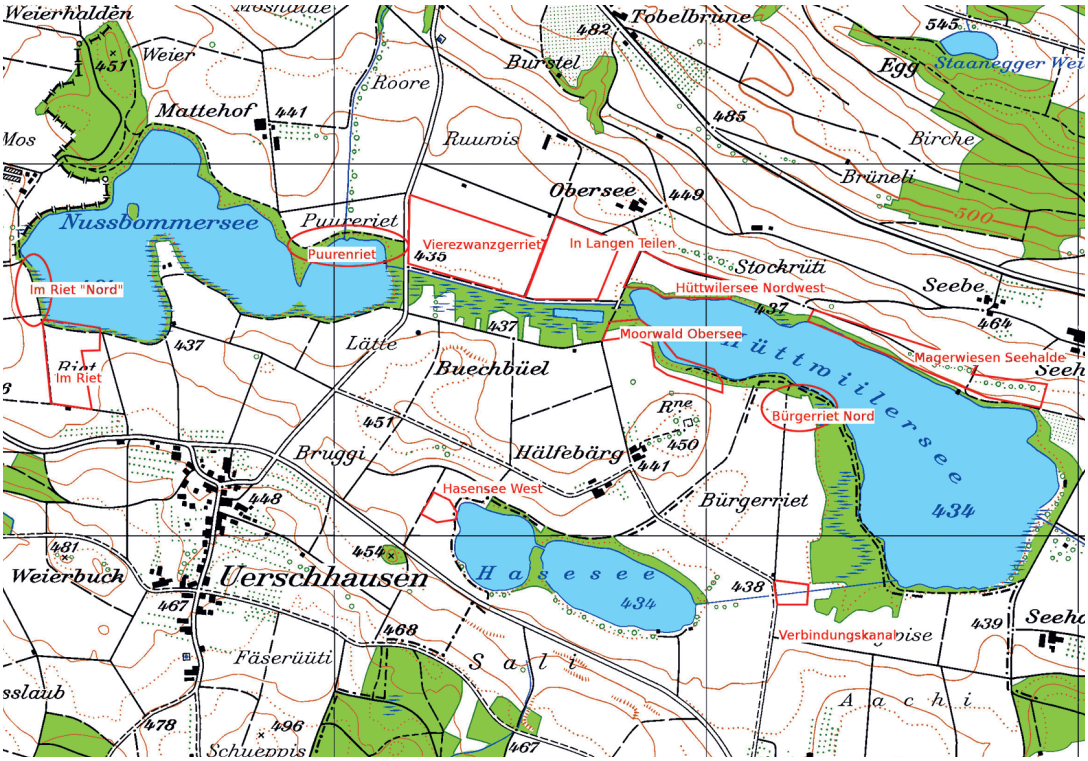


Abb. 1. Renaturierungsmassnahmen 2002 bis 2004.

ren «Im Riet» südwestlich des Nussbaumersees wurden Amphibientümpel angelegt (Abb. 2), Flachmoorbereiche renaturiert, Drainagen offen gelegt und Ufer abgeflacht (Abb. 3). Neben positiven Auswirkungen auf die Wasserqualität und für die Ufervegetation wurden durch die Massnahmen die Wiederansiedlung von Flachmoor- und Streuwiesenarten (Beratung durch das Geobotanische Institut der ETH Zürich) und die Verbesserung des Laichplatzangebotes für Amphibien erreicht. Auf einer zweiten Fläche von ca. 30–40 a (Moorwald Obersee südwestlich des Hüttwilersees) wurden einzelne Bäume und Sträucher gepflanzt, Drainagen offen gelegt und Stichgräben mit variabeln Sohlenbreiten geschaffen. Ziel war das Erhöhen des Gewässerangebots mit Teichen und Tümpeln, die Schaffung von Biberwegen und das Anlegen von Kleinstrukturen.



Abb. 2. Uferabflachung «Im Riet» mit zurückversetzten Amphibientümpeln.



Abb. 3. Uferabflachung «Im Riet Nord».

Im Rahmen der 3. Etappe im Jahre 2004 wurden im Gebiet «In Langen Teilen» auf einer Fläche von ca. 1,5 ha Massnahmen zur Reaktivierung eines Flachmoores durchgeführt. Auf dieser Fläche wurde der Oberboden (Humusschicht von ca. 30–40 cm) abgetragen und auf der benachbarten landwirtschaftlich genutzten Fläche ausgetragen. Einerseits entfernte man so die in den letzten 50 Jahren mit Nährstoffen angereicherte Humusschicht und andererseits kam man näher an das Grundwasser heran. Nach dem Abtrag wurden die Flächen mit Flachmoorarten angesät.

Wichtige Begleitmassnahmen waren die Aufhebung aller grösseren Drainagen, die jahrelang für «trockene» Böden sorgten. Die Deaktivierung erfolgte durch eine gezielte Verstopfung der Ausläufe in Schächte oder in die Vorfluter mit Holzzapfen oder Lehmpackungen. Zwar lässt sich damit eine Drainage nicht vollständig aufheben, doch ist zum jetzigen Zeitpunkt bereits ein deutlicher Wasserstau zu erkennen. Die Drainagen aus dem Landwirtschaftsland wurden in einem offenen Graben gesammelt. So konnte gewährleistet werden, dass die von den Landwirten bewirtschafteten Flächen ordnungsgemäss entwässert werden (s. auch SCHLEGEL et al. in diesem Werk).

4.2 Zwischenbilanz Renaturierungen

Die neuen Biotope präsentieren sich in einem sehr guten Zustand. Es konnten die Voraussetzungen für Habitatstypen geschaffen werden, die ganz oder teilweise fehlten (Flachufer, Flutwiesen, Flachmoorgebiete, Rietgräben, Torfstiche…). Die ersten Erfolge liessen nicht lange auf sich warten! An einem neu erstellten Flachufer konnte neu der gefährdete Teichmolch (*Triturus vulgaris*) nachgewiesen werden. In einem frisch erstellten Riedgraben war der im Gebiet nicht häufige Edelkrebs (*Astacus astacus*) zu beobachten. Bei den Heuschrecken sind die ersten Zufallsbeobachten sehr vielversprechend. Ohne das Gebiet systematisch untersucht zu haben, konnten nicht weniger als vier neue Arten nachgewiesen werden (alle stehen auf der Roten Liste der gefährdeten Tierarten, NADIG

und THORENS, 1994): Sumpfschrecke (*Mecostethus grossum*), Lauchschrecke (*Parapleurus alliaceus*), Maulwurfsgrille (*Gryllotalpa gryllotalpa*) und Feldgrille (*Gryllus campestris*). Alle vier Arten sind charakteristisch für extensive und feuchte (ausser Feldgrille) Standorte. Die im Jahre 2005 beginnende Erfolgs- und Wirkungskontrolle wird sicher noch weitere neue Arten hervorbringen.

Pflanzliche Neufunde finden sich vor allem in den Amphibienteichen, die 1998 angelegt wurden; z. B. Grosser Sumpf-Hahnenfuss (*Ranunculus lingua*) oder der Strauss-Gilbweiderich (*Lysimachia thyrsiflora*). Auch auf den Versuchsfeldern des Geobotanischen Instituts der ETH im Nordwesten des Hüttwilersees haben sich neue Arten etabliert (GABRIEL und RAMSEIER, 2003).

4.3 Organisation der Pflege

Das von der Stiftung Seebachtal erworbene Land ist in 20 Schläge unterteilt worden. Die Pflege wurde im Rahmen von Pachtverträgen den örtlichen Landwirten anvertraut. Die Pflegekommission der Stiftung hat für die verpachteten Flächen Pflegepläne ausgearbeitet, welche als integraler Bestandteil des Pachtvertrages befolgt werden müssen. Die Geschäftsstelle Natur steht den Landwirten bei deren Durchführung beratend zur Seite. Somit werden die neu geschaffenen Lebensräume für Flora und Fauna optimal bewirtschaftet, und den örtlichen Landwirten wurde das Auslösen von Bundesgeldern mittels Direktzahlungen ermöglicht.

4.4 Erfolgs- und Wirkungskontrolle

Um den wirkungsvollen und zielgerechten Einsatz der finanziellen Mittel nachzuweisen, hatte die Pflegekommission der Stiftung Seebachtal den Auftrag, ein Konzept für eine Erfolgs- und Wirkungskontrolle auszuarbeiten. Diverse Fachspezialisten wurden beigezogen. Da es aus Kostengründen nicht möglich war, alle im Gebiet vorkommenden Pflanzengesellschaften zu kartieren, wurde spezifisch für das Seebachtal eine Auswahl getroffen. Neben den Pflanzen konnten die Tiergruppen Vögel, Amphibien, Reptilien, Libellen, Heuschrecken, Tagfalter und Laufkäfer ins Programm aufgenommen werden. In Zusammenarbeit mit dem BUWAL konnte im Frühjahr 2005 mit den ersten Feldarbeiten begonnen werden.

Die Erfolgs- und Wirkungskontrolle dient der Optimierung der Arbeit im Natur- und Landschaftsschutz, indem sie den Erfolg einer Massnahme überprüft und gegebenenfalls Korrekturen vorschlägt. Im Wesentlichen werden die formulierten Ziele mit der erfolgten Umsetzung verglichen und eventuelle Abweichungen analysiert. Sie liefert auch Angaben, ob das Vorhaben die beabsichtigte Wirkung bei Natur und Landschaft gezeigt hat.

4.5 Präsenz in der Öffentlichkeit

Die Stiftung Seebachtal bemüht sich um eine positive und starke Präsenz in der Öffentlichkeit und versucht, die Stimmung der Bevölkerung zu spüren und gegebenenfalls zu stimulieren. Nebst regelmässigen Zeitungsartikeln über das Seebachtal und intensivem Kontakt zu den Pächtern informiert die Stiftung mit einem jährlichen «Brief aus dem Seebachtal» und anhand von Informationstafeln auf den Spazierwegen rund um die Seen über das Gebiet und die Naturschutzarbeit. Ausserdem steht am nördlichen Ufer des Nussbaumersees und am östlichen Ufer des Hüttwilersees ein Beobachtungsturm, der vielen Besuchern schöne Einblicke in die Seenlandschaft ermöglicht.

Im Frühjahr 2004 organisierte die Stiftung einen Projektwettbewerb für die Renaturierung einer Parzelle am Ausfluss des Hüttwilersees und die Errichtung eines Lehrpfades für die Bevölkerung. Im Rahmen dieses Wettbewerbs wurden nebst Studenten der Hochschule Rapperswil auch mehrere örtliche Landschaftsarchitekten angefragt. Das Ergebnis der acht projektierenden Teams war eine höchst interessante Sammlung an kreativen Ideen. Die besten Arbeiten wurden mit einem Preisgeld honoriert.

4.6 Die Bedeutung der Renaturierungsmassnahmen

Die Renaturierungsmassnahmen im Seebachtal betreffen viele Interessensgruppen und sind

auf vielfältigste Art und Weise bedeutsam. So wurde zum Beispiel das Naherholungsgebiet Seebachtal durch die Massnahmen aufgewertet, was den umliegenden Gemeinden, Schulen und Spaziergängern zugute kommt.

Die Landwirte aus dem Seebachtal profitieren als Pächter von den Direktzahlungen des Bundes.

Im Bereich des Naturschutzes konnten bereits grössere Erfolge erzielt werden. Insbesondere die an vielen Orten wieder hergestellten Biotope mit Nass- und Sumpfcharakter fehlten vor den Renaturierungen fast vollständig.

Dies hat sich insbesondere auf die Amphibien positiv ausgewirkt. Heute kommen neben dem Wasserfrosch (*Rana sp.*), dem Grasfrosch (*Rana temporaria*), der Erdkröte (*Bufo bufo*), dem Berg- und Teichmolch (*Triturus alpestris, Triturus vulgaris*) auch der gesamtschweizerisch stark gefährdete Laubfrosch (*Hyla arborea*) in immer grösseren Populationen vor. Gerade dieser typische Bewohner der tiefen Auengebiete profitiert von den neu erstellten Feuchtbiotopen.

Auch auf Bundesebene hat man die Bedeutung des Gebietes für Amphibien erkannt und es ins Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (IANB) aufgenommen (RIEDER, 2002).

5 Wie geht es weiter?

Die Pflege ist mit dem Abschluss der Pachtverträge vorläufig über das ganze Gebiet geregelt. Die Restflächen werden vom örtlichen Förster in der Funktion des Reservatspflegers übernommen. Die Erfolgs- und Wirkungskontrolle wird uns aufzeigen, mit welchen Mitteln und Methoden man zu den gewünschten Zielen kommt. Ein Ziel ist es, die nächsten Massnahmen im Hinblick auf die neuen Erkenntnisse zu optimieren. Es gibt noch sehr viele Flächen, die mittels kleinerer oder grösserer Eingriffe aufgewertet werden können. Daneben ist aber auch die spontane Entwicklung feuchter Wiesen und Flutrasen zu Streuwiesen abzuwarten und durch Mahd oder Beweidung zu fördern.

Stellenweise ist eine Entwicklung zu hochmoorähnlichen Pflanzengesellschaften, z. B. in lichten Waldstellen des Totalreservates «Neuhuserloch», nicht auszuschliessen. Im «Saurerloch» können an steilen Ufern bei mesotrophen Verhältnissen Initialstadien von Schwingrasen sichtbar werden und sich über die Wasserfläche ausdehnen.

Neue Uferabflachungen sind am Nordufer des Hüttwilersees schon 2005 vorgesehen, und Sichtfenster im Uferwald werden an geeigneten Stellen den Blick auf die Seen frei geben.

Selbstverständlich soll dem populären Sympathieträger «Biber» immer ein gutes Nahrungsangebot zur Verfügung stehen, und die Vögel werden in dichten Sumpf- und Uferwäldern, Flachmooren und Streuwiesen, Verlandungszonen und offenen Wasserflächen noch vermehrt günstige Brut- und Nahrungsplätze finden.

Hohe Aufmerksamkeit verdienen die Trockenstandorte, welche wie Inseln aus dem Moor herausragen. Der Hügel Hälfenbärg mit seiner Burgruine war schon im Mittelalter ein schwer zugänglicher Zufluchtsort mitten im Moor. Die einzigartige Flora mit Schwerpunkt in den Steppen um das Schwarze Meer wurde von TANNER (1913) in seiner Publikation über den Hüttwilersee für die Nachwelt festgehalten. Die von ihm erwähnten 22 Arten sind heute alle aus dem Seebachtal verschwunden. Sie wieder anzusiedeln soll ein langfristiges Ziel der Stiftung Seebachtal sein.

Von grosser Bedeutung für unser Seebachtal, soll es in der Landschaft von nationaler Bedeutung nicht eine einsame Insel bleiben, ist die Vernetzung zu anderen naturnahen Lebensräumen: über das Stammheimertal ins Etzwiler Riet, zum Hangsumpf Espi und an den Rhein. Über den Seebach zur Thur. Beide Vernetzungsmöglichkeiten wurden von den Bibern bereits mit Erfolg, aber unter erschwerten Bedingungen ausprobiert! Ungefährliche Verbindungen sind ins Gebiet der Andelfinger Seenplatte (mit Barchetsee und Wilener See) und auch zum Steineggerweiher und weiter in die Laubwälder des Seerückens bis hin zum Untersee zu schaffen. Das Raumplanungsamt Thurgau hat im Rahmen seines Landschaftsent-

wicklungskonzepts (LEK) solche Vernetzungskorridore geplant und frei gehalten. Das kostet natürlich viel Zeit und Geld. Im Stiftungsrat und in der Pflegekommission bemühen sich engagierte Personen aus unterschiedlichster Herkunft (Biologen, Juristen, Kantonsvertreter, Vertreter der örtlichen Bevölkerung, Landwirte, Naturfreunde) um eine stetige Aufwertung der Landschaft. Mögen die finanziellen Mittel, in einer von Spardruck dominierten Gesellschaft, weiter in einem Masse fliessen, die uns ein konstruktives Weiterführen der begonnenen Arbeiten ermöglicht.

6 LITERATUR

FRÜH, M. 1995. Die Kartäuser und der Nussbaumer See. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 77–98.

GABRIEL, A. & RAMSEIER, D. 2003. Renaturierung von Flachmooren: Ergebnisse von Feldversuchen im Seebachtal 1996–2002. Geobot. Inst. ETH Zürich. 84 pp. und Tabellen.

GEIGER, E. 1943. Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 16: Pfyn – Märstetten – Frauenfeld – Bussnang mit Erläuterungen dazu. LK 1053. Schweiz. Geolog. Komm.

HAGEN, C. 1995. Das Meliorationswerk an den Nussbaumer Seen. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 99–104.

HASENFRATZ, A. 1995. Die frühen Jäger und Siedler im Seebachtal. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 61–67.

KAISER, M. 1992. Eine Torfstich-Anleitung aus dem 18. Jahrhundert. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 51, 85–94.

MÜLLER, E. 1995. Neues zur Geologie zwischen Thur und Rhein. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 9–42.

NADIG & THORENS 1994. Rote Liste der gefährdeten Heuschrecken der Schweiz. In: «Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz», Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, pp. 66–68.

NÖTIGER, M. & ESER, P. 1995. Vegetationskundliche Untersuchungen an den Nussbaumer Seen. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 155–198.

RIEDER, J. 2002. Amphibieninventar des Kantons Thurgau. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 57, 64 pp.

RÖSCH, M. 1983. Geschichte der Nussbaumer Seen (Kt. Thurgau) und ihrer Umgebung seit dem Ausgang der letzten Eiszeit aufgrund quartärbotanischer und sedimentologischer Untersuchungen. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 45, 1–110.

RÖSCH, M. 1995. Geschichte der Nussbaumer Seen aus botanisch-ökologischer Sicht. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 43–59.

SCHLÄFLI, A. (Hrsg.), 1995. Naturmonographie «Die Nussbaumer Seen». Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 53, 399 pp.

TANNER, H. 1913. Der Hüttwiler- oder Steinegger See. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 20, 169–226.

Joggi Rieder, dipl. Natw. ETH, Büro für Ökologie, Bahnhofstrasse 43, CH-8500 Frauenfeld, E-Mail: rieder@kadenpartner.ch

August Schläfli, Dr. rer. nat., Talstrasse 16, CH-8500 Frauenfeld, E-Mail: amschlaefli@freesurf.ch

Humbert Entress, lic. iur., Mittelrütistrasse 7, CH-8500 Frauenfeld, E-Mail: entress@ewba.ch

Bestrebungen zu Schutz und Aufwertung von Natur und Landschaft im St. Galler Rheintal. Ein Beispiel für Naturschutzplanung

Alfred Brülisauer (St. Gallen)

1 EINLEITUNG

Dem St. Galler Rheintal mit seinen Talgebieten und Hanglagen von Bad Ragaz bis zum Bodensee kommt hinsichtlich Lebensraum-, Arten- und Landschaftsschutz eine hohe Bedeutung zu. Eine Besonderheit ersten Ranges bildet hier die Region zwischen Sargans und Grabs. Bei rund 2700 Arten gesamtschweizerisch ist dieses Gebiet mit etwa 1300 Pflanzenarten die botanisch vielfältigste Gegend der Schweiz (WELTEN und SUTTER, 1982, 1984; WAGNER, 1995).

Zu den wichtigsten Naturschutzgebieten in der **Ebene** gehören die Reste von einst grossflächigen Moorgebieten zwischen Altstätten und Oberriet im Raum Bannriet-Spitzmäder sowie das Felssturzgebiet Schlosswald bei Sennwald (Galgenmad-Schribersmad, Tüfmoos, Mösli-Schachen) (s. bei SCHLEGEL et al., in diesem Werk). Diese als Flachmoore ausgebildeten Flächen werden meist auch von Amphibien als Laichgebiete genutzt. Rheinaufwärts, zwischen Buchs und Bad Ragaz, bilden Auwaldrelikte sowie bestockte Bäche und Giessen einen naturräumlichen Schwerpunkt. Teile dieser Flächen stehen als Auengebiete von nationaler Bedeutung unter Bundesschutz (Cholau, Sarelli). An den wasserseitigen Dämmen des Rheins finden sich sodann ausgedehnte Flächen mit magerer und trockener Vegetation (s. bei ROULIER, GRABHER, KLÖTZLI, in diesem Werk).

Die **unteren Hanglagen** im ganzen St. Galler Rheintal sind von einer strukturreichen, teilweise mit Hochstammobstbäumen aufgelockerten Kulturlandschaft geprägt. Wichtige Elemente dieser Hanglagen bilden die zahlreichen Trockenwiesen und -weiden sowie trockenheitsliebende Waldgesellschaften. Besonders ausgeprägt sind diese an den Abhängen von Sevelen und Wartau, wo offene, meist extensiv bewirtschaftete Flächen sich mosaikartig mit Gehölzen und Waldanteilen abwechseln (Abb. 1). Anlässlich der nationalen Kartierung von Trockenwiesen und -weiden 1996–1998 wurden viele dieser Flächen erstmals systematisch erfasst.

Die **oberen Hanglagen** des Rheintals sind infolge ihrer Steilheit und Unwegsamkeit meist noch recht naturbelassen. Sie sind von grosser Bedeutung als Rückzugsgebiet für Wild und andere seltene Tierarten. Diese Gebiete geniessen nach kantonalem Richtplan einen grossflächigen Schutz als Lebensräume bedrohter Arten (Tab. 1). Die Unberührtheit dieser meist reich strukturierten Landschaften soll dauernd gesichert und vor Störungen bewahrt bleiben. Besonders wertvolle Lebensräume finden sich an den oberen, steilen Flanken der ins Rheintal hinunter reichenden Abhänge des Alpsteins, an den oberen Hanglagen von Sevelen und Wartau sowie im Bereich der Vilterser Alp. Dank ihrer landschaftlichen Bedeutung hat der grösste Teil der Rheintaler Hanglagen auch Eingang in das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung gefunden (BLN-Objekte Nr. 1612 «Säntisgebiet» und Nr. 1613 «Speer-Churfirsten-Alvier»).

2 BEHÖRDLICHER NATURSCHUTZ

Das eidgenössische Natur- und Heimatschutzgesetz sowie die rechtskräftigen Inventare des Bundes (Inventare der Hochmoore, Flachmoore, Auen, Moorlandschaften, Amphibienlaichgebiete) verpflichten die Kantone, für den Schutz und Unterhalt der Lebensräume von nationaler und regionaler Bedeutung zu sorgen (Tab. 2). In Erfüllung dieses Auftrags formuliert der Richtplan des Kantons St. Gallen für alle diese Schutzgebiete entsprechende Schutzziele und



Abb. 1. Untere Hanglage am Schollberg, Gemeinde Wartau.

hält ihre geografische Lage in der Richtplankarte fest. Die Objekte aus dem BLN-Inventar, das streng genommen nur für den Bund verbindlich ist, hat der Kanton St. Gallen freiwillig und ohne Abstriche als Landschaftsschutzgebiete von kantonaler Bedeutung ausgeschieden (Abb. 2).

Der für den Grundeigentümer verbindliche Schutz von Natur- und Landschaftsschutzgebieten wird im Kanton St. Gallen in der Regel über kommunale Schutzverordnungen, meist begleitet von besonderen Bewirtschaftungsverträgen, geregelt. Rechtskräftige kommunale Schutzverordnungen oder zumindest vorgeprüfte Entwürfe dazu finden sich in allen Rheintaler Gemeinden mit Ausnahme von Berneck, Rebstein und Marbach.

3 ÖKOLOGISCHER AUSGLEICH – AUFWERTUNG UND VERNETZUNG DER KULTURLANDSCHAFT

Schon längst hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass mit behördlich verordnetem Schutz von einzelnen Biotopen allein der Rückgang der Artenvielfalt und die Verarmung des Landschaftsbildes, welche die immer intensivere

Tab. 1. Lebensräume bedrohter Arten (Schon- und Kerngebiete) im St. Galler Rheintal gemäss kantonalem Richtplan.

Gemeinde	Kategorie	Name
Diepoldsau	Schongebiet	Hohenemser Kurve
Altstätten	Schongebiet	Sommersberg – Chornberg – St. Anton
Altstätten Eichberg	Schongebiet	Hoher Kasten – Schwamm – Hirschberg – Eichberg
Altstätten Oberriet	Schongebiet	Schollenriet
Sennwald Gams Wildhaus	Schongebiet Kerngebiet	Hoher Kasten – Schlosswald – Kreuzberghang – Gulmen – Simmitobel – Wildhauser Schafberg
Buchs Sevelen Wartau	Schongebiet	Werdenberger Rheinauen
Grabs Buchs	Schongebiet Kerngebiet	Meienberg – Älpli – Schlawitz – Voralpsee – Fulfirst – Buchser Malbun
Buchs Sevelen Wartau	Schongebiet Kerngebiet	Räfiserholz – Wartauer Hügelgebiet – Malschüel – Sevelerberg
Sargans Vilters Bad Ragaz Mels	Schongebiet Kerngebiet	Sarganserländische Rheinauen
Vilters-Wangs	Kerngebiet	Vilterser Alp

Tab. 2. Schutzgebiete von nationaler Bedeutung im St. Galler Rheintal.
FM: Flachmoor, HM: Hochmoor, AL: Amphibienlaichgebiet, TWW: Trockenwiese oder -weide, AU: Auengebiet, BLN: Landschaftsschutzgebiet

Gemeinde	Objekt-Nr.	Typ	Name
Altstätten	1939	FM	Bannriet Nordost
Altstätten	1940	FM	Bannriet
Bad Ragaz	593	FM	Vilterser Alp
Balgach	1937	FM	Höchstern
Buchs	1935	FM	Wisenfurt
Diepoldsau	1936	FM	Moosanger
Gams	546/152	FM	Oberhag / Müselen / Langriet
Grabs	553/153	FM	Älpli / Eggenriet
Grabs	555/150/151	FM	Hirzenbäder / Sommerweid
Grabs	556	FM	Risiwald
Grabs	559	FM	Loch
Grabs	560	FM	Salegg / Chaltenbach / Rohr
Sennwald	536	FM	Mösli / Schachen
Sennwald	537	FM	Tüfmoos
Sennwald	540	FM	Galgenmad / Schribersmad
Sennwald	1935	FM	Wisenfurt
Vilters-Wangs	593	FM	Vilterser Alp
Wartau	570	FM	Sabrens
Wartau	572	FM	Cholau
Wartau	942	FM	Palfris
Gams	152/546	HM	Schönenboden / Sommerigchopf
Gams	591	HM	Moor nördlich Heeg
Grabs	150	HM	Gamperfin / Turbenriet / Tischenriet / Gapels
Grabs	151	HM	Hirzenbäder / Sommerweid
Grabs	153/553	HM	Älpli / Eggenriet
Vilters-Wangs	459	HM	Obersäss
Altstätten	SG 140	AL	Bannriet / Burst
Buchs	SG 201	AL	Wiesenfurt
Buchs	SG 205	AL	Retentionsbecken Ceres Rhein-Au
Diepoldsau	SG 94	AL	Moosanger
Oberriet	SG 170	AL	Alte Lehmgrube Hilpert
Oberriet	SG 177	AL	Wichenstein
Oberriet	SG 179	AL	Spitzmäder
Sennwald	SG 236	AL	Burstriet Galgenmad
Sennwald	SG 248	AL	Egelsee bei Bad Forstegg

Gemeinde	Objekt-Nr.	Typ	Name
Vilters-Wangs	SG 342	AL	Kiessammler Vilters
Vilters-Wangs	SG 344	AL	Kiesgrube Feerbach
Altstätten	428	TWW	Rheindamm
Altstätten	778	TWW	Küeschtewasen
Altstätten	779	TWW	Vordere Better
Altstätten	782	TWW	Better
Bad Ragaz	321	TWW	Freudenberg
Bad Ragaz	406	TWW	Chaspersberg
Bad Ragaz	407	TWW	Padaduris
Bad Ragaz	409	TWW	Chrüzboden
Bad Ragaz	410	TWW	Chrinnen
Buchs	432	TWW	Rheinau, Rheindamm
Pfäfers	343	TWW	Grueb
Pfäfers	356	TWW	Nördliches Rofanätschli
Pfäfers	418	TWW	Egg
Pfäfers	422	TWW	Planggen
Pfäfers	423	TWW	Vättnerberg
Pfäfers	425	TWW	Guger
Sargans	269	TWW	Schloss
Sennwald	405	TWW	Rheindamm
Sennwald	784	TWW	Eidenen
Sennwald	788	TWW	Stoss
Sennwald	790	TWW	Saxer Heuberge
Sevelen	275	TWW	Eichbüel
Sevelen	434	TWW	E Plattis
Wartau	283	TWW	Verlüls
Wartau	284	TWW	Verplanggs
Wartau	291	TWW	Sonnenberg
Wartau	299	TWW	Ob Lochberg
Wartau	381	TWW	Major
Wartau	383	TWW	Danggabünt
Wartau	386	TWW	Malin
Wartau	387	TWW	Grüt
Wartau	388	TWW	Grüt
Wartau	391	TWW	Elektrisches Werk
Wartau	393	TWW	Wise

Gemeinde	Objekt-Nr.	Typ	Name
Wartau	396	TWW	Oberh. Saxer
Wartau	398	TWW	Langhalde
Wartau	399	TWW	Goodenberg
Wartau	402	TWW	Rain
Wartau	403	TWW	Melserwis
Wartau	435	TWW	Bannau
Bad Ragaz	376	AU	Sarelli
Sevelen, Wartau	344	AU	Rheinau/Cholau
Grabs, Buchs, Sevelen, Wartau, Sargans, Mels	BLN 1613	BLN	Speer–Churfirsten–Alvier
Oberriet, Rüthi, Altstätten, Sennwald, Gams	BLN 1612	BLN	Säntisgebiet

Nutzung begleitet, nicht aufzuhalten sind. Naturschutz soll auf der ganzen Fläche stattfinden, lautet die Forderung (ARGE ALP, 2000). Anstatt mit Verboten und Geboten soll mit Anreizen und dem Prinzip der Freiwilligkeit angestrebt werden, die ganze Landschaft, besonders aber das landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiet, ökologisch aufzuwerten. Die Landwirtschaftspolitik des Bundes hat diese Forderung mit der Ausrichtung der Direktzahlungen auf die Förderung ökologischer Leistungen weitgehend umgesetzt. Das darauf abgestimmte kantonale Gesetz über die Abgeltung ökologischer Leistungen (GAöL) sorgt für die zielgerichtete Verwendung der Bundesmittel und stockt diese mit Kantonsbeiträgen auf. Heute werden im Kanton St. Gallen jährlich über 5 Mio. Franken an Pflege und Unterhalt von Schutzgebieten und anderen ökologisch wertvollen Flächen ausgerichtet.

Darüber hinaus strebt die 2001 erlassene Ökoqualitätsverordnung (ÖQV) an, den Einsatz der Ökobeiträge zu optimieren und diese noch gezielter auf die Förderung der Artenvielfalt auszurichten. Ein wichtiges Standbein der ÖQV bilden die Bonusbeiträge für Flächen, die aufgrund eines Vernetzungskonzeptes ausgeschieden wurden und damit zur Förderung von spezifischen, im Projektgebiet vorkommenden seltenen Arten beitragen. ÖQV-Vernetzungsprojekte kommen meist aufgrund lokaler Initiativen zustande, werden aber meist durch die landwirtschaftliche Betriebsberatung angeschoben. In einem Ist-Plan wird eine Bestandesaufnahme der Naturwerte festgehalten, während ein Sollplan die Entwicklung und ökologische Aufwertung des Gebiets aufzeigt. Im St. Galler Rheintal konnten bisher 9 Projekte mit einem Gesamtumfang von ca. 6400 ha genehmigt werden (Tab. 3).

Die Projekte sind auf eine erste Vertragsperiode von sechs Jahren angelegt. Nach dieser Zeit wird aufgrund eines Berichts, der über den Stand der Umsetzung der geplanten Massnahmen Auskunft gibt, über die Weiterführung des Projekts entschieden. Eine eigentliche Wirkungskontrolle ist aus Kostengründen nicht geplant. Ein übergeordnetes Programm zur Abschätzung der Wirkung solcher Projekte auf die Artenvielfalt ist jedoch derzeit durch das Bundesamt für Landwirtschaft im Aufbau.

4 REGIONALER NATURPARK WERDENBERG – TOGGENBURG?

Mit der Schaffung von regionalen Naturpärken bereiten Bundesrat und Parlament derzeit den Weg für ein Instrument zur Förderung des ländlichen Raums. Mit solchen Pärken soll die Möglichkeit geschaffen werden, in besiedelten Gebieten des ländlichen Raums, wo besondere natur- und kulturlandschaftliche Qualitäten vorhanden sind, günstige Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung zu schaffen. Die

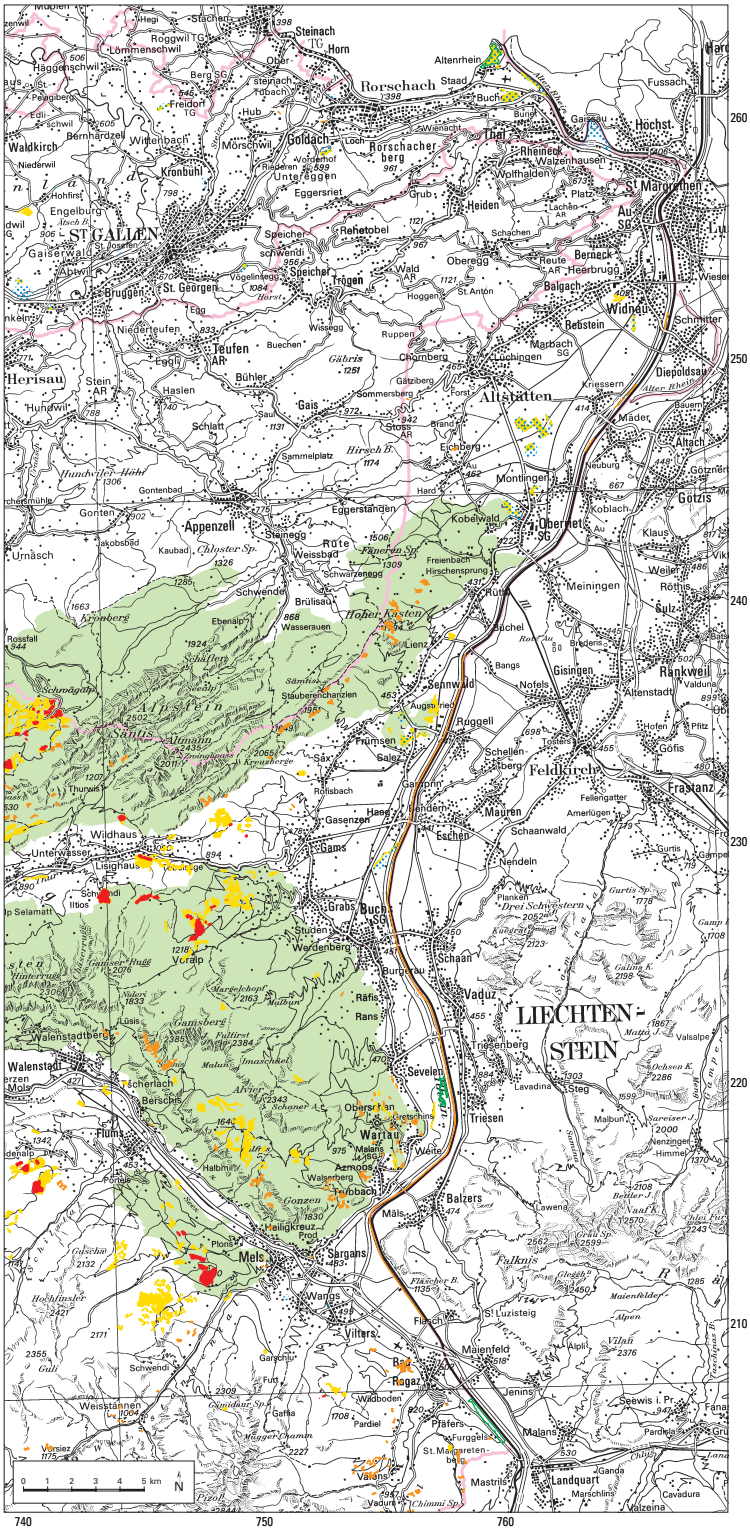


Abb. 2
Schutzgebiete von nationaler Bedeutung im St.Galler Rheintal

- Hochmoore
- Flachmoore
- Amphibienlaichgebiete
- Auen
- Trockenwiesen
- BLN-Gebiete

Abb. 2. Schutzgebiete von nationaler Bedeutung im St. Galler Rheintal.

Tab. 3. ÖQV-Vernetzungsprojekte im St. Galler Rheintal.

SVernetzungs-Projekt	Gemeinden	Projektfläche (ha LN)	Projektstart
Pfäfers	Pfäfers	960	2003
Mels-Vilters-Wangs	Mels Vilters-Wangs	ca. 1500	2004
Sargans	Sargans	480	2005
Gamserberg	Gams	ca. 100	2003
Frümserberg-Saxerberg	Sennwald	ca. 200	2002
Maad	Sennwald	228	2003
Saxerriet-Schlosswald	Sennwald	253	2005
Rüthi-Lienz-Oberriet-Eichberg	Rüthi, Altstätten, Oberriet, Eichberg	1570	2005
Bannriet-Isenriet-Dreier	Oberriet, Altstätten	ca. 1100	2004

Regionen Werdenberg und Toggenburg sind aktiv dabei zu prüfen, ob ihr Gebiet oder Teile davon sich als Naturpark von nationaler Bedeutung eignen würden. Obwohl die gesetzlichen Grundlagen dafür noch nicht zu Ende beraten sind, wird in den Regionen bereits die generelle Machbarkeit für ein solches Vorhaben abgeklärt und mögliche Abgrenzungen erwogen, um dann rechtzeitig mit einem Eingabeprojekt bereit zu sein, wenn der Bund den Startschuss gibt. Zur Realisierung der Idee bildet die breite Akzeptanz der Bevölkerung jedoch eine unerlässliche Voraussetzung – der Prozess der Meinungsbildung ist derzeit in vollem Gang.

5 LITERATUR

ARGE ALP (Arbeitsgemeinschaft Alpenländer). 2000. Neue Wege für Natur und Landschaft. Eigenverlag. Bozen, 51 pp.

WELTEN, M. & SUTTER, R. 1982. Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. – Birkhäuser, Basel. Bd. 1: 716 S.; Bd. 2: 698 pp.

WELTEN, M. & SUTTER, R. 1984. Erste Nachträge und Ergänzungen zu ‹Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. Zentralstelle der floristischen Kartierung der Schweiz, Bern. 48 pp.

WAGNER, G. 1995. Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. Nachträge und Ergänzungen. Zweite Folge 1994. – Zentralstelle der floristischen Kartierung der Schweiz. Bern. 156 pp.

Dr. Alfred Brülisauer, Leiter Abteilung Natur- und Landschaftsschutz, Amt für Raumentwicklung, Lämmlisbrunnenstrasse 54, CH-9001 St. Gallen, E-Mail: alfred.bruelisauer@sg.ch

Renaturierung und Hochwasserschutz am Alpenrhein: Eine Vision auf dem Weg zur Wirklichkeit

Franco Schlegel (Wangs)

1 GROSSE ÖKOLOGISCHE DEFIZITE AM ALPENRHEIN

Das Gewässersystem des Alpenrheins wurde durch menschliche Eingriffe der letzten 150 Jahre (Flusskorrektion, Sohlenabsenkung, Wasserkraftnutzung, Nutzung der einstigen Aue für Intensivlandwirtschaft, Besiedlung und Verkehr) extrem verändert. Insbesondere das Rheinkorrektionswerk, welches das dicht besiedelte Tal bisher vor Hochwasser geschützt hat (mit Ausnahmen 1927 und 1954), hat den Fluss drastisch eingeschränkt und ihn von seiner natürlichen Umgebung (Auengebiete) vollkommen abgetrennt. Der Biologe Robert Lauterborn konstatierte schon 1916, als wesentliche Teile der Korrektionsarbeiten bereits ausgeführt waren: «Die Tier- und Pflanzenwelt des Schweizer-Vorarlberger Rheins ist recht arm, ärmer als die irgendeiner andern Strecke des Stromes.»

Die grossen ökologischen Defizite am Alpenrhein wurden exemplarisch für die Fischfauna ermittelt (IRKA, 1997):

- Mitte des 19. Jahrhunderts lebten im Alpenrhein rund 30 Fischarten, heute sind es noch 6, die häufig vorkommen, weitere 11 Arten sind noch vereinzelt nachzuweisen.
- Die Fisch-Bestandes-Werte betragen etwa 10 kg/ha, was für den vorliegenden Gewässertyp als extrem niedrig zu bezeichnen ist (z. V. Obere Drau 160 kg/ha) (s. auch HARDMEIER in diesem Werk).

Der monotone Lebensraum Alpenrhein, grosse tägliche Wasserstandsschwankungen («Fischfalleneffekt»), ein erhöhter Feinsedimenttransport mit der Kolmation der Flusssohle, die Abtrennung der Nebengewässer vom Hauptstrom (Unterbrechung des Fliessgewässerkontinuums) und das Trockenfallen der Giessen als Folge der Rheinsohlenabsenkung sind verantwortlich für die derzeit äusserst ungünstige ökologische Situation. Mit Ausnahme der Mastrilser Rheinaue fehlen insbesondere am Unterlauf des Alpenrheins die Leitbiotope einer intakten Gebirgsflussaue vollkommen.

2 VON DER KORREKTION ZUR RENATURIERUNG VON FLIESSGEWÄSSERN

Renaturierung heisst Rückführung von Ökosystemen in naturnähere Zustände unter Schaffung von neuen Lebensmöglichkeiten für schützenswerte Organismen, unter Zurückdrängung von atypischen Organismen. Dabei ist das Endziel, wo immer möglich, die Regeneration, also die erfolgreiche Wiederherstellung typischer, natürlicher Verhältnisse in gefährdeten Ökosystemen, wie das Flussauen darstellen (KLÖTZLI, 1996).

In den frühen 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts war in der Schweizer Fachwelt der Begriff der Renaturierung von Fliessgewässern noch ein Reizwort. Im Jahre 2005, rund zwei Jahrzehnte nach den ersten Projekten, hat sich die Diskussion in der Fachwelt versachlicht, und die Ansichten der beteiligten Akteure haben sich in bemerkenswerter Weise gewandelt. An zahlreichen kleineren und grösseren Flüssen wie Reuss, Thur, Flaz, Emme, Seez, Allondon, Moesa, Rhone, Birs, Töss, Aare, Limmat, Hochrhein usw. wurden wegweisende Fluss-Renaturierungen realisiert. Obwohl der Mechanismus der Flussbettbildung geschiebeführender Flüsse im Alluvium nur teilweise geklärt ist, haben wir heute die Einsichten und die Möglichkeiten, eine natur- und landschaftsbezogene Gewässerrenaturierung am Alpenrhein zu verwirklichen, und zwar auf wissenschaftlich, erfahrungsgemäss

und auch auf experimentell breit abgesicherten Grundlagen. Dabei hat sich der naturnahe Flussbau in der Schweiz etwa in den folgenden drei Phasen entwickelt:

- Phase 1 (vor 1980): Punktuelle und kosmetische Lösungen; Begrünungen
- Phase 2 (1980–1990): Statisches Naturverständnis; geplante und gebaute Natur; parkartige Gewässerausbauten
- Phase 3 (ab 1990): Ganzheitliche Flussgebietsplanung (ganzes Einzugsgebiet unter Beachtung von Abfluss- und Geschieberegime, Wassernutzung, Wasserqualität, Ökomorphologie, Biozönosen usw.); Gewässerentwicklung gemäss dem Leitbildkonzept; dynamisches Naturverständnis; Selbstentwicklung des Gewässers statt bauliche Gestaltung (vgl. auch VISCHER in diesem Buch).

3 VON DER VISION ZUM KONZEPT

Vor rund 20 Jahren erarbeitete ich im Rahmen eines Forschungsprojekts am ORL-Institut der ETH Zürich ein Konzept zur Nutzung und Gestaltung des Alpenrheins (SCHLEGEL, 1986 und 1992; BROGGI und JÄGER, 1995). Die damals in Wort und Bild geäusserten Visionen und Ideenskizzen für die Entwicklung des Rheins im Rahmen eines Mehrzweckprojekts basieren auf folgenden drei Leitideen:

- Naturnahe Gestaltung des korrigierten Rheins mit evtl. Wasserkraftnutzung (falls umweltverträglich!) zwecks Regeneration der Rheinflusslandschaft und Neuregulierung der gestörten Grundwasserverhältnisse (Abb. 1)
- Ableitung der Hochwasserspitze des Rheins zum Walensee (Abb. 2)
- Rekonstruktion des alten Rhein-Unterlaufs mit der Nutzung des Fussacher Durchstichs zur Hochwasserentlastung im Mündungsgebiet

Das von den Fischereiverwaltungen am Alpenrhein initiierte, gemäss dem Leitbild-Konzept ausgearbeitete «Gewässer- und fischökologische Konzept Alpenrhein» (IRKA, 1997), das ich als Experte für Flussbau begleiten durfte, bildete den Auftakt für die Ausarbeitung eines übergreifenden Entwicklungskonzepts der im Jahre 1995 gegründeten Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). Weitere Meilensteine, welche den Flussbau in der Schweiz und somit auch die Arbeiten am Alpenrhein massgeblich prägten, waren das denkwürdige Hochwasserjahr von 1987 in den Schweizer Alpen, das Inkrafttreten des Bundesgesetzes über den Wasserbau vom 21. Juni 1991 sowie die von 1994 bis 1996 am Alpenrhein realisierte Aufweitung zwischen Felsberg und Chur (Abb. 3).

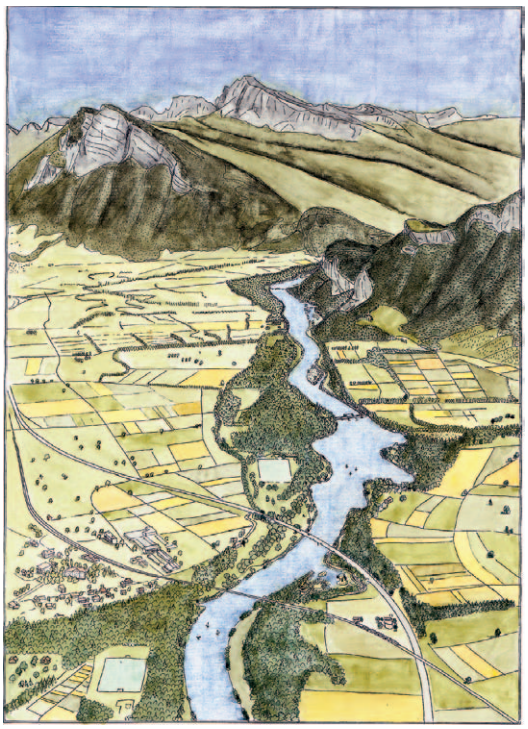


Abb. 1. Ideenskizze zur naturnahen Neugestaltung des Rheins zwischen Bad Ragaz und dem Ellhorn. Blick rheinabwärts (SCHLEGEL, 1986).

Dank einer beispielhaften Zusammenarbeit der beteiligten Akteure liegt für den Alpenrhein im Jahre 2005 ein Entwicklungskonzept vor, das ein nachhaltiges Gleichgewicht zwischen Sicherheits-, Nutzungs- und Schutzfunktionen anstrebt. Mit zahlreichen aufeinander abgestimmten Massnahmen soll die ökologische Situation verbessert werden. Zentraler Teil des Massnahmenplans sind neben der Sicherung der Mastrilser Rheinaue 18 Aufweitungen des Flussraums. Zehn Massnahmen sollen die Passierbarkeit für

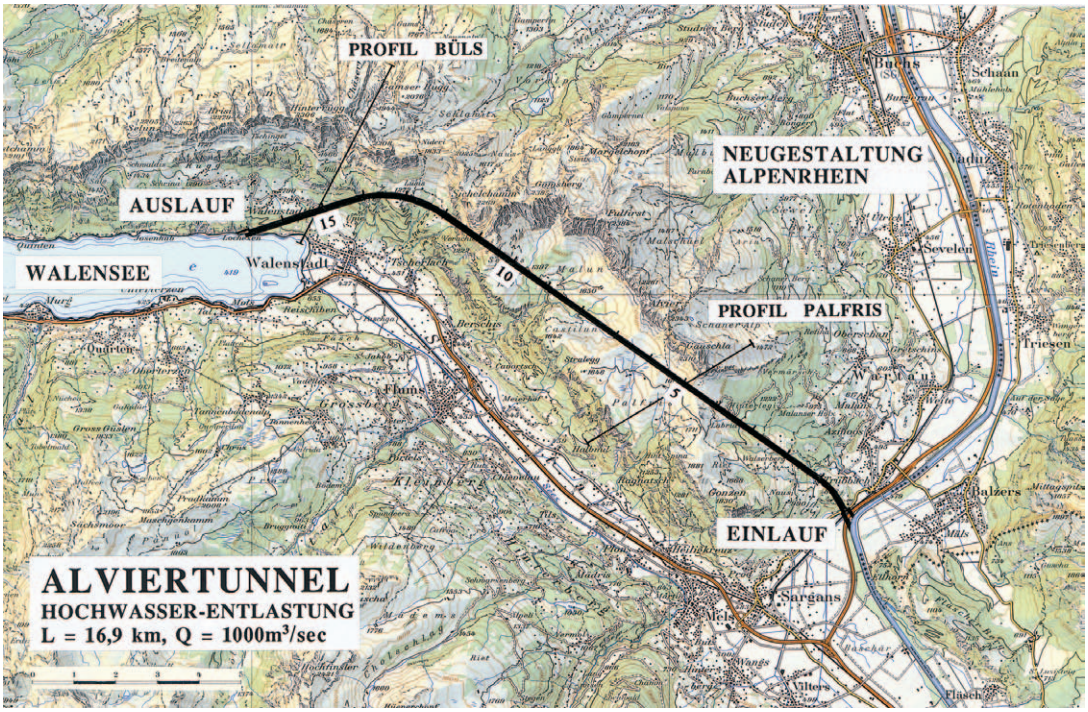


Abb. 2. Situation Hochwasser-Entlastungsstollen vom Rhein zum Walensee.

Fische und andere Wasserlebewesen erhöhen. Noch ungewiss sind die auszuführenden Massnahmen zur Schwallreduktion und zur Verbesserung des Hochwasserschutzes (NEUE ZÜRCHER ZEITUNG, 2005; www.lebendigerrhein.org).

4 AKTUELLE DEFIZITE IM HOCHWASSERSCHUTZ AM ALPENRHEIN

Dank der ständigen Verbesserung der Rheinkorrektion war das Schluckvermögen des Rheingerinnes einerseits noch nie so gross wie heute. Andrerseits weist das heutige Konzept des Gerinneausbaus auch wesentliche Schwachstellen aus:

- Anstelle einer Sicherheitsredundanz, wie sie durch den Verbund von Fluss- und Seensystemen (Kander-, Linth- und Juragewässerkorrektion) oder mit Hochwasserrückhaltebecken erreicht werden kann, wurde mit der Rheinkorrektion das ursprünglich stark gedämpfte Abflussverhalten des Alpenrheins verschärft und das Hochwasserproblem flussabwärts verschoben. Der Verfasser schätzt, dass durch den weitgehenden, ersatzlosen Entzug des natürlichen Rückhalteraums der ehemals grossen Auengebiete und Talböden die Hochwasserspitzen im Rheinmittel- und -unterlauf um ca. 50% erhöht wurden. In



Abb. 3. Rheinaufweitung zwischen Chur und Felsberg (Baujahr 1994–1996). Foto: Tiefbauamt Graubünden, Mai 1996.

ähnlicher Weise erhöhten sich auch die Schleppkräfte.

- Die Schwachstellenanalyse im Rahmen des Teilprojekts «Schadenspotentiale und Sonderrisiken im Alpenrheintal» ergab, dass im mittleren Rheinabschnitt (Landquart bis Illmündung) die Stabilität der alten Dämme teilweise nicht normenkonform und im unteren Rheinabschnitt (Illmündung bis Bodensee) zusätzlich die Abflusskapazität ungenügend ist. Ein 500-jährliches Hochwasser, wie es 1987 im Urner Reusstal auftrat, würde ein Überströmen des tieferen linksseitigen Damms unterhalb der Illmündung verursachen. Das entsprechende Schadensausmass unter Annahme eines Dammbruchs im unteren St. Galler Rheintal wurde je nach angenommenem Szenario auf ca. 0,6 bis 1,7 Mia. Fr. geschätzt (BWG, 2004; HAUSMANN, 1996).

Die Behörden sind sich des Risikos bewusst. Massnahmen zur Verbesserung der Dammstabilität und der Aufbau eines Alarmsystems haben bereits dazu beigetragen, das Risiko zu vermindern. Verschiedene Studien zur Verbesserung des Hochwasserschutzes sind in Bearbeitung (BWG, 2004).

Als Ausbaustandard ist das folgende Schutzziel denkbar:

Abschnitt Reichenau bis Ellhorn:
Ausbauwassermenge = HQ_{100}
Abschnitt Ellhorn bis Bodensee:
Ausbauwassermenge = HQ_{300}

Zusätzlich ist es bei Hochwasserschutzprojekten erforderlich, auch den Überlastfall (EHQ) eingehend zu prüfen. Im vorliegenden Fall erachte ich es als erforderlich, dass die grossen zusammenhängenden und dicht besiedelten Geländekammern des mittleren und unteren Rheintals ebenfalls vor einem Extremhochwasser geschützt sein sollten.

5 HISTORISCHE HOCHWASSER IM ALPENRHEINTAL

In der Vergangenheit kam es im Alpenrheintal immer wieder zu katastrophalen Ereignissen. Nach umfassenden hydrologischen Abklärungen können in der Zeitspanne zwischen 1200 und 2000 drei Hochwasser (1343, 1566 und 1762) als Extremereignisse bezeichnet werden (IRKA, 2003). Nachstehend aufgeführt sind auch jene geschichtlich bezeugten Hochwasser, wo ein Durchbruch des Rheins über die Talwasserscheide bei Sargans ins Walenseetal bezeugt oder befürchtet wurde.

1343 Mitteleuropa und auch das Alpenrheintal wurde im Juli 1343 (1342?) nach Ansicht von Hydrologen von der grössten Überschwemmung des Jahrtausends heimgesucht (WSL, 1991).

1480 Gemäss dem Luzerner Stadtschreiber Renward Cysat (1545–1613) soll im Sommer 1480 ein geschichtlich bezeugter Durchbruch des Rheins über die Wasserscheide bei Sargans zum Walensee erfolgt sein: «Allso ouch gieng der Ryn jm Oberland jnn Sarganser vogty gegen Pündten von Pündten her so gächling vff, das er von sinem rechten fluss vssbrach, jnn den Zürichsee floss vnnd denselben inmassen vffschwöllte, das er vor der statt zürich grossen schaden that. Die würtschafft zum Schwert hinweg fletzt vnnd anders mehr» (CYSAT, 1969, S. 929).

Auch in den Jahren 1511, 1618, 1768, 1817, 1821 und 1853 befürchtete man, dass der Alpenrhein seinen alten Weg über Walensee, Zürichsee und Limmat einschlagen könnte (KRAPF, 1901). In eindringlichen Worten warnte Hans Conrad Escher nach dem 1817er Hochwasser vor einem Rheindurchbruch bei Sargans via Seeztal ins Walensee- und Linthgebiet. Escher befürchtete grosse Schäden für das Seeztal, eine Zerstörung des von ihm geleiteten Linthwerks und katastrophale Folgen für die Stadt Zürich (BRANDENBERGER, 2002).

1566 Das Hochwasser vom Sommer 1566 zählt nach Ansicht mehrerer Autoren zu den drei grössten im Alpenrheintal im 2. Jahrtausend (PFISTER, 1984; IRKA, 2003).

1762 Gemäss Krapf, 1901, handelt es sich beim Hochwasser vom 11. Juli 1762 um die geschichtlich gewaltigste Hochwasserkatastrophe im Alpenrheintal.

Die Studie «Hydrologie Alpenrhein» (IRKA, 2003, S. 36) beziffert die Abflussmengen im unteren Rheinabschnitt (Illmündung bis Bodensee) auf folgende Werte:

HQ_{100} = 3050 m³/sec	100-jährliches Ereignis
HQ_{300} = 4000–4600 m³/sec	300-jährliches Ereignis
EHQ = 6000–7000 m³/sec	Extremhochwasser

(vgl. VISCHER, PFISTER in diesem Werk)

6 ALTE PROJEKTIDEEN ZUR VERBESSERUNG DES HOCHWASSERSCHUTZES

Nach der katastrophalen Rheinüberflutung von 1927, als der korrigierte Rhein als Folge der starken Flussbetterhöhung bei Schaan (FL) ausbrach, äusserte H. Suter als Privatperson die Idee, bei Reichenau ein Rückhaltebecken zu erstellen, mit dem künstliche Flutwellen erzeugt werden sollten, um eine Vertiefung des Flussbetts zu erreichen (Staatsarchiv St. Gallen, 1928). Interessant ist die Stellungnahme des St. Galler Regierungsrats vom 6. August 1928, wo gemäss meinen Kenntnissen erstmals die Idee einer Rheinableitung zum Walensee auftaucht: «Voraussichtlich beruht Ihre Idee auf der auch von anderer Seite schon oft lancierten Meinung, es könne für das Überwasser des Rheins ein (offener) Ableitungskanal nach dem Walensee erstellt werden. Abgesehen davon, dass die Abflussverhältnisse des Zürichsees eine solche vermehrte Wasserzufuhr nicht gestatten, hätte diese Massnahme noch die weitere üble Folge, dass sich das Rheinbett von Sargans bis Buchs noch rascher aufschottern würde...» (a. a. O.).

7 AUSBAU-VARIANTEN ZUR VERBESSERUNG DES HOCHWASSERSCHUTZES

Im Rahmen der ETH-Studie (SCHLEGEL, 1988) wurden die möglichen Massnahmen zur oben beschriebenen Ergänzung des Hochwasserschutzes am Alpenrhein grob evaluiert. Gemäss meinen Überlegungen sind die folgenden 2 Ausbau-Varianten denkbar und bei der Ausarbeitung des Generellen Projekts einer eingehenden Prüfung zu unterziehen:

Variante 1: Ausbau Rheinkorrektion

Variante 2: Hochwasser-Entlastungsstollen zum Walensee

Bei Variante 1 wird das bestehende Korrektionswerk unterhalb der Illmündung, das auf ein Schluckvermögen von HQ_{100} = 3100 m³/sec dimensioniert ist, auf das geforderte Schutzziel (obige Annahme: HQ_{300} = 4300 m³/sec) ausgebaut. Das kann mit einer Verbreiterung des Mittelgerinnes sowie mit einer Sanierung (Verstärkung, Abdichtung) und teilweisen Erhöhung der Hochwasser-Schutzdämme erreicht werden. Die Kosten der Variante 1 können auf ca. 300 bis 500 Mio Fr. geschätzt werden.

Bei der Variante 2 wird durch eine Überleitung der Hochwasserspitzen des Rheins zum Walensee mittels eines Tunnelbauwerks (Alviertunnel) eine Entlastung des Rheins erwirkt. Die Entlastung springt etwa bei einer Abflussmenge des Rheins bei Trübbach von ca. 2000 m³/sec (HQ_{30}) an, die maximal abzuleitende Abflussmenge richtet sich nach der freien Aufnahmekapazität des Walensee-Linth-Systems und kann auf ca. 1000 m³/sec geschätzt werden. Mit diesem Entlastungsventil können folgende Abflussreduktionen erreicht werden:

Abschnitt Trübbach bis Illmündung

HQ_{30} Istzustand: 1950 m³/sec
HQ_{30} Rhein: 1950 m³/sec / Überleitung: –.–
HQ_{100} Istzustand: 2550 m³/sec
HQ_{100} Rhein: 2000 m³/sec / Überleitung: 550 m³/sec
HQ_{300} Istzustand: 3100–3600 m³/sec
HQ_{300} Rhein: 2100–2600 m³/sec / Überleitung: 1000 m³/sec

Abschnitt Illmündung bis Bodensee

HQ_{30} Istzustand: 2450 m³/sec
HQ_{30} Rhein: 2450 m³/sec / Überleitung: –.–
HQ_{100} Istzustand: 3050 m³/sec
HQ_{100} Rhein: 2500 m³/sec / Überleitung: 550 m³/sec
HQ_{300} Istzustand: 4000–4600 m³/sec
HQ_{300} Rhein: 3000–3600 m³/sec / Überleitung: 1000 m³/sec

Der Vorteil dieser Variante, die sich auf die oben erwähnten Vorbilder stützt, liegt darin,

dass die Retentionswirkung des Walensees und die Verbundwirkung der Gewässersysteme Rhein und Linth ausgenutzt werden und dass es sich um ein robusteres Konzept als bei Variante 1 handelt. Durch die geringere abzuleitende Abflussmenge unterhalb Trübbach entsteht gegenüber Variante 1 ein grösserer Spielraum für eine naturnahere Gewässergestaltung. Nachteilig bei dieser Variante sind die höheren Kosten (630 Mio Fr. für das Tunnelbauwerk). Zudem wirft diese Projektidee die Frage auf, ob damit nicht das Hochwasserproblem lediglich in ein anderes Gewässer verlagert wird. Weiter zu klärende Fragen betreffen die Erhöhung des Walenseespiegels, Sohlenauflandungen im Rhein unterhalb der Wasserableitung sowie das Schwemmholz.

Denkbar wäre es auch, den Entlastungstunnel zum Walensee nur für die extremen Ereignisse zu verwenden. Durch eine solche Abflussregulierung könnten allfällige Schäden im Walensee-Linth-Gebiet auf einige wenige Extremereignisse minimiert werden.

8 HOCHWASSER-ENTLASTUNGS-STOLLEN VOM RHEIN ZUM WALENSEE

Gemäss dem St. Galler Rheinbauleiter L. Kalt soll auch die eher visionäre Variante eines Entlastungsstollens geprüft werden (SARGANSERLÄNDER, 1999). Aufgrund des derzeit geringen Bearbeitungsstands müssen einige der komplexen Fragen im Bereich der Hydrologie, des Flussbaus, des Tunnelbaus usw. offen bleiben. Zudem ist das Vorhaben auch UVP-pflichtig.

8.1 Hydrologie

Kernfrage im Bereich der Hydrologie ist die Frage, ob der Walensee über eine genügend grosse Aufnahmekapazität verfügt, um die Hochwasser von Linth und Rhein gleichzeitig aufzunehmen. Diese Bedingung kann erfüllt werden, wenn die Schluckfähigkeit der Hochwasserentlastung nur gerade so gross gewählt wird, dass es am Walensee zu keiner Überschreitung der Schadensgrenze (422,0 m ü. M.) kommt. Gemäss meinen Abschätzungen und Nachrechnungen der grössten Hochwasser hätten im Zeitraum 1868 bis 2005 insgesamt 8 Überleitungen stattgefunden (2-mal 1868, 1871, 1872, 1890, 1927, 1954 und 1987). Beim Ereignis von 1868 mit einer geschätzten Abflussspitze von 3000 m^3/sec bei Sargans (Überleitung 1000 m^3/sec) wären ca. 36 Mio m^3 Rheinwasser zum Walensee geflossen, was den Walenseespiegel um 1,5 m von 420,1 auf 421,6 m hätte ansteigen lassen. In den Jahren 1877, 1897, 1910, 1953 und 1999, als der Walensee seine Schadensgrenze überschritten hatte, hätten keine Ableitungen stattgefunden, da die Abflussspitze des Rheins bei Sargans unterhalb von 2000 m^3/sec lag. Dies hängt damit zusammen, dass die absolut grössten Rheinhochwasser meist im Juli bis Oktober stattfanden (IRKA, 2003, S. 11), während die grössten Walenseestände hydrologisch bedingt meist im Mai und Juni auftreten (Hauptschneeschmelze). Über die Rheinabflussmengen und Wasserstände des Walensees zur Zeit der extremen Hochwasser von 1343, 1566 und 1762 ist dem Verfasser nichts Verlässliches bekannt. Auch sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, dass durch die Kraftwerke Sarganserland AG (KSL) jährlich ca. 80 Mio m^3 Seezwasser vom Linthgebiet ins Rheingebiet übergeleitet werden.

8.2 Geologie und technische Machbarkeit

Bei dem zu durchörternden Gebirge handelt es um die bautechnisch recht günstige Formation der Malm-Dogger-Decke. Das Einlaufbauwerk, für welches umfangreiche wasserbauliche Modellversuche notwendig sein werden, befindet sich in Trübbach am Südostfuss des Schollbergs (Rhein-km 35,85), das Auslaufbauwerk mit Tosbecken zur Energievernichtung westlich von «Lochezen» bei Walenstadt. Im steil abfallenden Seebecken steht genügend Seevolumen zur Versenkung der mittransportierten Feststoffe zur Verfügung. Die Tunnellänge beträgt bei möglichst gestreckter Linienführung ca. 16,9 km, die maximale Überlagerungshöhe 1400 m. Bei einem Einheitsgefälle von 0,3 % überwindet der Tunnel eine Höhendifferenz von ca. 50 m.

Der Alviertunnel wird als Freilaufstollen ausgebildet. Als bautechnisch und hydraulisch günstigstes Tunnelprofil kommt das Kreisprofil zur Anwendung. Bei einer abzuführenden Abflussspitze von max. 1000 m^3/sec ergibt die wirtschaftliche Optimierung im standfesten Quintnerkalk eine mit Spritzbeton verkleidete Röhre von ca. 12,5 m Durchmesser (Abb. 4). Im schlechteren Fels wie im Dogger wird vermutlich eine zweischalige Auskleidung der Tunnelröhre zum Einsatz kommen. Der Stollen kann mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) maschinell vorgetrieben werden. Bei einer Ausbruchsfläche von 123 m^2 resultiert ein Ausbruchsvolumen von ca. 2,1 Mio m^3 (Festmass). Die Kosten für den Alviertunnel exkl. Ein- und Auslaufbauwerk belaufen sich auf ca. 630 Mio Fr. (Preisbasis 2005), was ca. Fr. 300.– pro m^3 ausgebrochenem Fels entspricht.

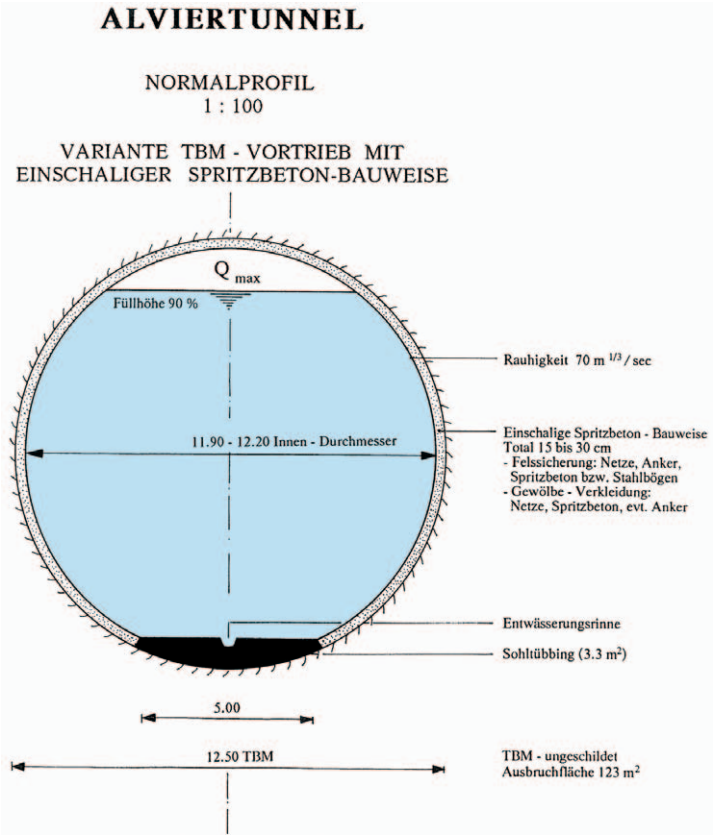


Abb. 4. Normalprofil des Alviertunnels mit einschaligem Ausbau im standfesten Fels (Quintnerkalk).

8.3 Realisierte grössere Wasser-Umleitstollen in der Schweiz

Wasser-Umleitstollen ins gleiche oder ins benachbarte Einzugsgebiet zum Zwecke des Hochwasserschutzes werden in der Schweiz in den letzten Jahren oft erstellt, wie nachstehende unvollständige Auflistung von realisierten oder beschlossenen Projekten zeigt; als Vergleich ist auch der Glattstollen in Zürich aufgeführt (Tab. 1).

8.4 Einige ausgewählte Stellungnahmen zur vorgeschlagenen Rheinableitung

Wissenschaftlich denken heisst u. a., seine Hypothesen durch andere prüfen zu lassen. Es sollen daher hier einige ausgewählte Stellungnahmen verkürzt wiedergegeben werden:

- «Auf den ersten Blick macht die Idee der Ableitung Eindruck. Warum nicht den Walensee als HW-Rückhaltebecken verwenden? Diese Idee ist, wie Herr Schlegel selbst schreibt, nicht neu... Für den Zürichsee dürfte die Überleitung nach meiner Meinung keine ernsten Folgen haben, jedoch eher für den Walensee. Man müsste abwägen, ob man allfällige Schäden am Walensee bewusst in Kauf nehmen möchte, um das Rheintal zu schützen.» (Siegfried Gygax, Bauingenieur, Sektionschef Bundesamt für Wasserwirtschaft, Brief vom 10.10.1986, in: SCHLEGEL, 1988)
- «Der Hinweis, eine Ableitung des Rheinwassers beruhe auf natürlichem Vorbild..., mag zwar für den Entlastungstunnel sprechen, ist

Tab. 1. Realisierte oder beschlossene Wasser-Umleitstollen in der Schweiz

Abgeleiteter Fluss (Ort)	Überleitung nach	Stollenlänge	Baujahr	Baukosten
Kander (Thun)	Thunersee / Aare	0,25 km	1714	unbekannt
Langeten (Langenthal)	Aare	7,4 km	1987–1990	41 Mio Fr.
Vispa (Randa)	Vispa	3,6 km	1991–1992	81 Mio Fr.
Rovana (Campo Vallemaggia)	Rovana	1,5 km	1996–1997	15 Mio Fr.
Krienbach (Kriens)	Reuss	1,7 km	1991–1994	46 Mio Fr.
Thunersee (Thun)	Äussere Aare	1,2 km	2006–2007	31 Mio Fr.
Uze (Uzwil)	Glatt	1,7 km	2006–2008	9 Mio Fr.
Abwasserstollen (Glattstollen, Zürich)		5,3 km	1994–1999	238 Mio Fr.

als Begründung aber vielleicht doch etwas dürftig. Die Realisierung des Stollens ist vor allem in den Bereichen Finanzierbarkeit und politische Machbarkeit in Frage zu stellen.» (Arthur Brunhart, Historiker, in: BROGGI und JÄGER, 1995, S. 65)

- «Die Hochwasserentlastung in den Walensee ist wohl unabdingbar für die Realisierung der Neugestaltung im Rheintal, ist aber mit Sicherheit ein beachtlicher Eingriff für den Wasserhaushalt im Walensee- und Linthebenegebiet (Spitzenabflüsse mit viel Trübstoffen) und somit ein Problempunkt bezüglich der Umweltverträglichkeit.» (Riccardo Bernasconi, Geologe und Hydrogeologe, in: BROGGI und JÄGER, 1995, S. 61)

9 VERSÖHNUNG VON NATUR UND TECHNIK

Was Karl Schmid, 1969, über die Aare äusserte, gilt noch viel mehr für den Rhein: «...aber in friedlichen Zeiten sollte man über die Flüsse nachdenken. Sie schliessen nicht ab, sie gehören uns nie ganz; Flüsse öffnen das Land gegen aussen... Technokratische Missachtung der Natur und schöngeistig-sentimentale Verachtung der Technik müssen überwunden werden, damit es zu jener Kooperation aus Einsicht kommt, die allein die Zukunft gestalten kann.»

10 LITERATUR

BRANDENBERGER, R. 2002. Rheindurchbruch bei Sargans ins Walenseetal. In: «Terra Plana, Nr. 2/2002», Mels, pp. 25–29.

BROGGI, M. F. & JÄGER, L. 1995. Neues Leben für den Alpenrhein? BZG, Botanisch-Zoologische Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, Schaan.

BWG BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE, 2004. Hochwasservorsorge. Erkenntnisse aus vier Fallbeispielen, Berichte des BWG Nr. 6, p. 26 f.

CYSAT, R., Collectanea pro Chronica Lucernensi et Helvetiae, bearb. von J. SCHMID, Erste Abteilung: Stadt und Kanton Luzern. Stationes annorum. Witterung, Missjahre, Teuerung, Luzern, 1./2. Teil, 3. Teil (Q), 1969 und 1972 (zitiert nach: PFISTER, 1984, p. 78).

HAUSMANN, P. 1996. 1 Milliarde SFr. Schadenpotential für die Versicherer aus einem Überschwemmungsereignis in der Schweiz? Seminar «Klimaänderungen und Naturkatastrophen» bei der Schweizer Rück am 6./7. Mai 1996 (unveröffentlicht).

INTERNATIONALE REGIERUNGSKOMMISSION ALPENRHEIN. Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, 1997. Gewässer- und fischökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung (Kurzfassung).

INTERNATIONALE REGIERUNGSKOMMISSION ALPENRHEIN. Projektgruppe Gewässer- und fischökologie, 2002. Trübung und Schwall im Alpenrhein (Kurzfassung).

INTERNATIONALE REGIERUNGSKOMMISSION ALPENRHEIN. Projektgruppe Flussbau, 2003. Hydrologie Alpenrhein. Zusammenfassender Bericht.

KLÖTZLI, F. 1996. Wohin führen uns die Renaturierungen? In: «Mensch und Natur. Festschrift zur 250-Jahr-Feier der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 1746–1996», pp. 226–239.

KRAPF, PH. 1901. Die Geschichte des Rheins zwischen dem Bodensee und Ragaz. Sonderabdruck aus den Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees, Heft XXX.

LAUTERBORN, R. 1916. Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms, I. Teil, Heidelberg, p. 24.

NEUE ZÜRCHER ZEITUNG, 2005. Neues Leben für den Alpenrhein, 24.3.2005, p. 17.

PFISTER, CH. 1984. Klimageschichte der Schweiz 1525–1860, Band 1, Paul Haupt, Bern, p. 78.

SARGANSERLÄNDER, 1999. Wie sicher ist der Rhein? Die Hochwassersicherheit im St. Galler Rheintal wird überprüft, 9. April 1999, p. 10.

SCHLEGEL, F. 1986. Zur naturnahen Neugestaltung des Alpenrheins. In: «Ökologische Planung im Grenzraum, BOKU Raumplanung, Schriftenreihe Nr. 2», Institut für Raumplanung und agrarische Operationen IRUB, Wien, Oktober 1986, pp. 345–362.

SCHLEGEL, F. 1988. Alviertunnel – Hochwasser-Entlastungsstollen zum Walensee (unveröffentlicht, Studie kann vom Verfasser bezogen werden).

SCHLEGEL, F. 1992. Naturnahe Neugestaltung des Alpenrheins – eine Utopie? In: «Schweizer Ingenieur und Architekt», Heft 37, pp. 678–683.

SCHMID, K. 1969. Über einen Fluss nachdenkend. In: «L'Aar. Vocation d'un fleuve. Die Aare. Begegnungen an einem Fluss», M. CHAPPAT, pp. 58–62, Genf.

STAATSARCHIV ST. GALLEN, 1928. Korrespondenz Heinrich Suter-Eggenberger betreffend Ableitung des Rheins in den Walensee. Archiv Nr. 68-1-4.

WSL, 1991. Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidg. Forschanst. Wald Schnee Landschaft, Nr. 330, Birmensdorf.

Franco Schlegel, Bungertstrasse 56, CH-7323 Wangs, E-Mail: f.schlegel@hispeed.ch

Naturschutz am Zürcher Rhein

Andreas Keel (Zürich)

1 EINE GROSSE BIODIVERSITÄT

Der Zürcher Rhein hat sich auf weiten Strecken tief in die Molasse und den Schotter eingegraben. Aus diesem Grund sind ausgedehnte Feuchtgebiete wie Flachmoore und Bruchwälder oft erst in einiger Distanz zum Fluss vorhanden. Zudem wirkt der Bodensee als Ausgleichsbecken und dämpft Hochwasser. Ungestümer sind Töss und Thur. Nur im Bereich der Mündungen befinden sich grössere Auengebiete. Die ausgedehnten Thurauen weisen sogar nationale Bedeutung auf. Die Eintiefung, die Flusserosion und -aufschotterung haben aber die standörtlichen Voraussetzungen für eine Vielzahl von artenreichen Trockenstandorten geschaffen. Flächenmässig weisen sie eine grössere Bedeutung auf als die Feuchtgebiete. An den durch den Rhein verursachten Erosionshängen bestanden natürliche lichte Wälder (vgl. BURNAND et al. in diesem Buch). Die ständig leichte Erosion des Flusses vermochte an den Prallhängen für licht- und wärmebedürftige Arten trockener Standorte langfristig geeignete Bedingungen zu schaffen. Der Zürcher Rhein und seine Zuflüsse weisen somit zwei Gruppen heute wichtiger, höchst schutzwürdiger und artenreicher Biotope auf: die Trockenstandorte in den Auen und Auenwäldern, die Magerwiesen, einzelne Feuchtgebiete und die Auengewässer.

Bereits früh wirkte sich die menschliche Nutzung (Brennholzgewinnung, Waldweide usw.) auf die flussnahen Lebensräume aus. In den vom Wald dominierten Landschaften entstanden Weiden und Wiesen. Die so genannte Austragsnutzung (SCHIESS und SCHIESS-BÜHLER, 1997) vergrösserte die Fläche artenreicher Trocken- und Magerstandorte aber auch innerhalb von Wäldern wesentlich. Der einige Quadratkilometer grosse frühere Mittelwald Niderholz ist ein eindückliches Beispiel dafür (vgl. HIRT/HOFMANN).

Die grösste Lebensraum- und Biodiversität war um 1800 im Kontaktbereich der natürlichen Flussdynamik und der extensiven Nutzung von Auenbereichen zu finden. Die traditionelle extensive Nutzung der Auen und ihre Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz (SCHIESS und SCHIESS-BÜHLER, 1997 und VOLK, 2003) wird heute noch stark unterschätzt. Durch die menschliche Nutzung und die naturnahe Dynamik der Flüsse entstand eine Vielzahl von unterschiedlichen Lebensräumen, die miteinander vernetzt und verbunden waren. So waren beispielsweise flussnahe Magerwiesen und -weiden vorhanden, die unregelmässig überschwemmt und von Schwemmmaterial überdeckt wurden. Sie veränderten dauernd ihre Lage und Artenzusammensetzung. Höher gelegene Standorte blieben über Jahrzehnte konstant. In diesem Gradient von Dynamik und Stabilität konnte sich eine Vielzahl von Arten einnischen (vgl. auch ROULIER in diesem Werk).

2 DER DROHENDE VERLUST DER VIELFALT

Die Landschaft zwischen Rhein-Thur-Glatt und Töss weist heute noch ein sehr hohes Biodiversitätspotenzial auf. Kaum jemand vermag sich aber vorzustellen, wie stark sich unsere Landschaften und damit die Lebensgemeinschaften von Tieren und Pflanzen über die Jahrzehnte verändert haben und sich künftig noch ändern werden. Die gemässigte Uferdynamik des Rheins wurde durch den Einbau von Staustufen und Uferverbauungen unterbunden. Die wildere Thur wurde kanalisiert (vgl. HIRT/HOFMANN), was das Verschwinden von natürlichen lichten Wäldern und Pionierflächen zur Folge hatte. Eine Revitalisierung der Flüsse, um die «verlorenen» Lebensräume wieder zurückzugewinnen, ist allerdings ein heikles Unterfangen. Durch

eine zu rasche und ungelenkte Revitalisierung besteht die Gefahr, dass wichtige, reliktisch verbliebene Auenelemente (z. B. Bestände der autochthonen Schwarz-Pappel oder des seltenen Mooses *Ricciocarpon natans*) durch die Flussdynamik vernichtet werden, bevor sie sich auf neuen Standorten wieder ansiedeln können.

Ebenfalls führte der Rückgang der Holznutzung und das Verbot der Waldweide und andere, als waldschädigend beurteilte Nutzungen in den vergangenen Jahrzehnten zu einem Rückgang der anthropogenen lichten Wälder. So ist das Weisse Fingerkraut *(Potentilla alba)* bei uns wie viele andere Arten auf kulturbedingt lichte Wälder angewiesen. Diese Art kommt in der Schweiz nur im äussersten Norden (SH, TG, ZH) und im Süden (TI, GR) vor. Georg Kummer führte in seiner Flora 1943 noch 18 Vorkommen im Kanton Zürich zwischen Flurlingen und Weiach auf und meinte: «Häufig ist *Potentilla alba* auf der linken Rheinseite um Ellikon im Kanton Zürich.» 60 Jahre später sind davon nur noch zwei kleine bedrohte Populationen im Kanton Zürich übrig geblieben.

Den früher zahlreichen Magerwiesen erging es gleich. In den letzten 50 Jahren nahm die Ausbringung von Düngstoffen sehr stark zu. Abgelegene Wiesen wurden nicht mehr genutzt und verbuschten. Heute sind nur mehr kleinste Reste der Magerwiesen übriggeblieben. Während 1995 im Kanton Zürich noch ein Bestand von ca. 500 ha, davon 350 ha von kantonaler Bedeutung (Naturschutz-Gesamtkonzept Kanton Zürich) und ein Rückgang von 90% angenommen wurde, zeigt eine Erhebung aus dem Jahr 2003 (Publikation in Vorbereitung) im Kanton Zürich einen weit stärkeren Verlust. Lediglich ca. 200 Objekte mit 150 ha qualitativ ausreichenden Magerwiesen mit kantonaler Bedeutung sind noch vorhanden. Die früher landschaftsprägenden, rheinnahen, nährstoffarmen, lichten, trockenwarmen Lebensräume der gebietstypischen Tier- und Pflanzenarten existieren somit nur noch auf kleinsten Flächen. Die meisten Objekte sind so klein und isoliert, dass die Biotopgrössen für überlebensfähige Populationen vieler Arten unterschritten sind und das Aussterberisiko gross ist (Abb. 1). Die Küchenschelle *(Pulsatilla vulgaris)* und der Flaumige Seidelbast *(Daphne cneorum)* sind Beispiele dafür. Von einzelnen Arten (z. B. *Pulsatilla vulgaris*) werden nahverwandte Ökotypen oder Arten im Handel (Gartencenter, Saatmischungen) in grössten Mengen verkauft, die die autochthonen Populationen teilweise um ein Tausendfaches überschreiten. Die Entwicklung von qualitativ guten neuen Magerwiesen und begleitende Fördermassnahmen für Arten sind dringlich. Die landwirtschaftliche Extensivierung reicht nicht aus, um die meisten Magerwiesenarten zu fördern. Es müssen insbesondere in Landschaften mit einem starken Wandel neue Wege beschritten werden.

3 WAS TUN? WELCHE ZIELE?

Die grundsätzliche Naturschutz-Strategie für den Kanton Zürich ist im Naturschutz-Gesamtkonzept (1995) dargelegt. In erster Priorität sind bestehende wichtige Lebensräume und Populationen seltener Arten zu erhalten. Für einzelne Arten wurden spezifische Aktionspläne erarbeitet (siehe Artenförderung unter www.naturschutz.ch). Tab. 1 zeigt beispielhaft

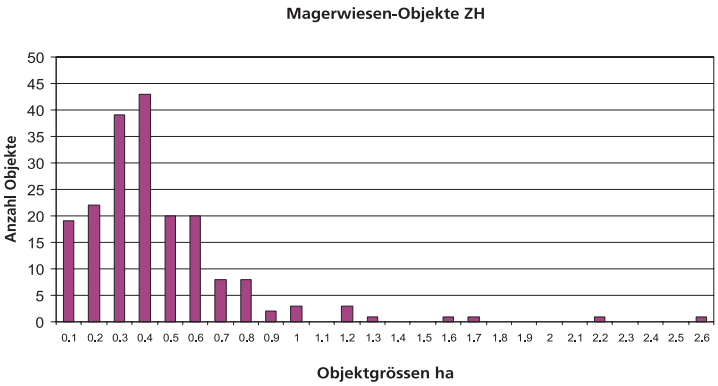


Abb. 1. Die Verteilung der Grössenklassen der Magerwiesen-Objekte im Kanton Zürich. Die meisten Objekte sind sehr klein (provisorische Darstellung, Stand 2003).

die für das Gebiet des Zürcher Rheins zwölf wichtigsten Zielarten von den insgesamt ca. 1800 Farn- und Blütenpflanzenarten im Kanton. Sechs sind auf Trockenstandorte, drei auf Gewässer sowie drei auf Feuchtgebiete oder Ufer angewiesen. Erst für einzelne dieser Arten bestehen gute Chancen, dass sie gefördert werden können.

Ohne Lebensräume keine Artenvielfalt. Bisher sind im Kanton Zürich innerhalb der drei BLN-Objekte am Rhein mit einer Gesamtfläche von rund 3000 ha z. B. nur 187 ha (6,2%) als kantonale Naturschutzgebiete geschützt. In Landschaftsteilen, die eine starke Veränderung erfahren, kann sich der Naturschutz nicht auf das Schützen und Erhalten beschränken. Soll die Biodiversität tatsächlich auch in unserer Landschaft erhalten bleiben, muss versucht werden, für das vorhandene Artenpotenzial neue Lebensräume zu schaffen. Diese können zwar oft nicht in ihrer einstigen Ausprägung wieder hergestellt werden. So wie die früheren Lebensräume durch die damalige Nutzung entstanden sind, sollen unter den heutigen gesellschaftlichen Bedingungen und Nutzungen neue Habitate für eine artenreiche Flora und Fauna

Tab. 1. Die 12 prioritären Farn- und Blütenpflanzenarten entlang des Rheins (und Umgebung) im Kanton Zürich

Art		**Artwert**	**Erfolgsaussichten** ***: gut** **!: schlecht** **?: unbekannt**	**Bemerkung**
Myosotis rehsteineri	Bodensee-Vergissmeinnicht	15	!	Früher entlang des Rheinufers vom Bodensee bis in den Kanton ZH herabgeschwemmt
Najas flexilis	Biegsames Nixkraut	13	!	Früher im Rhein(-Altlauf)
Polygonum brittingeri	Brittingers-Knöterich	12	?	Entlang Thur?
Gagea pratensis	Wiesen-Gelbstern	11	*	Noch einzelne Populationen
Himantoglossum hircinum	Bocks-Riemenzunge	11	*	Noch einige Stellen mit grossen Populationen
Pulsatilla vulgaris	Küchenschelle	11	?	Starker Rückgang der früher zahlreichen Fundstellen
Deschampsia litoralis (rhenana)	Strand-Schmiele	10	?	Früher entlang des Rheinufers vom Bodensee bis in den Kanton ZH herabgeschwemmt
Potentilla heptaphylla	Siebenblättriges Fingerkraut	10	*	Noch einige Populationen in trockenen Magerwiesen
Thesium rostratum	Schnabelfrüchtiger Bergflachs	10	!	In lichten Wäldern, sehr stark gefährdet
Alisma gramineum	Grasblättriger Froschlöffel	10	!	Im Rhein und am Ufer
Daphne cneorum	Fluröschen	9	?	Im Lichten Wald
Nasturtium microphyllum	Kleinblättrige Brunnenkresse	9	?	In Auengewässern

entstehen. Es liegt an uns sich bietende Möglichkeiten dafür zu nutzen.

Priorität haben in bisherigen und neuen Biotopen im Kanton Zürich solche Arten, für deren Erhaltung der Kanton Zürich eine grosse Verantwortung trägt. Der Grad der Verantwortung und die Priorität der Massnahmen werden im Kanton Zürich durch einen Naturschutz-Artwert ausgedrückt. Er wird aus dem Gefährdungsgrad (E, CH, ZH), der Gesamtverbreitung und des Anteils der Populationen im Kanton – gemessen am Gesamtbestand in der Schweiz – für jede beurteilte Art «errechnet». Es werden Werte zwischen 0 und 15 erreicht. Für jedes Gebiet können anhand der aktuellen und historischen Artenlisten die Arten mit den höchsten Artwerten bestimmt werden. Sie werden als Zielarten bezeichnet und den entsprechenden Lebensräumen zugeordnet. Die Anzahl der Zielarten und die Summen der Artwerte zeigen die Bedeutung der Lebensraumtypen und die Notwendigkeit von Erhaltungs- und Fördermassnahmen.

So wurden beispielsweise im Aktionsplan Lichter Wald (ABTEILUNG WALD und FACHSTELLE NATURSCHUTZ, 2005) für die Förderung der Lebensräume der Lichten Wälder im Kanton Zürich die biotopspezifischen Zielarten ermittelt und ihnen einen Biotopwert zugeordnet (Tab. 2). Die einzelnen Objekte können anhand der Vorkommen und Anzahl Zielarten bewertet werden. Dadurch ist eine Erfolgskontrolle der umgesetzten Massnahmen und eine Optimierung der eingesetzten Mittel möglich. Abb. 2 zeigt die bis 2004 von der Abteilung Wald und der Fachstelle Naturschutz realisierten Projekte Lichter Wald entlang des Rheins. Analog sollen auch die Zielarten der Magerwiesen (Publikation in Vorbereitung) festgelegt und gefördert werden.

4 EIN BEISPIEL: NEUER LEBENSRAUM FÜR MAGERWIESEN

Der Kiesabbau verändert Landschaften. Dies besonders grossflächig z. B. im Rafzerfeld auf ca. 360 ha. Durch Kiesabbau können Standortbedingungen entstehen, die denen von Flussauen ähnlich sind. Oft sind sie allerdings isolierter als ein natürliches Auensystem und werden deshalb schlechter besiedelt. Ein Teil der auentypischen Arten wie zum Beispiel die Kreuzkröte, der Flussregenpfeifer und die Blauflüglige Sandschrecke vermag die Folgebiotope trotzdem rasch zu besiedeln. Kiesgruben werden oft als Ersatzbiotope der Flussauen bezeichnet. Es bietet sich die einmalige Chance, Kiesgruben nach ihrer Nutzung statt aufzufüllen und zu intensivem Landwirtschaftsgebiet zu rekultivieren, zu artenreichen Biotopen zu entwickeln. Dies wurde seit einigen Jahrzehnten für die Erhaltung der Amphibienarten, aber nur selten für andere Arten genutzt. Vermehrt soll versucht werden, auch artenreiche Magerwiesen zu gestalten (vgl. GRABHER in diesem Werk).

In der Gemeinde Weiach konnte in Zusammenarbeit mit der Weiacher Kies AG unmittelbar am Rhein ein Kiesabbaugebiet von ca. 15 ha Fläche für die mittelfristige Entwicklung

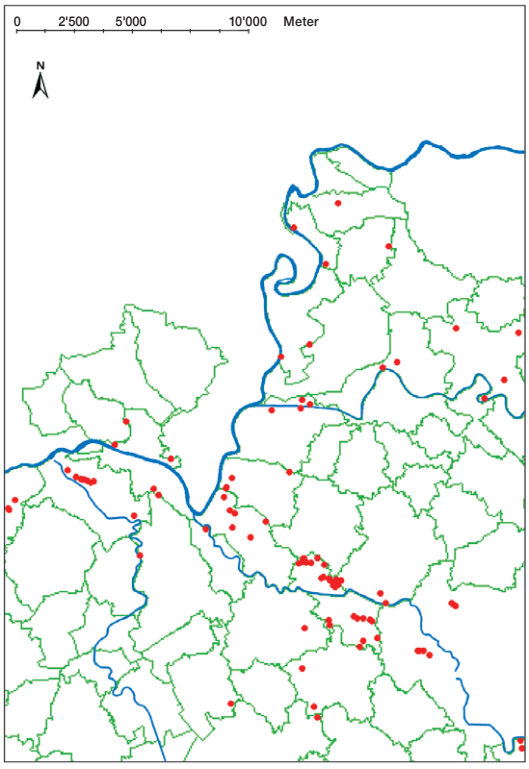


Abb. 2. Projekte Lichter Wald der Abteilung Wald und der Fachstelle Naturschutz im Gebiet Rhein, untere Glatt, Töss und Thur (Stand 2004).

Tab. 2. Schematische Herleitung von Zielarten, des Naturschutzwertes und des Zielartenwertes im Kanton Zürich am Beispiel der Bocks-Riemenzunge (Himantoglossum hircinum)

Naturschutz – Artwert ZH					
Gefährdungsgrad	Ex, E	V	R	U, A, Ex (R)	
Europa	5	4	3	0	0
Schweiz	4	3	2	0	4
Kanton ZH	3	2	1	0	3
Grösse Verbreitungsareal	klein	mittel	gross		
	3	2	0		2
Anteil Kanton ZH am Gesamtbestand CH	>1/2	1/2–1/4	<1/4		
	3	2	0		2
Artwert gleich Summe Punkte-Zeilen 1 bis 5					11
Bindung lichter Wald ZH					
Biotopbindung	stark	mittel	gering	keine	
	3	2	1	0	2
Zielartwert Lichter Wald					
Zielart – Wert LiWa					13

artenreicher Biotope festgelegt werden (Abb. 3). Eine weitere Fläche von 4,5 ha entstand als ökologische Ersatzmassnahme für den Ausbau des Flughafens Zürich (Abb. 4). Eine direkte Anbindung an den Rhein war nicht möglich.

Aufgrund der prioritären potenziellen Zielarten wurden für diese Fläche folgende Naturschutzziele festgelegt: Es soll die grösste neue Magerwiese (Abb. 5) im Kanton Zürich entstehen. Auf den Kiesrohflächen und den Deponieflächen mit nährstoffarmem C-Horizont sollen, solange dies sinnvoll ist, Pionierphasen ablaufen. Nach dem ersten Bewuchs entwickeln sich Ruderalgesellschaften, Pionier- und Auensteppen-Magerwiesen und örtlich Buschgesellschaften mit Weiden und Föhren. Zu festgelegten Zeitpunkten wird die Entwicklung durch Pflegemassnahmen (z. B. Mahd) so gelenkt, dass Magerwiesen entstehen. Dies entspricht zudem auch traditionellen Nutzungsweisen in Auen. In Muldenlagen sollen Kleingewässer das Regenwasser zurückhalten. Für einen grossen Teil der Arten der Magerwiesen ist die Einwanderungsmöglichkeit sehr begrenzt. Deshalb werden diese Wiesen durch Mulchsaat von bestehenden Wiesen und mit Samen seltener Zielarten aus der Umgebung begrünt. Die bisherigen Erfolgskontrollen zeigen erste Erfolge der Massnahmen. Zahlreiche sehr



Abb. 3. Durch Kiesabbau sind in Weiach Trockenstandorte für sehr seltene Arten entstanden: eine ökologische Situation wie an einem Prallhang vor 200 Jahren (Foto A. Keel).



Abb. 4. Hier soll die grösste Magerwiese im Kanton Zürich entstehen: ein Projekt des Flughafens Zürich und der Fachstelle Naturschutz in Zusammenarbeit mit der Weiacher Kies AG (Foto A. Keel).



Abb. 5. Nach der Pionierphase entwickeln sich rasch Magerwiesenarten, einige Arten benötigen viele Jahre, bis sie sich etablieren können (Foto Andreina Reutemann).

seltene Arten haben die Flächen bereits besiedelt: der Rötliche Mauerpfeffer *(Sedum rubens)*, vorher viele Jahre im Kanton Zürich verschollen, und das Graue Fingerkraut *(Potentilla inclinata)*, mit nur noch einer Population im Kanton Zürich (siehe auch Merkblätter Artenschutz, KÄSERMANN und MOSER, 1999) entwickelten grosse neue Bestände. Diese Neuschaffung grosser Magerwiesen lässt hoffen, dass dem Aussterben anspruchsvoller Arten doch noch entgegengewirkt werden kann.

Das Projekt soll dazu beitragen, dass entlang des Rheins wieder ein wertvolles und grossflächiges Element in einer Kette von Magerwiesen zwischen Bodensee und Basel entsteht.

Mit diesen gezielten Massnahmen werden nach mehr als einem Jahrhundert der landwirtschaftlichen Intensivierung und der Verbauung und Einschränkung der Flüsse am Zürcher Rhein und an der Thur an ausgewählten Stellen wieder Orte mit einer hohen Biodiversität, Lebensräume für fast verschwundene Arten und spannende Naturerlebnisorte für die Bevölkerung geschaffen.

5 LITERATUR

ABTEILUNG WALD & FACHSTELLE NATURSCHUTZ 2005. Aktionsplan Lichter Wald. www.naturschutz.zh.ch und www.wald.kanton.zh.ch

AMT FÜR RAUMPLANUNG DES KANTONS ZÜRICH (Hrsg.) 1995. Naturschutz-Gesamtkonzept. Festgesetzt durch den Regierungsrat am 20.12.1995.

KÄSERMANN, C. & MOSER, D.M. 1999. Merkblätter Artenschutz, Blütenpflanzen und Farne, BUWAL in Zusammenarbeit mit SKEW, ZDSF und Pro Natura.

KUMMER, G. 1943. Die Flora des Kantons Schaffhausen mit Berücksichtigung der Grenzgebiete, 4. Lieferung, Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Bd. XVIII, 11.–110.

SCHIESS, H. & SCHIESS-BÜHLER, C. 1997. Dominanzminderung als ökologisches Prinzip: eine Neubewertung der ursprünglichen Waldnutzungen für den Arten- und Biotopschutz am Beispiel der Tagfalterfauna eines Auenwaldes in der Nordschweiz, Mitt. der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Bd. 72, H.1.

VOLK, H. 2003. Kulturlandschaft Rheinaue. Auewald-Naturschutz-Hochwasserschutz. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.

Andreas Keel, Dr. sc. nat., Fachstelle Naturschutz, Neumühlequai 10, CH-8090 Zürich,
E-Mail: andreas.keel@vd.zh.ch

Das Wollmatinger Ried am Bodensee – ein Naturschutzgebiet von europaweiter Bedeutung

Mike Herrmann (Konstanz) und Eberhard Klein (Reichenau)

1 EINLEITUNG

Das Wollmatinger Ried ist eine amphibische Verlandungslandschaft, unmittelbar am westlichen Stadtrand von Konstanz am Untersee gelegen. Der Bodensee ist der einzige grosse Alpenrandsee ohne Wasserstandsregulierung und so wird das 767 ha umfassende Schutzgebiet wesentlich von den im Jahreslauf rund zwei Meter hohen Wasserstandsschwankungen geprägt. Der Dynamik des Wassers frei ausgesetzte naturnahe Feuchtgebiete wie das Wollmatinger Ried sind in dieser Grösse einzigartig in Mitteleuropa.

Zu den prägenden Lebensräumen gehören landseitig die durch Streunutzung entstandenen nährstoffarmen Pfeifengras- und anderen Riedwiesen. Sie beherbergen zahlreiche sonst seltene Tier- und Pflanzen-Arten. Zu ihrer Blütezeit sind Pflanzen wie Sibirische Iris und Wohlriechender Lauch in weiten Teilen aspektbildend. Seewärts schliessen sich ausgedehnte Grossseggenriede und Schilfröhrichte an, die als Mauser- und Brutgebiete wichtig sind. Die vorgelagerten grossen Flachwasserbereiche sind für die Wasservogelbestände europaweit von Bedeutung (s. JACOBY, in diesem Band).

Dieses grosse Schutzgebiet ist nicht nur für den Naturschutz am Bodensee und den Erhalt vieler im Bestand bedrohter Arten von herausragender Bedeutung. Mit seinen amphibischen Lebensgemeinschaften ist es auch ein hochinteressantes Gebiet für ökologische Grundlagenforschung und Langzeituntersuchungen.

2 ENTSTEHUNG DES RIEDS

Von der Mündung des Seerheins in den Untersee zieht sich das Schutzgebiet knapp sechs Kilometer entlang des Bodensee-Ufers. Durch die reduzierte Fliessgeschwindigkeit des Wassers bei Eintritt in den Untersee lagern sich hier, seit dem Rückzug des Gletschers vor 14 000 Jahren, kalkreiche Sedimente und Schwebstoffe ab (u. a. KIEFER, 1972). Hinzu kommen die Ablagerungen so genannter Schnegglisande. Dies sind von Blaualgen in der Flachwasserzone gebildete Kalkablagerungen, die grosse Teile des Untersee-Beckens verfüllt haben (s. SCHLÄFLI, in diesem Band). Im Wollmatinger Ried sind sie im Bereich ehemaliger Uferlinien zu Strandwällen aufgeschüttet, die sich als bis zu zwei Meter hohe, meist lang gestreckte Trockenstandorte aus der grossen, flachen Verlandungsebene erheben. Durch die im Jahreslauf stark schwankenden Wasserstände werden regelmässig weite Teile des Rieds im Sommer überschwemmt und Sediment-Ablagerungen bis tief in die Pfeifengraswiesen ermöglicht.

3 GESCHICHTE DES NATURSCHUTZGEBIETES

Schon lange war die besondere Bedeutung des Wollmatinger Rieds bekannt. Es wurde als eines der ersten Gebiete in Deutschland unter Naturschutz gestellt. Dies geschah am 4. Juli 1930 durch Beschluss der damals noch selbständigen Gemeinde Wollmatingen zunächst auf 5 Jahre. Am 17. Februar 1938 wurde das Wollmatinger Ried endgültig als Naturschutzgebiet mit einer Fläche von 435 ha ausgewiesen.

Dennoch gab es bis in die 1960er Jahre sehr konkrete Planungen für einen Industriehafen, grosse Industrieansiedlungen mit Gleisanschlüssen, internationale Strassen und sogar einen Flughafen für Wasserflugzeuge. Als einzige Realisierung dieser Pläne wurden am 26.

November 1963 im Konstanz zugewandten Teil 4,9 ha als Industriegebiet aus dem Schutz entlassen. Die weitergehenden Planungen konnten nicht zuletzt durch die internationale Beachtung des Gebiets verhindert werden, die sich in zahlreichen Auszeichnungen widerspiegelt: Europadiplom des Europarates 1968 (vgl. MÜLLER und JACOBY, 1969), Europa-Reservat des Internationalen Rates für Vogelschutz 1973 und Feuchtgebiet von internationaler Bedeutung gemäss der Ramsar-Konvention 1976.

Mit einer Verordnung vom 16. Dezember 1980 wurde das Naturschutzgebiet Wollmatinger Ried durch Einbeziehung der dem Ried vorgelagerten Flachwasserzonen auf die heutige Grösse von 767 ha erweitert und als neues Natur- und Landschaftsschutzgebiet «Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee» ausgewiesen.

Ein Meilenstein für den Naturschutz war die Einstellung der in der Tradition der Anwohner tief verwurzelten Vogeljagd. Die Revier-Vogeljagd im Wollmatinger Ried wurde 1961 beendet. Die Einstellung der Wasservogeljagd im vorgelagerten Ermatinger Becken erfolgte nach jahrzehntelangem zähen Ringen auf Schweizer und deutscher Seite zum 1. Oktober 1985. Durch Bundesverordnung wurde 1991 auch im angrenzenden Schweizer Teil des Ermatinger Beckens die Wasservogeljagd weitgehend verboten. Infolge dessen entwickelten sich die Wasservogelbestände, auch von seltenen Arten, äusserst positiv (STARK et al., 1999).

4 GRÖSSE ALS SCHUTZ VOR KATASTROPHEN

Seit der Theorie der Inselbiogeographie von MACARTHUR und WILSON (1967) ist bekannt, welchen grundlegenden Einfluss die Ausdehnung und der Isolationsgrad eines Gebietes auf das vorhandene Arteninventar hat. Mit zunehmender Isolation und abnehmender Flächengrösse verringert sich die Anzahl lebensraumtypischer Spezialisten, da ein lokales Aussterben einzelner Arten wegen der schlechten Erreichbarkeit verinselter Biotope nicht im gleichen Masse durch Wiedereinwanderung ausgeglichen werden kann. Oft sind es seltene (Witterungs-) Extreme, die selbst stabil erscheinende Vorkommen auslöschen und so das Arteninventar isolierter Standorte langfristig bestimmen können (SOULÉ, 1983).

Für das Wollmatinger Ried mit seinen vielen seltenen, oft grossflächig nur hier vorkommenden Lebensraumspezialisten (Abb. 1) ist diese Problematik von grosser Bedeutung. Die Grösse und Strukturvielfalt des Gebietes, das wiederholte Auftreten der Habitate und vor allem der in kleinen Bereichen noch vorhandene Anschluss – trotz Begrenzung durch Bundesstrasse und Bahntrasse – an ein extensiv genutztes Hinterland bieten zahlreiche Rückzugsräume, die bei singulären Ereignissen ein Überleben ermöglichen. Dies konnte bei den zwei gegensätzlichen Witterungskapriolen in jüngster Vergangenheit dokumentiert werden.



Abb. 1. Die Sumpf-Siegwurz (*Gladiolus palustris*) ist eine der botanischen Raritäten im Wollmatinger Ried (Foto A. Hafen).

4.1 Das Jahrhunderthochwasser 1999

Eine plötzliche Schneeschmelze und heftige Regenfälle führten im Mai 1999 zu einem raschen Anstieg des Wasserstandes im Bodensee. Bereits am 24. Mai wurde der Höchststand von 565 cm am Pegel Konstanz gemessen – dies ist der höchste im 20. Jahrhundert gemessene Wert. Das Hochwasser war nicht nur extrem hoch, es kam auch einen Monat früher als gewöhnlich, und der überhohe Wasserstand hielt sich lange Zeit. Über Wochen standen 98% der Schutzgebietsfläche unter Wasser. Zahlreiche Kleintiere ertranken oder wurden in den See verdriftet, und die Pflanzen wurden in ihrer Hauptwachstumsphase überstaut (KLEIN und ZEIDLER, 2001).

Bei den Blütenpflanzen stellte sich die Situation zunächst unterschiedlich dar. Einige häufige Arten hatten im Folgejahr starke Bestandeseinbussen von bis zu 99% (Mehlprimel, Schlauchenzian), andere Arten verzeichneten im Folgejahr starke Bestandeszunahmen (Prachtnelke, Gnadenkraut, Sumpf-Löwenzahn). Inzwischen haben sich die Populationen der meisten Arten wieder um ihre langjährigen Mittelwerte eingependelt.

Anders stellt sich die Situation bei den Pflanzengesellschaften dar. So hatte das seewärtige Schilf auch nach 4 Jahren noch ca. 30 ha an Bestandesfläche eingebüsst (OSTENDORP et al., 2003). In den Streuwiesen hingegen hatten die Röhricht-Arten stark zugenommen. Die seltenen endemischen Strandrasen des Bodensee-Ufers litten unter dem frühen und lang anhaltenden Hochwasser (DIENST et al., 2003; STRANG und DIENST, 2004; DIENST und STRANG, in diesem Werk).

Auch bei den Brutvögeln gab es einen starken Einfluss. Da das Uferschilf kaum neue Halme entwickelte, waren z. B. für die Röhrichtvögel viele traditionelle Brutplätze nicht nutzbar. So sank der Brutbestand des Drosselrohrsängers auf ein Drittel der Vorjahreswerte. Andererseits fanden z. B. die Lappentaucher in den grossräumig überschwemmten Schilfzonen ideale Brutbedingungen.

Unter den Insekten gab es bei vielen Arten starke Bestandeseinbrüche (aus KLEIN und ZEIDLER, 2001): Nach dem Rückgang des Hochwassers liessen sich viele epigäisch lebende Arthropoden nicht mehr nachweisen, die Anzahl an Heuschreckenlarven lag deutlich unter 10% der Vorjahreswerte. Der nur kleinräumig vorkommende Warzenbeisser allerdings war so häufig wie zuvor, während die hygrophilen Laufkäfer-Arten *Agonum lugens* und *Platynus longiventris* zahlreicher vertreten waren.



Abb. 2. Die seltene Mooshummel (*Bombus muscorum*) ist in der Schweiz und in Süddeutschland nur noch in grossen, extensiv genutzten Feuchtgebieten zu finden (Foto M. Herrmann).

Mit der Mooshummel (Abb. 2) ist eine sehr seltene Feuchtgebietsart im Ried vertreten, die ihre Nester oberirdisch in den ungemähten Wiesen anlegt. Bei ihr war ein starker Bestandeseinbruch zu befürchten und tatsächlich war sie nach dem Hochwasser im Gebiet nicht mehr zu finden. Aber schon im Folgejahr trat die Art wieder zerstreut auf. Offensichtlich kam das Hochwasser so früh, dass einige Hummel-Königinnen ausserhalb des NSG noch erfolgreich neue Nester anlegen konnten.

Auch bei den Wiesenknopf-Ameisenbläulingen gab es massive Bestandeinbrüche, da die Nester ihrer Wirtsameisen zur Schlupfzeit überstaut waren. Nach dem Rückgang des Hochwassers wurde vom Dunklen Wiesenknopf-Ameisenbläuling nur ein einziges Exemplar am Rande des Rieds beobachtet, der Helle Wiesenknopf-Ameisenbläuling war selbst im Folgejahr nicht nachweisbar. Inzwischen gibt es wieder beide Arten im Ried, doch in merklich kleineren

Populationen und nur im Nordteil des Gebietes. Offensichtlich haben sie das Hochwasser dank kleinräumig noch vorhandener geeigneter Bereiche im Hinterland überlebt. Dies unterstreicht die Wichtigkeit von Puffer- und Rückzugsgebieten ausserhalb des eigentlichen Schutzgebietes. Infolge des Extremhochwassers ist keine der feuchtgebietstypischen Tier- oder Pflanzen-Arten aus dem Wollmatinger Ried verschwunden.

4.2 Das extreme Niedrigwasser im «Jahrhundertsommer» 2003

Die grosse Hitze und die geringen Niederschläge im Frühjahr und Sommer bescherten dem Bodensee im August und September den niedrigsten Wasserstand, der je zu dieser Jahreszeit gemessen wurde. In den Seeriedgebieten fiel die alljährliche Überschwemmung komplett aus, und vor der Schilffront fiel der Seeboden in der Hochwasserzeit grossflächig trocken.

Drosselrohrsänger und Schwarzhalstaucher, die in überschwemmten Röhrichten brüten, hatten sehr geringe Brutergebnisse, aquatische Tiere der Röhrichte mussten ausweichen und hygrophile Arten der Feuchtwiesen sich auf kleinste Bereiche zurückziehen. Die Auswirkungen auf die Tierpopulationen waren weniger dramatisch als beim Hochwasser und es ist nach heutigem Kenntnisstand ebenfalls keine feuchtgebietstypische Art aus dem Ried verschwunden.

Das Schilfröhricht konnte sich seewärts wieder etwas ausdehnen, doch geschieht dies nur sehr langsam, und es braucht viele Jahre, um die Einbussen des Hochwassers von 1999 auszugleichen (Dienst et al., 2004). Auf den ehemals mit Schilf bestandenen Schlickflächen vor der Schilffront kamen zahlreiche hygrophile Pflanzen bestandbildend auf, die auch noch nach zwei Jahren das Bild prägen (vgl. 5.2; Klötzli, in diesem Werk). Die meisten typischen Streuwiesenpflanzen zeigten trotz der Trockenheit eine normale Entwicklung; doch muss die starke Ausbreitung konkurrenzstarker Neophyten (v. a. Goldrute) als Alarmsignal für die zukünftige Entwicklung gesehen werden, zumal deren Ausbreitung wegen der seither geringen sommerlichen Überschwemmungen anhält.

5 AKTUELLE FORSCHUNGSVORHABEN

5.1 Beweidung

Seit 1998 wird im Wollmatinger Ried ein Beweidungsversuch auf einer 5,6 ha grossen Fläche durchgeführt, die zuvor durch jährliche Herbstmahd gepflegt wurde. Die Beweidung erfolgt als Dauerstandweide von April bis Dezember mit einer Besatzdichte von 9–10 Hochland-Mutterkühen. Auf der Weidefläche befinden sich Streuwiesen unterschiedlicher Ausprägungen, die zu Beginn einen hohen Verschilfungsgrad mit bis zu 90% Deckung aufwiesen sowie ein kleiner Silberweiden-Auwaldstreifen.

Anfangs überdeckte das Extremhochwasser von 1999 die Auswirkungen der Beweidung. Vor allem Arten der Grossseggenrieder und Röhrichte nahmen durch die lang anhaltende Überflutung stark zu (Klein, 1998; 2000). Da die Rinder im Frühjahr bevorzugt Schilf, Rohrglanzgras und Grossseggen verbeissen, nahmen diese in den Folgejahren innerhalb der Weide wesentlich rascher wieder ab als ausserhalb, wohingegen die typischen Arten der Pfeifengraswiesen zunächst kaum auf den Bewirtschaftungswechsel reagierten (Klein, 2000). Erst ab 2004 zeigt sich eine deutliche Änderung in der Vegetationszusammensetzung: Innerhalb der Weide treten zunehmend beweidungstolerante Arten des Wirtschaftsgrünlands auf (z. B. Gänsefingerkraut, Weissklee), so dass eine Verschiebung von typischen Pfeifengraswiesen in Richtung Weidelgrasweide festgestellt werden muss.

Der Erhalt typischer Pfeifengras-Streuwiesen scheint nach bisherigem Stand unter dem gewählten Beweidungsdruck nicht möglich. Sichtbare Erfolge zeigt die Beweidung bei der Erhöhung der Strukturvielfalt sowie bei der Verringerung des Verschilfungsgrades in den Streuwiesen.

5.2 Niedrigwasserkartierung

In den seeseitig der Schilfzone vorgelagerten und in den Trockenjahren 2003 und 2004 nicht überschwemmten Flächen entwickelten sich umfangreiche neue Pflanzenbestände, die im

jeweils darauffolgenden Winter erfasst wurden. Auf einer neu besiedelten Fläche von insgesamt 26,7 ha konnten bislang 70 Pflanzen-Sippen nachgewiesen werden. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um hygrophile Arten mit hohem Ausbreitungsvermögen (DIENST et al., 2005). Für die zukünftige Entwicklung von besonderem Interesse ist die weitere Entwicklung der neu entstandenen, bis zu 100 m breiten Rohrkolben-Röhrichte und vor allem die Frage, ob die neu vor der Schilffront etablierten Weidenbestände dauerhaft zu einem Auwald aufwachsen können, was eine tiefgreifende Veränderung des gesamten Lebensraums darstellen würde.

5.3 Wildbienen und Wespen als Bewohner einer amphibischen Landschaft

Seit 1996 werden die Stechimmen (Wildbienen und Wespen) in den unterschiedlichen Lebensräumen des Wollmatinger Rieds erfasst. Bisher wurden insgesamt 276 Arten nachgewiesen. Die grossen und abwechslungsreich gestalteten Feuchtwiesen und Riedflächen ermöglichen auch von sonst sehr seltenen Feuchtgebietsspezialisten individuenreiche Vorkommen. Drei Arten wurden erstmals für Südwestdeutschland nachgewiesen, eine hygrophile Wildbienen-Art neu für die Wissenschaft beschrieben (HERRMANN, 2001; 2005).

6 PFLEGEKONZEPT

Klassische Massnahmen der Landschaftspflege beschränken sich im NSG «Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee» auf den reinen Kulturlandschaftsanteil, während der grössere Teil des Schutzgebietes aus Flachwasserzone und Röhrichten der natürlichen Dynamik überlassen bleibt.

Landwärtige Schilfbereiche werden nur in Ausnahmefällen und nur kleinflächig gemäht, da Schilfzonen mit mehreren Althalmgenerationen unerlässlich als Winterquartier für an Schilf gebundenen Arthropoden und als Nisthabitat für Röhricht bewohnende Vogelarten wie Rohrweihe und Bartmeise sind.

Die etwas höher gelegenen Flächen mit intensiverem Stoffumsatz werden als ein- bis zweischürige Futterwiesen ohne Düngung genutzt. In Folge des für das Wollmatinger Ried frühen Schnittzeitpunktes ab Anfang Juni und des milden Bodenseeklimas stellen sich hier bereits ab Mitte April blütenreiche Aspekte ein (z. B. mit Wiesenschaumkraut, Kuckuckslichtnelke, Wiesenglockenblume und später Wassergreiskraut), die noch vor der Blütenentwicklung in den grossflächigen Streuwiesen ein umfangreiches Nahrungsangebot für Blüten besuchende Insekten bieten.

Die Streuwiesen werden traditionell zwischen Oktober und Februar geschnitten, so dass sie ideale Lebensräume für spätentwickelnde Arten wie Lungenenzian und Wohlriechenden Lauch darstellen. Eutrophierte, verschilfte oder gestörte Bereiche der Streuwiesen hingegen werden früher im Jahr ab Juli gemäht, um diese durch Nährstoffentzug und Zurückdrängen der Störarten in typische Streuwiesen zurückzuführen. Von allen aufgefundenen Neophyten (v. a. Goldruten und Drüsiges Springkraut) werden gezielt die oberirdischen Teile entfernt. In die Wiesenflächen vordringende Gehölze werden zurückgeschnitten.

Grossflächige Pflegemassnahmen auf weniger empfindlichen Standorten werden von einem beauftragten Landwirt mit einem Allradschlepper durchgeführt. Auf den empfindlichen oder schwer zugänglichen Flächen erfolgt die Pflege durch den NABU mit handgeführten Maschinen oder komplett in Handarbeit.

7 HINWEISE FÜR BESUCHER, FÜHRUNGEN, INFOZENTRUM

Das Wollmatinger Ried darf auf Grund seiner störungsempfindlichen Tier- und Pflanzenwelt lediglich auf dem Gottlieber Weg und entlang der Landstrasse auf dem Reichenauer Damm frei betreten werden. Interessierten Besuchern stehen am Rande des Schutzgebietes, in der Ruine Schopflen auf dem Reichenauer Damm und am Campingplatz Hegne, Beobachtungsplattformen zur Verfügung. Zudem werden vom

betreuenden Verband NABU ganzjährig Führungen in die Kernzone des Schutzgebietes sowie zahlreiche verschiedene Spezialführungen angeboten. Anlaufstelle für die Öffentlichkeit ist das NABU-Naturschutzzentrum Wollmatinger Ried im ehemaligen Bahnhof Reichenau. Während der Öffnungszeiten Montag bis Freitag von 09.00 bis 12.00 und 14.00 bis 16.00 Uhr sind hier umfangreiche Informationsmaterialien, eine Diashow und eine Dauerausstellung zugänglich. Kontakt: NABU-Naturschutzzentrum Wollmatinger Ried, Kindlebildstrasse 87, D-78479 Reichenau, Tel. 0049-(0)7531-78870, E-Mail: NABU.Wollried@t-online.de.

8 ERWÄHNTE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

BAUMANN, E. 1911. Die Vegetation des Untersees (Bodensee). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 554 pp.

DIENST, M., KLEIN, E. & OSTENDORP, W. 2005. Vegetationskundliche Untersuchungen zu Auswirkungen extremer Niedrigwasserstände am Bodensee, unveröffentlichtes Gutachten i. A. des Regierungspräsidiums Freiburg, 30 pp.

DIENST, M., SCHMIEDER, K. & OSTENDORP, W. 2004. Dynamik der Schilfröhrichte am Bodensee unter dem Einfluss von Wasserstandsvariationen. Limnologica 34, 29–36.

DIENST, M., STRANG, I. & SCHMIEDER, K. 2003. Auswirkungen extremer Wasserstände auf die Ufervegetation des Bodensees. Natur + Mensch 6, 12–19.

HERRMANN, M. 2001. *Lasioglossum* (*Evylaeus*) *pleurospeculum* spec. nov. – eine neue Furchenbienenart aus Mitteleuropa (Hymenoptera, Apidae). Linzer biol. Beitr. 33, 709–721.

HERRMANN, M. 2004. Alte Pflanzenbelege aus Feuchtgebieten am Stadtrand von Konstanz. Ber. Bot. Arbeitsgem. Südwestdeutschlands, Beiheft 1, 231–240.

HERRMANN, M. 2005. Neue und seltene Stechimmen aus Deutschland (Hymenoptera: Apidae, Sphecidae, Vespidae). Mitt. ent. V. Stuttgart 40, 3–8.

JACOBY, H. & DIENST, M. 1988. Das Naturschutzgebiet «Wollmatinger Ried – Untersee – Gnadensee»: Bedeutung, Schutz und Betreuung. Naturschutzforum 1/2, 205–306.

JACOBY, H. 1991. Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung; Beispiel: Wollmatinger Ried. Natur-Landschaft 66, 567–572.

JACOBY, H. 2000. Schnegglisand, Armleuchteralge und Belchenjagd – Das Wollmatinger Ried: biologische Bedeutung, Aspekte der Naturschutzgeschichte und des Naturschutzes. In: «Konstanzer Beiträge zur Geschichte und Gegenwart – das Delphin Buch 6», DELPHIN-KREIS (Hrsg.), 81–101. Labhard Verlag, Konstanz.

JEHLE, P. 1998. Wollmatinger Ried–Untersee–Gnadensee. In: «Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Freiburg», Thorbecke, Sigmaringen, 394–399.

KIEFER, F. 1972. Naturkunde des Bodensees, 2. Auflage. Thorbecke, Sigmaringen, 210 pp.

KLEIN, E. & ZEIDLER, U. 2001. Jahresberichte 1999/2000 über das Natur- und Landschaftsschutzgebiet «Wollmatinger Ried–Untersee–Gnadensee». NABU, Konstanz, 65 pp.

KLEIN, E. 1998. Beweidungsversuch im NSG «Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee», vegetationskundlich-floristische Untersuchung, 1. Zwischenbericht 1998, unveröffentlichtes Gutachten i. A. der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege in Freiburg, 12 pp.

KLEIN, E. 2000. Beweidungsversuch im NSG «Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee», vegetationskundlich-floristische Untersuchung, 2. Zwischenbericht 2000, unveröffentlichtes Gutachten i. A. der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege in Freiburg, 7 pp.

LANG, G. 1973. Die Vegetation des westlichen Bodenseegebietes. Pflanzensoziologie 17, Fischer-Verlag, Jena, 451 pp.

MACARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. 1967. The theory of island Biogeography. Princeton University Press, Princeton N.J., 203 pp.

MÜLLER, T. & JACOBY, H. 1969. Naturschutzgebiet Wollmatinger Ried, Europäisches Diplom. Hrsg.: Landesstelle Naturschutz, Landschaftspflege Baden-Württemberg. Ungeheuer & Ulmer, Ludwigsburg, 40 pp.

OSTENDORP, W., DIENST, M. & SCHMIEDER, K. 2003. Disturbance and rehabilitation of lakeside *Phragmites*

reeds following an extreme flood in Lake Constance (Germany). Hydrobiologica 506–509, 687–695.

SOULÉ, M.E. 1983. What do we really know about extinction? In: Genetics and conservation: A reference for managing wild animal and plant populations, SCHONEWALD-COX, C.M., CHAMBERS, S.M., MCBRYDE, B. & THOMAS, L. (eds), 111–124. Menlo Park. Calif., Benjamin/Cummings.

STARK, H., BAUER, H.-G., SUTER, W. & JACOBY, H. 1999. Internationale Wasservogelzählung am Bodensee. Ergebnisse aus den Zählperioden 1961/62 bis 1996/97. Dynamik der Zugrast- und Überwinterungsbestände und der Einfluß von Umweltbedingungen. In: Die Vögel des Bodenseegebietes, HEINE, G., JACOBY, H., LEUZINGER, H. & STARK, H. (Hrsg.), 64–122. Orn. Jh. Bad.-Württ. 14/15.

STRANG, I. & DIENST, M. 2004. Die Auswirkungen der Wasserstände am Bodensee auf das Deschampsietum rhenanae zwischen 1989 und 2003. Limnologica 34 (1–2), 22–28.

Eberhard Klein, NABU-Naturschutzzentrum Wollmatinger Ried, Kindlebildstrasse 87, D-78479 Reichenau, E-Mail: NABU.Wollried@t-online.de

Dr. Mike Herrmann, Sonnentauweg 47, D-78567 Konstanz, E-Mail: Mike-Herrmann@t-online.de

Ein Zentrum der Vielfalt – Ruggeller Riet

Frank Klötzli (Wallisellen)[1]

1 EIN GANG IN DIE VIELFALT

Mit Sicherheit eines der vielfältigsten Feuchtgebiete liegt im Fürstentum Liechtenstein. Während die grossen Streulandflächen bei Dornbirn-Feldkirch (s. Beitrag von M. GRABHER in diesem Werk) und die Renaturierungen von Altstätten (s. Beitrag von SCHLEGEL et al.) ihre Abkunft von Übergangsmooren deutlich zeigen, haben sich bei Ruggell auch Feuchtwiesen mit anderer Vergangenheit grossflächig erhalten. Zwar sind sie alle noch umgeben von artenreichen Streuwiesen auf torffreien Mineralböden (Meiningen, Deltabereich, Ill-Mündung), aber spezielle ausgedehnte Kleinseggenriede auf basenreichen Alluvionen sind vor allem im Ruggeller Riet. Beim Besuch dieses Schutzgebietes verschwindet auch der anfängliche Eindruck einer gewissen Monotonie. Man wird sich schnell gewahr, dass man hier in einem wahren Sammeltopf der wichtigsten Typen von feuchtem ungedüngtem Grasland des liechtensteinisch-vorarlbergisch-schweizerischen Rheintales ist: Vom wechseltrockenen bis (wechsel-)nassen, nährstoffarmen bis -reichen, sauren bis basischen Flügel offener Graslandflächen ist fast alles auf respektablen Flächen vertreten (vgl. BROGGI und GRABHERR, 1988; KLÖTZLI, 1990).

Ursprünglich war das Gebiet lokal wohl vorwiegend Übergangsmoor, entstanden bei der Verlandung von Restseen in der Rheinebene, teilweise mit hochmoorartigem Gepräge,



Abb. 1. Typische Übersicht über die parkartige Streuwiesen-Landschaft im Ruggeller Riet; Sicht ab Hinterschellenberg (Foto M. Broggi, Oktober 2005).

[1] Nach den Angaben in KLÖTZLI, 1990, und eigenen gutachterischen Unterlagen.
[2] Wissenschaftliche Namen s. Grabherr

teilweise mit giessen-versorgten Quellseen, durchsetzt und umgeben von Auenwäldern und inselartig auftretenden (Birken-Föhren-) Moorwäldern (s. Beiträge von ROULIER und BURNAND et al.), deren Torf vor einigen 100 Jahren fast zur Gänze genutzt wurde (s. Beitrag von KAISER; vgl. auch BROGGI, 1990; SEITTER, 1972, 1990).

Alles zusammen, die natürlichen vielfältigen Umweltbedingungen und die mannigfaltige Art der menschlichen Nutzung (Lit. cit. und OSPELT, 1990), führte nicht nur zu einer seltenen Vielfalt an Vegetation und Landschaftsteilen, aber auch zu mancherlei Singularitäten an Pflanzen und Pflanzengesellschaften (Abb. 1).

2 EIN FEUCHTGEBIET MIT ÜBERRASCHUNGEN

So gibt es meines Wissens kein Ried in näherer oder weiterer Umgebung, das derart reich übersät ist mit den fleischroten Blütenständen des Wohlriechenden Lauchs *(Allium suaveolens)*, und ich kenne auch keine Fläche mit so dichtwüchsigen Beständen des Kammfarns *(Dryopteris cristata)*. Zusammen mit den ansehnlichen Mengen an Sumpf-Siegwurz *(Gladiolus palustris)* und Sibirischer Schwertlilie *(Iris sibirica)* sowie den übrigen reich vertretenen Seltenheiten erscheinen recht seltsame Kombinationen in sonst verbreiteten Streuwiesentypen, die man nur hier noch auf grossen Flächen finden kann.

3 PFEIFENGRASWIESEN – DIE MUTTERFLÄCHEN DES STREULANDES

Den grössten Anteil am Streuland nehmen die Pfeifengraswiesen ein. Diese gehören mehrheitlich zu den Binsen-Pfeifengraswiesen, die vor der Melioration torfiger Standorte sehr weit verbreitet waren und eine Anzahl von Pflanzen saurer Standorte beherbergen, z. B. einige Binsen wie Flatter- und Knäuelbinse.

In dieser weitläufigen Landschaft sind vor allem die Pfeifengraswiesen (vgl. Tab. 1 mit den wichtigsten Arten; Beitrag GRABHER) auf ihrem Untergrund sehr grossflächig ausgebildet und fangen den Blick mit den oben genannten üppig wachsenden Singularitäten, aber auch mit einigen anderen reichlich blühenden, weniger seltenen Arten ein. Noch reicher an ornamentalen Arten sind saure Pfeifengraswiesen auf weniger torfigen, oder dann auf den basischen Mineralböden mit z. B. den folgenden auffälligen Arten: Gebräuchlicher Wiesenknopf, Spierstaude, Blutweiderich, Färberscharte, Wasserdost, Sumpfkratzdistel, Vogelwicke.

Häufige Arten in allen Pfeifengraswiesen, aber auch in den weitflächigen Hochstaudenriedern, sind z. B. Engelwurz[2]), Weisses Labkraut und Sumpf-Haarstrang, alles mehr oder weniger auffällige Hochstauden. Verschiedene Typen entwickeln sich je nach Untergrund und Torfdicke, so z. B. die Kammfarn-Ausbildung mit viel Rundblättriger Glockenblume und Breitkölbchen auf dicken, bis 9 m mächtigen, oberflächlich sehr sauren Torfschichten (z. B. in den zentralen Teilen, im Mosaik mit Kulturland), teilweise ganz im Süden mit Inseln einer artenarmen, bultigen Torfmoos-Ausbildung, die bereits hochmoorartig wirkt (mit z. T. Arten aus den sauren Kleinseggenriedern wie Sumpf-Torfmoos, Igelsegge, Braunsegge und auch Weissmoos). Dagegen tragen mineralkräftigere Böden viel artenreichere Bestände mit der bereits oben zitierten Spierstauden-Gruppe, denen sich stellenweise Arten der trockeneren Kopfbinsenrieder und häufig z. B. der Gebräuchliche Ziest beimischen. Ausser in den zentralen Teilen herrscht diese Ausbildung vor. Bei grösserer Bodenfeuchtigkeit zeigt sich bereits die Haarsegge, die ihr Schwergewicht in Übergangsmooren hat.

In diesen Ausbildungen sind eine ganze Reihe von Arten beheimatet, die im Fürstentum, teilweise aber auch im weiteren Umkreis, selten vorkommen. Namentlich in den nördlichen und mittleren Bereichen der Kammfarn-Ausbildung erscheinen einige Arten, die sonst auch auf basenreicheren Böden vorkommen, so z. B. der Gekielte Lauch, die Filz- und die Frühlings-

[2] Wissenschaftliche Namen siehe GRABHER.

Segge, Kümmel- und Wiesensilge sowie das Kahle Turmkraut. Ausserdem lassen sich auch die Schattensegge, Reuter's Labkraut (aus der Sumpf-Labkraut-Gruppe) und Berg-Veilchen sehen, während in der Torfmoos-Ausbildung des Südwestens stellenweise Sumpf-Veilchen vorkommen.

Am reichsten an bemerkenswerten Arten ist die am stärksten basiphile Spierstauden/Ziest-Ausbildung, die auf der ganzen Verbreitungsfläche Überraschungen bereithält, so neben dem schon erwähnten Gekielten Lauch die Knäuel-Glockenblume, die Punktierte Segge, Preussisches Laserkraut, Märzenbecher, Helm-Knabenkraut, Einfache Wiesenraute und, in Senken mit Seegras, sogar Grauer Rohrkolben.



Abb. 2. Landschafts-Ausschnitt mit Streuwiesen und Torfhütten (Foto M. Broggi, Sommer 2005).

In den westlichen und östlichen trockensten Randgebieten zeigen sich kaum noch Anklänge an Rohrpfeifengraswiesen, wie sie z. B. besser ausgebildet im Ried von Schwabbrünnen-Äscher und bei Meiningen vorkommen. Einige trockenheitsertragende Arten sind ihnen eigen (Fiederzwenke, Aufrechte Trespe, Dost, Möhre, Frühlings-Schlüsselblume u. a. mehr). Überdies wachsen in einem Feld im Südosten sogar die Bienen-Ragwurz mit den lokal ebenfalls recht seltenen Arten Gekielter Lauch und Grossblättrige Brunelle (vgl. auch Liste der Gefässpflanzen in WALDBURGER et al., 1990; WALDBURGER, 1990; gefährdete Arten).

4 HOCHSTAUDENRIEDER – AUSDRUCK EINFLIESSENDER NÄHRSTOFFE

Vielerorts sind die Torfe stärker vererdet und haben dabei Nährstoffe freigesetzt, oder aber sie liegen bereits im Einflussbereich von stärker kultivierten Acker- oder Grasland-Flächen. Dann können auch etwa monotone Flächen mit dichterem Schilf, Rohrglanzgras, Brennnesseln, Disteln oder mancherlei Hochstauden auftreten (im fast benachbarten Matschels [Grabher] auch mit nordamerikanischen Berufskraut-Arten, z. B. *Erigeron annuum*).

Diese «Verhochstaudung», die nur sehr bedingt und teilweise parallel mit der Verbuschung ungeschnittener Flächen einhergeht, ist unerwünscht. Denn dabei vertreiben mastigere, konkurrenzstärkere Pflanzenarten kleinwüchsige, lichtliebende, oft seltene Arten des nährstoffarmen Streulandes (s. Abb. 2). Und trotzdem wurde in den mittleren Flächen der Hochstaudenrieder als besondere Kostbarkeit eine fast verschollene Pflanze entdeckt: Rehsteiner's Vergissmeinnicht (BALTISBERGER, 1981). Dieses Zusammentreffen war ganz unerwartet, kommt die Art doch sonst nur im eher lichten und gänzlich andersartigen Milieu der kiesigen Strandsäume vor (s. Beitrag von DIENST & STRANG). Dort ist sie wegen der Veränderungen im Gefolge der Eutrophierung fast ganz verschwunden. Erwähnenswert sind schliesslich auch noch Reuter's Labkraut, Hügel-Baldrian und die Echte Rispenhirse (Abb. 2).

5 KOPFBINSENRIEDER – AUSDRUCK EHEMALIGER SEEUFERZONEN

Etwas abgesetzt von den oben besprochenen eher im südlichen oder östlichen Teil erscheinenden Flächen, nehmen im nördlichen Teil,

südlich des Bangser Riedes (vgl. KRIEG und WALDEGGER, 1978; SEITTER, 1975), Kopfbinsenrieder mit viel Mehlprimeln, Orchideen und Wollgras ihren Platz ein. In diesen Flächen erscheint so manche seltene, oft übersehene Art. Denn auf den ausgewaschenen N/P-armen mineralischen Böden der Rheinalluvionen besteht eine bessere Chance für die Erhaltung der begehrten niedrigwüchsigen Streuwiesen. Sie geben im nahezu ständig durchfluteten, oft überschwemmten Zustand ideale Lebensbedingungen für lockere Kleinseggenrasen mit hohem Schutzwert. Gerade hier verbergen sich eine Vielzahl bemerkenswerter und seltener Arten, die für den anhaltenden Ruhm der Kopfbinsenrieder verantwortlich sind.

Glücklicherweise liegen sie hier in durch Intensivlandwirtschaft wenig gestörten Mulden. Denn vielerorts leiden diese oligotrophen Pflanzengesellschaften an Eutrophierungserscheinungen durch einfliessendes nährstoffreicheres Wasser, wobei sich auch hier Grossseggen und Hochstauden auf Kosten der Kopfbinsen (und anderer kleinwüchsiger Arten) ausbreiten. Und gerade hier findet sich auch im Ruggeller Riet der Schwerpunkt der niederwüchsigen typischen Streuwiesenpflanzen aus den Familien der Seggengewächse (inkl. Wollgräser), Binsen, Orchideen, Schmetterlings-, Dolden- und Korbblütler. Darunter sind so versteckt lebende Lückenbüsser wie die Flohsegge, Mehlprimel, Herzblatt u. a. mehr. Aber auch Orchideen wie Zwiebelorchis, Einorchis, verschiedene Knabenkräuter, die Enziane und die populären Sonnentau-Arten haben hier einen Schwerpunkt.

Namentlich kolkartige Vertiefungen mit ihren speziellen kalkreichen oder nährstoffarmen Bedingungen lassen selteneren Arten ihren Platz einnehmen (ähnlich wie im Gebiet Schwabbrünnen-Äscher).

An einer solchen Stelle im Kopfbinsenried wurde schliesslich die in Mitteleuropa äusserst seltene Niedrige Seebinse als aussergewöhnlicher Begleiter solcher Kleinbinsenfluren flacher Seeufer entdeckt. Wie ihr Standort war diese kosmopolitische Art, die z. B. in mittelmeerischen Reisfeldern etwas häufiger ist, auch vom Bodensee und anderen Alpenrandseen gemeldet worden (insubrische Seen, Genfersee). Aber bei schon geringfügigen Änderungen der lokalen Beschattung bleibt die Pflanze unscheinbar oder zieht ganz ein.

Viele dieser Arten der «Roten Liste» können wir erst in einiger Entfernung wieder bewundern, so z. B. am und beim oberen Bodensee (Altenrhein, Dornbirn), und hier erscheinen sie mit Vorzug im nasseren Flügel der Kopfbinsenrieder. Diese leiten z. B. bereits zu den «monokulturartigen» Sumpfschneidenriedern über, die vor allem im östlichen Mittelteil angedeutet sind (Einzelheiten zur floristischen Zusammensetzung der Streuwiesen s. Beitrag GRABHER).

6 UNVERHOFFTE FUNDE IN WEGEN, TEICHEN UND TÜMPELN

Weitere Überraschungen zeigen sich entlang oder auf den unbefestigten Wegen. Die Flora dieser Wege ist abhängig von den spezifischen Standortsbedingungen der so durchlaufenen Streuland-Typen.

In dieser binsenreichen, lockeren Wegvegetation finden sich viele lichtliebende, heute sehr seltene Arten, die teilweise auf wenig begangene und kaum befestigte Wege in offener Seeufervegetation angewiesen sind (z. B. mit viel Zypergras).

In feuchten Radspuren wächst sogar noch der Kleinling und u. a. der Dreiblatt-Zweizahn. Aber selbst diese Standorte sind infolge des perfektionierten Wegebaus nahezu verschwunden und damit ein wichtiges Sekundär-Biotop für bedrohte Arten flacher Uferzonen nährstoffärmerer Stillwasser.

Besonders fündig sind manchmal die Wegränder entlang gut entwickelter Pfeifengras-Streuwiesen. So fanden sich im Bereich der Ausbildung mit Kammfarn, namentlich im mittleren Teil, z. B. Kresseblättrige Rampe, Später Zahntrost, Raukenblättriges Kreuzkraut und Sumpfrispe, in der Ausbildung mit Ziest und Spierstaude, u. a. Französische und Kresseblättrige Rampe, Hirschwurz, Schmalblättriger Klappertopf, Grossblütige Brunelle, Schmalflü-

gelige Kreuzblume sowie Armblütige Sumpfbinse, nicht zu vergessen in Wegen desselben Bereiches auch noch Alpen-Leinkraut, Spargelerbse, Erdbeerklee und Knotiges Lieschgras.

Oft recht reichhaltig sind auch die Klein-Gewässer und Gräben. Sie sind nahe verwandt mit der Verlandungsvegetation eher eutropher Seen. Denn sie zeigen die typischen Schwimmblattfluren, Röhrichte und Grossseggenrieder. Auch hier sind einige seltene Arten aufzudecken, so z. B. Wildreis (*Leersia oryzoides*), Walzensegge und Zypergrassegge sowie auch Übersehener Wasserschlauch.

In den sehr oligotrophen Kleingewässern sind gelegentlich auch Arten zu finden, die unter dem Druck der Landschaftsnutzung sehr selten geworden sind. So erscheint hier immer noch die Gesellschaft mit Kleinem Igelkolben und verschiedenen Wasserschlauch-Arten (Übersehener, Kleiner, Hellgelber Wasserschlauch) in solchen ganzjährig nassen Standorten.

Nur in Gräben und dergleichen sind auch die oben erwähnten bemerkenswerten Arten sowie der Nickende Zweizahn aus den nährstoffreicheren Gewässern. Schliesslich hat sich in einer flachen durchnässten Mulde des Ackerlandes das Gestreifte Süssgras angesiedelt.

Überhaupt ist im mosaikartig verteilten Kulturland, namentlich in beackerten Lagen des Südens, manche erwähnenswerte und nicht von vorneherein erwartete Art zu bemerken, so z. B. Zweischnittige, Faden- und Bluthirse, Fuchsseggenähnliche Segge, Ausgerandeter Hohlzahn, Vierflügeliges Johanniskraut und Polyanthemusblättriger Hahnenfuss.

7 EINIGE GEDANKEN ZUR SICHERUNG UND PFLEGE DES GEBIETES

Alle Streuwiesen des Ruggeller Riets würden ohne Zutun des Menschen verbuschen oder sich wieder bewalden; auf nährstoffreicheren Böden würde sich auch sehr lange ein waldfeindliches Hochstauden-Stadium halten können. Es ist anzunehmen, dass nur bei «traumatischen Ereignissen» – so z. B. durch «ackernde» Wildschweine, Schneedruck (Spätschnee), Windfall – genügend grosse lichte Löcher gebildet würden, in denen Holzpflanzen, Weiden- und Birkengewächse zusagende Bedingungen finden könnten.

Alle feuchteren Streuwiesen würden in von Schwarzerlen (mit-)beherrschte Feuchtwälder übergehen, teilweise sogar in fast ganzjährig nasse, ja überschwemmte Bruchwälder, die trockeneren dagegen in eichen- und eschenbeherrschte Edellaubwälder. Es würden mithin wieder Wälder entstehen, die sich bei der Anlandung im Flussuferbereich bilden oder aber bei der Verlandung von Altläufen. Diese Beziehungen zwischen den verschiedenen Waldgesellschaften und Waldstandorten sind aus den Arbeiten von ROULIER und BURNAND et al. in diesem Werk ersichtlich. Aus deren Darstellung geht hervor, wie bei den verschiedenen dynamischen Vorgängen im Flussuferbereich die einzelnen Pflanzengesellschaften entstehen und bei Sukzessionsvorgängen (Alterung, Standortveränderungen aller Art) von anderen abgelöst werden. Auch heute noch sind Anklänge an eine solche Waldvegetation am Beispiel einiger Feldgehölze und Baumgruppen im Bereiche von Ruggell und Schellenberg zu sehen. Um die Riedflächen offen zu halten, sind sie somit frühestens ab Mitte September zu mähen, und die Streue ist abzuführen (Näheres zu den einzelnen Streuwiesen-Pflanzengesellschaften s. bei GRABHER).

Diese Mahd bedeutet natürlich nicht, dass man die gesamte Ebene «auf den Stock setzen» soll. Gerade die vielen Busch- und Baumgruppen (aber auch die Torfhütten) machen in harmonischer Art und Weise den Reiz der Landschaft aus. Im Bereich des ehemaligen Kulturlandes oder schlecht unterhaltener Streuwiesen könnten auch noch weitere Weiher in geringem Umfang eingerichtet werden.

Eine Rückführung von gedüngtem Grünland in Streu- und Moorwiesen ist in ebener Lage ein sehr langwieriger und – nach neueren Untersuchungen – fast säkulärer Prozess. Immerhin könnte man schon heute dieses Problem der Rückführung experimentell angehen (so z. B. auch mit gezielter Abschürfung der nährstoff-

reicheren Humuspakete und allfälliger Einsaat von Pfeifengras und anderen häufigeren Arten).

Mit all diesen Massnahmen wird es möglich sein, dieses grossflächige, vegetationskundlich so bedeutsame Feuchtgebiet mit all seinen Fazetten in vollem Umfang und in seiner ganzen landschaftlichen Eigenart zu erhalten. Denn das Ruggeller Riet hat als grösster und vielseitigster Rest der ehemaligen ausgedehnten Rheintaler Moore aus der Sicht aller drei beteiligten Länder internationale Bedeutung.

8 LITERATUR

BALTISBERGER, M. 1981. *Myosotis rehsteineri* Wartm. im Ruggeller Riet (FL). Berichte des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rübel, Zürich 48, Bericht für das Jahr 1980.

BROGGI, M.F. & GRABHERR, G. 1989. Erhaltungskonzept Flach- und Zwischenmoore im Talraum des Rheintals und Walgaus, Vorarlberger Landschaftspflegefonds.

BROGGI, M. & WILLI, G. eds, 1990. Naturmonographie Ruggeller Riet. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg 18, 493 pp. Hierin auch die Publikationen von:

- BROGGI, M.F. 1990. Steckbrief Ruggeller Riet. pp. 13–27.
- OSPELT, A. 1990. Das Ruggeller Riet – Geschichte der Nutzung und des Besitzes. pp. 39–53.
- KLÖTZLI, F. 1990. Eine Vegetation mit erstaunlicher Vielfalt. pp. 75–86.
- WALDBURGER, E., SEITTER, H. & KAUFMANN, W. 1990. Gefässpflanzen. pp. 87–106.
- WALDBURGER, E. 1990. Die gefährdeten und seltenen Gefässpflanzen. pp. 107–112.

DALANG, TH. 1973. Bericht zur Vegetations-Kartierung des Ruggeller und Schellenberger Rietes. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft 72, 30–53.

GUNTLI, A.P. 1989. Ligningehalt und andere Merkmale des Schilfhalmes in Beziehung zur Röhrichtbewirtschaftung. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rübel, Zürich 103, 65 pp.

KLÖTZLI, F. 1972. Vegetationskundliches Gutachten Ruggeller Riet. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft 71, 49–51.

SEITTER, H. 1972. Geschichte der Riedwiesen Liechtensteins unter besonderer Berücksichtigung des Ruggeller Rietes. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft 71, 32–41.

SEITTER, H. 1975. Ein botanischer Streifzug im Bangser Ried. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft 74, 41–43.

Tab. 1. Legende zur Vegetationskarte 1972

Es wurden von Dalang bzw. Klötzli (1973), Geobotanisches Institut, ETH Zürich, acht Pflanzengesellschaften ausgeschieden, nämlich:

Saturejo-Molinietum arundinaceae (Rohrpfeifengraswiesen), mit 1,4 ha
Junco-Molinietum, Dryopteris cristata-Ausbildung (Pfeifengraswiese mit Kammfarn), mit 11,7 ha
Junco-Molinietum, Sphagnum-Ausbildung (Pfeifengraswiese mit Torfmoos), mit 0,3 ha
Junco-Molinietum, artenreiche Ausbildung mit *Filipendula ulmaria* und *Stachys officinalis* (Pfeifengraswiese mit Spierstaude und gebräuchlichem Ziest), mit 23,8 ha
Valeriano-Filipenduletum (Spierstaudenried), mit 8,5 ha
Primulo-Schoenetum ferruginei, trockene Ausbildung (Kopfbinsenried), mit 4,5 ha
Primulo-Schoenetum ferruginei, typische Ausbildung, mit 4,7 ha
Cladietum marisci (Sumpf-Röhricht) mit Kleinbeständen und Anklängen.

Die vorerwähnten Flächengrössen der einzelnen Gesellschaften basieren auf dem veränderten Stand Ende 1978.

In der Vegetationskarte 1972 werden zudem die verbuschten Flächen, das Kulturland im Aufnahmeperimeter sowie andere Störfaktoren angegeben.

Prof. em. Dr. Frank Klötzli, Gartenstrasse 13, CH-8304 Wallisellen

Objekte von besonderem Schutzwert am Rhein in Graubünden

Georges Ragaz und Josef Hartmann (Chur)

Der Rhein, eine wichtige Lebensader des Kantons Graubünden, entwässert mit seinen Nebenflüssen rund 2/3 der Oberfläche des Kantons Graubünden. Mit zwei Quellgebieten, zwei wichtigen Ästen in den Haupttälern des Kantons, Schluchten und vielen speziellen Lebensräumen an den Ufern ist der Rhein aus dem Kanton nicht wegzudenken. Er, der Rhein, ist ein Strom, und es fasziniert immer wieder, den Gedanken ihren Lauf zu lassen und einen Tropfen Wasser von der Quelle bis zur Mündung ins Meer zu begleiten. Soweit soll es aber jetzt nicht gehen. In der Bündner Herrschaft verlässt der Rhein den Kanton. Dort wird die Übersicht über schutzwürdige und geschützte Lebensräume und Landschaft am Rhein enden. (Weitere untenliegende Objekte sind in den Beiträgen von GRABHER, SCHLEGEL, ROULIER, KLÖTZLI, usw.) Viele Schutzgebiete säumen die Ufer des Rheins, wenn er durch die Täler fliesst. Aber auch die wichtigen Nebenflüsse gehören zu diesem System. So prägt das Wasser dieser Flüsse und des Stromes mit ihrer Dynamik und Vielgestalt die Landschaft Nord- und Mittelbündens.

1 DIE QUELLEN

Bekanntlich vereinigen sich in Reichenau/Tamins die beiden Quellflüsse des Rheins, Vorder- und Hinterrhein, zum Alpenrhein. Die eigentliche Quelle des Rheins, das heisst derjenige Ort, wo das Wasser aus dem Boden tritt, welcher am weitesten weg ist vom Meer, liegt oberhalb des Tomasees in der Surselva, dem Vorderrheintal. Der Tomasee als Quellgebiet des Rheins bildet ein Objekt des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung, im Weitern BLN genannt (BLN-Objekt Nr. 1901, Lag da Toma). Der Bergsee als Symbol der Quelle des Rheins bewegt nicht nur die Sinne, es ist auch eine hervorragend schöne Landschaft mit dem blauen Auge, dem See, im Zentrum. Die Bedeutung dieser Landschaft wird noch erhöht durch die teilweise Überlagerung mit einer Moorlandschaft von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung, einem Objekt des gleichnamigen Bundesinventars (ML-Objekt Nr. 315 Maighels), geprägt von Bergseen und diversen Flachmooren von nationaler und regionaler Bedeutung.

Der Hinterrhein entspringt am Rheinwaldhorn, dem höchsten Gipfel der Adulagruppe. Das Quellgebiet mit den Gletschern (v. a. Zapport-Gletscher), den Gletschervorfeldern und der ehemals wunderschönen hochalpinen Schwemmebene von Hinterrhein bildet die Grundlage für eine weitere Landschaft von nationaler Bedeutung (BLN-Objekt Nr. 1907, Quellgebiet des Hinterrheines und San Bernardino-Passhöhe). Das Gebiet bildet einen Teil des zurzeit diskutierten neuen Nationalparks Parc ADULA. Die zweite Quelle des Rheins liegt in einer eindrücklichen Hochgebirgswelt mit Gletschern, wilden Wassern und viel Natur. Durchbrochen wird diese Landschaft nur von einem Panzerübungsschiessplatz.

2 DIE SCHLUCHTEN

Was wäre der Rhein ohne seine Schluchten. Die Kraft und Dynamik des Wassers als Landschaftsgestalter zeigt sich nirgends so eindrücklich wie bei Schluchten. Schon deren Namen Rofla, Via Mala und Ruinaulta lassen aufhorchen. Die Rheinschlucht – Ruinaulta, schon der Name birgt etwas Mystisches in sich –, durchbricht den gewaltigen Flimser Bergsturz aus dem Zeitbereich Ende letzte Eiszeit auf über 12 km Länge bis über 400 m Mächtigkeit. Die Landschaft wird geprägt von heute noch aktiven Erosionshängen, welche hell aus den dunkleren Erika-Föhren-Wäldern herausragen. Im Tal-

grund windet sich der Vorderrhein durch die Schlucht Ruinaulta, begleitet vom einzigen richtigen Eingriff, der Rhätischen Bahn, welche aber ihrerseits samt ihren Kunstbauten schon wieder fast ein Kulturdenkmal darstellt. Diese Landschaft hat unbestrittenermassen nationale Bedeutung (BLN-Objekt Nr. 1902, Ruinaulta) (Abb. 1). Dass sich am Vorderrhein in der Ruinaulta auch Auengebiete befinden, welche nationale Bedeutung haben, ist dank der Abgeschiedenheit gewährleistet. Diese Auengebiete sind von besonderer Bedeutung als Lebensraum unter vielen anderem für die beiden Vogelarten Flussregenpfeifer und Flussuferläufer, für welche der Kanton Graubünden eine grosse Verantwortung trägt. Die Zunahme der touristischen Nutzung im und am Wasser (Paddeln, River-Rafting, Fischen, Picknicken, Wandern usw.) und die geplante bessere Vermarktung haben zu einem Projekt geführt, welches über die Gemeindegrenzen hinweg den Schutz und die Nutzung der Ruinaulta regeln soll. Dieses steht kurz vor dem Abschluss.



Abb. 1. Der Vorderrhein in der Ruinaulta bei Versam Station



Abb. 2. Der Hinterrhein in den Rheinauen bei Räzüns

Am Hinterrhein befinden sich die drei Talschaften Rheinwald, Schams und Domleschg. Diese Talschaften werden durch zwei klassische Schluchten voneinander getrennt, die Rofla und die Via Mala. Bei diesen beiden Schluchten handelt es sich um Geotope von regionaler Bedeutung. Nimmt man die vielen historischen Wege durch diese Schluchten hinzu, ist die nationale Bedeutung offensichtlich. Für die Geschichte des Alpen-Transit-Verkehrs in Graubünden spielen diese Schluchten ebenfalls eine wichtige Rolle. Chroniken und Reiseberichte erzählen manch' schauerliche Geschichten. Vor dem Zusammenfluss der beiden Rheine durchquert der Hinterrhein eine weite, breite Schlucht, geprägt von ausgedehnten Auen, welche von den Kulturdenkmälern Schloss Rhäzüns und der Kirche Sogn Gieri gesäumt werden (BLN-Objekt Nr. 1903, Auenlandschaft am Unterlauf des Hinterrheins) (Abb. 2). Erfreulicherweise bildet diese Auenlandschaft auch Bestandteil des Aueninventars des Bundes. Es handelt sich dabei um den grössten frei fliessenden Teilabschnitt mit ausgedehnten Auen am Rhein (157 ha). Unvollständig wäre die Übersicht über die Landschaften am Rhein ohne den Hinweis auf das Trockengebiet von europäischer Bedeutung im Domleschg, die Scheidhalde (BLN-Objekt Nr. 1906, Trockengebiet im unteren Domleschg). Mit dazu gehört eine hervorragende Kulturlandschaft mit Schlössern (Ortenstein, Paspels, Rietberg usw.), Burgruinen (Niederjuvalta, Alt- und Neusins) und Kirchen (Scheid, Tomils, Paspels). Ein breit angelegtes Projekt zur Erhaltung dieser Kulturlandschaft zusammen mit der Landwirtschaft läuft seit einigen Jahren.

3 DER VEREINIGTE RHEIN

Der Vereinigte Rhein, neu auch Alpenrhein, von Reichenau bis an den Bodensee, durchfliesst das Churer Rheintal und die Bündner Herrschaft. Der Zusammenfluss ist geprägt von den Flimser und Taminser Bergstürzen. Reste des Taminser Bergsturzes prägen eine Tomalandschaft in der Gemeinde Domat/Ems. 11 Hügel ragen zwischen 13 und 68 Meter aus der Alluvialebene empor, teilweise gekrönt von Kapellen und Kirchen (BLN-Objekt Nr. 1911, Tomalandschaft bei Domat/Ems). Bei Mastrils finden wir das grösste Auengebiet am Alpenrhein. Ein Hinweis auf die doch besondere Kulturlandschaft am Rhein in der Bündner Herrschaft, die Reb- oder Weinlandschaft, darf an dieser Stelle nicht fehlen. Die nationale Bedeutung dieser Landschaft ist vor Jahren diskutiert worden, dies auch von der Landesplanung her. Im Bereich eines weiteren Auengebietes verlässt der Rhein den Kanton bei Fläsch.

4 DIE NEBENFLÜSSE

Verschiedene Nebenflüsse des Rheins erfassen weitere besondere Landschaften. Dazu gehört das Einzugsgebiet des Rein da Medel und des Rein da Sumvitg. Sie haben ihren Ursprung im Gebiet des Piz Medel und der bekannten Greina. Dieses Gebiet bildet eine weitere Landschaft von nationaler Bedeutung (BLN-Objekt 1913, Greina – Piz Medel). Auch diese Landschaft ist im Gespräch als Teil des neuen Nationalparks ADULA. Die Hochebene der Greina ist ja schon vielfach beschrieben worden, so dass sich weitere Worte erübrigen (vgl. Beitrag von STÄHLI).

Am Albulapass bei Weissenstein entspringt ein weiterer wichtiger Nebenfluss des Rheins, die Albula. Dort findet sich eine weitere Gebirgslandschaft mit Gletschern und Hochgebirgsauen (BLN-Objekt 1905, Kesch – Ducan). Dieses Gebiet bildet Teil des in der Region Mittelbünden beschlossenen Regionalen Naturparks «Parc ELA». 21 Gemeinden im Albulatal und im Oberhalbstein haben sich für die Begründung dieses Parks zusammengetan, eine Charta für die Erhaltung, Pflege und nachhaltige Nutzung der Landschaft erlassen und für den Vollzug einen Verein gegründet. Eindrücklich, auch wenn teilweise eingestaut, ist die Schinschlucht zwischen Tiefencastel und Sils im Domleschg und der Zufluss der Gelgia aus dem Oberhalbstein bei Tiefencastel.

Bleibt noch der Hinweis übrig auf die Landquart. Auch dieser Fluss entspringt in einer Hochgebirgslandschaft mit Gletschern und Auen (BLN-Objekt Nr. 1910, Silvretta – Vereina). Das sagenumwobene Gebiet birgt viele Schönheiten mit einer naturnahen, extensiv genutzten Landschaft. Mit dazu gehören auch die bekannten Jöriseen oberhalb des Flüela-Passes. Im St. Antöniertal findet sich eine weitere Landschaft von nationaler Bedeutung. Es handelt sich um eine Moränen- und Karstlandschaft mit verschiedenen Höhlen (BLN-Objekt 1914, Plasseggen – Schijenflue). Eine Höhle hat Schlagzeilen gemacht durch die Funde von Knochen des Höhlenbären und verschiedener anderer Tiere aus prähistorischer Zeit.

Unerwähnt bleiben die verschiedenen Flach- und Hochmoore sowie Moorlandschaften von nationaler Bedeutung und besonderer Schönheit gemäss Bundesinventaren, die Amphibienlaichplätze von nationaler Bedeutung und die vielen Landschaften regionaler Bedeutung, welche alle in diesen Tälern zu finden sind (vgl. die Beiträge von SCHLEGEL et al.; vgl. LIPPUNER und HEUSSER in diesem Werk).

5 DIE AUEN

Im Einzugsgebiet des Rheins finden sich von den Quellen bis in die Bündner Herrschaft eine Vielzahl von Gletschervorfeldern, Schwemmebenen und Auen von nationaler, aber auch regionaler Bedeutung. Mehrere Quellflüsse des Rheins beginnen ihren Lauf an einem Gletscher. Gletschervorfelder sind nicht wie andere Auen einem eigentlichen Hochwasserregime unterworfen. Charakteristisch für Gletschervorfelder sind zahlreiche rasch fliessende und sich ändernde Gerinne. Die starke Strömung verhindert die grossflächige Ablagerung von feinen Sedi-

menten. Typisch sind daher ausgedehnte Schotterfelder, auf denen Fleischers Weidenröschen und der Säuerling zu den regelmässigsten Pionieren gehörten. Auch diverse zum Teil seltene Weidenarten können in Gletschervorfeldern gefunden werden (vgl. Beitrag von ROULIER in diesem Werk).

Besonders schöne Schwemmebenen im Einzugsgebiet des Rheins sind das Val Frisal, der Obere und Untere Segnesboden und die Greinaebene mit zum Teil artenreichen Quellfluren und ausgedehnten Flachmooren. Der Untere Segnesboden in der Gemeinde Flims ist gleichzeitig im Inventar der Moorlandschaften von nationaler Bedeutung enthalten.

Die Auen bei Rhäzüns am Hinterrhein, die Auen Cauma und in der Rheinschlucht am Vorderrhein sowie die Mastrilser Auen am Alpenrhein gehören zu den unberührtesten und vielfältigsten Lebensräumen in Graubünden. Neben dem Flussuferläufer und Flussregenpfeifer gehören Zwergrohrkolben und Deutsche Tamariske zu den grössten Kostbarkeiten dieser Auen. Obwohl die nationale Bedeutung der Mastrilser Auen unbestritten ist, sind sie noch nicht im Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung enthalten. Ausserhalb dieser Gebiete kann der Rhein nur noch an wenigen Stellen frei fliessen und seine volle Dynamik entfalten. Beeinträchtigt wird die Situation an diversen Orten durch die Nutzung der Wasserkraft.

Hinzuweisen ist hier sicher auch auf die noch nicht erwähnten Auen bzw. Gletschervorfelder von nationaler Bedeutung am Hinterrhein vom Tambo- und Paradiesgletscher sowie am Porchabellagletscher und die Auen am Zusammenfluss von Hinterrhein und Albula, am Avnerrhein sowie am Errbach. Am Vorderrhein sind es insgesamt 12 Hochgebirgsauen und 7 Auen am Rhein sowie am Rein da Sumvitg, welche im Bundesinventar aufgenommen worden sind. Das Auengebiet der Ognas da Pardiala bei Waltensburg bildet seit einigen Jahren eines der grössten Naturschutzgebiete neben dem Nationalpark in Graubünden, welches vertraglich auf 30 Jahre hinaus geschützt ist. Aber auch dieses Gebiet ist durch Verbauungen vom Fluss abgetrennt. Das gilt auch für den Ellwald unmittelbar bevor der Rhein den Kanton verlässt. Hier liegen auch die wichtigsten und artenreichsten Amphibienlaichplätze in Graubünden. Am Rhein finden sich aber auch grosse Revitalisierungspotenziale. Ein erstes Revitalisierungsprojekt wurde vor Jahren bei Chur und Felsberg realisiert. In Arbeit befindet sich ein grösseres Revitalisierungsprojekt an der unteren Landquart von Schiers bis zur Mündung in den Rhein (vgl. Beitrag SCHLEGEL in diesem Werk).

6 DER SCHUTZ

Mit dem kantonalen Richtplan sind praktisch alle Landschaften und besonderen Lebensräume von nationaler und regionaler Bedeutung behördenverbindlich geschützt worden. Dieser Richtplan ist vom Bundesrat genehmigt worden und hat damit Rechtskraft. Die Gemeinden sind nun gehalten, dort wo sie es noch nicht gemacht haben, diese Gebiete dem notwendigen Schutz zuzuführen. Viele Gebiete sind jedoch schon heute einer Schutzzone zugeteilt worden, seien dies Landschaftsschutzzonen oder Naturschutzzonen. Projekte wie der Regionale Naturpark «Parc Ela», der zur Diskussion stehende neue Nationalpark «Parc ADULA» oder das geplante Naturmonument «Die Rheinschlucht – Ruinaulta» werden mithelfen, die schönen, wertvollen Landschaften und Lebensräume zu schützen, zu pflegen und wo nötig zu revitalisieren. An Ideen fehlt es nicht.

Der Rhein und sein Einzugsgebiet haben wahrlich nationale Bedeutung.

Dipl. Forsting. ETHZ/SIA, Georges Ragaz, Amt für Natur und Umwelt, Gürtelstrasse 89, CH-7000 Chur, E-Mail: georg.ragaz@anu.gr.ch

Dr. Josef Hartmann, Amt für Natur und Umwelt, Gürtelstrasse 89, CH-7000 Chur, E-Mail: josef.hartmann@anu.gr.ch

Respekt vor der Rheinlandschaft – Überlegungen aus naturethischer Sicht

Fridolin Stähli (Aarau)

Seele des Menschen,
wie gleichst du dem Wasser!
Schicksal des Menschen,
wie gleichst du dem Wind!
J. W. Goethe

1 PROLOG

Im Wasserschloss der Schweiz, wo Limmat, Reuss und Aare zusammenfliessen und vereint weiter nordwärts in den Rhein strömen, liegt der schöne, alte Park von Königsfelden. Dort gründeten die Habsburger im frühen 14. Jahrhundert eine Klosteranlage, berühmt geblieben bis heute sind die Glasmalereien im Chor der gotischen Kirche. Das Franziskusfenster mit der *Vogelpredigt* ist das bekannteste. Franz spricht zu aller Kreatur − zu Tieren, Bäumen, Pflanzen und allem, was aus dem Erdreich stammt. Seine sanftmütige Demut allen Menschen und aller Kreatur gegenüber wird in den Legenden über den Heiligen besonders hervorgehoben – alle sind ihm Schwester und Bruder: alles Lebendige und der Tod, die Sonne und der Mond, Wasser und Steine, wie es neben der *Vogelpredigt* auch der berühmte *Sonnengesang* ausdrückt. Franziskus hat ein kosmologisches Naturverständnis und ist ein erster Künder des Mitgeschöpflichkeitsgedankens.

2 PHYSIOZENTRISCH-HOLISTISCHE HALTUNG

Diese Grundhaltung der Vor- und Fürsorglichkeit − wie von Franziskus exemplifiziert − ist für mich zentral. Sie verweist auf eine holistische Haltung, die uns Menschen einen Platz innerhalb und im Einklang mit der Natur zuweist, und sie fordert uns auf, diese als *Mitwelt* und nicht nur als Ressourcen spendende Umwelt zu betrachten. Wir wurden nicht in eine Welt zu unseren Diensten geboren, sondern sind gleichzeitig durch sie und mit ihr in einem langen Entwicklungsprozess entstanden. So verwende ich im Folgenden die Formulierung *«physiozentrisch-holistische Haltung»*; darunter verstehe ich, dass die lebendige und abiotische Vielfalt zu respektieren und zu schützen ist, und zwar deshalb, weil alle und alles – also Menschen, Tiere, Pflanzen, Steine und Ganzheiten, zum Beispiel die Flusslandschaft des Rheins – Eigenwert besitzen, und das fordert von uns notwendigerweise die direkte moralische Berücksichtigung der Wesen und Dinge an sich. Wir Menschen haben gegenüber allen Wesen, Dingen und Ganzheiten der Natur – wie Hans Jonas (1979, 29) das festgehalten hat – eine «Treuhänderrolle», und er fragt rhetorisch, «ob der Zustand der aussermenschlichen Natur, die Biosphäre als Ganzes und in ihren Teilen, die jetzt unserer Macht unterworfen ist, eben damit ein menschliches Treugut geworden ist und so etwas wie einen moralischen Anspruch hat – nicht nur um unsretwillen, sondern auch um ihrer selbst willen und aus eigenem Recht.»

Der norwegische Philosoph Arne Naess (1997, 188) hat in den siebziger und achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts diesen neuen Blick auf die Natur gefordert und mit einem programmatischen Essay und einem Kern von acht grundlegenden Thesen die Tiefenökologie begründet, die weltweit zu einer wichtigen Bewegung im naturethischen Diskurs bis heute wurde. Die erste These lautet:

> Das Wohlbefinden und Gedeihen menschlichen und nichtmenschlichen Lebens auf der Erde hat Wert in sich selbst (Synonyme: *intrinsischer Wert, inhärenter Wert).* Dieser Wert ist unabhängig von der Nützlichkeit der nicht-menschlichen Welt für menschliche Zwecke.

Arne Naess (1997, 189) will diese Formulierung auf die Biosphäre oder genauer auf die

Ökosphäre als Ganzes bezogen wissen, er denkt physiozentrisch und holistisch und erweitert den Begriff des Lebens fundamental, wenn er im Anschluss an seine Grundthese fortfährt:

> Der Begriff «Leben» wird hier in einer umfassenderen nicht-technischen Weise benutzt und bezieht sich auch auf das, was von Biologen als «nicht-lebendig» klassifiziert wird: Flüsse (Stromgebiete), Landschaften, Ökosysteme. Für Unterstützer von Tiefenökologie stehen Slogans wie «Lasst den Fluss leben» für diese breitere Verwendung, die übrigens in den meisten Kulturen üblich ist.

Es geht ihm primär um eine neue Wahrnehmung der Natur; diese gilt es im physiozentrischen Sinn um ihrer selbst willen zu schützen, es geht aber auch um eine neue Sicht auf uns selbst. Der Tiefenökologe scheut nicht davor zurück, die streng philosophische Ausdrucksweise zu verlassen und fordert von uns mehr Achtsamkeit, Respekt und Wachheit; mehr Offenheit und Mitgefühl gegenüber allem, was lebt und ist. Damit einher geht eine Sorge: Ich bin besorgt um mich selbst, um die andern (Familie, Freunde, Fremde), um alles Lebendige (Tiere und Pflanzen) und alle natürlichen Erscheinungen (Elemente, Steine) und Ganzheiten (zum Beispiel die Flusslandschaft des Rheins als Biozönose), kurz um alles Sein im Werden und Vergehen. Das ist die physiozentrisch-holistische Haltung und Sichtweise, die mehr denn je mit der Ökologie verständlich wird. Ohne diese Wissenschaft kann heute keine Naturphilosophie mehr betrieben werden. Die Ökologie lässt sich kurz gesagt als diejenige Wissenschaft beschreiben, die die Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen und ihrer belebten und unbelebten Umwelt untersucht (Klötzli, 1989). Allerdings leiten sich nach dieser mehrheitlich deskriptiv betriebenen Wissenschaft noch keine Normen ab, will man nicht dem naturalistischen Fehlschluss verfallen. Kurz gesagt meint der naturalistische Fehlschluss, dass es keine Ableitung gibt vom Sein zum Sollen, von einer Tatsache zu einem Wert. Dem widerspricht Hans Jonas (1979, 234) mit dem Beispiel des Neugeborenen als «Urbild der Verantwortung». Erblicken wir Menschen ein solches Geschöpf, so folgert Jonas (1979, 235), wüssten wir intuitiv um die Pflicht der Fürsorge. Sein berühmter Imperativ: «Sieh hin und du weisst!» meint aber keine Bitte an die Umwelt; auch Mitgefühl, Erbarmen oder gar Liebe gegenüber einem solchen Geschöpf sind vorerst nicht im Spiel. Er meint zunächst strikte nur, «dass hier das Sein eines einfach ontisch Daseienden ein Sollen für andere immanent und ersichtlich beinhaltet». Jonas schliesst seine Überlegungen mit der Erwägung, dass sich dieses Urbeispiel sinngemäss auch auf andere Verantwortungshorizonte erweitern liesse. Ich denke, dass sich hier die Tiefenökologie anbietet, weil sie das Empathievermögen und die Identifizierung des Menschen mit der Natur fordert. Naess meint aber auf keinen Fall, dass wir bloss die Moral auf andere Lebewesen und Entitäten erweitern sollten; er sieht das viel radikaler: Wir sollen uns selbst mehr und mehr mit der restlichen Natur verbunden fühlen. Und diese Verbundenheit oder dieses Aufgehen im Ganzen erfahren wir in der Tat in der ökologischen Idee, dass alles mit allem zusammenhängt und sich wechselseitig beeinflusst. Naess (1989, 50) wörtlich: «We must strive for a greater familiarity with an understanding closer to that of Heraclitus: everything flows. We must abondon fixed, solid points, retaining the relatively straightforward, persistent relations of interdepence.» Daraus folgert der Philosoph: «Relationalism has ecosophical value, because it makes it easy to undermine the belief in organisms and persons as something which can be isolated from their milieux.» (Naess, 1989, 56) Lebendiges und Unbelebtes stehen in wechselseitigen Beziehungen und erhalten deshalb einen «ecosophical value». Und weil dadurch das gesamte natürliche Beziehungsnetz eine Existenzberechtigung gewinnt, und das ohne den Menschen, so könnte ich vereinfacht sagen, folgt daraus, dass der Mensch Respekt vor der Natur haben muss. So wie bei Jonas das Sollen aus dem Sein im Beispiel des Neugeborenen folgt, so steckt ein Keim des Sollens – eben Respekt haben vor der Natur – explizit im Sein der Ganzheit und Wechselseitigkeit der Natur, die seit jeher Wert besitzt

und ihre Existenzberechtigung fordert. Dazu nochmals Jonas in seinem 1988 veröffentlichten Essay «Materie, Geist und Schöpfung» (JONAS 1988, 58 f.):

> Warum dürfen wir nicht, wie die Tiere, *alles*, was wir können? Einschliesslich der Selbstvernichtung? Weil das Sein es uns sagt? Aber bekanntlich, so lehrt uns alle moderne Logik und Philosophie, sagt es uns gar nichts darüber, aus keinem Ist folgt ein Soll. Nun, es kommt auf das «Ist» an. Man muss es sehen und man muss es hören. Was wir sehen, umschliesst das Zeugnis des Lebens und des Geistes – Zeugen wider die Lehre von einer wert- und zielfremden Natur. Was wir hören, ist der Anruf des gesehenen Guten, sein innewohnender Anspruch auf Existenz. Unser Sehen- und Hören*können* macht uns zu Angerufenen seines Gebotes der Anerkennung und so zu Subjekten einer Pflicht ihm gegenüber.

Das ist eine Schlüsselstelle im Naturverständnis von Hans Jonas. Und hier treffen sich Hans Jonas, dem wir die Veranschaulichung des Prinzips einer Ethik für die technische Zivilisation verdanken und der zuvor sich als der «grosse Philosoph des Lebendigen» (NZZ) explizierte (JONAS, 1973), und Arne Naess; denn beide gehen von einer *objektiven* Werthaltigkeit der Natur aus, deren gegenüber wir grundlegende Pflichten haben. Dazu nochmals JONAS (1992, 116): «Das Sein, wie es sich selbst bezeugt, gibt Kunde nicht nur davon, was es ist, sondern auch davon, was wir ihm schuldig sind.» Alle weiteren ethischen Grundsätze und Normen sowie die politischen Appelle werden dann von dieser ontologischen Position aus formuliert, wobei es in Bezug darauf von geringer Bedeutung ist, dass der norwegische Denker konsequent holistisch und ökologisch denkt, Jonas hingegen teleologisch und biozentrisch.

Ich habe oben ausgeführt, dass es Naess explizit um eine neue Wahrnehmung der Natur geht. Er veranschaulicht das am Beispiel des Widerstreits zwischen solchen, die einen Wald bewirtschaften und entwickeln wollen, und anderen, die ihn bewahren wollen. «Confrontations between developers and conservers reveal difficulties in experiencing what is *real*. What a conservationist sees and experiences *as reality*, the developer typically does not see – and vice versa.» (NAESS, 1989, 66) Der Unterschied zwischen den Antagonisten liegt in der Wahrnehmung. Für den einen hat der Wald bloss instrumentellen Wert, für den andern auch einen Eigenwert. Das letztere scheint ohne Empathievermögen, ohne Gefühlsregungen oder tiefe Empfindung, was denn eigentlich ein Wald sei, nicht verständlich zu sein. Der «developer» sieht die Natur als grossen Selbstbedienungsladen an, er muss in vielen Fällen einen Eingriff gar nicht rechtfertigen, im Gegensatz zum «conserver», dem meistens eine emotionale und subjektive Sicht vorgeworfen wird. Übertragen wir diesen Widerstreit auf die Flusslandschaft des Rheins, im speziellen auf den Jahrzehnte langen Kampf um die Greina-Hochebene, die heute glücklicherweise seit fast 20 Jahren definitiv unter Schutz steht, und betrachten wir den Konflikt um die Mastrilser Rheinauen, dann sehen wir, dass hier exakt diese zwei unterschiedlichen Wahrnehmungsweisen aufeinander prallen, die sich kaum versöhnen lassen (vgl. ROULIER in diesem Buch).

3 DIE GREINA LEBT UND DIE RHEINAUEN GEDEIHEN

Ich will in diesem Abschnitt aufzeigen, wie man am Beispiel des jahrzehntelangen Kampfes um die Greina-Hochebene (Abb. 1) und des jüngeren Konflikts um die Rheinauen von Mastrils Landschaftsschutz aus physiozentrisch-holistischer Sicht betreiben und zu einer tieferen Wertsichtigkeit gelangen kann. Auf das Staudammprojekt im Greina-Hochtal wurde 1986 verzichtet, und die Gegend fand Aufnahme im *Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN)* (CADONAU, 1997). Mir ist bewusst, dass bei der Greina, und das gilt auch für andere alpine Moorgebiete in den Schweizer Alpen, so für das Val Madris (gerettet 1997), das Val Curciusa (gerettet im Mai 1999) und das Naturschutzgebiet «Sunnig Aar»



Abb. 1. Greina-Hochebene: oberer Teil mit den Mäandern des Sumvitger Rheins; links im Bild der flache Hügelrücken mit teilweise fast eben liegenden Krummseggenrasen. Foto: F. Stähli 1999; November.

im Grimselgebiet (gerettet im Dezember 1999), letztlich wirtschaftliche Gründe ausschlaggebend gewesen waren für einen Verzicht, weniger ökologische und ethische Überlegungen. Das gilt bis heute wohl auch für den Verzicht eines Ausbaus des Kraftwerkes Reichenau, Stufe Ems-Mastrils, das die Trimmiser Rodauen und die Rheinauen zwischen Zizers und Mastrils verändert hätten. Seit ein paar Jahren führt vor allem der liberalisierte Strommarkt dazu, dass man in den Schweizer Berggebieten mit dem Bau von Talsperren, Pumpspeicherwerken und neuen Anlagen an Flussläufen zurückhaltender wird; zudem wissen die Kraftwerkbetreiber und die Bergkantone, dass die Umweltverbände einen langen Kampf durchzustehen vermögen. Trotzdem ist dieses wilde Flussgebiet am Alpenrhein bis heute noch nicht definitiv in das *Inventar der Auen von nationaler Bedeutung* aufgenommen worden, obwohl verschiedene Einwender dies beantragen und verlangen, dass die Option Wasserkraftnutzung zu streichen sei.

Vor bald 50 Jahren, genau 1957, erhielten die Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK) und die Rhätischen Werke für Elektrizität die Konzession für den Bau eines Wasserkraftwerkes im Gebiet der Greina-Hochebene (STÄHLI und GASSMANN, 2000, 173 ff.). Dem Projekt erwuchs von verschiedener Seite Widerstand, namentlich von Umweltorganisationen und von der eigens gegen dieses Vorhaben gegründeten Greina-Stiftung, die diese grandiose und einmalige Gebirgslandschaft retten wollte und die sich heute allgemein für die Erhaltung der alpinen Fliessgewässer engagiert. Rund 30 Jahre später, 1986, verzichteten die Konzessionsnehmerinnen auf die Realisation ihrer Pläne, weil das Projekt unwirtschaftlich wurde. Wohlgemerkt, nicht weil sie die Einmaligkeit dieser Landschaft anerkannten und damit schützen wollten. Wiederum zehn Jahre später, 1996, kamen die beiden betroffenen Gemeinden Vrin (Lugnez) und Sumvitg (Vorderrheintal) in den Genuss von Ausgleichsgeldern, die der Bund aufgrund

des 1992 revidierten Gewässerschutzgesetzes bezahlt, weil die beiden Gemeinden auf die Einnahmen aus der Wasserkraft Verzicht leisteten. Mit diesen Ausgleichszahlungen ist in der Schweiz erstmals eine Landschaft quantifiziert und damit gleichzeitig auch definitiv gerettet worden. Ich finde diesen Entscheid richtig, auch den ausbezahlten Landschaftsrappen, obwohl dies nur ein geschickter politischer Schachzug ist, niemals aber dem Wert der Greina entspricht. Ständerat René Rhinow hat 1990 im Rat klug argumentiert, als er festhielt, dass nicht ein Verzicht honoriert, sondern ein positives Tun entschädigt würde, nämlich der Schutz einer Landschaft von nationalem Interesse. Rhinow argumentierte staatspolitisch, andere führten das Heimatargument an, die einmalige Schönheit dieser Landschaft mit der reichhaltigen Pflanzen- und Tierwelt (La Greina, 6 ff.).

Was macht die Schutzwürdigkeit der Greina aus? Die Leute, die beim Kampf dabei waren und später darüber schrieben, machen alle anthropozentrische Gründe geltend, auch Hans Weiss (1997, 170), wenn er vom Bedürfnis des Menschen nach Einsamkeit spricht, die eine solche Landschaft wie die Greina befriedigen könne. Wenn aber alle Aktivisten − denen ein grosses Verdienst zukommt und die meine höchste Achtung verdienen − und späteren Autoren solche Gründe ins Feld führen, muss es logischerweise zu einem Interessenkonflikt mit den Politikern und Wirtschaftsvertretern kommen, zu einer Güterabwägung letztlich, die im Fall der Greina 1986 allerdings fast über Nacht glücklich für die Naturschützer ausging.

Hätte man in dieser Debatte einen anderen Weg eingeschlagen, hätte man der Greina einen Eigenwert zuerkannt, hätte man ganz auf die anthropozentrischen Argumente verzichtet, hätte man radikal von der einmaligen Grandiosität dieser Flusslandschaft gesprochen und von einem unendlichen Wert, den dieses Gebiet besitzt, und zwar, provokativ formuliert, unabhängig davon, ob je ein Mensch wieder einmal diese Hochebene aufsuchen würde, so wäre es gar nie zu einer Güterabwägung gekommen. Denn für einen Holisten ist diese Landschaft unveräusserlich: Sie darf niemals angetastet werden, sie gehört zu unserer (Natur-)Geschichte und verdient Weltschutzwürdigkeit. Aus einer solchen Sicht ist es evident, diesen Naturraum zu schützen, und zwar um der Eigenrechte der Lebewesen und Elemente willen, und weil nur die ganze intakte Landschaft die Greina ist und bleibt. Da ist die einmalige, grandiose Hochgebirgslandschaft, geprägt durch glaziale und fluviale Prozesse; der mäandrierende junge Rhein in der Ebene, der in seinem natürlichen Lauf nach Norden bei der Camonaschlucht, wo eine 80 Meter hohe Staumauer hätte gebaut werden sollen, in prächtigen Kaskaden ins Val Sumvitg hinunterdonnert (Abb. 2) und jedem Wanderer, der in die Terrihütte aufsteigt, zum unvergesslichen Erlebnis wird; die Moorfläche mit Fauna und Flora – und in den Schriften über die Hochebene kaum erwähnt −; eine Klimaxvegetation in selten anzutreffender Situation nordöstlich des Val Canal, eine fast ebene, nicht flussnahe Erhebung mit Krummseggenrasen und schliesslich im Quellgebiet des Rein da Sumvitg ein in der Schweiz eher seltenes Gipsgebiet, mit bizarren Gesteinsformationen. (Diese letzten beiden Beobachtungen verdanke ich Prof. Frank Klötzli.) Im Gebiet des Crap la Crusch und beim Bach, der vom Diesrut in die Ebene hinunterfliesst, treten aus den Triassedimenten spektakuläre Rauwackenzüge an die Oberfläche. Die teils senkrecht stehenden und bis zu 200 Meter hohen Bänder bestehen aus Dolomit und Kalkstein (La Greina, 79). Erfordert eine so grosse Vielfalt, Schönheit und Einmaligkeit



Abb. 2. Sumvitger Rhein, Camona-Schlucht (unterhalb der Greina), Foto: F. Klötzli 1985; September.

einer ganzen Landschaft nicht unsere höchste Rücksichtnahme? Die Flüsse, alle Lebewesen und die mächtigen Gebirge, die die Hochebene begrenzen, haben ein Existenzrecht wie wir Menschen. Das gebietet uns Respekt, Ehrfurcht, Scheu. Wir ahnen intuitiv etwas vom Heiligen (im Jonas'schen Sinne verwendet: «unantastbar», «absolut schützenswert») in der Natur und von unserer tiefen Verbundenheit mit ihr.

Von grosser Bedeutung, wenn auch nicht einmalig wie die Greina, sind die Rheinauen zwischen Zizers und Mastrils. In der Zeit, wo die Greina in das *Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung* aufgenommen wurde, beginnt der Konflikt zwischen Naturschützern und der Patvag Kraftwerke AG Ilanz, einer Tochterfirma der EMS-Chemie Holding AG, um die Rheinauen. Über das Projekt, ein Ausbau des Kraftwerks Reichenau, Stufe Ems-Mastrils, mit verschiedenen Anlageteilen (Einlaufbauwerk im bestehenden Wehr bei Reichenau, Druckstollen, Zentrale mit zwei Turbinen am Rheinufer unterhalb des Dorfes Mastrils) wurde 1988 ein detaillierter Umweltverträglichkeitsbericht (MOTOR COLUMBUS, 1988) verfasst, dem mehrere, zum Teil sehr umfangreiche Zusatzberichte (1990, 1992) folgen, die sowohl die technischen als auch die ökologischen Auswirkungen des Eingriffs aufzeigen.

Die Auen im Rheinflussbett werden entscheidend durch die Dynamik der Abflusswassermenge geprägt. Während flussaufwärts von Zizers und Untervaz der Rhein korrigiert worden ist und nur noch schmale Uferstreifen besitzt, breitet sich ab Müleli (Untervaz) das Rheinbett bis zur Landquarteinmündung bei Mastrils zwischen 200 bis 300 Meter aus. Es kommt – typisch für Flussauen – zu Laufverlegungen, Materialabtrag, Materialumlagerung und -ablagerung. Auf den Kiesbänken entstehen ausgesprochene Mangelbiotope, die für viele dort angepassten Tier- und Pflanzenarten eine überlebenswichtige Funktion haben. Besondere Erwähnung verdient in dieser Auenlandschaft, der tiefstgelegenen am Alpenrhein, die gesamtschweizerisch grösste Population des selten gewordenen Flussregenpfeifers (s. Beitrag von ROULIER in diesem Werk).

Der entscheidende Faktor, im ersten Umweltverträglichkeitsbericht angesprochen und in den weiteren Zusatzberichten vertieft untersucht, weil er nicht unumstritten blieb, ist das Restwasserregime. Mit dem Betrieb der Kraftwerkstufe Ems-Mastrils wäre dem Rhein rund 54% der in Reichenau anfallenden mittleren Jahresabflussmenge in einem Druckstollen entzogen worden, die in der Restwasserstrecke des Rheins dann gefehlt hätte. Die Hochwasserabflüsse über 400 m^3/s wären unvermindert abgelassen und der Kraftwerkbetrieb vorübergehend eingestellt worden. Nicht die Hochwassermengen sind also das Problem bei der Beurteilung, auch nicht die baulichen Eingriffe oder die Veränderung der Wasserqualität oder der Wasserfauna, sondern allein die unsichere Prognose darüber, ob die ausgedehnten kahlen und vegetationsarmen Kiesinseln sich wegen des tieferen Mittelwasserstandes allmählich stärker bewachsen und damit eine allmähliche Verbuschung und Bewaldung der heute offenen Kiesflächen eintritt und dadurch den Lebensraum hoch spezialisierter Alluvialbewohner und anderer Tierarten massiv einschränkt und gefährdet oder nicht. Im betroffenen Gebiet erscheint der Rhein heute als typischer Gebirgsfluss mit verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten, unruhiger Wasseroberfläche und Flussrauschen. Nach der Realisierung des Kraftwerkprojektes würde sich der Rhein dem Betrachter während ungefähr sieben Monaten zwischen Oktober und April als langsam fliessender und gezähmter Fluss zeigen, das Rauschen würde weitgehend fehlen und die benetzte Breite wäre viel kleiner; lediglich die verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten blieben erhalten, jedoch stark reduziert. Es würde sich eine zwischen Wuhren mäandrierende Niederwasserrinne, teils mit Aufteilung in Seitenarme, bilden.

Der Schutz einer solchen vielfältigen Auenlandschaft und die naturgemässe Erhaltung eines des letzten frei fliessenden Abschnittes am Alpenrhein sollten eigentlich für alle verständlich sein, auch wenn der Verzicht auf die Wasserkraftnutzung etwas kostet. In der Schweiz existieren jedoch zahlreiche Projekte von Be-

treibern der Wasserkraftnutzung, und in den meisten Fällen ist der strittige Punkt die Restwasserfrage. Seit 1975 ist in der Schweizerischen Bundesverfassung die «Sicherung angemessener Restwassermengen» verankert und durch das neue Gewässerschutzgesetz 1992 ausformuliert worden. Doch bis heute gibt es im Parlament immer wieder Kräfte, die nicht gewillt sind, diese vom Volk beschlossenen Massnahmen zum Schutz der Fliessgewässer umzusetzen. Es kam Ende 2004 im Nationalrat sogar soweit, dass eine Motion unter dem Vorwand, die CO_2-Emissionen zu reduzieren, gut geheissen wurde, die die gesetzlichen Restwassermengen von 1992 wieder aufheben sollen. Das abgezapfte Wasser aber verändert den Fluss und die Landschaft, und damit Flora und Fauna, nachhaltig. «Der Fluss lebt», hat Arne Naess gesagt. Ja, lassen wir doch auch die Rheinauen von Mastrils leben. Nicht wegen der späteren Generationen, die in diesem Gebiet auch noch Naturschönheiten bewundern wollen und Erholung suchen werden. Lassen wir die Auen leben und gedeihen um ihrer selbst willen. Anerkennen wir den Eigenwert einer solchen Landschaft und billigen wir ihr und den einzelnen Lebewesen und Elementen ein Existenzrecht zu.

Nur eine holistische Sicht rettet die Rheinauen und schützt die Greina langfristig. Beide Landschaften sollen als Ganzheiten unangetastet bleiben und bewahren dergestalt ihre Einmaligkeit, Schönheit und Lebendigkeit. Freilich, und dessen bin ich mir bewusst, stellt sich bei dieser These die Frage, ob sich eine solche Argumentationsweise überhaupt öffentlich Gehör verschaffen kann. Wenn ich vom Heiligen in der Natur rede, von der Würde der Natur und den Eigenrechten der Natur, so sind das erstens keine Alltagsbegriffe, zeichnen sich zweitens durch unscharfe Ränder aus, sind zum Teil Metaphern und bleiben drittens deshalb im öffentlich-politischen Raum – trotz des Verfassungsartikels über die «Würde der Kreatur» (Artikel 24novies der BV), der die moralische Rücksichtnahme weit über den zwischenmenschlichen Bereich ausdehnt, wiewohl nicht mit einem holistischen Anspruch – höchst umstritten. Umstritten sind die Begriffe auch deshalb, weil die traditionell anthropozentrische Sicht uns Menschen so stark geprägt hat und weil ein Verlust der Vormachtstellung des Menschen einerseits droht, ein falscher ethischer Egalitarismus andererseits. Doch wenn die Holisten dafür plädieren, dass alles berücksichtigt werden soll, heisst das noch nicht, dass auch alles gleich behandelt werden muss. «Gleicher Eigenwert des Lebendigen, aber verschiedene Verpflichtungen», hat Thomas SEILER (2000, 175) prägnant formuliert. Mit einer solchen Haltung gelangt man zu einem umfassenden Naturschutz, der auch die unbelebte Natur und ganze Flusslandschaften miteinbezieht.

Und in der Tat: Der Blick vom Diesrut am späten Nachmittag in die vom milden Abendlicht getauchte Greinaebene ist grandios und erfüllt mich als Betrachter mit Dankbarkeit. Ich fühle mich in der Natur aufgehoben, von der Natur angesprochen, und im Tausch für meine Wahrnehmung zolle ich ihr meine Achtung und meinen uneingeschränkten Respekt. Begehe ich die Ebene, so gehört meine Achtsamkeit nicht nur den Tieren und Pflanzen, ich zeige sie auch gegenüber der unbelebten Natur und gegenüber der Greina als Ganzheit mit dem jungen, vielfarbigen und ewig mäandrierenden Rhein. Meine Intuition sagt mir: Die Ebene ist um ihrer selbst willen schützenswert, und das ist richtig und gut. Das gleiche gilt für die artenreichen Rheinauen zwischen Zizers und Mastrils.

4 FREIHEIT UND VERANTWORTUNG

In Goethes Faust lesen wir den Vers: «Alles ist aus dem Wasser entsprungen.» (Faust II, 2, 8435) Der Vorderrhein entspringt im Lai da Tuma, der eigentlichen Rheinquelle, einem unberührten Naturort, am südlichen Fusse des Badus und des Piz Tuma auf 2345 Meter über Meer gelegen, gegen Norden und Osten von steilen Felswänden abgeriegelt (vgl. Abb. bei ROULIER); der Hinterrhein an der mächtigen Bergpyramide des Rheinwaldhorns. Beide Flussarme werden im Quellgebiet von zahlreichen Gebirgsbächen gespeist, deren Namen wie reine Poesie klingen: Oberalppassbach, Rein da Tuma, Aua da Urlaun,

Aua da Val, Rein da Curnera, Rein da Maighels, Aua da Nual, Aua da Val Giuv, Aua da Mila, Strem, Rein da Nalps, Aua da Tuma, Aua da Gierm, Aua da Crusch, Segnas; Usser Teiltobel Bach, Weissbach, Schgräjendbach, Maseggbach, Tällialpbach, Plattenbach, Räppierbach (HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ, 1992). Dann vereinigen sich die beiden zum mächtig dahinströmenden Rhein, der, bald nach Norden fliessend, zuerst in den Bodensee mündet, dann als Grenzfluss über fast 150 Kilometer nach Westen zieht, bevor er bei Basel die Schweiz verlässt und durch die rheinische Tiefebene meerwärts strebt.

Der deutsche Dichter Friedrich HÖLDERLIN (1969, 147 ff.), der im thurgauischen Hauptwil, nahe beim Zusammenfluss von Sitter und Thur und nicht unweit von Rhein und Bodensee gelegen, eine kurze Zeitlang als unglücklicher Hauslehrer amtete, hat dem «Vater Rhein» eine seiner schönsten und mächtigsten Hymnen gewidmet. Der Dichter ist von der Schweizer Landschaft nachhaltig inspiriert worden, vor allem begeisterten ihn der Anblick der Alpen und das wilde Zusammentreffen von Fels und Wasser.

Jetzt aber, drin im Gebirg,
Tief unter den silbernen Gipfeln
Und unter fröhlichem Grün,
Wo die Wälder schauernd zu ihm,
Und der Felsen Häupter übereinander
Hinabschaun, tagelang, dort
Im kältesten Abgrund hört
Ich um Erlösung jammern
Den Jüngling, es hörten ihn, wie er tobt',
Und die Mutter Erd anklagt',
Und den Donnerer, der ihn gezeuget,
Erbarmend die Eltern, doch
Die Sterblichen flohn von dem Ort,
Denn furchtbar war, da lichtlos er
In den Felsen sich wälzte,
Das Rasen des Halbgottes.
Die Stimme wars des edelsten der Ströme,
Des freigeborenen Rheins…

Das Quellgebiet des Rheins ist für Friedrich Hölderlin nicht nur geographisch, sondern im metaphysischen Sinn Ursprung allen Anfangs. Eingezwängt im lichtlosen Fels befreit sich der junge Strom, der Freigeborene, «um frei zu bleiben/Sein Leben lang», wie es in der vierten Strophe der Hymne heisst. Dann wird der «Jüngling» – wenn wir im dichterischen Bild bleiben wollen – «erwachsen» und verlässt das wilde Gebirge, durch das er sich mutig und kräftig hindurchkämpfen musste.

Und schön ists, wie er drauf
Nachdem er die Berge verlassen,
Stillwandelnd sich im deutschen Lande
Begnügt und das Sehnen stillt
Im guten Geschäfte, wenn er das Land baut,
Der Vater Rhein, und liebe Kinder nährt
In den Städten, die er gegründet.

Friedrich Hölderlin setzt mit seinem Hymnus nicht nur dem Rhein ein wunderbares und einmaliges Denkmal, er rührt mit seinem Vers «Ein Rätsel ist Reinentsprungenes… » auch ans Geheimnis des Lebens. Wir Menschen sind wie der R(h)ein dem Ursprung entsprungen, der bleibt aber für uns letztlich ein Rätsel. Genauso ist es mit dem Tod. Und so wie sich der Strom ins Meer ergiesst und der Kreislauf des Wassers wieder seinen Anfang nimmt, wandeln wir Menschen auf unserer Lebensbahn. Wir wissen jedoch weder, woher wir kommen, noch wohin wir gehen. Der Rhein, als mächtiger Strom, ist ein Sinnbild für das Leben und die Freiheit des Menschen; doch selbst der Dichter kann mit seinem «Gesang» das Herkunftsrätsel nicht lösen. Ist es uns angesichts dieses Rätsels nicht geboten, gegenüber der Natur und allen ihren Erscheinungen tiefen Respekt zu zeigen?

Der Mensch ist – wenn auch nur teilweise − ein freies Wesen; seine Freiheit, verbunden mit Macht, List und Technik, verbietet ihm allerdings, alles zu tun. Sein Handeln stösst an Grenzen, will er nicht die Freiheit und die Existenzberechtigung anderer verletzen. Weil der Mensch aber in bestimmten Fragen frei ist, kann er auch Alternativen wählen; und nur die Anerkennung eines freien Wesens ermöglicht uns, den Menschen für sein Handeln auch verantwortlich zu machen. Diese Verantwortung gilt es im Bereich des Landschaftsschutzes (KLÖTZLI, 2000) konsequenter und strenger als in den vergangenen Jahrzehnten wahrzunehmen, wollen wir nicht riskieren, dass in hundert Jahren von unseren

natürlichen Flusslandschaften kaum mehr etwas sichtbar ist. Dass wir die Landschaft nicht mehr wie Hölderlin, Goethe oder die Romantiker erleben können, versteht sich von selbst, darüber eine Klage zu erheben, bringt uns nicht weiter. Doch gilt es alle Anstrengungen zu unternehmen, damit wir mit einem neuen Naturverständnis zu einem nachhaltigen Landschaftsschutz kommen, wobei der ökologischen Dimension Vorrang gebührt.

Ich will noch einmal wiederholen: Gebirgs- und Flusslandschaften als ganze Naturräume haben einen Eigenwert; durch diese Anerkennung müssen sie zwingend in unsere moralischen Reflexionen und Handlungen einbezogen werden. Steine und Felsen bilden ein ganzes Gebirge (STÄHLI, 2001), ein Flussnetz ergibt eine ganze Flusslandschaft, und gerade solchen Ganzheiten müssen wir mit Achtung und Respekt begegnen, nicht zuletzt deshalb, weil sich das Leben auch nur in solchen ereignen kann. Rodrick NASH (1977) schrieb vor fast dreissig Jahren: «Haben Felsen Rechte? Wenn die Zeit gekommen ist, dass eine solche Frage für viele von uns nicht mehr lächerlich ist, könnten wir uns an der Schwelle zu einem Wandel der Wertstrukturen befinden, der es uns ermöglicht, Massnahmen zu ergreifen, mit denen wir die sich verschärfende ökologische Krise bewältigen können.» Was Nash über die Steine sagt, gilt uneingeschränkt auch für die Flüsse und die grösste Flusslandschaft der Schweiz: den Rhein – «die Lebensader einer Region».

Aber nochmals selbstkritisch gefragt: Wie soll ich das plausibel erklären? Jemand findet: «Ein Fluss ist ein Fluss», und Steine seien doch leblose Dinge − wieso Rechte und wieso diese Ehrfurcht? Dieser Skeptiker spricht auch von ganz anderen Intuitionen und behauptet dreist: «Die Natur ist nur für den Menschen da.» Hört da das Gespräch auf? Ist der Diskurs beendet? Oder gibt es noch Möglichkeiten, den Zweifler zu überzeugen oder wenigstens nachdenklich zu stimmen, wenn ich sage: «Folge der Rheinschlucht von Ilanz nach Bonaduz, lasse dich vom Wasser und den kahlen Felsformationen, die den eingezwängten Rhein und mit ihm die ganze Landschaft an dieser Stelle besonders wild erscheinen lassen, inspirieren. Oder: Bewundere die Schönheit der Rheinauen und nimm die Artenvielfalt in diesem Gebiet wahr.» Haben diese Orte tatsächlich kein Existenzrecht? Sind sie nicht um ihrer selbst willen zu achten? (Vgl. auch BROGGI in diesem Werk.)

5 EIN BESORGTER BLICK IN DEN HYDROLOGISCHEN ATLAS DER SCHWEIZ

Studiert man den HYDROLOGISCHEN ATLAS DER SCHWEIZ (1992, 5.3, 5.4, 5.5), wird man feststellen, wie stark der Mensch in die natürlichen Lebensräume eingegriffen hat. Der Rhein ist wie viele andere Flüsse und Bäche durch wasserwirtschaftliche und bauliche Eingriffe beeinflusst, die Schweizer Seen sind reguliert, mit Ausnahme des Boden- und Walensees. Die Hydrologen sprechen von einem stabilisierten Gewässerverlauf. Darunter verstehen sie, dass der Fluss in einem streng festgelegten oder in einem durch Verbauungsmassnahmen veränderten Lauf fliesst. Vergleicht man im Hinblick auf diese Korrektionen die Flusslandschaft des Rheins auf der Dufourkarte 1:100 000 von Mitte des 19. Jahrhunderts mit den aktuellen Blättern der Landeskarten 1:25 000, so erkennt man sofort, dass im 19. Jahrhundert a) noch keine Stauseen und Ausgleichsbecken vorhanden sind, b) dass der Rhein nur an drei Stellen stabilisiert worden ist, nämlich im südlichen Teil des Hinterrheins, bei Chur und in der Bündner Herrschaft, dass c) also der Rhein mit allen seinen Zuflüssen und Wildbächen weitgehend seinem natürlichen Lauf folgen konnte. Der Fluss und seine Bäche gehörten sich selbst – erodierend, mäandrierend, einmal wild Wasser führend und überschwemmend, einmal kärglicher und stiller dahin fliessend. Die Flusslandschaft lebte, könnte ich im tiefenökologischen Sinne sagen. Doch nach 1850 wurden in der ganzen Schweiz mit den Gewässerkorrektionen begonnen: Die Flüsse wurden kanalisiert, begradigt und verbaut. Man wollte die Menschen einerseits – begreiflicherweise – vor dem Wasser schützen, andererseits brauchte man Kulturland

für Industrie, Land- und Forstwirtschaft, später wird das Wasser *der* Rohstoff für die Energiezeugung in der Schweiz. Die Natur ist für den Menschen da, so der Tenor, der während mehr als hundert Jahren zu einer anthropozentrischen Ausbeutung sondergleichen führte und zu einigen verheerenden Eingriffen in die Natur. Und dementsprechend zeigt sich auf den heutigen Karten das gegenteilige Bild der Dufourkarte von 1850: Das Flussbett des Hauptstroms des Rheins bis zum Bodensee ist gerade noch an fünf bis sechs Stellen nicht stabilisiert, so am Oberlauf des Vorderrheins im Tujetsch bis Disentis, ein Stück westlich und östlich von Sumvitg, in der Rheinschlucht bei Versam, beim Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein bei Reichenau und schliesslich zwischen Zizers und Mastrils, den oben erwähnten Rheinauen. Zum Glück wurde der Korrektionsvorschlag von 1890 am Hinterrhein im Domleschg nur teilweise ausgeführt, so dass der Gewässerlauf bei Bonaduz und Rhäzüns weitgehend noch natürlich, d. h. wild verzweigt sein Bett suchen kann (HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ, 1992, 5.5). Das ist ein seltenes Beispiel eines weisen Verzichts. Für einmal sind Ingenieurrationalität und wirtschaftliches Nutzdenken naturschützerischen Überlegungen hinten angestellt worden. Allerdings tangiert heute die Schnellstrasse dort den Hinterrhein und beeinträchtigt streckenweise die einmalige Flusslandschaft (vgl. ROULIER, BROGGI, VISCHER in diesem Werk).

Von den Rheinquellen bis Sargans zählen wir bis 1990 zwölf grössere und kleinere Stauseen und Ausgleichsbecken, die – mit Ausnahme des 1925 gestauten und abgesenkten Davosersees – alle zwischen 1954 und 1985 gebaut worden sind. Von Chur bis in den Bodensee ist die Fliessstrecke des Rheins durch Schwellenbetrieb stark beeinflusst. An zahlreichen Flussabschnitten beeinträchtigen Leitungssysteme (Ab-, Über- und Zuleitungen) zwecks Wasserkraftnutzung den natürlichen Wasserabfluss des Rheins, insbesondere wird dort im Winterhalbjahr der Abfluss bis 20% erhöht. Ein Gang im Gebirge führt uns immer wieder vor Augen, dass vielen Tälern ständig Wasser zur Gewinnung von Strom abgeführt wird; und trotz der gesetzlich festgelegten Restwassermenge trocknen streckenweise im Hochsommer die Zuflüsse des Rheins in den Bergtälern immer wieder aus (Sumvitger Rhein, Madrischer Rhein). Heute sind wir gegenüber den vielen Projekten der Kantone, Gemeinden und Wasserkraftgesellschaften um einiges skeptischer eingestellt als noch vor 30 Jahren, und viele lehnen neue Projekte kategorisch ab. Das hat zum einen bestimmt mit der heute schon dicht bebauten Fluss- und Berglandschaft zu tun, zum andern mit unserer gewandelten Einstellung zum ganzen Landschaftsraum der Alpen, der als einzigartiger Lebensraum in Europa allmählich erkannt wird und zu dem es Sorge zu tragen gilt, und das insbesondere gegenüber allen Fliessgewässern und Seen. Das hat dazu geführt, dass heute einige Flussabschnitte wieder belebt und befreit worden sind und ebenso viele Renaturierungsprojekte geplant sind. Für viele Orte, insbesondere an der Thur und am Alpenrhein, liegen aufwendige Umbaupläne für eine Revitalisierung vor, so dass Naess' Ausspruch: «Der Fluss lebt» wieder Gültigkeit bekommt und jüngere Menschen erleben und wahrnehmen können, was ein wilder Flusslauf ist und in Zukunft bereit sein werden, für die natürlichen Fliessgewässer in der Schweiz sich zu engagieren (vgl. SCHLEGEL, VISCHER in diesem Werk).

6 EPILOG

Aldo LEOPOLD (1995, 145) schreibt kurz und prägnant: «In short, a land ethic changes the role of *Homo sapiens*: from conqueror of the land-community to the plain member citizen of it. It implies respect for his fellow-members, and also respect for the community as such.» Und Arne NAESS (1997, 198) hält lapidar fest: «Die Erde gehört nicht den Menschen.» Wir sollten von unserem seit nunmehr 150 Jahren andauernden ausbeuterischen Verhalten, das ganz auf den Nutzen der Menschen zielt, abrücken und zu einer physiozentrisch-holistischen Haltung übergehen, wie ich das in dieser kleinen philosophischen Skizze aufgezeichnet habe. Ich bin davon überzeugt, dass wir unser egoistisches Moral-

verständnis aufgeben müssen zugunsten eines grösseren holistischen Moralverständnisses, das alles Lebendige, die unbelebte Natur und auch Ganzheiten wie die Stromlandschaft des Rheins mit einbezieht. Wir erreichen damit eine Haltung, die der Natur Eigenwerte zuerkennt und ihr den entsprechenden Respekt entgegenbringt. In der Politik können wir von einer solchen Position aus für einen nachhaltigen Naturschutz eintreten. Wir sind fähig, die Natur um ihrer selbst willen zu bewahren. Das erfordert von uns aber auch die Bereitschaft, zu verzichten und zu teilen, genauso wie der heilige Martin diese Tugenden vorgelebt hat, über dessen Wirken sieben Holztafeln in der Kirche von Zillis, wo der Hinterrhein noch fast frei fliessen kann, berichten.

7 LITERATUR

CADONAU, G. 1997. Die Rettung der Greina – eine Chronik der Ereignisse. In: La Greina. Das Hochtal zwischen Sumvitg und Blenio, hrsg. v. der Schweizerischen Greinastiftung. Desertina, Chur, 39–51.

HÖLDERLIN, F. 1969. Werke und Briefe, hrsg. v. F. Beissner und J. Schmitt, Bd. 1. Insel, Frankfurt/M.

HYDROLOGISCHER ATLAS der Schweiz. 1992. Bundesamt für Landestopographie, Bern.

JONAS, H. 1973. Organismus und Freiheit. Ansätze zu einer philosophischen Biologie. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

JONAS, H. 1979. Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Insel, Frankfurt/M.

JONAS, H. 1988. Materie, Geist und Schöpfung. Suhrkamp, Frankfurt/M.

JONAS, H. 1992. Herausforderung Zukunftsverantwortung, hrsg. v. D. Böhler & R. Neuberth. Lit, Münster/Hamburg.

KLÖTZLI, F. A. 1989. Ökosysteme. Aufbau, Funktionen, Störungen. 2. Aufl. Fischer, Stuttgart.

KLÖTZLI, F. A. 2000. On the responsibility and liberty of the field ecologist. In: Proceedings IAVS Symposium, Uppsala, 370–377.

LA GREINA. 1997. Das Hochtal zwischen Sumvitg und Blenio, hrsg. v. der Schweizerischen Greinastiftung. Desertina, Chur.

LEOPOLD, A. 1995. The Land Ethic. In: «A Sand County Almanac», Oxford University Press, New York, zit. n. People, Penguins, and Plastic Trees in Environmental Ethics, hrsg. v. D. VanDeVeer & Ch. Pierce. Wadsworth, Belmont.

MOTOR COLUMBUS. 1988. Ausbau Kraftwerk Reichenau, Stufe Ems–Mastrils. Bericht zur Umweltverträglichkeit. Kurzfassung. Colenco (vormals Motor Columbus), Ausbau Kraftwerk Reichenau, Stufe Ems–Mastrils. Bericht zur Umweltverträglichkeit. Zusatzuntersuchungen 1990 und 1992 (Gutachter: Thomas Burger, dipl. Forsting. ETH/SVU).

NAESS, A. 1989. Ecology, Community and Lifestyle. Cambridge University Press, Cambridge (Translated and edited by D. Rothenberg).

NAESS, A. 1997. Die tiefenökologische Bewegung. Einige philosophische Aspekte. In: Naturethik, hrsg. v. A. Krebs. Suhrkamp, Frankfurt/M., 182–210.

NASH, R. 1997. Rocks have Rights? In: Center Magazine 10 (1977), S. 2, zit. n. B. Devall: Die tiefenökologische Bewegung. In: «Ökophilosophie», D. Birnbacher (Hrsg.). Reclam, Stuttgart, 17–59.

SEILER, T. 2000. Deep Ecology. In: Spektrum der Umweltethik, hrsg. v. K. Ott und M. Gorke. Metropolis, Marburg, 147ff.

STÄHLI, F. & GASSMANN, F. 2000. Umweltethik. Die Wissenschaft führt zurück zur Natur. Sauerländer, Aarau, Frankfurt/M., Salzburg.

STÄHLI, F. 2001. Meditationen über Steine – eine holistische Perspektive. In: «Natur und Kultur», Transdisziplinäre Zeitschrift für ökologische Nachhaltigkeit 2/2, 99–110.

WEISS, H. 1997. Greina – oder vom wahren Wert der Landschaft. In: «La Greina. Das Hochtal zwischen Sumvitg und Blenio», hrsg. v. der Schweizerischen Greinastiftung. Desertina, Chur, 166–170.

Dieser Essay ist in leicht veränderter Form abgedruckt in: Natur und Kultur. Transdisziplinäre Zeitschrift für ökologische Nachhaltigkeit 6/2 (2005).

Prof. Dr. Fridolin Stähli, Fachhochschule Aargau; Korrespondenzadresse: Birkenweg 8, CH-5000 Aarau, E-Mail: fridolin.staehli@fh-aargau.ch

