©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Geologie von Vorarlberg – Beispiel einer internationalen Zusammenarbeit im Bereich der westlichen Ostalpen					Redaktion: Maria Heinrich
Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016–7800	Band **135**	Heft 4	S. 847–856	Wien, Dezember 1992

Zur Genese des Alpen-Rheintals

Von RENÉ HANTKE*)

Mit 12 Abbildungen

Dr. RUDOLF OBERHAUSER
zum 65. Geburtstag gewidmet

Vorarlberg
Schweiz
Alpen-Rheintal
Bodensee-Senke
Glazialerosion
Hörnli-Schuttfächer
Miozän
Molasse
Nagelfluh
Pfänder-Schuttfächer
Pliozän
Rhein-Gletscher
Sommersberg-Schuttfächer
Ur-Rhein

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 81, 82, 110, 111, 141, 142

Inhalt

Zusammenfassung 847
Abstract 848
1. Die Ränder des Alpen-Rheintals 848
2. Neuere Forschungen im Rheintal 848
3. Der Wechsel vom Hörnli-Schuttfächer zur Bodensee-Senke 851
4. Die Wirkung des kaltzeitlichen Rhein-Eises und der Tektonik 852
5. Die Ausräumung des Eises in den Nachbargebieten 852
Literatur 856

Zusammenfassung

Schweizer und Vorarlberger Molasse-Strukturen und helvetische Kalkalpen brechen brüsk in die Rheinebene ab. Sanfter taucht die Wildhauser Mulde ein und steigt – nach N versetzt – als Fraxern-Mulde wieder empor. Weiter S taucht die von Querbrüchen durchsetzte Alvier-Kreide gegen NE ab. E des Rheins liegen darüber penninischer Flysch, Falknis- und Sulzfluh-Decke, verwalzte Aroser Zone und ostalpine Lechtal-Decke.

Forschungen im Alpen-Rheintal ließen dessen Entstehungsgeschichte neu aufrollen: Die These von einem Grabenbruch und glazialer Ausräumung geriet ins Wanken. Der junge Graben wich einer primären Quersenke, in die bei tiefer Waldgrenze Molasse-Nagelfluhen als kühlzeitliche Muren geschüttet wurden. Pflanzenreste finden sich nur in Feinsedimenten warmzeitlicher Altläufe.

An der jüngsten Molasse-Schüttung, am Hörnli-Fächer, waren aufgrund der Gerölle erstmals alle Bündner Äste des miozänen Ur-Rheins beteiligt. Bei der Platznahme der helvetischen Decken wurde ihm sein angestammter Lauf verwehrt. Er fand – in Kühlzeiten ein Ur-Rhein-Gletscher und seine Schmelzwässer – einen neuen Weg zwischen den bei der Platznahme verscherten, auseinandergerissenen und in den ehemaligen Ablagerungstrog der subalpinen Molasse zu liegen gekommenen Kreide-Elementen. In dieser Senke sind auch die nachmolassischen Sedimente zu suchen. Dann fuhr ein jüngstmiozäner Rhein-Gletscher ins Rheintal und ins eben entstandene Bodensee-Becken vor. Linksseitige Schmelzwässer flossen durchs Appenzellerland zum Tannenberg bei St. Gallen, wo Bodenseee-Rhein-Eis der Schotterfracht den Weitertransport verwehrte.

Bohrungen im Alpen-Rheintal ergaben ein bewegtes Felsrelief: in Hohenems an der Basis, in 592 m Tiefe, Gerölle, in einer nur wenige 100 m entfernt niedergebrachten Bohrung: gekritzte Geschiebe in knapp 16 m, dazwischen in mehrfachem Wechsel: Schotter, Sande, Seetone und Torfe. Die Füllung ist Eis und Schmelzwässern zuzuschreiben, nicht aber die Hohlform; sie kann nur tektonisch gedeutet werden.

Im Bregenzerwald und in der NE-Schweiz war die Eis-Ausräumung bescheiden. Im Säntis-Gebirge bilden Oberkreide-Kalke und -Mergel den Muldenkern gegen NE einfallender Synklinaltäler. Die jüngsten Abfolgen glitten vor der Platznahme von ihrer Unterlage ab; sie liegen als Nummulitenkalk-Schuppen am Alpenrand. Wohl stürzten von den Säntis-Ketten Blöcke auf das Eis und dieses riß Schollen vom Untergrund weg. Die Erratiker-Dichte im Appenzellerland ist aber recht gering; sie ergibt nur einen Abtrag von wenigen Metern. Beim gefällsärmeren aber mächtigeren Rhein-Gletscher dürfte diese kaum viel höher gewesen sen.

*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. RENÉ HANTKE, CH-8172 Stäfa.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Genesis of the Alpine Rhine Valley

Abstract

Swiss and Vorarlberg structures of the Molasse ridges and the Helvetic Calcareous Alps break abruptly to the Rhine river plain. The plunging of the broken syncline of Wildhaus – Fraxern is more gentle. Further S the Helvetic Calcareous Alps, also cut by faults, plunge also to the NE. E of the Rhine the sequence is overlain by Pennine Flysch, Falknis and Sulzfluh nappes, Arosa zone and the Eastalpine Lechtal nappe.

Investigations in the Alpine Rhine valley let establish a more likely history of its origin. The former thesis of a late tectonic graben and a glacial excavation became unsettled. The graben exists as a primary transversal tectonically initiated depression in which Molasse conglomerates were deposited as mud flows under a cool climate by low timberline. Plant remains exist in fine grained sediments only; they testify a swamp vegetation.

The formation of the Hörnli-Molasse fan involves all Grisons branches of the Rhine. The emplacement of the Helvetic nappes blocked the former current. The Rhine found a new one – and in glaciated periods the Rhine glacier and its meltwaters – between the separated elements of the Helvetic nappes and the Subalpine Molasse scales. In this depression, a former sedimentation basin, the postmolassic sediments must have been deposited. Then a youngest Miocene Rhine glacier advanced in this valley and into the contemporaneously formed Lake Constance basin. Leftside meltwater flowed through the Appenzell upland the St. Gallen area where Rhine ice barred the farther transport of the gravel load.

Drillings in the Alpine Rhine valley showed a pronounced relief. Near Hohenems, at a depth of 592 m, the basal sediments consist of gravels. In an adjacent borehole at 16 m striate pebbles proove glacier vicinity and in between a multiple charge of gravels, sands, lacustrine clays and peats. The filling is mainly to attribute to the ice and its meltwater, but not the trough; it can be formed by tectonic features only. The ice excavation was modest in the Bregenz Forest and in Eastern Switzerland. In the Säntis Mountains Upper Cretaceous limestones and marls from the syncline valleys plunging to the NE. The youngest sequence has slid from the substratum before taking place. They lie as nummulitic limestone scales beneath the Helvetic front.

Blocks fall from the Säntis ranges on the glaciers and rock masses were detached from the ground. But the abundance of erratic boulders is very low in the Appenzell upland; it results in a denudation rate of several meters only. Even with the quite huger Rhine glacier this could scarcely be much higher.

1. Die Ränder des Alpen-Rheintals

Im unteren Alpen-Rheintal findet die aufgerichtete Obere Meeresmolasse am östlichsten Rorschacher Berg an einer schiefen Querstörung ihr E-Ende (Abb. 1). Auf Vorarlberger Seite bricht sie am Gebhardsberg bei Bregenz gegen SW ab. Im NE-Sporn bei St. Margrethen endet auch die Untere Süßwassermolasse an Störungen. Ebenso fällt die gegen W abtauchende vorarlbergische Süßwassermolasse an Querbrüchen ins Rheintal ab. An der antiklinalen Randunterschiebung der aufgerichteten Molasse springt die gegen SE einfallende Untere Süßwassermolasse im Rheintal weit gegen SW zurück (Abb. 2). Auch die kristallinreichen Nagelfluhen der Sommersberg-Synklinale sind zwischen Altstätten und Gais an Querstörungen abgesetzt. Weniger brüsk enden die alpennäheren Ketten: erst lösen sich einige Molasseschuppen ab, dann folgt ein Flyschkissen, auf das die frontalen Helvetischen Kalkalpen aufgefahren sind. Diese brechen in verscherten Schollen ins Rheintal ab. Im Blattenberg springen sie wieder bis an den Rhein vor (Abb. 2, 3). Die anschließenden Kreide-Falten, die SW–NE-streichenden Inselberge und der ebenfalls schräg in der Rheinebene liegende Schellenberg werden von Querstörungen durchschert und begrenzt. Die dazwischen liegende Wildhauser Mulde von Oberkreide- und Alttertiärgesteinen taucht gegen ENE ins Rheintal ab (Abb. 4, 11). In Vorarlberg steigt sie als Fraxern-Mulde – gleichfalls etwas nach N versetzt – wieder empor. Weiter S füllt die von Querstörungen durchscherte Alvier-Kreide hangparallel gegen NE ein. E des Rheins liegen darüber penninischer Flysch, Falknis- und Sulzfluh-Decke, verwalzte Aroser Zone und ostalpine Lechtal-Decke. W des Rheins tritt die Falknis-Decke noch als bescheidene Reste in den Grabser Klippen auf (Abb. 5).

2. Neuere Forschungen im Rheintal

Mit der Betreuung von Diplomarbeiten im unteren Rheintal wurde auch dessen Entstehungsgeschichte Forschungsthema. Bei der Darstellung des quartären Geschehens für das „Eiszeitalter" und der Vorbereitung der Exkursionen zur 100. Jahrestagung des Oberrheinischen Geologischen Vereins in Dornbirn bahnten sich intensivere Kontakte zu den Kollegen östlich des Rheins an, zu den Herren OBERHAUSER, RESCH, BERTLE, LOACKER, KRIEG und STARCK. An vertraute Lokalitäten und geologische Fakten reihten sich neue. Mit der Kartierung der Atlasblätter St. Margrethen und Diepoldau erwuchsen aus Bekanntschaften freundschaftliche Bande. Mit Akribie suchte erst Herr OBERHAUSER, bald wir beide, nach alten Rheinläufen. Dabei dehnte sich das Suchen vom jüngeren Holozän auf die Genese des unteren Rheintals aus. Was lange Zeit klar war: ein grabenförmiger Einbruch mit glazia-

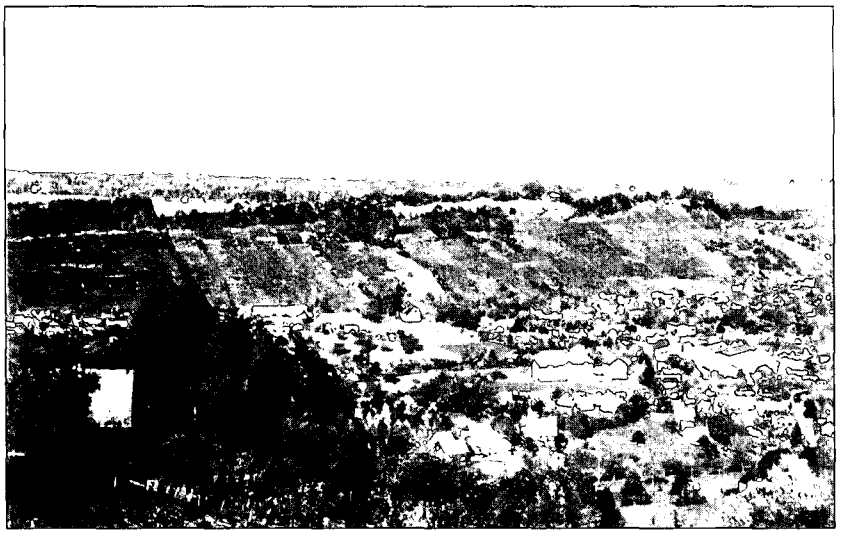


Abb. 1.
Der östliche Ausläufer des Rorschacher Berges, der vom Steinernen Tisch an einer Bruchstörung gegen die Rheinebene abbricht, gesehen von Wolfhalden.
Foto: Prof. H. HEIERLI, Trogen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

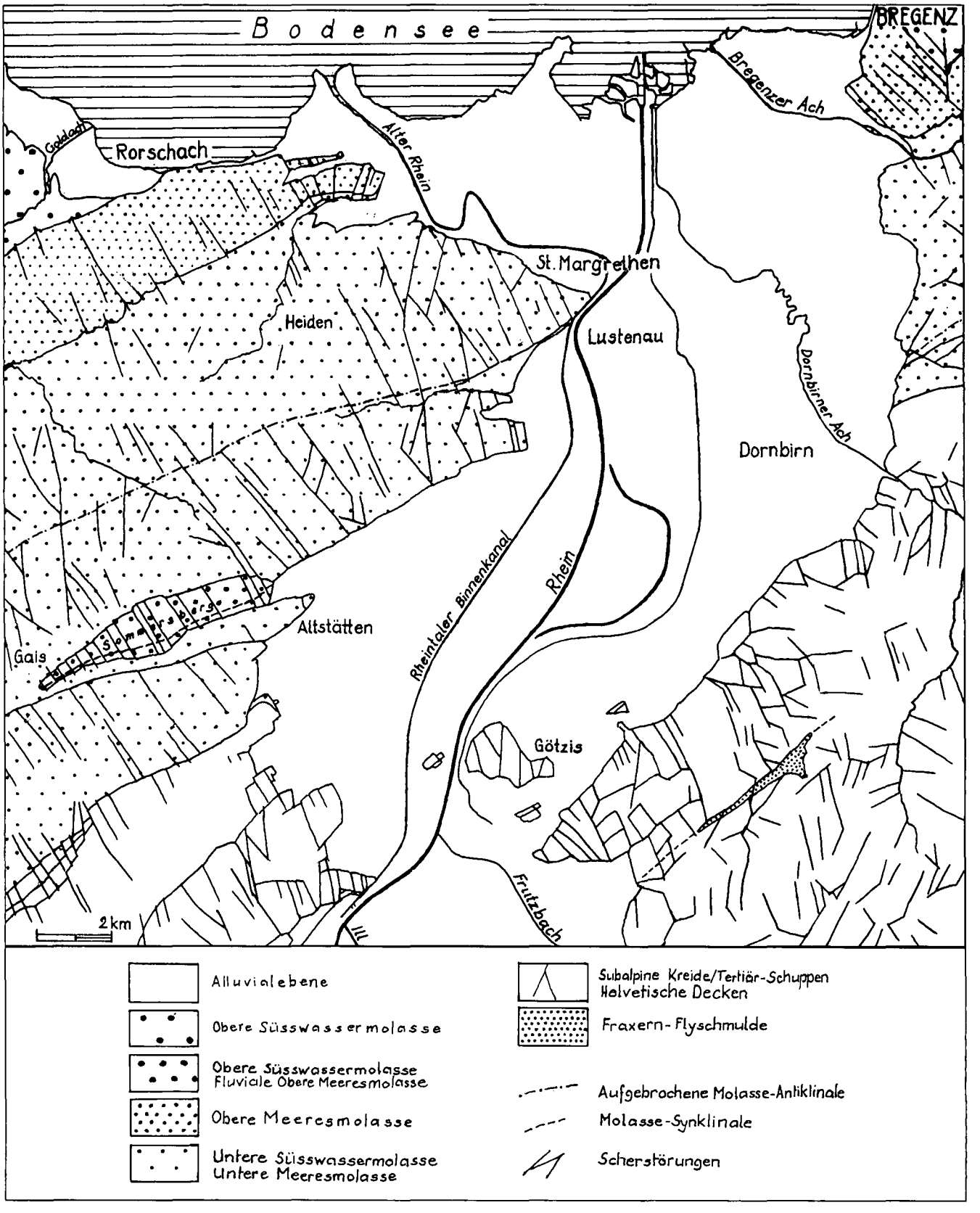


Abb. 2.
Die S-fallende Untere Süßwassermolasse S der Antiklinal-Störung im st. gallisch-appenzellischen Grenzgebiet und die Sommersberg-Synklinale.

ler Ausräumung geriet ins Wanken. Der Graben mußte einer primären Quersenke weichen. In diese wurden vom mittleren Oligozän bis ins mittlere Miozän vor dem Grenzbereich von E- und W-Alpen Molasse-Sedimente geschüttet. Im Vorland wurden diese zunächst in den primär tiefsten Bereichen, später in Verschneidungen älterer Schuttfächer abgelagert. Zugleich galt es, die Art der Schüttungen zu überprüfen. Diese erfolgten nicht – wie bisher angenommen – rein fluvial. Strukturen und Geröllgrößen deuten besonders im proximalen Bereich auf ka-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

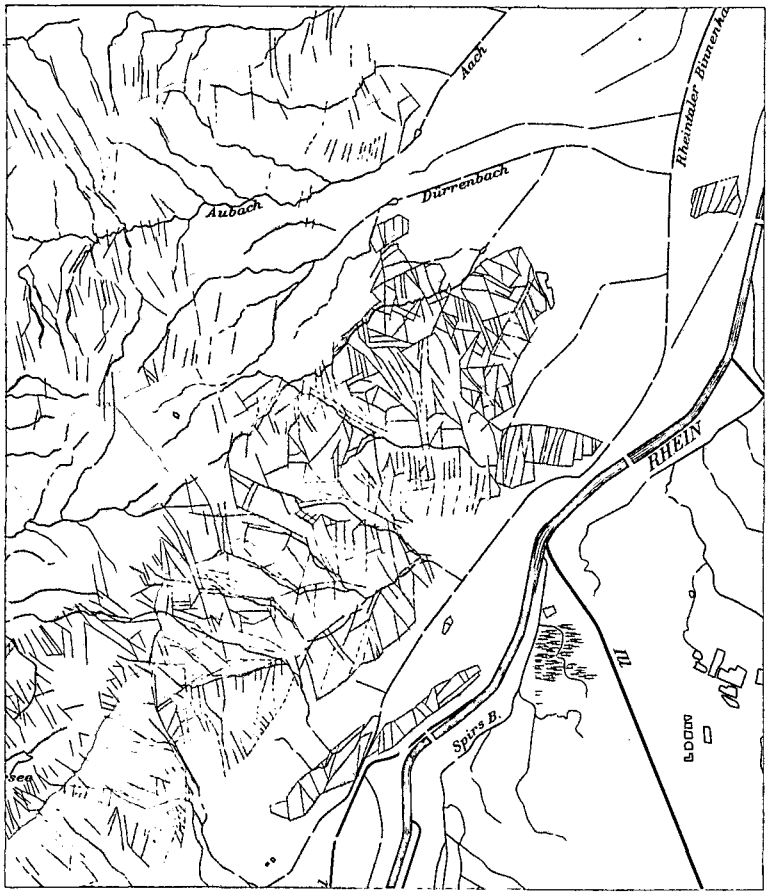


Abb. 3. ⇐
Die an Bruchstörungen abbrechenden NE-Enden des Säntis-Gebirges (aus HANTKE, 1992).
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 19. 8. 1992.

tastrophale Ereignisse hin. Das Niveau des Appenzeller „Granits", einer fest verbackenen mittelmiozänen Kalk-Dolomit-Nagelfluh, erwies sich als Ausbruch von Muren, die durch seitliche Rüfen gestaut worden waren und sich mit ihren Armen über 65 km Breite vom Knonauer Amt SW von Zürich bis Abtwil NW von St. Gallen ins Vorland ergossen. Diese und im zentralen Hörnli-Bergland seitlich weniger weit durchhaltenden Nagelfluhbänke bekunden proximal nicht rein fluviale, sondern rufinale Schüttungen: es sind bei tiefer Waldgrenze erfolgte Ausbrüche alpiner Seen, die sich hinter von den Seiten in die Täler niedergefahrenen Rüfen gestaut hatten (Abb. 6). In der Molasse, die bisher meist gesamthaft als warmzeitlich Ablagerung betrachtet wurde, liefern jedoch stets nur Feinsedimente – Sand- und Siltsteine und darin eingelagerte Mergellinsen – ehemalige Altläufe, Belege warmzeitlicher Auenwälder. In den Grobschüttungen, den Nagelfluhen, vor allem in den wirren Grobschüttungen am Alpenrand mit Geröllgröße bis zu 1 m in der basalen Kronberg- und Hochalp-Schüttung , N bzw. NW des Säntis, fehlen organische Spuren.



Abb. 4.
Der Schellenberg, ein von Scherstörungen durchsetzter Inselberg und die Vorarlberger Berge vom Hohen Kasten.
Foto: Prof. H. HEIERLI, Trogen.

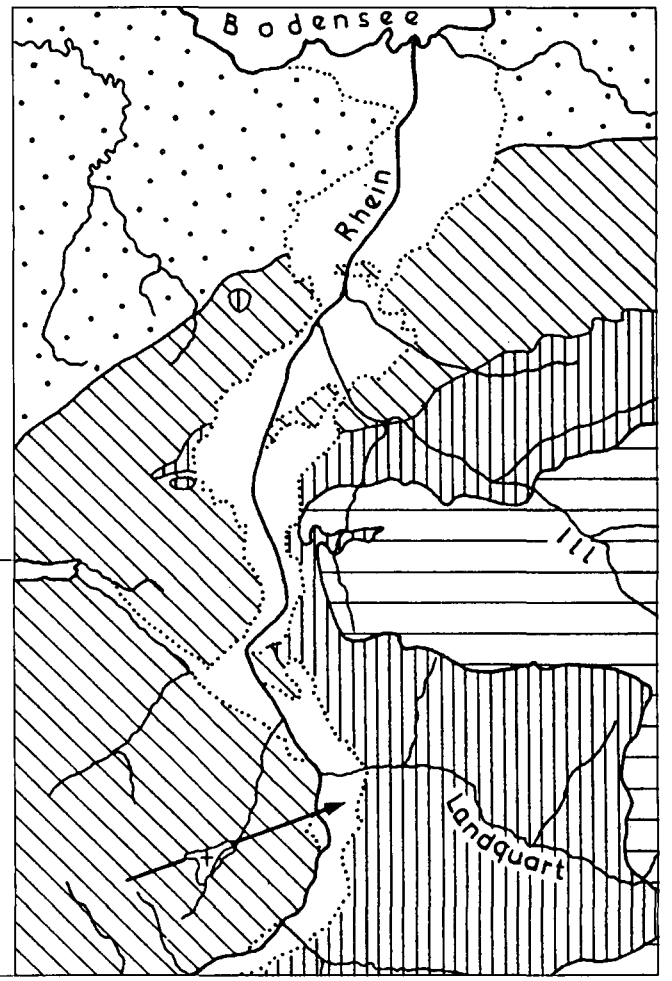


Abb. 5. ⇒
Tektonische Übersichtsskizze des Alpen-Rheintals.
Aus HANTKE (1987).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

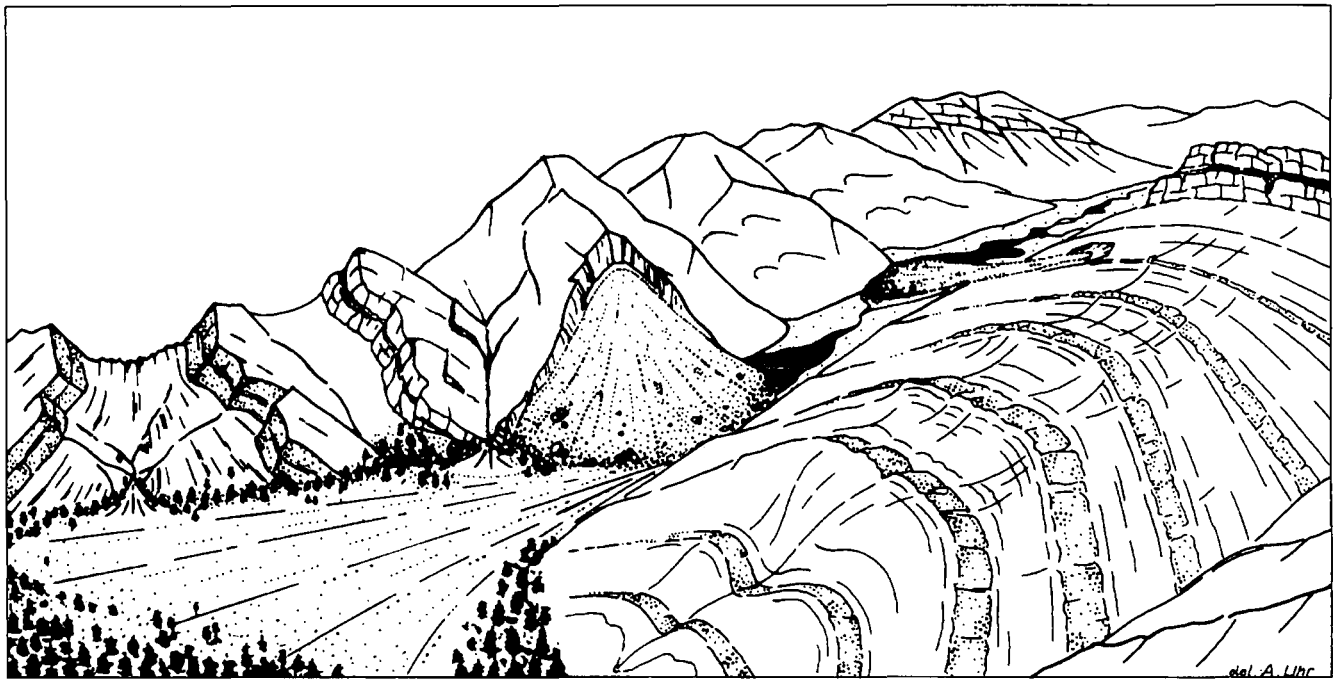


Abb. 6.
Durch seitliche Murfächer gestaute Seen. Diese sind bereits in einer früheren Phase durchgebrochen und haben im Alpen-Vorland einen Schuttfächer geschüttet (Zeichnung: A. UHR).

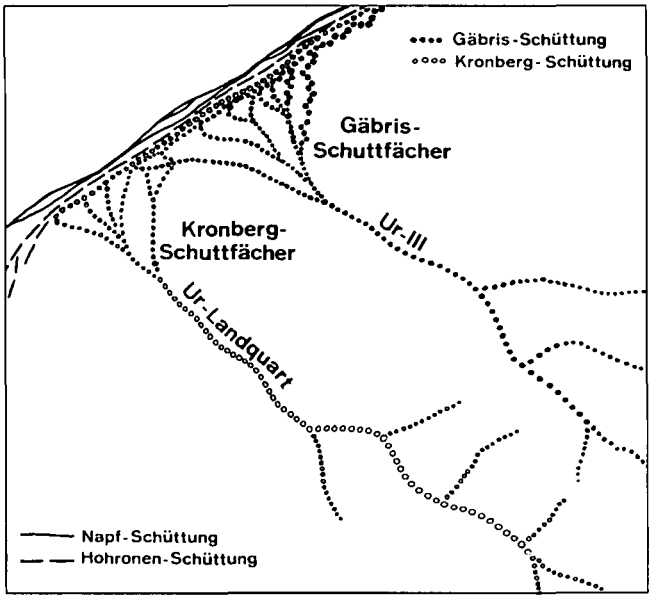


Abb. 7.
Die jungoligozänen bis frühmiozänen Schüttungen in der NE-Schweiz.

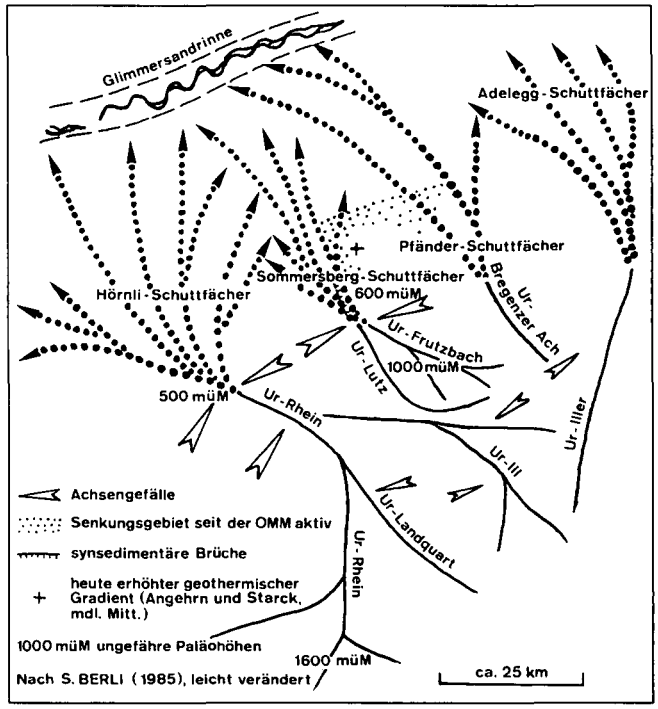


Abb. 8.
Die Flußsysteme der NE-Schweiz und Vorarlbergs im mittleren Miozän, nach S. BERLI (1985), leicht verändert.
Aus HANTKE (1987).

Ausnahmsweise auftretende Reste in der distaleren Gäbris-Schüttung zeigen unverkennbare Spuren von Aufarbeitung und zuweilen Krummholz.

Diese stammen aus ruhigeren Ablagerungen und wärmerem Klima mit hoher Waldgrenze, wurden dann in kühleren Zeiten von Rüfen aufgegriffen und – zusammen mit seltenem Krummholz – bei tiefer Waldgrenze weiter verfrachtet (Abb. 6, 7).

3. Der Wechsel vom Hörnli-Schuttfächer zur Bodensee-Senke

In der jüngsten Molasse-Schüttung waren beim Hörnli-Fächer aufgrund des Geröll-Inhaltes erstmals alle Bündner Arme des miozänen Ur-Rheins beteiligt. (Abb. 8, 10). Die östlich anschließenden Sommersberg- und Pfänder-Fächer (Abb. 8) stammen aus den Flyschgebieten des Großen Walsertals und dem Frutzbach sowie dem Einzugsgebiet der Bregenzer Ach.

Mit der Platznahme der helvetischen Decken wurde ihnen ihr angestammter Lauf verwehrt. Rhein, Lutz, Frutzbach und Bregenzer Ach hatten einen neuen Weg zu suchen. Einen solchen fanden sie zwischen den bei der

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

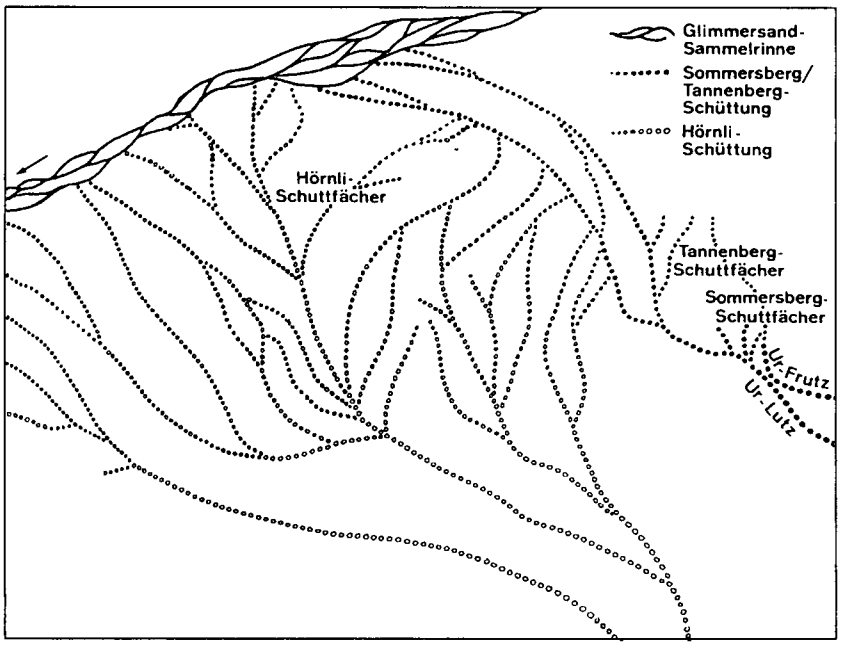


Abb. 9.
Die mittelmiozänen Schüttungen in der NE-Schweiz.

Platznahme auseinandergescherten, verfalteten und verschuppten helvetischen Kreide-Elementen. Diese glitten dabei in das südliche Anhängsel des Molassetroges ein, aus dem die südliche Molasse ausgeschert und dachziegelartig zur subalpinen Molasse gestaucht wurde. An dessen Basis sind nach der Ausscherung der Molasse zunächst auf die jünste Hörnlischüttung folgenden Sedimente zu suchen. In Kühlzeiten fand bereits ein Ur-Rhein-Gletscher mit seinen Schmelzwässern den Weg zwischen den verscherten Kreide-, Flysch- und Molasse-Schuppen hinaus ins Vorland. In den jüngstmiozänen Kaltzeiten fuhr der Ur-Rhein-Gletscher immer weiter ins Rheintal vor, bis er in der mit der Ausscherung der subalpinen Molasse-Schuppen angelegten Bodensee-Senke endete.

Linksseitige Schmelzwässer flossen vom Rheintal-Rand durch das Appenzellerland zum Tannenberg NW von St. Gallen (Abb. 8, 9). Dort wurde der mitgeführten Schotterfracht vom Rhein-Eis, das bis ins Bodensee-Becken vorgefahren war, der Weitertransport verwehrt. F. HOFMANN (1958) wies die sich im Geröll- und Schwermineral-Inhalt von der liegenden höchsten Oberen Süßwassermolasse sich unterscheidenden Tannenberg-Schotter – der damaligen Auffassung der Mio/Pliozän-Grenze folgend – noch ins Pliozän. Früher wurden sie als Älterer Deckenschotter (A. GUTZWILLER, 1900; Ch. FALKNER & A. LUDWIG, 1904), von dem sie jedoch im Geröllspektrum ebenfalls abweichen, ins Altquartär gestellt. Durch das nur in Höchstständen darüber gefahrene Eis wurde abgetragen. Da sich die Eislappen in ihrer Erosionsleistung gegenseitig behinderten, hielt sich der Abtrag in Grenzen. Im Alpen-Rheintal wurden im Laufe des jüngsten Tertiärs und im Quartär die Kreide-Elemente zu Inselbergen, Flysch- und Molasse-Erhebungen vollständig eingeschüttet (Abb. 4, 5, 11).

4. Die Wirkung des kaltzeitliche Rhein-Eises und der Tektonik

An der Entstehung des Alpen-Rheintals war seit den jungmiozänen Kaltzeiten Rhein-Eis mitbeteiligt. Dieses riß durch den Frost aufbereitete Schollen vom Untergrund und von den Flanken weg, schliff Ecken und Kanten; doch hielt sich auch im Rheintal die Ausräumung selbst über mehrere Kaltzeiten hinweg in Grenzen. An den Inselbergen stehen neben den tektonischen höchsten Elementen auch deren jüngste Schichtglieder an.

Zur Sediment-Abfolge der Talfüllung geben Tiefbohrungen erste Hinweise. Über der in der Bohrung Hohenems in 592 m Tiefe angetroffenen Felssohle liegt Schotter, nicht Grundmoräne. Dagegen konnte STARCK in einer nur wenige 100 m davon entfernt niedergebrachten Sondierbohrung bereits in knapp 16 m Tiefe gekritzte Geschiebe feststellen. Dazwischen liegen, in mehrfachem Wechsel, Schotter, Sande, Seetone und zuoberst Torfe. Schon die wenigen Bohrungen, die den Felsgrund erreicht haben, bekunden ein bewegtes Relief, was auch seismische Untersuchungen bestätigt haben. Früher wurden dieses Reliefs bedenkenlos der Glazialerosion zugeschrieben, da eine derartige „Übertiefung" nicht fluvial entstanden sein konnte, und andere Möglichkeiten der Talbildung wurden gar nicht erwogen. Daß der Rhein-Gletscher bei der Ausgestaltung des Tales mitbeteiligt war, ist offenkundig. Fest steht ferner, daß die Füllung mit Ausnahme der Verlandungssedimente, der Seetone und Torfe zwischen Bad Ragaz und Bodensee vor allem dem Eis und seinen Schmelzwässern zuzuschreiben ist, nicht aber die vorgängige Schaffung der Hohlform. Diese kann nur tektonisch gedeutet werden (Abb. 11). Querstörungen an den Talrändern und an den Inselbergen, meist mit horizontaler und vertikaler Verstellung – Blattverschiebungen und Grenzblättern – ließen mit dem Ausscheren der subalpinen Molasse beim Anrücken der helvetischen Decken im jüngsten Miozän erneut Senken entstehen. Sie haben dem Alpenrhein nach der Platznahme der helvetischen Decken und der subalpinen Molasse den Weg gewiesen (Abb. 11, 12). Da sich dabei die Widerstände auf beiden Seiten des Rheintales, der neu entstandenen Bodensee-Senke im NW und der vorgelagerten Pfänder-Schüttung im E, verschieden verhielten, kam es in den einzelnen tektonischen Elementen zu Quer- und Längsstörungen.

5. Die Ausräumung des Eises in den Nachbargebieten

Im Bregenzer Wald und in der NE-Schweiz war die Eis-Ausräumung eher bescheiden. Im Säntis-Gebirge bilden Oberkreide-Kalke und -Mergel den Muldenkern in den gegen NE einfallenden Synklinaltälern. Die ursprüngliche Bedeckung, alttertiäre Nummulitenkalke und Globigerinen-Mergel, glitt schon bei der Platznahme der helvetischen Decken im Niveau der oberkretazischen Amdener Mergel von ihrer Kreide-Unterlage ab. Sie wurden später – wie die Flysch-Schuppen – von den Kreide-Elementen überholt und liegen heute als Nummulitenkalk-Schuppen an ihrer Basis am Alpenrand.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at



Abb. 10.
Das aus seinen Bündner Armen erstmals zum mittelmiozänen Ur-Rhein vereinigte Flußsystem.
Aus HANTKE (1991).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

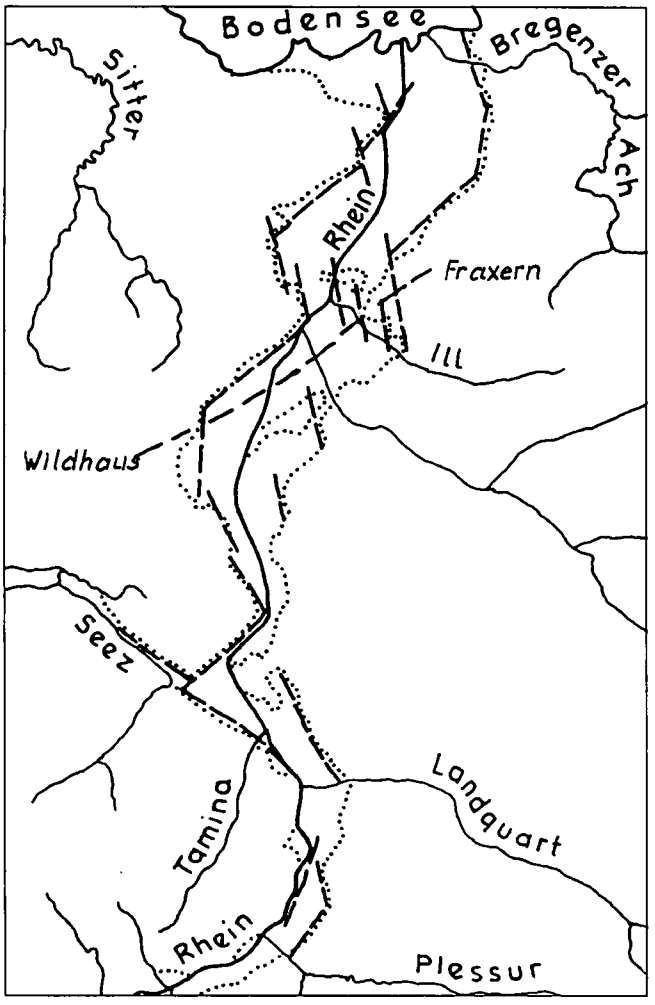


Abb. 11.
Das durch Scherstörungen und Grenzblätter entstandene Alpen-Rheintal.
Aus HANTKE (1987).

Wohl stürzten von den Säntis-Ketten Blöcke auf das Eis und wurden Schollen vom Untergrund weggerissen. Die Erratiker-Dichte ist jedoch im Appenzellerland viel zu gering, so daß sich – selbst bei hoher Lösungsrate über die lange Zeit seit der ersten Kaltzeit und der seit Jahrhunderten für Bauten verwendeten Blöcke – nur ein Abtrag von wenigen Metern durch die Säntis-Gletscher ergibt.

Auch im Bregenzer Wald ist der Abtrag durch den Bregenzer-Ach-Gletscher auf den Faltendepressionen bescheiden. Beim weit gefällsärmeren, wohl bedeutend mächtigeren Rhein-Gletscher dürfte dieser kaum viel größer gewesen sein.

Durch seitliche Zuflüsse und im NE durch Überfließen ins Gebiet des stauenden Iller-Gletschers wurde er in seiner Erosionswirkung immer wieder beeinträchtigt.

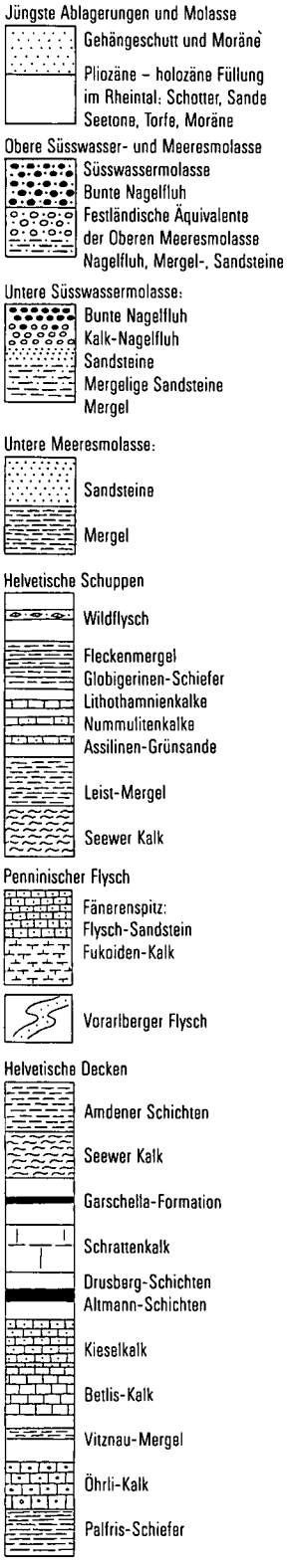
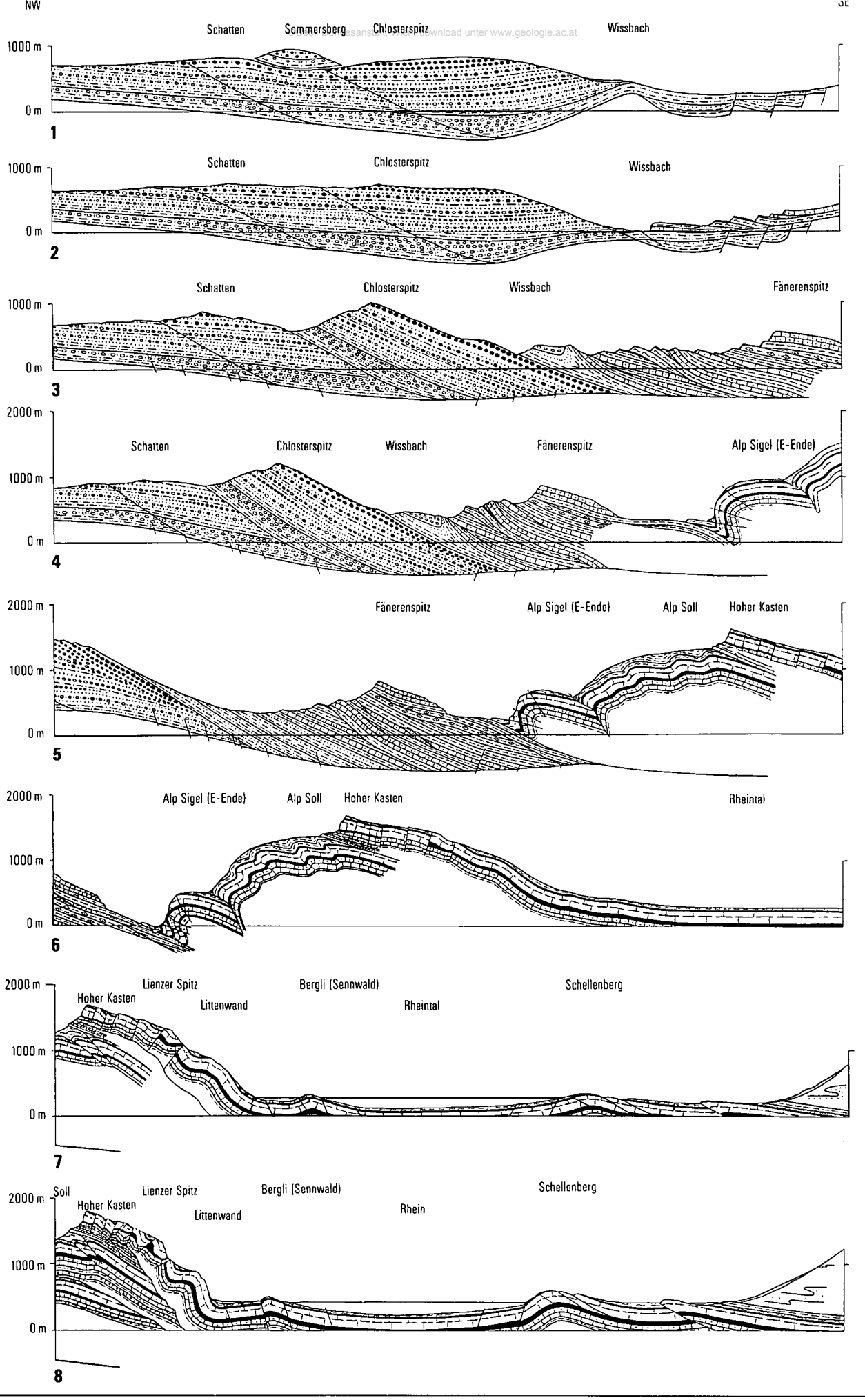


Abb. 12. ⇒
Profilfolge durch das werdende Alpen-Rheintal von der Ablagerung der subalpinen Molasse bis zur Platznahme der Helvetischen Decken im Bereich des Hohen Kasten.
Um die Entstehungsgeschichte des Alpen-Rheintales nachzuzeichnen, wurde versucht, ausgehend vom heutigen Zustand (8) schrittweise rückwärtstastend, bis zur Füllung einer vorhandenen Quersenke mit Molasse-Ablagerungen (1) vorzustoßen. Dabei galt es, deren Ausscherung und Füllung durch die vorfahrenden helvetischen Decken in einer zeitliche Abfolge (1–8) möglichst widerspruchsfrei mit den beobachtbaren Fakten vorzunehmen.
Aus HANTKE (1992).

© Geologische Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at



©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Literatur

BERLI, S.: Zur Geologie des Sommersberges (Kte. St. Gallen und Appenzell AR). – Ber. st. gall. naturwiss. Ges., **82**, 109–145, 7 Abb., 2 Taf., 3 Tab., St. Gallen 1985.

BÜRGISSER, H.: Fazies und Paläohydrologie der Oberen Süßwassermolasse im Hörnli-Fächer (Nordostschweiz). – Eclogae geol. Helv., **74**/1, 19–28, 4 Abb., 3 Tab., Basel 1981.

EUGSTER, H. et al.: Bl. 1115 Säntis. – Geol. Atlas Schweiz 1 : 25.000, Schweiz. Geol. Komm., Basel 1982.

FALKNER, Ch. & LUDWIG, A.: Beiträge zur Geologie der Umgebung von St. Gallen. – Jb. st. gall. naturwiss. Ges. (**1902/03**), 394–435, 15 Taf., 3 Prof. und Geologische Karte von St. Gallen und Umgebung, St. Gallen 1904.

FUNK, H.-P. et al.: Erläuterungen zu Bl. 1115 Säntis. – Im Druck, Bern 1992.

GUTZWILLER, A.: Ältere diluviale Schotter in der Nähe von St. Gallen und Bischofszell. – Eclogae geol. Helv., **6**/4, 371–377, Lausanne 1900.

HANTKE, R.: Die Geschichte des Alpen-Rheintales in Eiszeit und Nacheiszeit. – Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver. NF **61**, 279–295, Stuttgart 1979.

HANTKE, R.: Eiszeitalter **2**. – 704 S., 277 Abb., 4 Karten, Thun (Ott) 1980.

HANTKE, R.: Eiszeitalter **3**. – 732 S., 312 Abb., 2 Karten, Thun (Ott) 1983.

HANTKE, R.: Zur jungtertiären Geschichte des Alpen-Rheintales. – Mitt. österr. Geol. Ges., **80**, 207–228, 18 Abb., Wien 1987.

HANTKE, R.: Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. – 309 S., 116 Abb., 8 Tab., Thun (Ott) 1991.

HANTKE, R.: Die Geschichte des Alpenrheins. – Internationale Rheinregulierung Rorschach, 1992.

HEIERLI, H.: Die Ostschweizer Alpen und ihr Vorland. – Sammlung geol. Führer, **75**, 209 S., 95 Abb., 4 Tab., 1 Karte, Berlin – Stuttgart (Borntraeger) 1984.

HEIM, Arn. & OBERHOLZER, J.: Geologische Karte der Alvier-Gruppe 1 : 25.000. – Geol. Spez.-Karte **80**, Schweiz. Geol. Komm., Zürich 1917.

HOFMANN, F.: Zur Stratigraphie und Tektonik des St. gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süßwassermolasse) und der Bodenseegeologie. – Jb. st. gall. naturwiss. Ges., **74**, 3–89, 4 Abb., 1 Tab., 2 Taf., St. Gallen 1951.

HOFMANN, F.: Pliozäne Schotter und Sande auf dem Tannenberg NW St. Gallen. – Eclogae geol. Helv., **50**/2 (1957), 477–482, 1 Abb., 2 Tab., Basel 1958.

HOFMANN, F.: Bl. 1073: Bischofszell, mit Erläut. – Geol. Atlas Schweiz 1 : 25.000, Schweiz. Geol. Komm., Basel 1973.

KELLER, O.: Ältere spätwürmzeitliche Gletschervorstöße und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlcihen Rhein-Alpen (Weißbad-Stadium/Bühl-Stadium). – Phys. Geogr. Univ. Zürich 27A, 250 S., 27B, 270 S., Zürich 1988.

LUDWIG, A. et al.: Bl. 222–225 St. Gallen–Appenzell mit Erläut. – Geol. Atlas Schweiz 1 : 25.000, Schweiz. Geol. Komm., Basel 1949.

OBERHAUSER, R. Bl. 110 St. Gallen Süd und 111 Dornbirn Süd. – Geol. Karte Rep. Österreich, Wien (Geol. B.-A.) 1982.

OBERHAUSER, R. et al., Bl. 110 St. Gallen Nord und 111 Dornbirn Nord – Geol. Karte Rep. Österreich. – Wien (Geol. B.-A.) 1992.

TRÜMPY D.: Geologische Untersuchungen im westlichen Rätikon. – Beitr. geol. Karte Schweiz NF **46**/2, Geol. Spez.-Karte **79**, Schweiz. Geol. Komm., Zürich 1916.