Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio



Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national
Servizio idrologico e geologico nazionale

Geologische Berichte – Rapports géologiques – Rapporti geologici
Nr. 19

Integrierte Auswertung von seismischen und bodenspezifischen Parametern: Gefährdungskarten im Kanton Obwalden

C. Schindler, C. Beer, D. Mayer-Rosa, E. Rüttener,
J.-J. Wagner, J.-M. Jaquet, C. Frischknecht

Patronat:
Schweizerisches Komitee IDNDR



Bern, 1996

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio



Landeshydrologie und -geologie
Service hydrologique et géologique national
Servizio idrologico e geologico nazionale

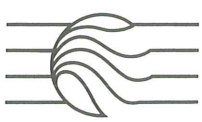
Geologische Berichte – Rapports géologiques – Rapporti geologici
Nr. 19

Integrierte Auswertung von seismischen und bodenspezifischen Parametern: Gefährdungskarten im Kanton Obwalden

C. Schindler[1)], C. Beer[1)], D. Mayer-Rosa[2)], E. Rüttener[2)],
J.-J. Wagner[3)], J.-M. Jaquet[3)], C. Frischknecht[3)]

[1)] Ingenieurgeologie, ETH-Zürich
[2)] Schweizerischer Erdbebendienst, ETH-Zürich
[3)] CERG/UTED-S, Sciences de la Terre, Université Genève

Patronat:
Schweizerisches Komitee IDNDR



Bern, 1996

Geol. Ber. Landeshydrol. u. -geol. **19** (1996)
(mit 29 Beilagen im Anhang)

Vertrieb: Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern
© 1996, Landeshydrologie und -geologie, Bern

ISSN 1017-1509
ISBN 3-906723-02-X

6. 96 450 U34017

VORWORT / PREFACE / PREFAZIONE

Im März 1990 hat der Bundesrat das Schweizerische nationale Komitee für die Internationale UNO-Dekade "Verminderung von Naturkatastrophen" (IDNDR 1990-2000) eingesetzt. Aufgabe dieses Komitees ist es, das vorhandene Potential hinsichtlich der Verhütung von Naturkatastrophen und deren sozio-ökonomischen Auswirkungen zu erfassen, die bestehenden Kenntnisse zu erweitern sowie den Transfer dieses Fachwissens in die Entwicklungsländer zu fördern.

Um den Bedürfnissen der Praxis nachzukommen, hat das Komitee eine Anzahl angewandter Studien in Auftrag gegeben. Es freut uns, hiermit den in Zusammenarbeit mit den zuständigen kantonalen Stellen realisierten Bericht über die Beurteilung der regionalen Erdbebengefährdung im Kanton Obwalden vorlegen zu können. Die Studie wurde mit Unterstützung eines geographischen Informationssystems durchgeführt. Die für die Schweiz bestehende seismische Gefahrenkarte kann somit unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Untergrundes (Dämpfung bzw. Verstärkung der Erschütterungen) entsprechend angepasst werden.

Für den Inhalt des Textes, der Illustrationen und Beilagen sind die Autoren allein verantwortlich.

En mars 1990, le Conseil fédéral a mis sur pied le Comité national suisse de la "Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles" des Nations Unies (IDNDR 1990-2000). Ce Comité a pour tâche d'effectuer une évaluation des capacités du pays à prévenir les catastrophes naturelles et leurs implications socio-économiques, d'améliorer les connaissances existantes et de favoriser le transfert de savoir-faire vers les pays en voie de développement.

Afin de répondre aux besoins de la pratique, le Comité a mandaté un certain nombre d'études appliquées. Nous sommes heureux de présenter le rapport sur l'évaluation de l'aléa sismique dans le canton d'Obwald, réalisé en coopération avec les services compétents de ce canton. Cette évaluation a été élaborée à l'aide d'un système d'information géoréféré. La carte existante de l'aléa sismique en Suisse pourra être ainsi modifiée en tenant compte de l'effet d'amplification des vibrations selon la qualité des sols.

Les auteurs sont seuls responsables du contenu du texte, des illustrations et des annexes.

Nel marzo 1990 il Consiglio federale ha istituito il Comitato nazionale svizzero del "Decennio Internazionale per la Riduzione dei Disastri Naturali" delle Nazioni Unite (IDNDR 1990-2000). Il Comitato si propone di valutare la capacità del Paese di prevenire le catastrofi naturali e le loro implicazioni socioeconomiche, di ampliare le conoscenze finora acquisite in merito e di fare in modo che ciò venga comunicato ai Paesi in via di sviluppo.

Allo scopo di soddisfare le esigenze pratiche, il Comitato ha specificamente commissionato un certo numero di studi applicati. Per noi è motivo di grande soddisfazione poter presentare un rapporto, realizzato in cooperazione con i servizi del Cantone, sulla valutazione del pericolo sismico nel Cantone di Obvaldo. Mediante un sistema d'informazioni geografiche sarà modificato il piano esistente delle zone sismiche svizzere, tenendo conto dell'effetto d'amplificazione risp. di ammortizzamento delle vibrazioni secondo la qualità del suolo.

Gli autori si assumono l'intera responsabilità del contenuto del testo, delle illustrazioni e degli allegati.

Landeshydrologie und -geologie
Der Direktor

Prof. Dr. Ch. Emmenegger

ZUSAMMENFASSUNG

In einer multidisziplinären Pilotstudie ist der Zusammenhang zwischen der Stärke der Erdbebenerschütterung und den physikalischen Eigenschaften des Untergrundes untersucht worden. Wegen seines gut bekannten geologischen Aufbaus, insbesondere der Lockergesteine, der eher überdurchschnittlichen Seismizität und der bedeutenden Bevölkerungs- und Infrastrukturdichte ist der Kanton Obwalden als Testgebiet ausgelesen worden.

Als erstes wurde ein umfangreiches Archiv geologischer, geotechnischer und hydrogeologischer Daten angelegt. Die meist in Form von geologischen Gutachten, geologischen und geotechnischen Detailkarten, Bohr-, Ramm- oder Schachtprofilen sowie als Piezometer-Ablesungen vorliegenden Daten durchliefen bei der Auswertung eine qualitätsmässige Auslese. Zudem mussten mittels Feldarbeit einerseits Daten unterschiedlicher Quellen in kompatible Form gebracht und anderseits Datenlücken geschlossen werden.
Zur effizienten Handhabung der grossen Datenmenge und als Auswertungs- und Darstellungshilfe wurde ein Geographisches Informationssystem (GIS) verwendet. Die Basisdaten sind in Form von mehreren digitalen Grundlagenkarten ins GIS aufgenommen worden. Als wichtig für die Problemstellung haben sich Karten der geotechnischen Eigenschaften der Böden, der Quartärmächtigkeit, der Grundwasser-Oberfläche und die Karte der seismischen Gefährdung erwiesen.
Zur Ermittlung der seismischen Gefährdung wurde in dieser Studie ein probabilistischer Ansatz gewählt. Als Messgrösse der an einem Ort möglichen Bodenbewegung verwendete man die makroseismische Intensität (MSK-Skala).

Ein zweiter Schritt befasste sich mit dem Einfluss lokaler geotechnischer Parameter auf das seismische Signal. Dabei wurde die Abnahme der Erschütterungsstärke mit zunehmender Distanz vom Epizentrum modelliert. Anschliessend sind die Abweichungen zwischen dem so erstellten regionalen Modell und den beobachteten Intensitätswerten ermittelt worden. Diese Abweichungen wurden nach geeigneten Bodenparametern klassiert und die mittleren Abweichungen einer Klasse berechnet.
Als intensitätsverstärkend erwiesen sich insbesonders Lockergesteinsablagerungen mit hohem Grundwasserspiegel, während hingegen trockene, grobkörnige Ablagerungen sowie Felsgesteine diesbezüglich eher als unkritisch betrachtet werden können.

Im dritten Schritt wurden den seismisch relevanten Bodenparametern Intensitätskorrekturwerte entsprechend ihrem seismischen Verhalten zugeordnet. Daraus liess sich dann mit Hilfe des GIS eine Intensitätskorrekturkarte des Untersuchungsgebietes erstellen. Aus der Überlagerung der Korrekturkarte mit der seismischen Gefährdungskarte resultierte eine korrigierte seismische Gefährdungskarte, welche lokale geotechnische Eigenschaften berücksichtigt.

Dabei zeigen die vorherrschenden Kalke der Wildhorn/Drusberg-Decke sowie die Nagelfluh-Serien der Molasse eine relativ geringe Gefährdung. Anderseits weisen die Talböden mit einem Grundwasserspiegel nahe der Terrain-Oberfläche und vorwiegend feinkörnigen Lockergesteinsablagerungen im Gebiete von Giswil und zwischen Sarnen und Alpnachstad die höchste seismische Gefährdung auf. Gefährdungskarten dieser Art sind ein wichtiges Hilfsmittel für den Ingenieur und Planer bei der Festlegung von Massnahmen zur Verminderung möglicher Schäden bei Erdbeben.

INHALT

1.	**Einführung**	**1**
1.1.	Ziel des Pilotprojektes	1
	1.1.1. Thema, Antragsteller und Projektdauer	1
	1.1.2. Idee	1
	1.1.3. Ziel	2
1.2.	Geographischer und geologisch/tektonischer Überblick	2
	1.2.1. Lage des Untersuchungsgebietes	2
	1.2.2. Geologisch/tektonischer Überblick	3
2.	**Système d'information géoréférée**	**9**
2.1.	Introduction	9
2.2.	Description	10
	2.2.1. La saisie et l'adaptation	10
	2.2.2. La gestion	12
	2.2.3. L'analyse	12
	2.2.4. La représentation	12
2.3.	Création de la base de données	12
	2.3.1. Introduction	12
	2.3.2. Brèves descriptions des plans d'information	13
	2.3.3. Problèmes rencontrés	15
2.4.	Analyses multicritères	18
	2.4.1. Description générale	18
	2.4.2. Applications	18
3.	**Aufnahme geotechnischer Daten**	**21**
3.1.	Daten-Erfassung	21
3.2.	Felsrelief, Quartärmächtigkeit	21
3.3.	Geotechnische Charakteristik der Böden	23
	3.3.1. Talfüllung	23
	3.3.2. Felsgesteine und Hangablagerungen	24
3.4.	Grundwasseroberfläche	25
4.	**Methodischer Versuch zur Abschätzung von Hanginstabilitäten**	**27**
4.1.	Einführung	27
4.2.	Rutschungen, Sackungen	28
	4.2.1. Allgemeine Beurteilung	28
	4.2.2. Abschätzung der Gefährdung mittels Kombination von Bodenparametern	29
4.3.	Murgänge	30
	4.3.1. Allgemeine Beurteilung	30
	4.3.2. Abschätzung der Gefährdung mittels Kombination von Bodenparametern	30
4.4.	Steinschlag, Felssturz	32
	4.4.1. Allgemeine Beurteilung	32

4.4.2. Abschätzung der Gefährdung mittels Kombination von Bodenparametern 32

5. Seismische Gefährdung 33
5.1. Generelles Vorgehen 33
5.2. Seismizität 35
5.3. Intensitätsverteilung 39
5.4. Gefährdungsberechnung 43

6. Einfluss lokaler geotechnischer Parameter 47
6.1. Generelles Vorgehen 47
6.2. Relevante Parameter, Korrekturschemas 48
6.2.1. Auf geotechnische Bodenklassen reduziertes Verfahren 49
6.2.2. Übertragung der Korrekturwerte des U.S. Geological Survey 49
6.3. Gefährdung unter Berücksichtigung lokaler Parameter 50

7. Diskussion 55
7.1. Datenaufbereitung 55
7.2. Geographisches Informations-System (GIS) 56
7.3. Seismische Klassierung des geologischen Untergrundes 56
7.4. Hanginstabilitäten 57
7.5. Ausblick 58

LITERATUR 59

ANHANG

LISTE DER FIGUREN UND TABELLEN IM ANHANG

A1 Base de données

A2 Lage des Untersuchungsgebietes - Topographisches Relief

A3 Neigungen

A4 Hangorientierung

A5 Tektonischer Überblick

A6 Vereinfachte geotechnische Karte

A7 Geotechnische Karte (Massstab 1:5'000)

A8 Lage der Bohrungen

A9 Isohypsen der Felsoberfläche

A10 Quartärmächtigkeit

A11 Tiefe der Grundwasseroberfläche

A12 Seismische Basisgefährdung

A13 Table de l'échelle d'intensité MSK 1964

A14 Seismizität (historische und instrumentelle) 1765-1992

A15 Bodennutzung 1979-1985

A16 Verkehrsnetz 1989

A17 Bevölkerungsdichte 1980

A18 Korrekturwerte der seismischen Intensität (Version 1)

A19 Korrekturwerte der seismischen Intensität (Version 2)

A20 Korrigierte seismische Gefährdung (Version 1)

A21 Korrigierte seismische Gefährdung (Version 2)

A22 Korrigierte seismische Gefährdung (Version 1) mit Überlagerung der Wohn- und Industriezonen (1979-85)

A23 Korrigierte seismische Gefährdung (Version 1) mit Überlagerung der Verkehrswege (1989)

A24 Klassifikationsmatrix der seismisch relevanten Parameter

A25 Sondierungen nach Koordinaten geordnet

A26 Querprofil durch die quartäre Lockergesteinsfüllung des Obwaldner Haupttales

A27 Verzeichnis der historischen Erdbeben 1300-1942

A28 Verzeichnis der historischen Erdbeben 1942-1974

A29 Instrumentell erfasste Erdbeben 1975-1992

1. Einführung

1.1. Ziel des Pilotprojektes

(gem. Antrag vom Oktober 1990 und Mandat vom Juli 1991)

1.1.1. Thema, Antragsteller und Projektdauer

Das Projekt wurde im Rahmen der UNO-Dekade "Prévention des Catastrophes Naturelles", unter dem Patronat des Schweizerischen Komitees der IDNDR, des BUWAL und der Landeshydrologie und -geologie, formuliert.

Der Antrag zu diesem Projekt wurde von den folgenden Instituten gestellt:

- Ingenieurgeologie, ETH Zürich
- Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich
- Centre d' études des risques géologiques (CERG) et Unité de télédection (UTED-S), Université Genève

Arbeitsgruppe:

- Prof. Dr. C. Schindler, Projektleiter, Ingenieurgeologie ETH-Z
- M. Manser (bis Okt. 92), dipl. Natw. ETH (Geologie), Ingenieurgeologie ETH-Z
- Ch. Beer (ab Nov. 92), lic. phil. nat. (Geologie), Ingenieurgeologie ETH-Z
- E. Rüttener, dipl. Natw. ETH (Geophysik), Schweizerischer Erdbebendienst ETH-Z
- Dr. D. Mayer-Rosa, Schweizerischer Erdbebendienst ETH-Z
- Prof Dr. J.J. Wagner, CERG, UTED-S, Université Genève
- Dr. J. M. Jaquet, UTED-S, Université Genève
- C. Frischknecht, dipl. sc. terre (Geologie), CERG, UTED-S, Université Genève

Ohne Bezahlung durch das Projekt, aber mit diesem im Kontakt:

- D. Estoppey, Diplomand, Ingenieurgeologie ETH-Z
- D. Egli, Diplomand, Ingenieurgeologie ETH-Z

Das Pilotprojekt ist 1991 angelaufen und Ende 93 abgeschlossen worden.

1.1.2. Idee

Rezente Katastrophen haben gezeigt, dass ein enger Zusammenhang zwischen dem Grad der Erdbebenerschütterung und den physikalischen Eigenschaften des Untergrundes besteht. Die in dieser Hinsicht kritischen Faktoren sollten deshalb klassifiziert und kartiert werden, um für die künftige Planung von Nutzen zu sein. Will man diese Zusammenhänge in einer Pilotstudie untersuchen, so muss dies multidisziplinär erfolgen. Zudem muss ein geeignetes Testgebiet gesucht werden, welches folgende Voraussetzungen erfüllt:

- Überdurchschnittliche Seismizität
- Gut bekannter geologischer Aufbau insbesondere der Lockergesteine
- Bedeutende Dichte von Bevölkerung und Infrastruktur

Der Kanton Obwalden, über den die drei beteiligten Institute wesentliche Informationen besitzen, wurde als geeignetes Untersuchungsgebiet für diese Pilotstudien ausgewählt. Ausserdem sind in diesem Gebiet 1964/65 eine relativ starke Erdbebenserie bei Sarnen - Kerns und 1986 eine grosse Erdrutschkatastrophe bei Giswil aufgetreten, die auf das nicht unwesentliche Gefahrenpotential dieser Region hinweisen.

1.1.3. Ziel

Gesamtziel des Projektes ist eine Darstellung der hauptsächlichen Elemente und Faktoren, die als Grundlage für die Bestimmung von Risiken bei Naturkatastrophen dienen. Neben der Erfassung der allgemeinen Erdbebengefährdung ist hier in erster Linie auch der unterschiedliche Einfluss des Untergrundes (Anfälligkeit auf Aufschaukelung und Intensität) angezielt. Alle so erhaltenen Informationen und Daten werden in einem computergestützten Geo-Referenzsystem erfasst und nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet. Als Resultat dieses Projektes werden Gefahrenkarten für seismisch induzierte Boden-Instabilitäten (v. a. Amplifizierungseffekte) vorliegen.

Aus der erwähnten Zielsetzung ergeben sich die folgenden Teilziele:

- Definition von seismogenen Zonen mit Hilfe der instrumentell bestimmten Verteilung der Erdbebenaktivität. Berechnung der Erdbebengefährdung speziell in der Innerschweiz.

- Ausscheiden von gefährdeten Zonen aufgrund detaillierter geologischer, geotechnischer und hydrogeologischer Karten.

- Zusammenfassung aller erarbeiteten und digitalisierten Informationen in einer Datenbank zur gemeinsamen Auswertung und Interpretation.

1.2. Geographischer und geologisch/tektonischer Überblick

1.2.1. Lage des Untersuchungsgebietes (Karte Anhang A2)

Das Untersuchungsgebiet umfasst in erster Linie die dicht bis mässig besiedelten Gebiete des Obwaldner Haupttales. Konkret wird der mit dem Geographischen Informationssystem (GIS) erfasste Bereich mit den folgenden Eckkoordinaten abgesteckt (Anhang A2):

NE: 668 725 / 202 750
SE: 668 725 / 184 400
SW: 655 000 / 184 400
SE: 655 000 / 202 750

Das Gebiet erstreckt sich also über eine Länge (N-S) von ca. 18 km und eine Breite (E-W) von ca. 13 km. Die geographisch markanten Elemente im Obwaldner Haupttal sind die drei Seen - Lungerer See, Sarner See, Alpnacher See - die durch die Aa resp. Sarner Aa verbunden werden. Giswil, Edisried/Sachseln, Sarnen/Kerns und Alpnach stellen die am dichtesten besiedelten Gebiete dar. Die wichtigsten Verkehrsachsen sind das Autobahnteilstück der N8 resp. die Hauptstrasse 4, die vom Kanton Luzern/Nidwalden durch Obwalden in den Kanton Bern führt sowie die Brünigbahn, die Luzern via Sarnen mit Interlaken verbindet. Morphologisch bedeutende Elemente sind auf der orographisch rechten Seite des Haupttales der Grat Stanserhorn-Nünalphorn, westlich anschliessend das Grosse Melchtal und weiter im Norden der Mueterschwanderberg, der das Städerried vom nidwaldnischen Ennetmoos abtrennt. Auf der orographisch linken Seite fallen im mittleren Teil der Höhenzug von Schwendi, nördlich anschliessend die bei Alpnach ins Haupttal mündenden Schlierentäler sowie an der Nordgrenze der Gipfel des Pilatus und der Lopper auf.

1.2.2. Geologisch/tektonischer Überblick (Karte A5 und A6)

Das Untersuchungsgebiet liegt hauptsächlich im Bereich der Wildhorn-Drusberg-Decke und der vorgelagerten, vermutlich mit ihr synklinal verbundenen Bürgenstock-Teildecke (siehe Anhang A5).

Wildhorn-Drusberg-Decke

Der mächtige Schichtstoss der Wildhorn-Drusberg-Decke ist in verschiedene Falten, Schollen und Schuppen gegliedert. Der Deckenkörper hat sich bei der Gebirgsbildung infolge der Einschaltung dicker Mergelserien in mehrere, weitgehend selbständige Stockwerke aufgelöst, deren Struktur voneinander abweicht.

Jura-Stockwerk

Dominiert wird dieses Element im südlichsten Teil der Karte v.a. von harten Kalken und einzelnen mergeligen, schiefrigen Gesteinen (vgl. Anhang A6). Starke Zerbrechung und Aufspaltung in viele einzelne Schuppen sind häufig (STAEGER 1944). Die generell ENE-WSW-vergenten Faltenachsen mit einer Axialdepression in der Talmitte sind gegenüber denjenigen des Kreidestockwerkes mehr nach E-W abgedreht (Streichrichtung ca. 75-85°). Die Hauptstörungen haben sinistralen Schersinn und sind beidseits des Tales zu identifizieren. Karsterscheinungen und fehlender Oberflächenabfluss prägen den Wasserhaushalt.

Kreide/Tertiär-Stockwerk

Das Kreide/Tertiär-Stockwerk wird durch die Palfris-Mergel vom Jura-Stockwerk getrennt. Die oberkretazischen Amdener Mergel verursachen lokal eine Auftrennung in Teilstockwerke. Ein grosser Teil des Felsuntergrundes zwischen Sarnen und Lungern (südöstliche Talseite von Sarnen bis Giswil, unterhalb Giswil beide Talseiten) wird von diesem Element aufgebaut. Die bekannten Gesteine der zentralschweizerischen, helvetischen Kreide- und Tertiärserien sind - mit einigen faziellen Besonderheiten - alle vorhanden. Eine

solche Besonderheit ist das Verschwinden der harten/kompetenten Wang-Schichten bei Ewil (NE Giswil) und allgemein nördlich davon. Ob das Fehlen der Wang-Schichten auf synsedimentäre Bruchschollentektonik (vgl. MOHLER 1966) oder andere Ursachen zurückgeführt werden kann, ist unklar. Die dominanten Schichtelemente in den stark bebauten Gebieten sind v.a. die Amdener Mergel und die Globigerinen-Schiefer (Volksname "Faulplatten"). Südlich von Ewil/Giswil ist die mehr oder weniger vollständige helvetische Kreideserie zu finden. Erwähnenswert ist die eher untypische Ausbildung des Schrattenkalkes als siltige Mergelkalke bis Kalkmergel (Schwalmeren-Schichten). Die Faltenachsen verlaufen generell SW-NE (Streichrichtung ca. 55-65°). Sie sind im Riegel von Kaiserstuhl durch zwei talparallele Störungen abgedreht (Streichrichtung hier ca. 70-80°). Die mögliche Verbindung dieser Störungen mit Störungen im Jurastockwerk bei Lungern werden durch die Quartärbedeckung maskiert. Die nordöstlichen Fortsetzungen dieser Störungen können zwar vermutet werden, beweisen lassen sie sich bis heute einzig in Seismikprofilen des Tiefengas-Konsortiums (TGK) bei Giswil.

Schuppenzone von Sachseln-Kerns

Die Schuppenzone wird hauptsächlich durch die Amdener Mergel und die Globigerinen-Schiefer aufgebaut, sowie durch die tertiären Sandsteine und Kalke der Bürgen- und Hogant-Formation. Sie liegt in jenem Bereich, wo die kompetenten Wang-Schichten fehlen.
Die harten, aber dünnen Nummuliten-Schichten bilden im Gelände vier bis fünf diskontinuierliche Züge. Sie wurden grösstenteils zerbrochen und sind als mittelsteil bis steil SE-einfallende, brettartige Schuppen eingespiesst worden; lokal sind aber auch Verbiegungen bekannt.
Im Randbereich der Zone sind lokal wildflyschartige Sequenzen nachgewiesen worden, so in der Melchaa-Schlucht nördlich Flüeli, südlich des Wissibachs bei Effenhalten und östlich Ewil. Das Gestein besteht dort aus stark gestörten Tonschiefern mit Einlagerungen (Linsen, Blöcken) von Sandsteinen (Dr. von Moos AG 1990) und von Gips.

Bürgenstock-Teildecke

Das Bürgenstock-Element besteht aus einer asymmetrischen Falte mit flach abfallendem Süd- und steil einfallendem bis überkipptem Nordschenkel. Dieses Gewölbe des Muoterschwanderberges ist der Wildhorn-Drusbergdecke nordwestlich vorgelagert und mit ihr vermutlich synklinal verbunden (HANTKE 1961). Diese Struktur, wie auch die südlich anschliessenden Teile des Helvetikums, werden durch das Haupttal schief zu deren Streichen zerschnitten (Dr. von Moos AG 1990). Im untersuchten Bereich der Bürgenstock-Teildecke ist an der rechten Talflanke nur der Südschenkel der Falte erhalten, der Faltenscheitel ist erodiert. An der rechten Talseite, im Landenberg oberhalb Sarnen, zeichnet sich ein stark zerhacktes Gewölbe ab (vgl. BENZ 1948). Die Tertiärschichten am Landenberg entsprechen jedoch einer nördlicheren Fazies als jene des Mueterschwanderberges (BENZ 1948). So ist also eine direkte Verbindung der Faltenachsen über das Tal hinweg nicht offensichtlich. Eine unter der Lockergesteinsfüllung des Tales versteckte, sinistrale Blattverschiebung mit einem Verschiebungsbetrag von einigen hundert Metern könnte die Ursache sein, doch ist dies nicht sicher nachgewiesen.

Wildflysch

Der Wildflysch, ein tektonisches Mélange der Habkernzone, ist durchwegs an Einheitengrenzen und Schuppenzonen gebunden. Er liegt zwischen dem Helvetikum und dem penninischen Deckenkomplex (Schlieren-Flysch, Klippendecke). Er besteht vorwiegend aus Tonschiefern bis stark tonigen Mergelschiefern mit vielen glänzenden Harnischflächen. Charakteristische sind Einschlüsse aus praktisch allen Gesteinen der umliegenden Einheiten (BAYER 1982).
Allgemein ist der Aufbau des Habkern-Mélange sehr heterogen. Selbst nahe beieinander gelegene Aufschlüsse sind oft erstaunlich unterschiedlich (vgl. MOHLER 1966). Im Gebiet der Sachsler Bäche zeichnet sich im Wildflysch eine Muldenstruktur ab, indem ein relativ wenig gestörter Kern von stärker deformierten und verschuppten Gesteinen umhüllt wird (vgl. BENZ 1948; BAYER 1982; Dr.von Moos AG 1990).

Schlieren-Flysch

Die Hauptmasse des Schlieren-Flyschs weist einen relativ einfachen Bau mit Mulden, Aufsschiebungen und wenigen Transversalverschiebungen auf (WINKLER 1983). Der Randbereich dieser Einheit scheint allerdings etwas komplizierter gebaut zu sein. So sind aus dem Gebiet südlich der Gross Laui eine Reihe z. T. verkehrtliegender Schuppen bekannt (vgl. VON MOOS 1990). Das Erkennen der tektonischen Strukturen erweist sich aufgrund der recht komplexen stratigraphischen Verhältnisse, der Wechsellagerung von harten, turbiditischen Sandsteinen und weichen, verwitterungsanfälligen Tonen und Tonmergeln als schwierig, besonders weil sie im Detail durch Aufschiebungen, Brüche sowie örtlich wildflyschähnliche Einschlüsse "gestört" sind

Pilatus/Lopper

Im nördlichsten Teil der Karte erscheinen noch Elemente von Pilatus/Lopper. In der Umgebung von Alpnach sind das v.a. steilstehende Tertiärmergel. Die stratigraphisch tieferen Schichten erscheinen erst in den weitgehend unbebauten Berghängen und steilen Seeuferpartien.

Klippen

Giswilerstock und Stanserhorn als penninische Klippen werden hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Sie befinden sich jedoch ausserhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes.
Die Giswiler Klippen liegen als Erosionsrelikte an ihrem Südrand auf der Stirn der Wildhorn/Drusbergdecke, in ihrem Hauptteil aber auf dem Schlieren-Flysch, wobei ein Kissen von Habkern-Mélange zwischengelagert ist. Die Klippen-Decke kann hier in die folgenden vier stratigraphisch und tektonisch stark differentierten Einheiten unterteilt werden (VONDERSCHMITT 1923; MOHLER 1966; FELBER 1984):

- Der Giswilerstock besteht hauptsächlich aus in Grossfalten gelegten, triadischen Karbonaten.

- Der Alpoglerberg wird v.a. durch Wechsellagerungen von Mergelschiefern und Kalken dominiert, die in eine Reihe von Falten und zerrissene Mulden gelegt sind.

- Glaubenbielen besteht aus vermutlich mit der Unterlage verschupptem, triadischem Gips

- Die Rotspitz-Serie ist aus Schuppen mit Gesteinen der Obertrias bis Tertiär aufgebaut.

Bruchsysteme

Die Achsen der Faltenstrukturen der Wildhorn/Drusberg-Decke fallen mit 6-7° Neigung von ENE beziehungsweise WSW her gegen eine tiefste Quersenke (Lungern-Obsee/Giswilerstock). Das Obwaldner Tal verläuft 30-40° schief dazu und wird von zahlreichen talparallelen, sinistralen Störungen begleitet. Diese Störungszone zerschneidet den Schichtstoss zwischen Meiringen und Giswil schief und besteht aus zahlreichen steilen, oft stark verbogenen Einzelbrüchen. Es ergibt sich gesamthaft gesehen ein starker Vorschub des Ostflügels, verbunden mit einer Querpressung, welche im Malm-Dogger-Stockwerk zu einer Aufschiebung des östlichen über den westlichen Flügel führt, während in der Kreide hauptsächlich eine Aufstauchung im Westflügel stattfindet (COLOMBI et al. 1985). Äusserst komplexe Einzelerscheinungen deuten darauf hin, dass das Bruchsystem den Schichtstoss schon früh während der Faltung zerschnitten hat, aber auch später immer wieder aktiv geworden ist. Die als 600 - 2000 m breites Band steilstehender Brüche ausgebildete Störungszone zwischen Giswil und Brünigpass versetzt die Faltenachsen meist im Ostflügel gegen Norden. Zudem erfolgt aber eine Abdrehung gegen E-W Richtung (SCHINDLER 1980).

Die bestdokumentierte Störung erscheint unmittelbar westlich der Schwelle von Kaiserstuhl bis an das südwestliche Ende des Aaried und lässt sich im Giswiler Riegel vermuten. Sie ist in einem Seismikprofil als Begrenzung der Schwelle von Giswil (siehe Felsreliefkarte, Anhang A9) eindeutig identifiziert und verschwindet in gleicher Richtung unter dem Schlierenflysch (TGK, unpubl.).
Parallel dazu, entlang der E Talflanke beim Lungerersee, verläuft eine weitere Störung gleicher Art, welche das Tal im Bereich von Sarnen queren könnte. Hinweise darauf bieten die Erdbebenepizentren in der Gegend von Sarnen (Karte A14). Sie ist aber weder in den seismischen Profilen noch im Feld zu lokalisieren.
Im Zuge der Auswertungen der TGK-Daten konnte westlich von Alpnach-Dorf eine, von den Lockergesteinen verdeckte Felsschwelle sowie eine kräftige Störung erkannt werden. Die Störung verläuft ungefähr parallel zum bekannten Lopper-Bruch, d.h. WNW-ESE. Resultate der TGK-Tiefenseismik zeigen dort ebenfalls ein erhebliches Bruchsystem (mündl. Mitt. Ph. Bodmer, TGK).

Eine Deutung dieser beiden Bruchrichtungen als konjugiertes Bruchsystem im alpinen Spannungsfeld wäre naheliegend. Die Herdlösungen der zahlreichen Erdbeben in diesem Gebiet würden diese These unterstützen. Verschiedene Gasaustritte entlang der vermuteten Bruchlinien sind ein weiteres Argument. Neotektonische Phänomene in Bereichen solcher möglichen Störungslinien konnten bis heute aber nicht beobachtet werden.

Im Rahmen der Studien für die Nationalstrasse N8 wurden diverse hydrogeologische Abklärungen im Karst des Brüniggebietes durchgeführt (WILDBERGER et al. 1982). Diese

zeigen, dass sich die geschilderten komplexen tektonischen Verhältnisse auch in der Karsthydrogeologie abbilden. Es zeigt sich, dass die Hauptabflussbahn in den Malmkalken des Brüniggebietes in nordöstlicher Richtung zu den Loppquellen bei Lungern führt. Ein weiterer Fliessweg führt in entgegengesetzter Richtung (SE) zu einer im Süden von Brienzwiler gelegenen Quelle. Somit liegt die erste Abflussbahn parallel zu dem bedeutensten Bruchsystem des Gebietes. Die zweite verläuft parallel zu den Faltenachsen und den damit verbundenen Störungsflächen.

2. Système d'information géoréférée

2.1. Introduction

Pour mener à bien l'analyse de l'aléa sismique du canton d'Obwald, il a été décidé d'utiliser un système d'information géoréférée (SIG) qui est basé sur le traitement informatique de données pouvant être définies dans un référentiel géographique. Il s'agit d'un outil polyvalent puisqu'il permet :

- d'adapter des informations provenant de sources diverses de manière à constituer une base de données,
- de maintenir cette base de données à la pointe de la connaissance,
- d'élaborer des scénarios en faisant varier les paramètres,
- de produire des documents dans de brefs délais.

Lors de la production de documents et leur utilisation, il est important de garder en mémoire l'échelle de travail ainsi que la précision des données de base.

Il existe deux modes de représentation dans les SIG (Fig. 2.1). Le premier s'applique aux données vectorielles, telles que le réseau hydrographique, le réseau des canalisations, etc... Il s'agit d'un SIG en mode vecteur. Le second, utilisé dans ce projet, est basé sur le mode raster, où les informations sont représentées en tout point de l'espace par des pixels, éléments constitutifs d'une image et dont la taille définit la résolution. Le choix de la dimension d'un pixel dépend du but de l'étude.

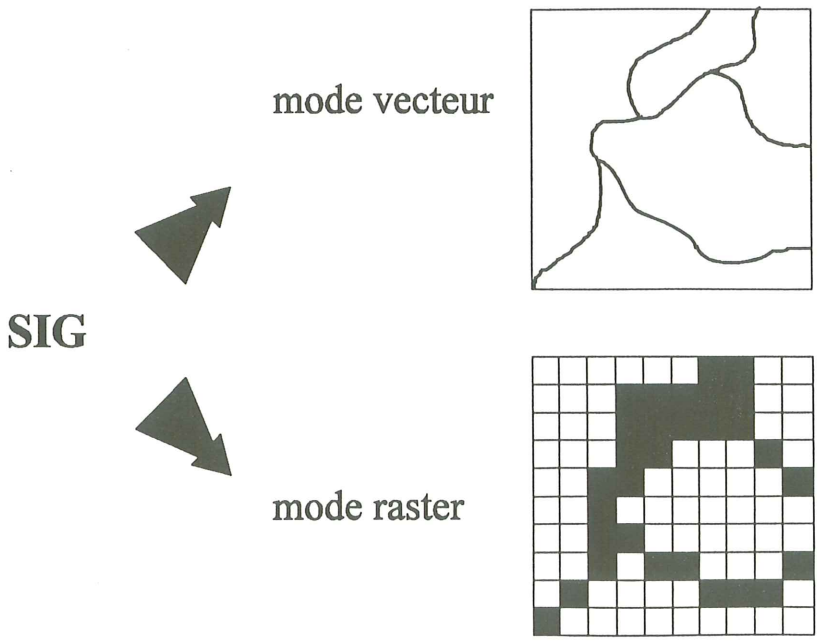


Fig. 2.1: Représentation des deux modes de SIG

Les outils nécessaires à la mise en place d'un SIG, quel qu'en soit le mode, sont :

- un ordinateur type PC 386 ou plus
- une imprimante couleurs
- une table à numériser
- un ou plusieurs logiciels gérant l'ensemble des fonctions

2.2. Description

Les opérations proposées par un SIG peuvent être réparties en quatre groupes :

1. La saisie et l'adaptation
2. La gestion
3. L'analyse
4. La représentation

2.2.1. La saisie et l'adaptation

Il s'agit de la phase d'acquisition des données et leur adaptation, de manière à pouvoir constituer ou compléter une base de données.

L'acquisition des données inclut :

a. la conversion de format
b. la numérisation de cartes analogiques

La conversion de format est nécessaire lorsque les fichiers sont de format inapproprié pour le logiciel ou lorsque le fichier de départ est en structure vecteur alors que la base de données est en structure raster.

Pour les logiciels utilisés dans ce travail (IDRISI[1] et ILWIS[2]), un fichier en structure raster contenant des informations continues (altitude, bathymétrie...) est en fait une colonne de nombres. Il deviendra une image que par la définition des paramètres suivants :

- le nombre de lignes et de colonnes,
- les coordonnées géographiques,
- la résolution,
- et autres caractéristiques annexes.

Par contre, les objets en structure vecteur sont définis par :

- un identificateur pour chaque objet (point, ligne ou polygone),
- le nombre de points qui définit l'objet,
- les coordonnées X, Y de chaque point composant l'objet.

Ces informations seront conservées lors de la transformation en structure raster.

---

[1] IDRISI©, version 4.0, J.R. Eastman, Clark University Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts, 01610, USA

[2] ILWIS©, version 1.2 (1990) et 1.3 (1992), ITC, 350 bd 1945, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede (NL)

La numérisation des cartes analogiques a pour but de convertir les informations contenues dans des cartes topographiques, géologiques et autres en structure vecteur. Dans ce projet, cette transformation s'est effectuée à l'aide du logiciel ILWIS et du logiciel ARCINFO[1]

L'adaptation concerne :

a. la détection d'erreurs et leur correction
b. l'ajustement des données

L'ajustement des données concerne les plans d'information devant être intégrés dans une base de données. Il s'agit d'ajuster la taille, la résolution et les coordonnées géographiques afin que ces informations soient identiques pour tous les plans d'information.

La taille d'une image est définie par son nombre de lignes et de colonnes. Les deux logiciels définissent leur référentiel spatial de manière identique, c'est-à-dire en haut à gauche. Cependant le logiciel ILWIS débute le compte par le couple (1,1) alors que le logiciel IDRISI commence par le couple (0,0). Par conséquent une image de 300 colonnes et de 500 lignes se voit attribuer des coordonnées en ligne et en colonne différentes comme le montre la figure 2.2:

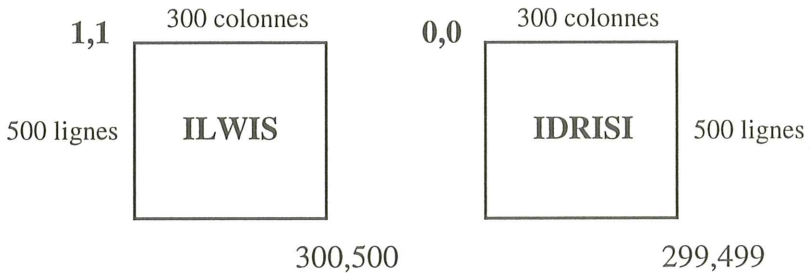


Fig. 2.2: Attribution des coordonnées en ligne et en colonne

En ce qui concerne les coordonnées géographiques, leur attribution commence au coin inférieur gauche (Fig. 2.3) à l'opposition des coordonnées en ligne et en colonne, et ceci pour les deux logiciels.

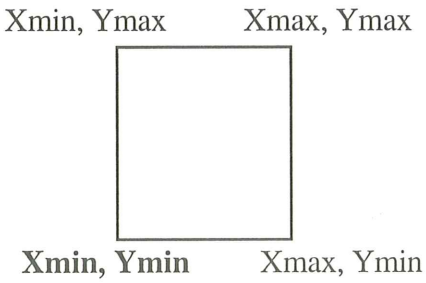


Fig. 2.3: Attribution des coordonnées géographiques

[1] ARCINFO©, 1990, ESRI Inc. 380 New York Street, Redlands, CA 92373 USA

2.2.2. La gestion

Elle comprend :

- la conservation des données,
- la mise à jour de la base de données,
- l'élimination des données inutiles,
- l'échange de données.

2.2.3. L'analyse

Elle permet de combiner les différents plans afin d'effectuer des opérations

- statistiques,
- thématiques,
- spatiales,
- spatio-thématiques.

2.2.4. La représentation

Elle concerne l'affichage d'image à l'écran et leur impression sur papier. Elle fait appel dans sa phase finale à des logiciels de dessin tels que DPAINT[1], IMAGE-IN[2] et CORELDRAW[3].

2.3. Création de la base de données

2.3.1. Introduction

L'utilisation d'une base de données au sein d'un SIG nécessite que celle-ci soit constituée de manière à posséder :

- un référentiel géographique commun,
- des coordonnées géographiques bien définies,
- une dimension spatiale identique (nombre de lignes, nombre de colonnes),
- une même résolution.

Dans ce travail, le référentiel géographique utilisé est le système suisse de coordonnées basé sur le mètre. Les coordonnées de la zone d'étude sont :

- **Xmin = 655'000,**
- **Xmax = 668'725,**
- **Ymin = 184'400,**
- **Ymax = 202'750.**

---

[1] DPAINT©, 1985, Electronic Arts, P.O. Box 7578, San Mateo, CA 94403
[2] IMAGE-IN©, 1991, CPI SA, 50 av. de la Praille, 1227 Genève
[3] CORELDRAW©, version 4.0, Corel Corporation, 1600 Carling Avenue, Ottawa, Ontario Canada K1Z 8R7

Elles correspondent au centre des pixels. Le nombre de lignes est égal à **735**, le nombre de colonnes à **550**. La résolution est de **25 m**. Le tout est illustré par la figure 2.3.1.1.

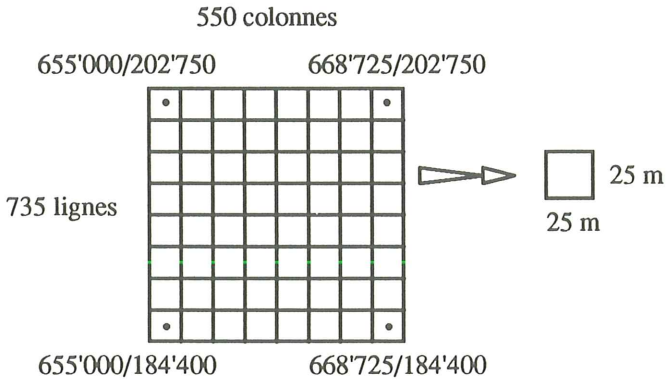


Fig. 2.3.1.1: Caractéristiques de la zone d'étude

Quant au contenu même de la base de données, il comprend 17 plans d'information (Annexe A1) dont certains sont déjà des plans dérivés comme la carte des pentes ou des plans de nature relativement complexe comme l'aléa sismique (voir chap.5).

2.3.2. Brèves descriptions des plans d'information

1. Modèle numérique de terrain (MNT25)

Ce plan contient des données d'altitude et est fourni sous forme numérique. Il résulte en fait de l'association de deux modèles numériques de terrain (MNT25), créés à partir des cartes topographiques au 1:25'000 **N°1170 (Alpnach) et N°1190 (Melchtal)** publiées par l'Office fédéral de topographie (Rickenbacher, 1992). La résolution est de 25 m.

A partir de ces données d'altitude, il est possible de créer une image en relief du territoire (Annexe A2), permettant ainsi d'apprécier la troisième dimension.

2. La carte des pentes

Elle est calculée à partir du modèle numérique de terrain filtré (Annexe A3).

3. La carte d'orientation des pentes

Elle dérive, tout comme la carte des pentes, du modèle numérique de terrain filtré (Annexe A4).

4. Le réseau hydrographique

Ce plan (Annexe A2) contient les lacs et les rivières principales. Il a été obtenu par numérisation des cartes topographiques au 1:25'000 N°1170 - Alpnach - et N°1190 - Melchtal.

5. La carte tectonique

Elle a été fournie sous forme de carte analogique au 1:25'000 afin d'être numérisée. Elle se compose des unités tectoniques de la région ainsi que des réseaux de failles reconnus (Annexe A5). L'imprécision est de 5 m.

6. La carte géotechnique simplifiée

Ce plan (Annexe A6) est fourni en structure vecteur (format ARCINFO). Il a été établi d'après la carte géotechnique simplifiée de la Suisse au 1:200'000 (Bundesamt für Wasserwirtschaft, 1990). La précision, liée au document de base, ne dépasse pas les 200 m.

7. La carte géotechnique détaillée

Elle a été levée au 1:5'000 et fournie sous forme de 6 cartes analogiques. Celles-ci représentent une couverture limitée à la bordure sud du lac de Sarnen. L'imprécision s'échelonne entre 2 m et 11 m (Annexe A7).

8. La carte de position des sondages

Les données de sondages ont été fournies sous forme de tableau numérique contenant les coordonnées géographiques ainsi que la profondeur réelle et relative de la nappe phréatique (Annexe A8).

9. La carte des isohypses du toit de la roche

Le document de base est une carte analogique au 1:25'000. L'imprécision introduite lors de la numérisation est de 5 m (A9).

10. La carte des isopaches du quaternaire

Elle résulte de la superposition (soustraction) du modèle numérique de terrain et des isohypses du toit de la roche (A10).

11. La carte de profondeur de la nappe phréatique

Cette information a été établie à partir des données de sondages et fournie sous forme de cartes analogiques. Celles-ci ont été numérisées. L'imprécision varie entre 2 m et 11 m (Annexe A11).

12. La carte de l'aléa sismique de base

Elle est fournie sous format numérique. Son établissement est décrit sous le point 5 Ce plan (Annexe A12) contient des valeurs d'intensité selon l'échelle macrosismique MSK (Annexe A13). Traditionnellement, ces valeurs sont exprimées en chiffres romains mais pour des raisons informatiques, elles sont ici transcrites en chiffres arabes (European Macroseismic Scale, 1992).

13. La carte de la sismicité (historique et instrumentale)

Cette carte (Annexe A14) présente la répartition géographique des tremblements de terre ainsi que leur intensité selon l'échelle macrosismique MKS pour la période allant de 1765 à 1992. Ces informations ont été fournies sous forme de tableau numérique.

14. La carte d'occupation du sol

Ce plan (Annexe A15) a été livré sous forme numérique. Il a été créé à partir de l'interprétation par échantillonnage de photographies aériennes (Bundesamt für Statistik, 1992). Il s'agit d'une étude statistique de la superficie allant de 1979 à 1985. La précision est de 100 m.

15. La carte des voies de communication

Ce plan (Annexe A16) contient les routes principales et secondaires, l'autoroute, les chemins de fer, les gares, les ponts, les téléphériques ainsi que les tunnels. Ces données ont été numérisées à partir des cartes topographiques N°1170 et N°1190 au 1:25'000, remises à jour en 1989.

16. La carte de la population

Ce plan (Annexe A17) contient le nombre d'habitants par hectare d'après le recensement de la population en 1980. Ces données sont fournies sous forme numérique avec une résolution de base de 100 m.

2.3.3. Problèmes rencontrés

La constitution d'une base de données n'est pas dépourvue de difficultés. En effet, comme les informations originelles proviennent de sources différentes, cela a pour conséquence une certaine hétérogénéité au niveau de la dimension, de la résolution et de la précision. A cela peut s'ajouter le problème des artefacts, la question de la conversion des données de structure vecteur en structure raster, ainsi que les imprécisions apparaissant lors de la numérisation des cartes analogiques.

En ce qui concerne les différences de précision, le cas le plus flagrant est celui de la carte géotechnique simplifiée (Annexe A6). Comme elle dérive de la carte géotechnique de la Suisse au 200'000, sa précision de dépasse pas les 200 m, ce qui pour une étude au 1:25'000 représente une perte d'information.

Le cas des artefacts peut être illustré par un extrait numérique et visuel du modèle numérique de terrain (Fig. 2.3.3.1 et Tab. 2.3.3.1).

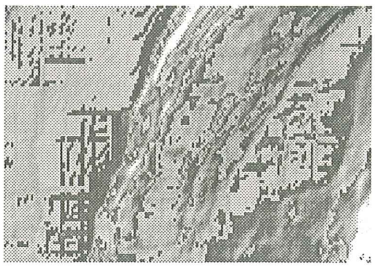


Fig. 2.3.3.1 : Extrait visuel d'artefacts en croix

L/C	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474
145	535	530	530	529	533	527	525	524	523	523
146	530	530	530	530	534	528	526	525	524	524
147	530	530	530	529	536	527	525	525	524	524
148	530	530	530	529	537	527	525	525	524	524
149	530	530	530	529	538	527	525	525	525	525
150	533	534	535	539	540	539	536	534	533	531
151	530	530	530	528	539	526	525	525	525	525
152	530	530	530	530	535	529	528	527	527	526
153	530	530	530	530	533	529	528	528	527	527
154	530	530	530	530	533	528	528	527	527	527

Tab. 2.3.3.1 : Artefact en valeur numérique (zone ombrée)

Ces artefacts proviennent de l'interpolation des courbes de niveau introduisant ainsi des erreurs dans les zones plates et les cônes d'éboulis. Il peut aussi en avoir en bordure de carte, lorsque les cartes adjacentes utilisées pour le calcul ne sont pas totalement achevées. Etant donné qu'un modèle numérique de terrain est une base de calcul pour des plans dérivés (pente, etc.), ces artefacts sont gênants. Cependant, il est possible de les atténuer au moyen d'un filtre passe-bas (HARRISON & JUPP 1990). Il fonctionne sur le principe d'une fenêtre mobile (COLLET 1992). Il s'agit d'une matrice de n colonnes par n lignes qui balaye l'image ligne par ligne de gauche à droite, de haut en bas, et dont le centre se déplace de pixel en pixel.

Le filtre passe-bas utilisé est un filtre moyen 5x5 où tous les pixels ont le même poids, c'est-à-dire où chaque élément de la matrice possède une pondération de 1. Le choix de la taille (5 x 5) est dû à l'importance des artefacts. Une fois le traitement appliqué, les artefacts ont considérablement diminué comme le montre la figure 2.3.3.2. et le tableau 2.3.3.2, les résidus subsistant étant considérés comme négligeables.

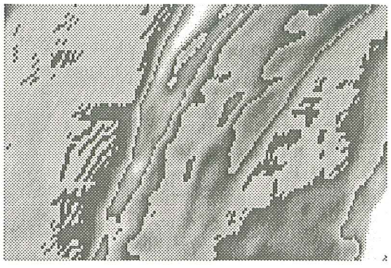


Fig. 2.3.3.2 : Extrait d'artefacts après traitement

L/C	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474
145	532	531	531	530	529	527	526	524	523	523
146	532	531	531	530	529	528	527	525	524	523
147	531	531	531	530	529	528	527	525	524	524
148	531	531	532	532	531	530	529	527	526	526
149	530	531	532	532	531	530	529	527	526	526
150	530	531	532	532	531	531	530	528	527	526
151	530	531	532	532	532	531	530	528	527	527
152	530	531	532	532	532	531	530	528	528	527
153	530	530	531	530	530	529	528	527	526	526
154	529	530	530	530	530	529	528	527	527	527

Tab. 2.3.3.2 : Artefact numérique après traitement

Pour estimer l'impact de ce traitement sur les données brutes, un calcul d'écart moyen a été effectué selon la formule suivante :

$$\frac{1}{N}\sum | x_1 - x_2 | * n$$

x_1 : valeur de l'image brute
x_2 : valeur de l'image filtrée
n : nombre de pixels
N : nombre total de pixels

Le résultat donne un écart de 3.06 m, résultat acceptable. Cependant, s'agissant d'une estimation globale, il se peut que localement la différence entre la valeur brute et la valeur traitée soit plus grande. Il est à noter que la carte numérique d'Alpnach d'origine présente déjà une erreur moyenne de 5.22 m et que celle de Melchtal contient une erreur moyenne de 6.83 m (erreurs résultant de l'interpolation des courbes de niveau).

La conversion des données de structure vecteur en structure raster apporte aussi son lot d'erreurs qui dépend du logiciel SIG utilisé (VAN DER KNAAP 1992), chaque logiciel ayant son propre module de conversion.
Quant aux imprécisions apparaissant lors de la numérisation, elles ont plusieurs causes :

- une origine humaine, pouvant intervenir lors de l'établissement des cartes analogiques (erreurs de positionnement, de relevé, etc.) ou de la numérisation
- une origine technique comme dans le cas des photocopieuses qui introduisent des distorsions lors de la reproduction de données de base.

2.4. Analyses multicritères

2.4.1. Description générale

Dès que la base de données contient le nombre adéquat de plans d'information, la phase d'analyse peut être abordée. Celle-ci implique l'utilisation combinée de deux ou plusieurs plans d'information.

Pour effectuer ces opérations, le SIG offre un large éventail d'outils que l'on peut classer en deux catégories. La première contient des opérateurs mathématiques (addition, soustraction, multiplication ...), des opérateurs logiques (et, ou...) et des opérateurs conditionnels (si...alors). Ces outils induisent une notion verticale (Fig. 2.4.1.1). La seconde catégorie contient des opérateurs de distance qui permettent de déterminer la relation entre un point et son environnement. Cela peut, par exemple, s'avérer utile lorsqu'il s'agit de déterminer l'endroit le plus propice, au niveau des voies de communication pour l'implantation d'un complexe industriel. Ce type d'opérateurs implique une notion horizontale (Fig. 2.4.1.1).

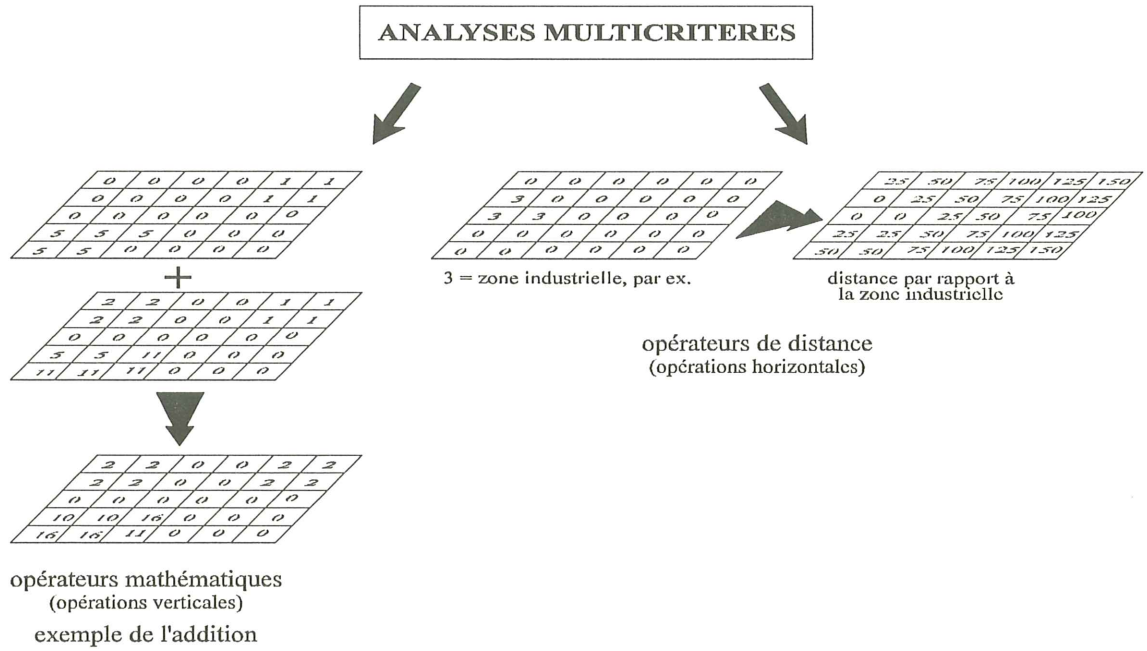


Fig. 2.4.1.1 : Analyses multicritères

2.4.2. Applications

Dans ce projet, la phase d'analyse concerne principalement :

- l'estimation de l'épaisseur du quaternaire,
- l'essai de détermination des zones d'instabilité,
- l'évaluation de l'aléa sismique corrigé.

L'estimation du remplissage quaternaire a été effectuée au moyen d'opérateurs mathématiques. En effet, pour approximer l'épaisseur du quaternaire, il suffit de **soustraire** les valeurs d'altitude du toit de la roche (Annexe A9) à celles du modèle numérique de terrain (MNT25). Cependant, dans le cas présent, les données d'altitude du toit de la roche n'existent que pour la vallée centrale. Par conséquent, il est nécessaire d'appliquer un masque afin d'occulter les valeurs extérieures indésirables. Ce traitement peut être effectué soit sur le modèle numérique de terrain, soit sur l'image résultant de la combinaison. Il consiste à **multiplier** l'image initiale par une image ne contenant que les valeurs 0 et 1, comme le montre le tableau 2.4.2.1.

559	558	557	556	555	554
558	557	556	555	554	553
557	556	555	554	553	552
556	555	554	553	552	551
555	554	553	552	551	550
554	553	552	551	550	549

image à masquer

x

0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

masque

=

0	0	0	0	0	0
0	557	556	555	554	0
0	556	555	554	553	0
0	0	554	553	552	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

image masquée

Tab. 2.4.2.1 Exemple théorique de l'utilisation d'un masque

En ce qui concerne l'essai de détermination des instabilités de terrain (chap. 4.), il a requis l'emploi combiné d'opérateurs mathématiques et de distance. En effet, dans l'analyse des "Murgang" (chap. 4.3.), il est nécessaire d'introduire, en plus des paramètres géotechniques et physiques (pente) de la zone, une notion d'éloignement par rapport aux rivières, donnée qui peut être calculée par les **opérateurs de distance**.

Quant à l'évaluation de l'aléa sismique corrigé (Annexes A20-A21), but de ce projet pilote, elle a été effectuée en utilisant uniquement des opérateurs mathématiques. La phase principale a été effectuée en employant l'**addition** comme le montre la figure 2.4.2.2.

Cependant, avant de pouvoir attribuer les facteurs de correction d'intensité à chaque unité géotechnique, il a fallu tenir compte de la nappe phréatique. Cela a été effectué de la manière suivante :

- extraction des zones de matériaux non consolidés d'après la carte géotechnique simplifiée,
- superposition (addition) des zones de matériaux non consolidés et de la nappe phréatique,
- différenciation des zones de matériaux non consolidés affectées de celles non affectées par la nappe phréatique au moyen d'identificateurs déterminés,
- superposition (addition) des zones de matériaux consolidés, des zones des matériaux non consolidés affectées et non affectées par la nappe phréatique.

Une fois ce travail préliminaire achevé, il est possible d'attribuer les facteurs de correction de l'intensité sismique (Tab. 6.1.).

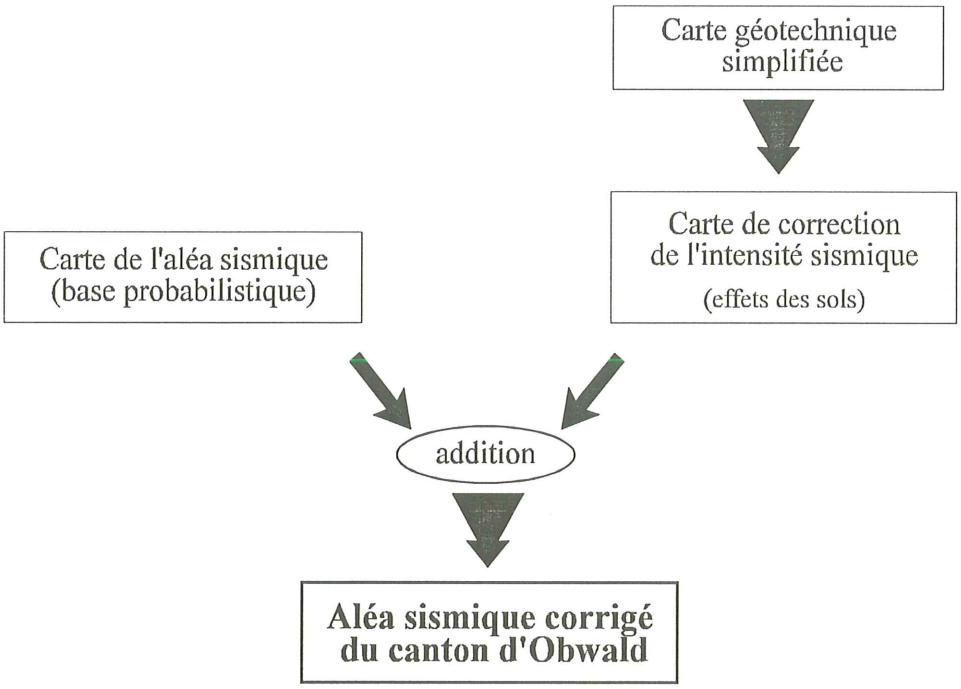


Fig. 2.4.2.2 Schéma général de l'évaluation de l'aléa sismique corrigé

3. Aufnahme geotechnischer Daten

3.1. Daten-Erfassung (Karten A7 und A8)

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein umfangreiches Archiv geologischer, geotechnischer und hydrogeologischer Daten angelegt. Neben kantonalen und eidgenössischen Institutionen sind es vor allem private geologische Büros, welche Unterlagenmaterial geliefert haben. Alle Daten wurden von den Urhebern zur Verwendung in der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit zur Verfügung gestellt. Eine Verwendung in anderem Zusammenhang sowie eine direkte Abbildung der Rohdaten ist aber rechtlich untersagt.

Die Daten liegen in Form von geologischen Gutachten, geologischen und geotechnischen Detailkarten, Bohrprofilen, Rammprofilen oder Schachtprofilen vor. Bei der Auswertung ist der qualitätsmässigen Triage in Rohdaten, zusammengefasste und interpretierte Berichte sowie Karten und Modelle Rechnung getragen worden. Es musste dabei auch jeweils die Art des Auftrags berücksichtigt werden, für welche die entsprechende Untersuchung gemacht worden ist, da je nach Auftragshintergrund andere Schwerpunkte gesetzt wurden.

Im Laufe der Auswertungen mussten in Feldarbeit einerseits geologische und geotechnische Aufnahmen unterschiedlicher Quellen in kompatibler Form aneinander gefügt werden, andererseits Datenlücken mittels Detailkartierungen geschlossen werden.

Nebst dem konventionellen Datenarchiv, das aus kopierten Bohrprofilen, Rammprofilen, Schachtaufnahmen, geologischen Beschreibungen und Karten besteht, wurde eine Computer-Archivdatei erstellt. Dabei wurden die aussagekräftigsten Daten, etwa zwei Drittel der gesamten Datenmenge, selektioniert. Als Auswahlkriterien standen der Aufbau der quartären Talfüllung sowie die Felsgrenze und der Grundwasserspiegel im Vordergrund. Ferner wurden Daten, welche von der Oberflächengeologie her nicht offensichtlich abgeleitet werden können, bevorzugt. Aus Gebieten mit sehr hoher Datendichte wurden für die lokalen Verhältnisse typische Profile ausgewählt. Die Sondierungen (296 Aufnahmen) wurden dann mit den folgenden Parametern in eine Datei aufgenommen: Koordinaten, Kote, Sondierteufe, Archivsignatur (Quelle/Nr.), Datenart und Datum der Erhebung, Felsoberfläche erreicht (Ja/Nein-Kriterium), Felskote, Quartärmächtigkeit, Grundwasserniveau und Messdatum des Grundwasserspiegels (s. Anhang A25).

3.2. Felsrelief, Quartärmächtigkeit (Karten A9 und A10)

Für die Erstellung des Felstiefenmodells mussten umfangreiche seismische Refraktions- und Reflexionsprofile des Tiefengaskonsortiums gesichtet und interpretiert werden. Zudem konnten in randlichen Bereichen auch zahlreiche Bohrungen verschiedener geologischer Büros zur Ergänzung zugezogen werden. Aus den interpretierten Daten wurde dann von Hand eine Felsisohypsenkarte im Massstab 1:25000 mit einer Äquidistanz von 50 m gezeichnet und anschliessend für das GIS digitalisiert.

Das Felsrelief des Obwaldnertales (Anhang A9), wie es sich heute präsentiert, ist hauptsächlich ein Produkt der letzten Eiszeit. Ein Arm des Aaregletschers transfluierte über den Brünig und reichte im Maximum der letzten Vereisung bis nach Stans, wo er mit dem Engelberger Gletscher und dem Reussgletscher zusammentraf. Die Erosion durch das

Gletschereis war an Härteunterschiede im Felsgestein gebunden oder fand präferentiell entlang von Störungszonen statt. Es entstand ein übertieftes Relief, das durch mehrere Schwellen in einzelne Becken unterteilt wurde.

Eine erste, etwa 0.7 bis 1 km breite Schwelle (nahe der SW-Ecke der Karte) befindet sich bei Kaiserstuhl. Der Fels ist grösstenteils anstehend oder nur mit geringmächtigen Quartärablagerungen bedeckt. Sie trennt das Becken des Lungerer Sees vom grossen Becken ab, in dem sich Giswil und der Sarner See befinden. Die Felsoberfläche sinkt im Bereich des südlichen Ende des Lungerer Sees bis auf mindestens 570 m ü. M., während sie im unteren Becken im Gebiet Dreiwässerkanal-Schwerzenbachried auf ca. 160 m abfällt.

Eine zweite Schwelle liegt unter Sarnen. Sie hat eine Breite von etwa 2 km und reicht bis 40 m an die Terrainoberfläche. Im NNE dieser Schwelle schliesst ein weiteres Becken an, das sich bis über das Gebiet des Alpnacher Sees erstreckt. Es erreicht seine grösste Tiefe (weniger als 250 m ü. M.) im Gebiet unter dem heutigen Lauf der Kleinen Schliere zwischen Alpnach und Alpnachstad.

Der Mueterschwanderberg spaltete während den Hochstadien der letzten Vereisung den Brünigarm des Aaregletschers in zwei Lappen auf (HANTKE 1978), wobei der eine Lappen durch die Talung des Alpnacher Sees floss, während der andere Lappen das Zungenbecken des Drachenrieds erfüllte und bei Allweg mit seiner Stirn auf den gegen Westen ausbiegenden Lappen des Engelberger Gletschers traf. Dadurch wurde auch im Raume St. Jakob-Ennetmoos (NNE Kerns bis zur Schwelle von Allweg) ein Becken mit einer geschätzten tiefsten Kote von ca. 440 m zwischen Wisserlen und St. Jakob ausgeschliffen.

Beim Abschmelzen des Aareeises entstand im Obwaldner Tal vorerst ein grosser See, der vermutlich durch den Reussgletscher, der damals noch den Talausgang blockierte, abgedämmt wurde. Auch im Drachenried bestand bis weit ins Postglazial ein See, worauf Seekreide-, Ton- und Torfablagerungen hinweisen. Die Entwässerung erfolgte durch die Schlucht des Rotzlochs zum Alpnacher See.

In der Folge entstanden im Haupttal der Sarner See und der heute verlandete Rudenzer See. Die Abdämmung der Seen und das allmähliche Heben des Talbodens erfolgte durch die mächtigen Schuttfächer an der Mündung der Seitentäler. Im N erfolgte das Abtrennen des Sarner Sees durch die Schuttfächer der Grossen Melchaa und des Mülibachs, im S setzte die Schüttung der Kleinen Melchaa, des Laui-, Rüti-, Steini- und Gersibachs ein. Noch im späteren Holozän reichte der See im SW bis über Giswil hinaus und endete im NE zwischen Diechtersmatt und Grossteil (vgl. auch IMHOF 1978; LK 1190 [1953]; DK XIII). Im Auried, SW von Giswil, existierte noch bis 1761 (IMFELD 1976) ein flachgründiger See (SCHEUCHZER 1712; WALSER 1769; HESS 1914), den die Giswiler zur Landgewinnung durch einen Kanal trockenlegten.
Der Lungerer See dagegen wird durch eine Felsschwelle gestaut. Sein Spiegel wurde 1836 zur Landnutzung durch einen Stollen um 37 m abgesenkt. 1923/27 wurde der See zur Energiegewinnung wieder um 34 m aufgestaut.

Die Auffüllung der glazigen entstandenen Becken mit den verschiedensten Lockergesteinen während und nach dem Abschmelzen des Gletschereises führten zu beachtlichen Mächtigkeiten der Quartärablagerungen im Obwaldner Haupttal (Anhang A10). So weist das Becken des Lungerer Sees Mächtigkeiten der Lockergesteine bis 120 m und dasjenige von Giswil - Sarner See maximale Mächtigkeiten von 320 m auf. Mit einer Länge von 9 km und einer durchschnittlichen Breite von 2.5 km dürfte das Becken von Giswil - Sarner See

ein Lockergesteinsvolumen von über $2.2*10^9$ m^3 beinhalten. Das Becken von Alpnach weist eine maximale Quartärmächtigkeit von 200 m auf, und die Mächtigkeit der Lockergesteine im Bereich von Wisserlen - St. Jakob beträgt mehr als 130 m.

3.3. Geotechnische Charakteristik der Böden

Zur Erfassung der geotechnischen Beschaffenheit der Böden, insbesondere der quartären Talfüllung, wurden über 290 Sondierungen und zahlreiche geologische Gutachten und Berichte gesichtet sowie geologische und geotechnische Detailkartierungen im Massstab 1:5000 oder 1:10000 mitverwendet (s. Kap 3.1). Die grösste Dichte der akquirierten Daten liegt entlang der Autobahn N8 und deren geplanten Weiterführung sowie im Gebiet von Sarnen (v. a. hydrogeologische Daten).

3.3.1. Talfüllung

Das Obwaldner Tal wurde weitgehend glazigen - gebunden an Härteunterschiede im Fels, sowie entlang von Störungszonen - herauspräpariert. So ist ein Felsrelief von übertieften Becken und dazwischenliegenden Schwellen entstanden (Felsreliefkarte Anhang A9 und Kap. 3.1). Diese Übertiefungen wurden seit dem Abschmelzen des Gletschers mit mächtigen Abfolgen von Lockergesteinen angefüllt (Kap. 3.2 und Anhang A10).

Die verschiedenen Gletscherstände hinterliessen an den Talflanken und evtl. auf dem Fels des Talbodens zahlreiche, z.T. noch reliktisch erhaltene Moränen. Sie sind v.a. oberhalb Giswil häufig anzutreffen. Weiter talabwärts fehlen die matrixgestützten, siltig und z.T. feinsandigen Ablagerungen mit schwimmenden Blöcken und Steinen. Die glazigenen Sedimente wurden dort stark erodiert oder sind durch andere Lockergesteine überdeckt worden. An den Talflanken wurden die Seitenmoränen durch wahrscheinlich späteiszeitlichen Bachschutt (kiesig-sandig, selten etwas lehmig) hinterfüllt oder faziell verzahnt.

Das Abschmelzen der Eismassen und das anschliessende, noch vegetationsarme Postglazial hinterliessen Seeablagerungen und mächtige Sequenzen von z.T. siltigen Seetonen, später bildeten sich auch seekreideartige Ablagerungen. Aufgrund der Schwellen im durch den Gletscher herauspräparierten Felsrelief ist unter anderem anzunehmen, dass das Niveau des früheren Seespiegels des Sarner Sees bei einer Kote von mindestens 430 m ü. M. gelegen haben muss. Der ursprüngliche Spiegel des Vierwaldstättersees lag bei ca. 432 m. Andererseits sind durch die intensive Entwässerung in der Talfüllung Schotter und Rinnenfüllungen (grob, kiesig-sandig, z. T. etwas lehmig) zur Ablagerung gekommen (Fig. A27). Diese groben Ablagerungen kann man sich linsenförmig, lateral feiner werdend oder mit den Seeablagerungen verzahnt vorstellen.

Von den Mündungen der Seitentäler her bauten sich z. T. sehr mächtige Schuttkegel auf und progradierten mit ihren Runsenablagerungen (grob, kiesig-lehmig-sandig) in den Talkessel. Die grossen Schuttfächer der Schlierenbäche (Fig. A27), ferner jene der kleinen Melchaa und des Mülibaches haben unter anderem zur Abdämmung des Sarner Sees geführt (vgl. Kap 3.2). Im Gebiete von Giswil manifestiert sich neben den See- und Verlandungssedimenten der starke Einfluss der Laui, des Steinibachs und der kleinen

Melchaa im Aufbau der quartären Talfüllung. In den Grenzbereichen zwischen den terrigenen und den lakustrischen Ablagerungen kommt es z.B. zur Bildung von (siltig-sandigen-kiesigen) Deltaschüttungen. Stark verbreitet sind die in flachen Uferbereichen gebildeten Verlandungssedimente (Lehm, Torf, etc.); so zum Beispiel im Ried NNE Diechtersmatt, im Längenried, im Gügenried, sowie im Städerried und Eichiried. Im distalen Einflussbereich von Bächen sind diesen Verlandungssedimenten oft Lagen von Überschwemmungsablagerungen (eher feinkörnig, lehmig-kiesig) zwischengelagert; so z.B. im Aaried und imLengenbüelried.

3.3.2. Felsgesteine und Hangablagerungen

Die helvetischen Felsgesteine der Wildhorn/Drusberg-Decke, der Bürgenstock-Teildecke sowie des Pilatus und Loppers werden vor allem durch Kalksteine in massiver Ausbildung mit häufig mergeligen Zwischenlagen dominiert. Diese bedeutenderen Zwischenlagen bestehen aus Mergelschiefern und Mergelkalken.

Mergelschiefer mit Einlagerungen bis grösseren Arealen von Sandsteinen finden hauptsächlich in den Gebieten des Wildflyschs und Schlieren-Flyschs ihre Verbreitung.

Während der letzten Eiszeit haben sich, als Folge der unterschiedlichen Gletscherstände, an den Talflanken auf mehreren Niveaus Moränenablagerungen gebildet. Die meisten sind aber verschwemmt, hinterfüllt, überdeckt oder erodiert worden.

Infolge des teilweise übersteilten Reliefs der vom Gletscher erodierten Flanken und der intensiven Gesteinsverwitterung hat sich an Stellen, wo kein Bach den Sedimentabtrag übernehmen konnte, Gesteinsmaterial mobilisiert oder remobilisiert. Es gelangte entweder entlang der Talflanken oder als Hangschuttkegel (eher fein, lehmig-kiesig) oder Trockenschutthalde (kiesig-lehmig-sandig, mit Blöcken) zur Ablagerung. Ein quartärgeologisches Grossereignis des letzten Spätglazials stellt der Bergsturz von der Westflanke des Stanserhorns dar. Seine Schuttablagerungen, die vorwiegend aus Trümmern von Malm- und Doggerkalken bestehen, bedecken das grosse Gebiet des Kernwaldes, den SSW-Teil des Felsbeckens von St. Jakob-Ennetmoos. Über die chronologische Einordnung des Bergsturzes und ein allfällige fazielle Verzahnung mit den "benachbarten" Moränen herrscht noch nicht vollständige Klarheit (vgl. BUXTORF 1916). Hier wird aber sicher die Arbeit von Estoppey (in Vorbereitung) noch interessante quartärgeologische und geotechnische Ergänzungen liefern.

Das Abschmelzen des Gletschers und die veränderten klimatischen, hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse haben auf dafür anfälligem geologischen Untergrund in bestimmten Hanglagen zahlreiche Instabilitäten provoziert (auf diese Problematik wird noch in Kap. 4 eingegangen).

3.4. Grundwasseroberfläche

Für die Erfassung der Grundwasseroberfläche wurden lokale hydrogeologische Untersuchungen, Karten und Piezometermessungen sowie Angaben von Quellen und Brunnenschächten mit einbezogen (vgl. Kap 3.1). Die Hauptinformation wurde aber aus den rund 270 Bohrungen mit Angaben über den Wasserstand (Anhang A25) gewonnen. Als Hilfskonstruktion wurden diese Bohrungen aus der Computer-Archivdatei selektioniert und mit dem GIS kartographisch dargestellt. Die Karte der Lage des Grundwasserspiegels (Anhang A11) wurde dann mittels Kompilation aller hydrogeologischen Daten und unter Mitberücksichtigung weiterer hydrologischer und geotechnischer Kriterien von Hand gezeichnet und anschliessend für die Verwendung im GIS digitalisiert.

In der Talebene SW des Sarner Sees liegt der Grundwasserspiegel relativ hoch. So weist er im Hanenriet, im Schwerzbachried, teilweise im Schibenried und im Aaried einen Oberflächenabstand von weniger als 1 - 2 m auf. Im Schuttfächer der Kleinen Melchaa bei Diechtersmatt und in den Bachschuttablagerungen bei Grossteil und Forst liegt er deutlich tiefer auf einem Niveau von > 5 m unter Terrain.

In den tiefer gelegenen Bachschuttablagerungen der SE-Seite des Sarner Sees liegt der Grundwasserspiegel auf einer Tiefe von 2 - 5 m. In den etwas höher gelegenen Hangschutt- und Runsenablagerungen sowie glazigenen Ablagerungen (s. Kap. 3.3) weist der Grundwasserspiegel meist Tiefen auf, die grösser als 5 m sind. Aufgrund der geologischen Kleingliederung und der damit verbundenen, kleinräumig stark wechselnden geotechnischen Eigenschaften der Böden sind die Verhältnisse sehr variabel.

Die Grundwasserverhältnisse zwischen dem Sarner See und dem Alpnacher See sind folgendermassen gekennzeichnet:

- Die hauptsächlich aus Seeablagerungen, Verlandungssedimenten, feinkörnigen und torfartigen Muldenfüllungen bestehenden Böden des nördlichen Teils des Hinter Städerrieds und des Eichirieds, des W-Teils von Schlierenrüti sowie des Rieds bei Guggenmoos weisen einen Grundwasserspiegel auf, der weniger als 1 m unter der Erdoberfläche liegt.

- In den eher feinkörnigen, lehmig - kiesigen Bachablagerungen in der Ebene und den distalen Bereichen der kiesig-lehmig-sandigen Ablagerungen der Bachschuttfächer zwischen Reckholder und Gügenried, zwischen Längenbüelried und dem Südteil des Hinterstäderried und zwischen Feld und Riedmättli bei Alpnachstad liegt der Grundwasserspiegel in einer Tiefe von 1 - 3 m.

- In den groben, kiesig-sandigen Bachschuttablagerungen der mächtigen Schuttfächer der grossen und kleinen Schliere befindet sich der Grundwasserspiegel in einem Bereich von 3 bis > 15 m (meist 5 - 15 m) unter Terrain.

4. Methodischer Versuch zur Abschätzung von Hanginstabilitäten

4.1. Einführung

Aufgrund der Komplexizität des Bodenaufbaus und der unterschiedlichen Immissionscharakteristik der Erdbebenwellen auf diesbezüglich sensitive Gebiete ist es unmöglich, die Gefährdung durch Hanginstabilitäten als direkte Folge eines bestimmten Erdbebens grossmassstäblich zu berechnen. Zudem spielt, bei den zu erwartenden Intensitäten, die seismische Belastung statistisch gesehen eine untergeordnete Rolle bei der Auslösung von Rutschungen. Denkbar wäre als Folge von Erdbeben viel eher das Abstürzen kleinerer oder grösserer Felsmassen. In Gebieten mit einer Gelände- und Klimacharakteristik wie Obwalden scheinen für Instabilitäten Kriterien wie die Bodenbeschaffenheit, die kleinräumigen hydrogeologischen Verhältnisse sowie die Hangmorphologie etc., wichtig zu sein. Es kann aber angenommen werden, dass Gebiete, welche ohnehin zur Ausbildung von Instabilitätsphänomenen neigen, bei stärkerer dynamischer Belastung, durch ein Erdbeben, geschwächt werden können, sodass in der Folgezeit vermehrt Rutschungen auftreten. Dies kann bereits bestehende, passiv gewordene instabile Gebiete oder bisher nicht abgerutschte Zonen betreffen. Es wäre deshalb interessant, Gebiete, welche zur Ausbildung von Instabilitätsphänomenen neigen, im untersuchten Gebiet ausscheiden zu können.

Ein Ansatz dazu bietet eine entsprechende Kombination möglichst vieler, das Untersuchungsgebiet charakterisierende Bodenparameter. Im Folgenden werden methodische Möglichkeiten als Versuch zur Abschätzung von Hanginstabilitäten unter Verwendung eines GIS vorgestellt. Da eine grosse Menge und Vielfalt von Daten in das System aufgenommen worden sind, liegen dafür günstige Voraussetzungen vor.

Methodisch wird folgendes Vorgehen gewählt:

- In einem ersten Schritt werden die für ein Instabilitätsphänomen spezifisch wichtigen Kriterien resp. Kartenebenen aus der GIS-Datenbank selektioniert.

- Als zweiter Schritt werden die jeweiligen Kriterien resp. Kartenebenen entsprechend ihrer Einflusscharakteristik neu klassiert und abgestuft (den Klassen werden Klassenwerte zugeordnet).

- Je nach Einflussstärke eines Kriteriums resp. einer Kartenebene auf ein bestimmtes Instabilitätsphänomen wird in einem dritten Schritt die jeweilige Kartenebene entsprechend gewichtet.

- Als vierter Schritt werden die gewählten Kriterien resp. Kartenebenen ihrer Gewichtung und Funktion entsprechend im GIS verknüpft und als neue, resultierende Karte der Gefährdungsabschätzung hinsichtlich eines gewählten Instabilitätsphänomens dargestellt.

4.2. Rutschungen, Sackungen

4.2.1. Allgemeine Beurteilung

Im Rahmen des Variantenstudiums der N8 wurden die Hänge entlang des Obwaldner Tales untersucht (v. a. unpubl. Berichte der Dr. von Moos AG) und mit zahlreichen Bohrungen angefahren.
Zwischen Kaiserstuhl und Aecherli liegen in der rechten Talflanke gewaltige Massen von grobem Schutt mit sandig-siltiger Grundmasse. Trotz des zum Teil sehr steilen Geländes und lokaler Erosion verhalten sie sich erstaunlich stabil (s. SCHINDLER 1980). Anders verhält sich der Gegenhang unterhalb Guggendossen, wo im Schutt unterhalb der auffälligen Wand aus Wang-Schichten die Amdener Mergel anstehen. Es zeigte sich, dass deren lehmbedeckte Oberfläche sehr rasch absinkt, während darüber grober lehmiger Hangschutt mit Einschlüssen von versacktem Fels folgt (SCHINDLER 1980).

In morphologisch ähnlichen Situationen wie hier beschrieben, wirkt sich oft der Umstand negativ auf die Stabilitätsverhältnisse eines Rutschgebietes aus, dass sich aus dem steileren überliegenden Gelände junge Schuttkegel bilden, welche den oberen Teil der latenten Gleitmasse zunehmend belasten.

Zwischen dem Tal der kleinen Melchaa und Ewil werden die schuttbedeckten Hänge in ihrem tieferen Teil von Flysch (v. a. Mergel, lokal Gips enthaltend) unterlagert. Auffällig bei den Lockergesteinen ist dabei der Wechsel zwischen Sedimenttypen mit verschiedenen Eigenschaften (SCHINDLER 1980). Die Stabilität dieser Hänge erscheint aufgrund der Geländeformen teilweise prekär.

Die Geländeterrasse von Stalden oberhalb des Sarnersees, zwischen dem Gerisbach und dem Müligraben ob Kirchhofen, soll wegen der glazigenen Übertiefung des Haupttales auf der Unterlage des Habkern-Mélanges (Karte A79) abgeglitten sein (Benz 1948). In welchem Umfang sich hier effektiv eine grossmassstäbliche Sackung entwickelt hat, müsste noch abgeklärt werden. Die hangaufwärts anschliessenden Hangbereiche wie auch ganz allgemein das Gebiet des Schlierenflysches sind durch zahlreiche, meist sehr tiefgreifende Rutschungen gekennzeichnet. Unklar bleibt, ob zudem grosse Bereiche tiefgreifend versackt sind.

Allgemein muss bei der Beurteilung der Stabilität der Hänge im Kanton Obwalden berücksichtigt werden, dass beim Abschmelzen der Gletscher die Stützfunktion des Eises verschwand und zahlreiche Instabilitäten neu entstanden. Eine besondere Gefährlichkeit liegt darin, dass jüngere Hang- und Bachschuttablagerungen die charakteristischen morphologischen Merkmale, welche instabile Gebiete erkennen lassen, maskiert haben. Der ungünstige, belastende Effekt im oberen Teil einer Rutschung kann durch ein Ansteigen des Hangwasserspiegels weiter verstärkt werden. Dem gegenüber tritt das Aufsedimentieren der Talsohle, was eine gewisse Stabilisierung erwarten lässt. Verschiedene Bäche (Grosse und Kleine Schliere, Grosse und Kleine Melchaa, Seitenbäche oberhalb von Sachseln) haben sich seit dem Gletscherrückzug massiv in den Untergrund eingefressen, was zusätzliche Rutschungen auslöste.

Trockene Bachschuttkegel oder eiszeitliche Runsenschuttablagerungen können generell als stabile Akkumulationen betrachtet werden. Heikel wird die Situation dann, wenn diese Ablagerungen beispielsweise durch Böschungsanschnitte oder Bacherrosion bis nahe an den

Fels oder in diesen zerschnitten werden. Im Fels sind hier oft Mergel anstehend, welche oberflächlich verlehmt und durchnässt sind. Der Rutsch von Giswil wurde sehr wahrscheinlich durch das keilförmige Unterschneiden der Schuttmasse durch zwei Bäche verursacht (vgl. WILDBERGER 1988).

4.2.2. Abschätzung der Gefährdung mittels Kombination von Bodenparametern

Als methodischer Versuch zur Abschätzung der Gebiete, die zu Rutschungen und Sackungen neigen, wurden als Kriterien die Karte der Hangneigungen und die geotechnischen Karten ausgewählt.

Die Neigungskarte wird in Klassen von Winkelgruppen aufgeteilt. Den Klassen wird ein mit progressiver Steigung zunehmender Klassenwert zugeordnet (Tab. 4.1). Diese Zuordnng erfolgt deshalb, weil die treibende Komponente der stabilitätsbestimmenden Vektoren einer Rutschung oder Sackung proportional zur Steigung zunimmt.

Winkelgruppen [°]	**Steigung**	**Klassenwert**
0 - 5	0 - 0.09	1
5 - 10	0.09 - 0.18	2
10 - 15	0.18 - 0.27	3
15 - 20	0.27 - 0.36	4
20 - 25	0.36 - 0.46	5
25 - 30	0.46 - 0.57	6
30 - 35	0.57 - 0.70	7
35 - 40	0.70 - 0.83	8
40 - 45	0.83 - 1.00	9
45 - 50	1.00 - 1.2	10
50 - 55	1.2 - 1.4	11
55 - 60	1.4 - 1.7	12
60 - 65	1.7 - 2.1	13
65 - 70	2.1 - 2.7	14
70 - 75	2.7 - 3.7	15
75 - 80	3.7 - 5.7	16
80 - 85	5.7 - 11.4	17
85 - 90	> 11.4	18

Tab. 4.1: Einteilung der Neigungskarte in Winkelgruppen und Zuweisung von Klassenwerten

Die geotechnischen Bodenklassen werden nach progressiver Rutschanfälligkeit geordnet. Das heisst, sie werden nach den Kriterien sortiert, bei gleicher Belastung, Gleitflächen auszubilden. Dabei spielen Materialbeschaffenheit, Korngrösse und Kornverteilung eine entscheidende Rolle. Bestimmend ist auch das Verhalten gegenüber dem Wasser, wie das Permeabilitätsverhalten (durchlässige oder wasserstauende Schicht --> Veränderung des Porenwasserdruckes) und das Plastizitätsverhalten. Ebenfalls sind in der geotechnischen

Klassifizierung die Effekte der Verwitterung mitberücksichtigt. Die Zuordnung der Klassenwerte erfolgt so, dass höhere Werte grösserer Rutschanfälligkeit entsprechen als kleinere Werte. Nicht berücksichtigt werden können dagegen die Auswirkungen der Schichtstellung relativ zum Hang.

Das differenzierte Verknüpfen der beiden Karten und die verschieden starke Gewichtung der einzelnen Ebenen, wie auch die Berücksichtigung weiterer Faktoren wie z.B. die Bedeckung durch Wald, hat in erster Näherung keine Lösung ergeben, welche für das gesamte Untersuchungsgebiet ein einigermassen relevantes Gefährdungsbild darstellen würde. Die Zusammenhänge sind offensichtlich komplexer.

Immerhin ergibt beispielsweise die Verknüpfung $(2_{[Gewichtungsfaktor]} * Neigung) + Geotechnik$ einen auf den ersten Blick nicht allzu wirklichkeitsfremde Abschätzung der zu Rutschung neigenden Zonen in der Schlierenflysch-Region. Dafür zeigen aber alle anderen Zonen im Untersuchungsgebiet, wie zum Beispiel die Bergflanken in der Wildhorn/Drusberg-Decke, ein total wirklichkeitsfremdes Gefährdungsbild, dies vermutlich wegen der Nichtberücksichtigung von Schichtstellung und der für verschiedene Schichten charakteristischen Wechsellagerung (z.B. Mergel-Kalk), welche sich im Detail auswirkt.

Diese Probleme sollten weiter verfolgt werden. Die bisher vom GIS benutzte geotechnische Karte 1:200'000 (Karten A6 und A7) genügt für die Abschätzung von Hanginstabilitäten nicht. Geplant ist ein Versuch mit der Detailkartierung 1:5'000 für Testgebiete.

4.3. Murgänge

4.3.1. Allgemeine Beurteilung

Vor allem in den Laui- und den Schlierentälern besteht eine akute Murganggefahr. Die Ober- und Mittelläufe dieser Flüsse liegen hauptsächlich in Flysch oder flyschartigen Gesteinen, die bevorzugt zu Rutschungen und Murgängen neigen.

Dramatisch spitzt sich die Situation für den Unterlauf (Kegelbereich) des Baches dann zu, wenn mehrere Ereignisse in der gleichen Talkerbe während des selben Unwetters niedergehen, oder wenn ein Rutsch oder Murgang den Mittellauf des Baches vorübergehend aufstaut.

4.3.2. Abschätzung der Gefährdung mittels Kombination von Bodenparametern

Beim methodischen Versuch zur Abschätzung der Gebiete, in welchen Murgänge, murgangartige Rutschungen oder damit assoziierte kleinere Rutschungen ausgelöst werden können, sind die Karten der Hangneigung, die geotechnische Karte und die Karte des Gewässernetzes als Kriterien verwendet worden.

Die Neigungskarte wird, wie in Kap. 4.2 beschrieben, in Winkelgruppen aufgeteilt und den Klassen werden mit zunehmender Steigung höhere Werte zugeordnet (Tab. 4.1).

Die geotechnischen Bodenklassifikation wird versucht nach progressiver Murganggefahr zu ordnen. Die Zuordnung der Klassenwerte erfolgt nach dem gleichen Schema wie bei der Abschätzung der Rutschanfälligkeit (Kap. 4.2).

Bei der Karte des Gewässernetzes werden die stehenden Gewässer eliminiert und im Folgenden nur die Fliessgewässer weiter betrachtet. In einer horizontalen Distanzoperation werden Flächen ausgeschieden, welche in einem bestimmten Distanzbereich zum Gerinne stehen. Diese Distanzbereiche werden gemäss. Tab. 4.2 klassiert. Ihnen wird mit zunehmender Distanz zum Gerinne ein kleiner werdender Klassenwert zugeordnet. Die Einteilung der Distanzbereiche ist von der Geländekammerung des Untersuchungsgebietes abhängig und muss dementsprechend der jeweiligen Geländeanalyse angepasst werden. Bestimmend für die in Tab. 4.2 gewählten Werte sind die Verhältnisse in den Schlierentälern.

Abstand [m]	> 1750	1500-1750	1250-1500	1000-1250	750-1000	500-750	250-500	0 - 250
Klassen-wert	1	2	3	4	5	6	7	8

Tab. 4.2: Einteilung der Distanzbereich zum Gerinne und Zuweisung von Klassenwerten.

Es wurden die folgenden einfachen Kombinationen mit unterschiedlicher Gewichtung der Ebenen durchgeführt:

- Abstandsbereiche + Neigung + Geotechnik
- Abstandsbereiche + Neigung + (2 * Geotechnik)
- Abstandsbereiche + (2 * Neigung) + Geotechnik
- (2 * Abstandsbereiche) + Neigung + Geotechnik
- (2 * Abstandsbereiche) + Neigung + (2 * Geotechnik)
- (2 * Abstandsbereiche) + (2 * Neigung) + Geotechnik

Der Vergleich mit der im Gelände tatsächlich herrschenden Murganggefährdung ergab für die Verknüpfung *Abstandsbereiche + Neigung + (2 * Geotechnik)* nur für die Region der Schlierentäler ein wirklichkeitsähnliches Bild bezüglich der Murganggefährdung im Auslösungsgebiet. Allgemein, auf das gesamte Untersuchungsgebiet bezogen, werden mit dieser Verknüpfung die Geländeneigung in den oberen Winkelgruppen sowie die Abstandsfunktion zum Gerinne in flachen Gebieten zu stark gewichtet.

Auch hier - wie bei der Abschätzung der Gefährdung durch Rutschungen - weist die Näherungslösung in die Richtung, dass das Untersuchungsgebiet in kleine Teilgebiete ähnlicher Gelände- und Bodencharakteristik unterteilt wird, für die jeweils die Verknüpfung separat modelliert werden muss. Vorgängig ist aber eine detaillierte Aufnahme des Untersuchungsgebietes in kleinerem Massstab und unter Berücksichtigung weiterer Bodenparameter zu empfehlen. Ein Versuch im Massstab 1:5000 läuft zur Zeit im Tal der kleinen Schliere. Eine Verwendung der geotechnischen Karte 1:200'000 lässt dagegen für diese Problematik keine brauchbaren Ergebnisse erwarten.

4.4. Steinschlag, Felssturz

4.4.1. Allgemeine Beurteilung

Die Steinschlaggefahr beschränkt sich im Kanton Obwalden auf wenig besiedelte Gebiete in den höheren Lagen der Flanken des Haupttales sowie der Seitentäler und des Brüniggebietes. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass einzelne, sehr grosse Blöcke selbst durch dichten Wald erstaunlich weit talwärts vordringen können.

4.4.2 Abschätzung der Gefährdung mittels Kombination von Bodenparametern

Als Kriterium zur Beurteilung von Gebieten, bei welchen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit Steinschlag- und Felssturzprozesse ausgelöst werden, ist die Karte der Hangneigungen und die geotechnische Karte verwendet worden.

Bei diesem rein methodischen Versuch ist die Neigungskarte gleich wie in Kapitel 4.2 verwendet worden. Die geotechnische Bodenklassifikation wurde (analog Kap. 4.2.2) versucht nach progressiver Steinschlag- und Felssturzneigung zu ordnen. Den Klassen mit zunehmender Tendenz zu Steinschlag wurden entsprechend höhere Klassenwerte zugeordnet.

Die Kombinationen, welche durchgeführt worden sind, beruhen auf der Addition der Hangneigung und der geotechnischen Karte. Dabei wurde bei einer Version nicht gewichtet, während bei den anderen zwei Versionen die Hangneigung bzw. die Geotechnik mit einem Gewichtungsfaktor 2 versehen wurde.

Das der Wirklichkeit ähnlichste Bild (v. a. in den helvetischen Kalken) hat die einfache Addition der Hangneigung mit der Geotechnik ergeben. Dabei ist zu beachten, dass diese Methode einen Versuch darstellt, diejenigen Gebiete grossräumig einzugrenzen, welche mit erhöhter Wahrscheinlichkeit zur Auslösung von Steinschlag und Felssturz neigen. Es wird also nach dem Prozessgebiet gesucht und nicht die eigentliche Gefahrenzone dargestellt. Konkretere Aussagen über das Auftreten der normalerweise räumlich eng begrenzten Gefahrenzonen sind nur durch zielgerichtete Detailuntersuchungen zu gewinnen (Fotogeologie, Einmessen der Kluftsysteme und andere Feldbeobachtungen, geodätische Beobachtungen etc.).

5. Seismische Gefährdung

5.1. Generelles Vorgehen

Die seismische Gefährdung ist definiert als die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Bodenbewegung an einem bestimmten Ort und innerhalb einer gegebenen Zeitperiode. Die Bodenbewegung wird dabei z.B. in Intensitätswerten oder in Beschleunigungswerten angegeben. Die Zeitperiode ist abhängig vom Verwendungszweck der Gefährdungsstudie; so richtet sie sich in bautechnischen Anwendungen meist nach der Lebensdauer eines Bauwerks.

In Gefährdungsstudien wird unterschieden zwischen deterministischen und probabilistischen Methoden. Mit deterministischen Methoden wird die auftretende Bodenbewegung an einem bestimmten Ort für ein vorgegebenes Erdbeben berechnet. Dies findet vor allem dann Verwendung, wenn die Auswirkungen eines definierten Bebens an einem gegebenen Ort untersucht werden, oder wenn für einen gegebenen Ort die maximal auftretenden Bodenbewegungen interessieren. Im Gegensatz dazu stehen die probabilistischen Methoden. Diese Methoden versuchen, alle vorhandenen Informationen über das Auftreten von Erdbeben und deren Auswirkungen zu berücksichtigen. Es werden alle Erdbeben, die einen Einfluss auf den zu untersuchenden Ort haben, miteinbezogen, wobei sowohl deren zufälliges Auftreten in Raum und Zeit als auch deren Unsicherheiten berücksichtigt werden. Im Rahmen dieser Studie wurde ein probabilistisches Vorgehen gewählt.

Die Figur 5.1 zeigt schematisch die wichtigsten Schritte der probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse. Ausgangspunkt jeder Studie ist ein möglichst umfassender Erdbebenkatalog. Aufgrund der räumlichen Verteilung der Erdbeben und seismotektonischer Überlegungen werden seismische **Quellregionen** und/oder **aktive Brüche** definiert. Der probabilistische Ansatz geht dabei davon aus, dass ein Erdbeben mit der gleichen Wahrscheinlichkeit irgendwo in einer Quelleregion oder entlang eines Bruches auftreten kann.

Um die Gefährdung an einem Punkt probabilistisch zu berechnen, sind Modelle über die Aktivität (Seismizität) der einzelnen Regionen und Brüche und über deren Auswirkungen (Bodenbewegungen) notwendig. Dazu dienen Häufigkeitsverteilungen und Abminderungsmodelle jeder einzelnen seismischen Quelle.

Die Aktivität einer Quelle (oder eines Bruches) wird durch eine **Häufigkeitsverteilung** beschrieben. Dieser liegt die Annahme zugrunde, dass die Anzahl der Erdbeben, die eine gewisse Stärke übersteigen, einem logarithmischen linearen Gesetz folgt (GUTENBERG & RICHTER 1956). Die Häufigkeitsverteilungen sind Gegenstand des Kapitels 5.2.

Die Auswirkungen eines Erdbebens an der Erdoberfläche werden durch eine **Abminderungsrelation** beschrieben. Für diese Studie wurde als Messgrösse der Bodenbewegung die makroseismische Intensität (MSK-Skala) gewählt. Eine Beschreibung dieser Skala findet sich im Anhang A13. Die Intensität hat den Vorteil, dass sie auch für historische Erdbeben bestimmt werden kann, für welche keine instrumentellen Aufzeichnungen vorliegen. Zudem ist die Datendichte in der Schweiz für Intensitäten wesentlich höher als für instrumentelle Aufzeichnungen. Die Abminderungskurven geben für ein Erdbeben mit gegebener Grösse in Abhängigkeit der Distanz die zu erwartenden Intensitäten an (siehe Kap. 5.3).

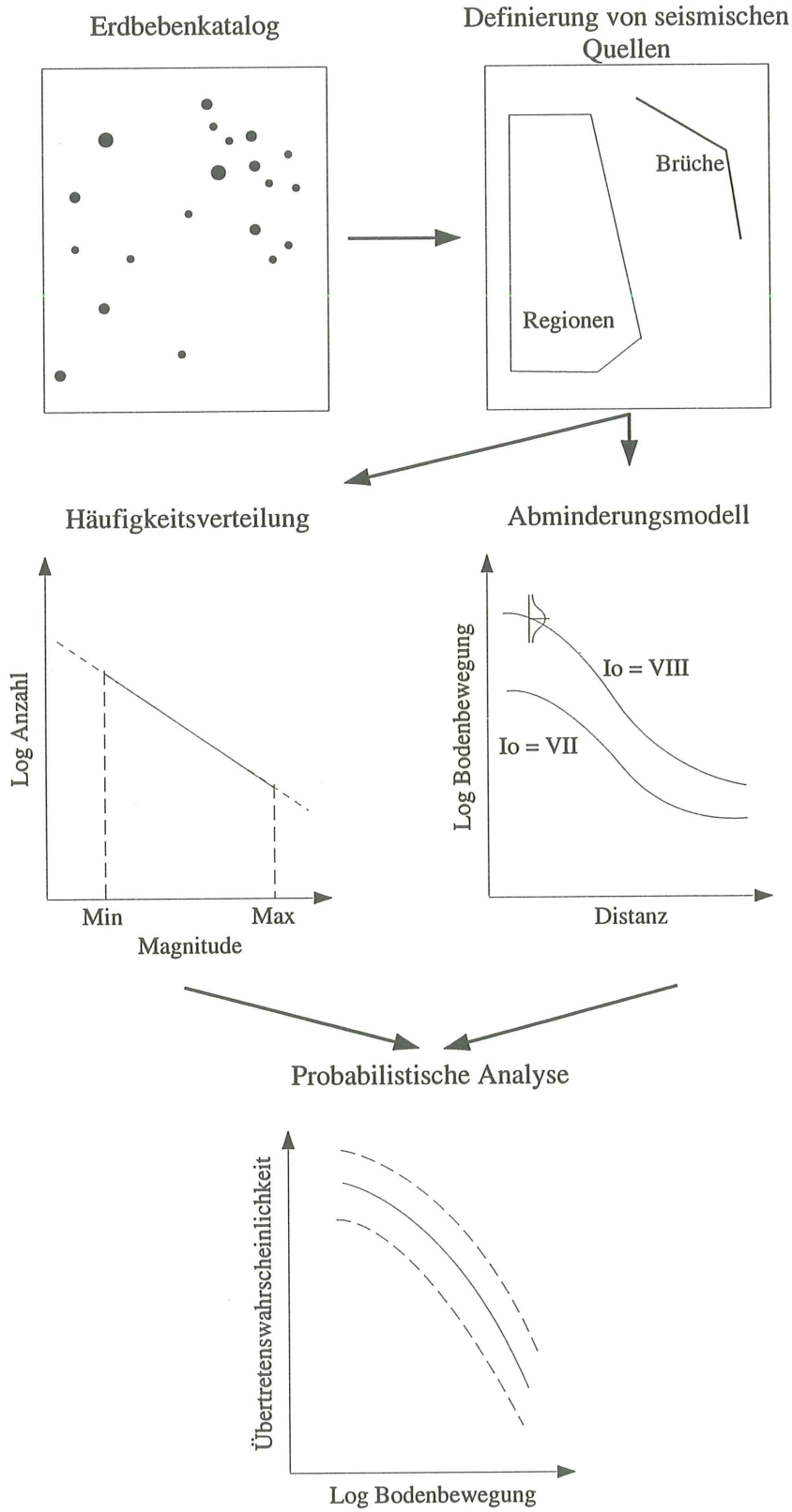


Fig. 5.1: Schematische Darstellung der Gefährdungsberechnung.

In einem letzten Schritt wird eine probabilistische Analyse der an einem Ort möglichen Bodenbewegungen durchgeführt. In dieser Studie wurde dazu das Programm Seisrisk III (BENDER & PERKINS 1987) verwendet. Dieses Programm beruht auf der von CORNELL (1968) entwickelten Methode, wobei wesentliche Verbesserungen bei der Behandlung von Unsicherheiten eingebaut wurden.

Die Ausgangsbasis dieser Studie bildet die seismische Gefährdungsanalyse der Schweiz (SÄGESSER & MAYER-ROSA 1978). Ein vollständige Überarbeitung sämtlicher Parameter, die in die Gefährdungsanalyse einfliessen, ist im Rahmen dieser Studie allerdings nicht möglich. Die für das Untersuchungsgebiet im Kanton Obwalden kritischsten Grössen wurden jedoch überprüft und wenn notwendig neu definiert (siehe Kap. 5.2 und 5.3). Die übrigen Parameter wurden unverändert aus der älteren Studie übernommen.

5.2. Seismizität

In dieser Studie wurden keine seismotektonischen Untersuchungen durchgeführt und die unveränderten Quellregionen der Gefährdungsstudie der Schweiz (SÄGESSER & MAYER-ROSA 1978) übernommen. Den grössten Einfluss auf die Gefährdung an einem Ort haben die Quellregionen, die am nächsten liegen. Für Obwalden ist dies die Quellregion Zentralschweiz, in der das gesamte Untersuchungsgebiet liegt. Figur 5.2 zeigt die geographische Lage dieser Quellregion und die Lage des Untersuchungsgebiets. Die Parameter, die die Seismiziät dieser Quellregion definieren, werden im folgenden detailliert beschrieben.

Die Zentralschweiz wurde im Laufe der Geschichte wiederholt von schadenverursachenden Erdbeben betroffen, was auch schon in früheren Studien gezeigt worden ist (PAVONI 1977). Es wurde jedoch erst mit der Inbetriebnahme einer Seismographenstation in der Zentralschweiz (Brienz) Ende 1974 möglich, Erdbeben in dieser Region mit einer Genauigkeit von einigen km zu lokalisieren. Vor 1974 sind wir in erster Linie auf makroseismische Beobachtungen angewiesen, d.h. auf von Personen direkt wahrgenommene Erscheinungen, sowie auf dokumentierte Schäden an Bauwerken. Dies erfordert eine Unterteilung des Datenmaterials in die vor 1974 makroseismisch erfassten Erdbeben (historische Erdbeben) und in die nach 1974 vom Schweizerischen Erdbebendienst instrumentell erfassten und lokalisierten Erdbeben (instrumentelle Erdbeben).

Die Figur 5.3 zeigt die zeitliche Verteilung der **historischen Erdbeben** (1300-1974) in der Quellregion Zentralschweiz. Die Figuren a bis c zeigen die Verteilung für unterschiedliche untere Intensitätsgrenzen. Es ist deutlich erkennbar, wie die Verteilung bei tieferen Intensitätsgrenzen inhomogen wird, was auf der unvollständigen Erfassung von schwächeren Erdbeben in historischen Zeiten beruht. Gut erkennbar sind auch die Zunahmen in der seismischen Aktivität in den Jahren 1774 bis 1777, von 1915 bis 1917 und 1964/65. Der Anhang enthält einen Katalog der historischen Erbeben mit einer Intensität grösser als V von 1300 bis 1941 (A27) und mit einer Intensität grösser als IV oder einer Magnitude grösser als 2,5 von 1942 bis 1974 (A28). Die **instrumentelle Registrierung** der Erdbeben in der Zentralschweiz wurde erst zuverlässig möglich mit der Installierung der Seismometerstation in Brienz (September 1974). Das Seismometer-Netz wurde noch erweitert durch die Stationen Muotatal (Dezember 1981) und Alpnach (November 1988). Durch diese zusätzlichen Stationen wurde einerseits die Lokalisiergenauigkeit erhöht und andererseits die Detektionsschwelle (ab 1974) erniedrigt. Im Anhang 29 sind alle instrumentell aufgezeichneten Erdbeben seit 1974 mit einer Magnitude grösser als 2,5 aufgelistet.

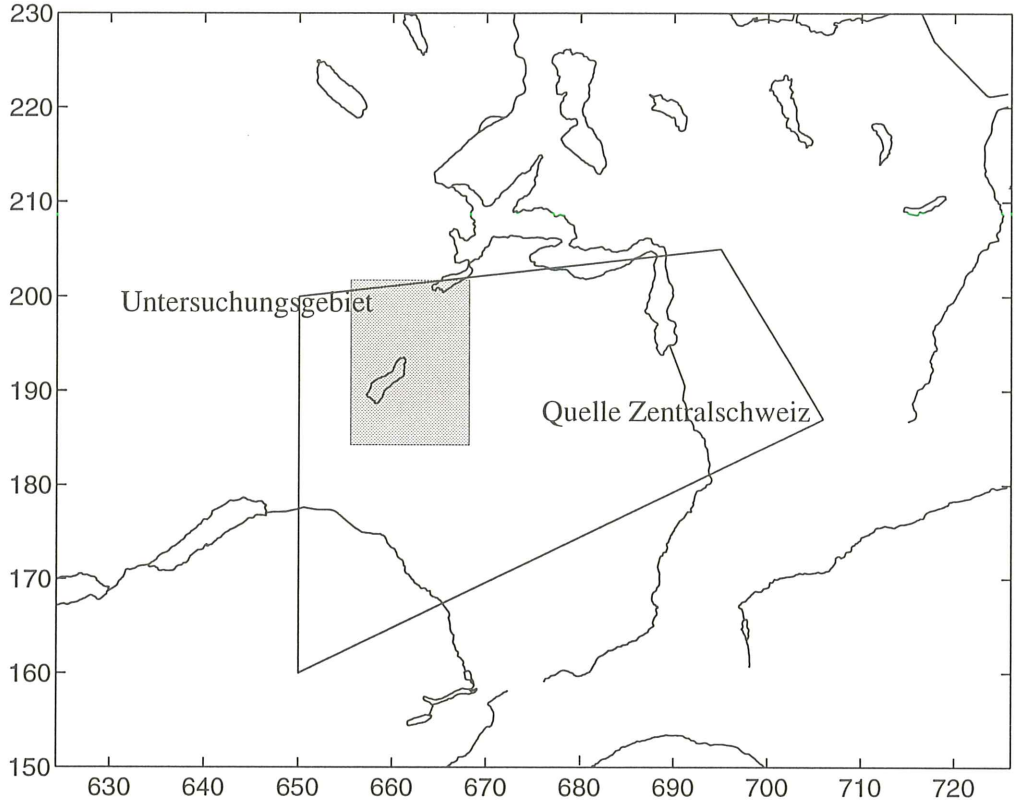


Fig. 5.2: Geographische Lage der Quellregion Zentralschweiz und des Untersuchungsgebiets (schraffiert).

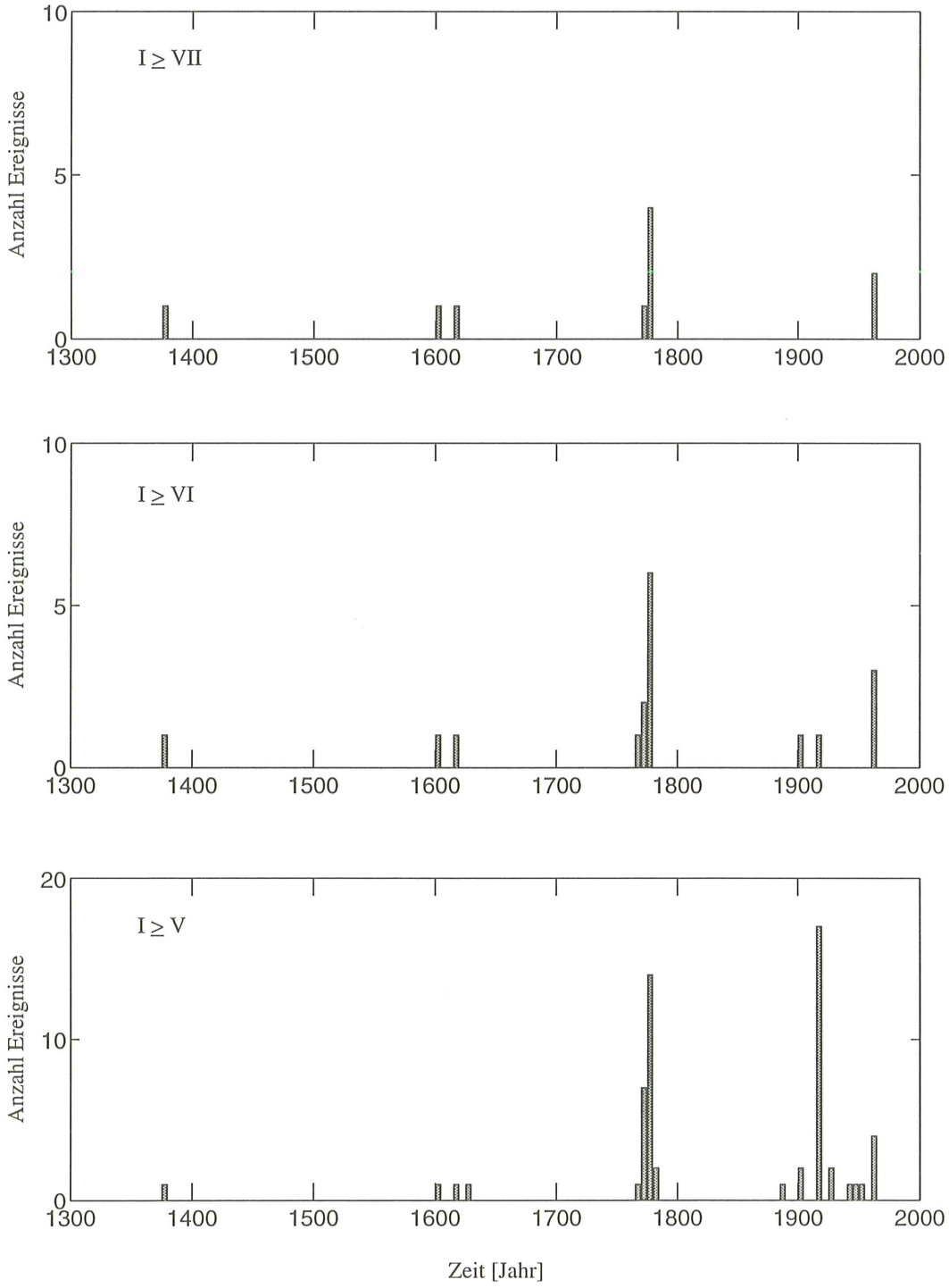


Fig. 5.3: Zeitliche Verteilung der Erdbeben in der Zentralschweiz von 1300 bis 1992 für verschiedene Intensitätsstufen.

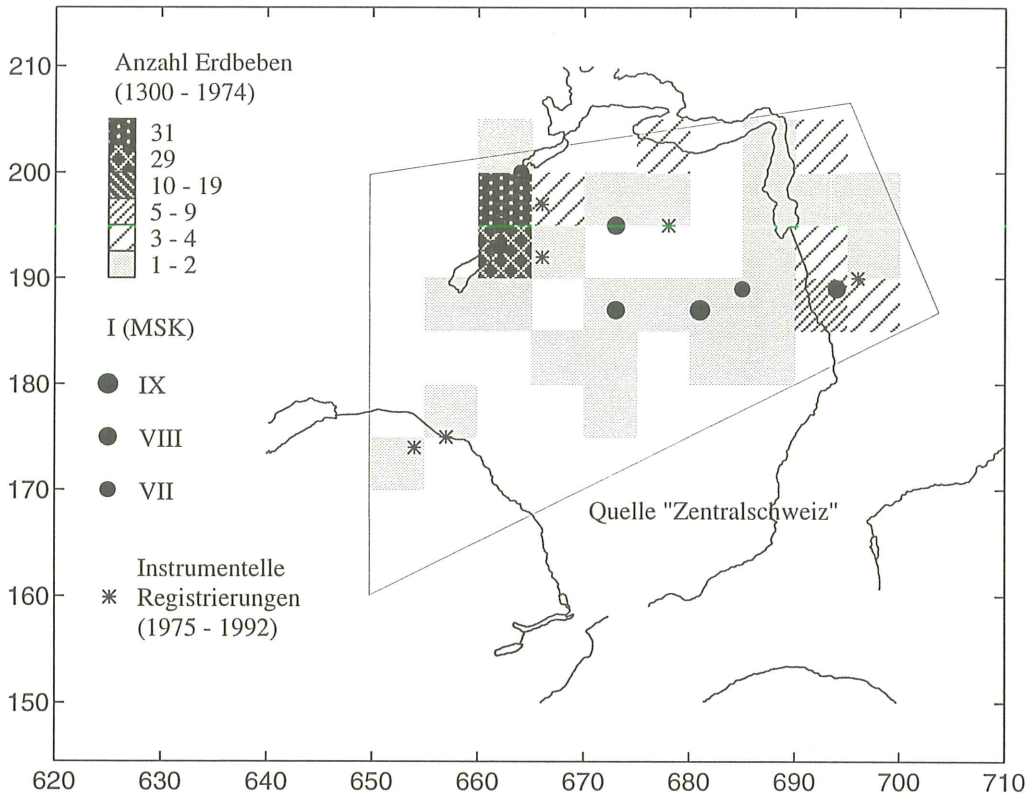


Fig. 5.4: Historische (1300-1974) und instrumentelle (1975-1992) Seismizität in der Zentralschweiz. Die Darstellung der historischen Seismizität zeigt die Anzahl der Erbeben mit einer Intensität I ≥ V (ab 1942 I ≥ IV) sowie die Epizentren der Erdbeben I ≥ VII. Für die instrumentell registrierten Erdbeben sind die Epizentren (Magnitude ≥ 2,5) gezeichnet.

Die Figur 5.4 zeigt die Epizentren der historischen und der instrumentell aufgezeichneten Erdbeben. Für die historischen Beben wurde dabei eine Darstellung gewählt, in der die Anzahl der Ereignisse in einem Quadrat von 5 auf 5 km aufsummiert ist. Damit wird der zum Teil grossen Unsicherheit in der Lokalisierung historischer Erdbeben Rechnung getragen. Die Erdbeben mit einer Intensität ≥ VII wurden zusätzlich noch als Punkte dargestellt.

Zur Beschreibung der Seismizität müssen Angaben gemacht werden, wie oft ein Erdbeben einer bestimmten Stärke auftritt. Die Figur 5.5 zeigt diese Verteilung für die Quellregion Zentralschweiz. Die Quadrate zeigen die tatsächlich beobachtete Häufigkeit (unter Berücksichtigung der Vollständigkeit des Datenkatalogs und der Genauigkeit der Intensitätsangaben), normiert auf eine Zeitperiode von 225 Jahren. Die ausgezogene Kurve gibt die in der Gefährdungsstudie der Schweiz verwendete Häufigkeitsfunktion. Da das Program Seisrisk III keine kontinuierliche Funktion zur Beschreibung der Häufigkeit-Intensitäts Verteilung verlangt, wurde in dieser Studie direkt mit den beobachteten Häufigkeiten gerechnet. Dies

führt in dieser Region zu einer leicht höheren Gefährdung als in der Studie von 1978, die aber im weiteren nicht diskutiert wird.

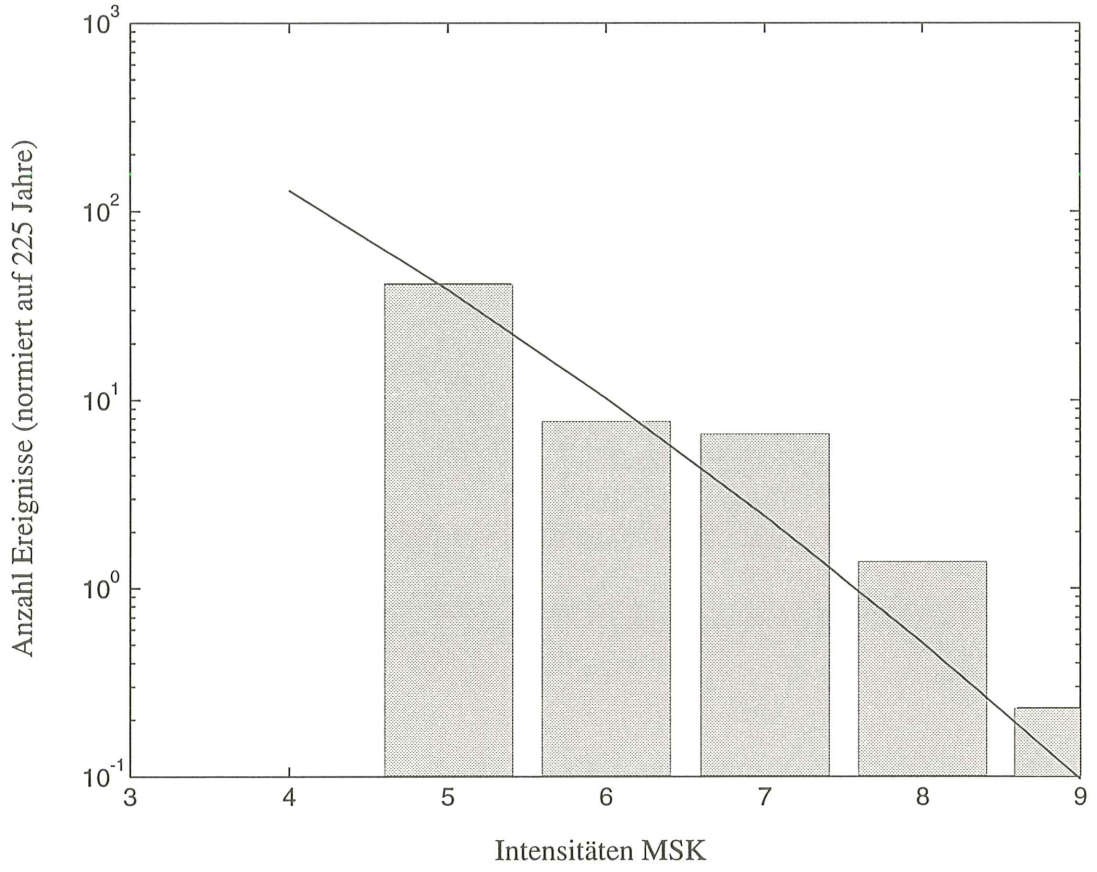


Fig. 5.5: Beobachtete Anzahl Erdbeben in der Quellregion Zentralschweiz für Intensitäten $\geq$ V (normiert auf 225 Jahre) und angenäherte Häufigkeitskurve (Gutenberg-Richter Beziehung).

5.3. Intensitätsverteilung

Die Berechnung der seismischen Gefährdung erfordert Modelle, die die Ausbreitung der durch ein Erdbeben verursachten Bodenerschütterungen mit zunehmender Distanz beschreiben. Die Datengrundlage dieser Studie bildeten die stärkeren Erdbeben in diesem Jahrhundert, für die makroseismische Beobachtungen in der Schweiz vorhanden sind.

Zur Modellierung des Abminderungsverhaltens der Intensitäten mit zunehmender Distanz wurden in einem ersten Schritt die Isoseisten (Linien gleicher Intensität) für jedes Erdbeben bestimmt. Es wurde dabei auf einen Interpolationsalgorithmus verzichtet, da dies bei den schlecht dokumentierten Erdbeben zu fehlerhaften Isoseisten führte. Die manuelle Bestimmung der Isoseisten birgt dafür die Gefahr in sich, dass subjektive Interpretationen hineinfliessen.

Nach dem Zeichnen der Isoseisten konnte über die Bestimmung der eingeschlossenen Fläche ein Radius berechnet werden, der einem Kreis mit dem gleichen Flächeninhalt entspricht. Bei diesem Verfahren werden elliptische Isoseisten zu Kreisen gemittelt. Da aber die betroffene Fläche konstant bleibt und die Intensitätsbeobachtungen mit Unsicherheiten behaftet sind, ist dieses Vorgehen gerechtfertigt. Die Figur 5.6 zeigt die beim Erdbeben vom 14. März 1964 beobachteten Intensitäten, die bestimmten Isoseisten und die entsprechenden Flächen.

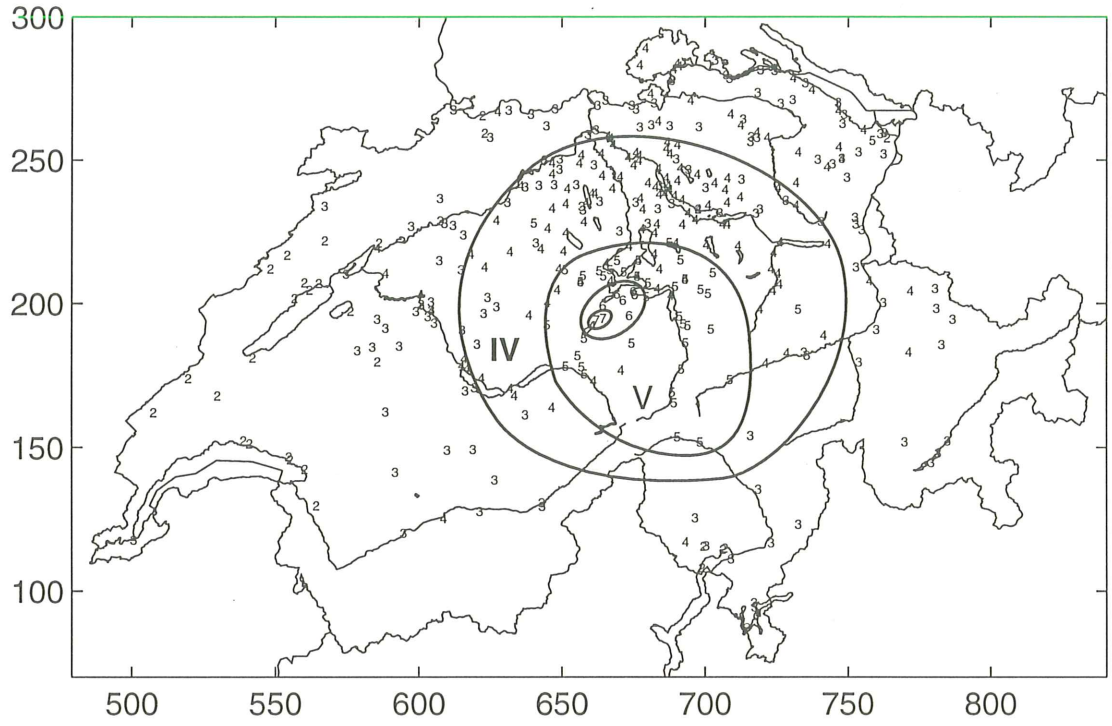


Fig. 5.6: Beobachtete Intensitäten beim Erdbeben vom 14. März 1964 von Sarnen und die daraus bestimmten Isoseisten (Linien gleicher Intensität). Das Erdbeben hatte eine Epizentralintensität von VII (MSK-Skala).

Aus allen berechneten "Äquivalenzflächen" für die einzelnen Erdbeben wurde mit einer Least Square Approximation die Parameter (Herdtiefe und Abminderungskoeffizient) der Abminderungsrelation von SPONHEUER (1960) bestimmt:

$$I_{beo} = I_0 - 3\log\left(\frac{\sqrt{r^2+h^2}}{h}\right) - \alpha\left(\sqrt{r^2+h^2} - h\right)$$

I_{beo} = beobachtete Intensität
I_0 = Epizentralintensität
r = Distanz zwischen Epizentrum und Standort
h = Herdtiefe
α = Abminderungskoeffizient

Diese von SPONHEUER (1960) entwickelte Relation fand bereits in der Gefährdungstudie der Schweiz (SÄGESSER & MAYER-ROSA 1978) ihre Anwendung. Im Gegensatz zu dieser früheren Studie wurde jedoch bei der Bestimmung der Parameter nicht nur eine Intensitätsstufe in die Berechnungen miteinbezogen, sondern alle gut dokumentierten Intensitäten. Dafür wurde hier auf die Modellierung einer elliptische Abminderungen verzichtet.

Der Vergleich der gefunden Abminderungsbeziehung mit der 1978 verwendeten zeigt für die Quelle Zentralschweiz die folgenden Unterschiede (vgl. Fig. 5.7):

- In der Gefährdungsstudie der Schweiz wurde eine Herdtiefe von 6 km gefunden. Hier ergab die Approximation eine Herdtiefe von 5 km. Die gut dokumentierten instrumentellen Erdbeben von 1985 bis 1989 zeigen Herdtiefen zwischen 1 und 29 km. Bei den oberflächennahen Beben kann trotz des grösseren Fehlers mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, dass sie in den obersten 15 km der Erdkruste liegen. Die makroseismisch gefundenen Herdtiefen stehen somit in keinem Widerspruch.

- Der Abminderungskoeffizient wurde mit 0,001 bestimmt. In der Gefährdunganalyse der Schweiz wurde für die Quelle Zentralschweiz ein elliptische Abminderung mit einem Abminderungskoeffizienten zwischen 0,003 und 0,005 gefunden. Der Abminderungskoeffizient hat seinen grössten Einfluss bei weiten Distanzen zum Epizentrum, wobei grössere Werte eine stärkere Abminderung der Intensitäten bedeuten.

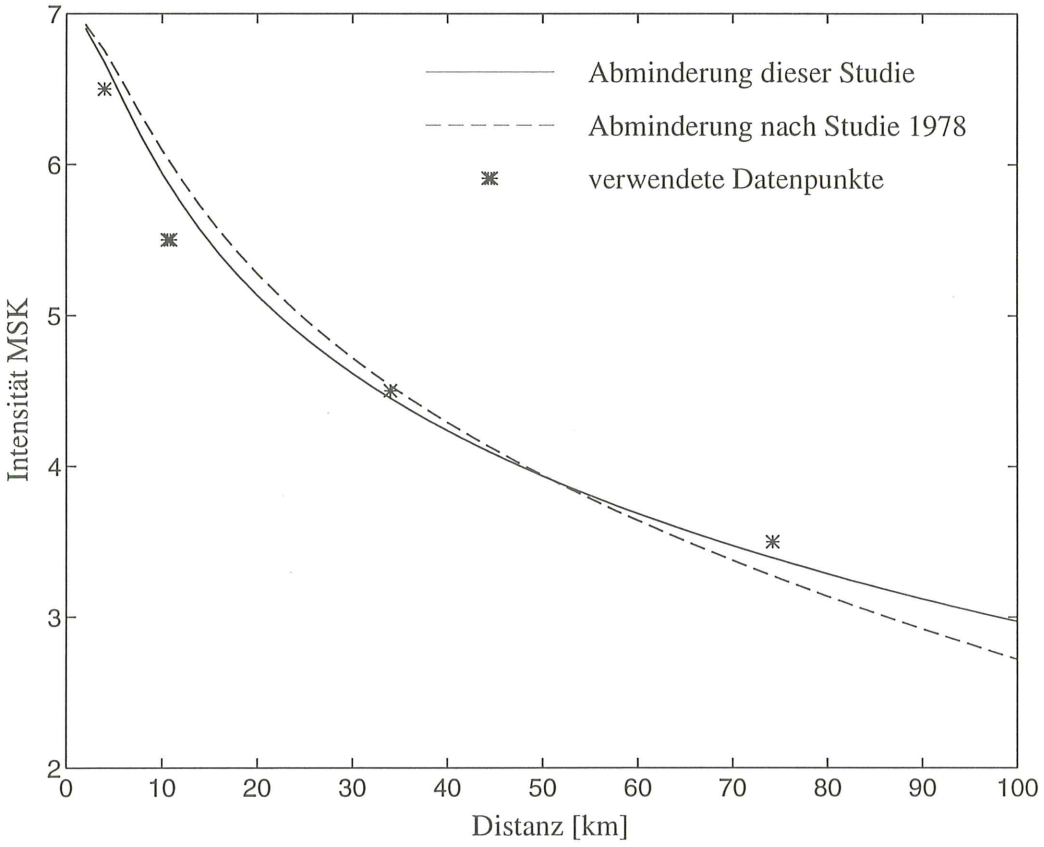


Fig. 5.7: Neu definierte Abminderungskurve für die Quellregion Zentralschweiz und diejenige nach SÄGESSER & MAYER-ROSA (1978).

In Figur 5.7 sind die in der Gefährdungsstudie der Schweiz bestimmte Abminderungskurve (mit einem Abminderungskoeffizienten von 0,005) und die neu gefundene Abminderungskurve dargestellt. Im Nahbereich (einige 10 km) vom Epizentrum zeigt die neue Abminderung etwas tiefere Intensitätswerte als die ursprüngliche Abminderungskurve, was auf der etwas grösseren Herdtiefe beruht. Der Abminderungskoeffizient α macht sich erst bei grösseren Distanzen bemerkbar, wo die neu gefundene Kurve über der bisherigen liegt. Dies ist jedoch der Bereich, welcher durch Intensitätsbeobachtungen schlecht dokumentiert ist.

Der Vergleich zwischen der neu bestimmten Abminderungskurve und den beobachteten Intensitätswerten zeigt die Figur 5.8 für das Erdbeben vom 14.03.1964 in Sarnen. Deutlich ist zu sehen, wie stark die beobachteten Intensitäten selbst in einem kleinen Distanzbereich variieren können.

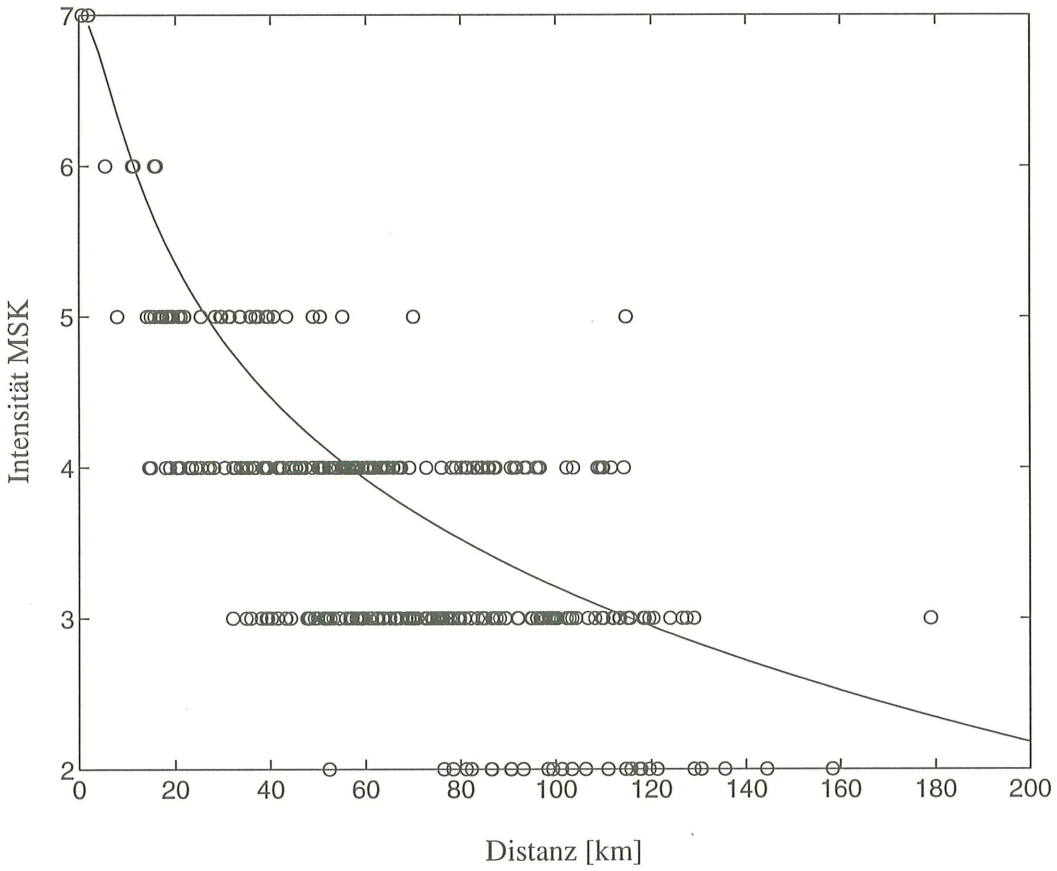


Fig. 5.8: Vergleich der theoretischen Abminderung mit den Beobachtungen für das Erdbeben vom 14. März 1964.

5.4. Gefährdungsberechnung

Mit den bestimmten Parametern der Seismizität und der Abminderung der Intensitätswerte wird die seismische Gefährdung berechnet. Neben diesen Eingabeparametern werden noch die Wahrscheinlichkeit und die Zeitperiode benötigt, für welche die Gefährdung berechnet werden soll. Hier werden die Intensitätswerte berechnet, die mit 90% Wahrscheinlichkeit in einer bestimmten Zeitperiode nicht überschritten werden. In den ersten Berechnungen wurde die Gefährdung für mehrere Zeitperioden berechnet, um den Einfluss verschiedener Parameter zu studieren. Für die Verwendung im geographischen Informationssystem wurde eine Zeitperiode von 50 Jahren gewählt. Dies entspricht bei einer Nichtübertretenswahrscheinlichkeit von 90% einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren.

Das verwendete Programm Seisrisk III (BENDER & PERKINS 1987) erlaubt es, Unsicherheiten in der Lokalisierung und in der Abminderung zu berücksichtigen. Es wurden daher zuerst der Einfluss dieser Unsicherheiten auf die Gefährdung untersucht.

Zur Abschätzung des Einflusses von **Lokalisierungsfehlern** auf die seismische Gefährdung wurden zwei Modelle gerechnet. Für Modell A wurde angenommen, dass die Erdbeben genau lokalisiert worden sind, das Modell B hingegen berücksichtigt eine Lokalisierungsfehler von 15 km. Die Unterschiede in der resultierenden Gefährdung sind in Figur 5.9 für Sarnen dargestellt. Da sich das Untersuchungsgebiet im Zentrum der Quellregion Zentralschweiz befindet, ist der Einfluss von Lokalisierungsfehlern minimal. Für die weiteren Berechnungen wurde daher auf die rechenintensive Berücksichtigung der Lokalisierfehler verzichtet.

Der Einfluss der Unsicherheit in den **Abminderungsrelationen** zeigt die Figur 5.10. Ein Standardabweichung in der logarithmischen Abminderung von einer halben Intensitätsstufe zeigt einen Einfluss auf die Gefährdung im Untersuchungsgebiet in der Grössenordnung von 1/4 höheren Intensitätswerten. Da die Intensitätswerte in Abhängigkeit der Distanz eine grosse Streuung aufweisen (s. Fig. 5.8), ist eine Berechnung mit einer Standardabweichung von 0,5 sinnvoll.

Die berechnete Gefährdung für das Studiengebiet zeigt die Karte A13. Die Intensitätswerte, die mit 90% Wahrscheinlichkeit in 50 Jahren nicht überschritten werden, liegen zwischen 7,1 und 7,5 und liegen somit in der gleichen Grössenordnung wie bei der Gefährdungsstudie der Schweiz. Diese Werte wurden ins GIS aufgenommen und für die weiteren Berechnungen verwendet. Im Anhang findet sich ein output file des Programms Seisrisk III für die seismische Quellregion Zentralschweiz. Die einzelnen Parameter sind bereits in den Kapiteln 5.2 und 5.3 diskutiert worden

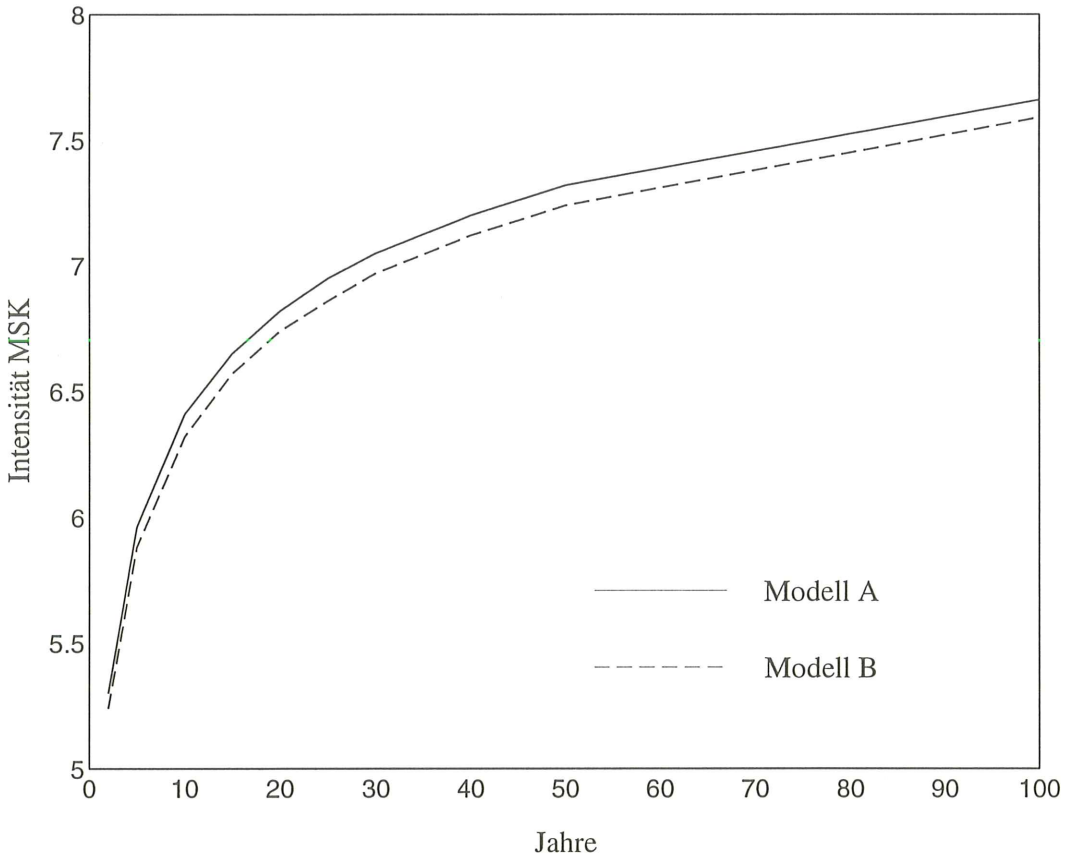


Fig. 5.9: Intensitäten, die mit 90% Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Zeitperiode in Sarnen nicht überschritten werden. Modell A berücksichtigt keinen Lokalisierungsfehler, Modell B berücksichtigt einen Lokalisierungsfehler von 15 km.

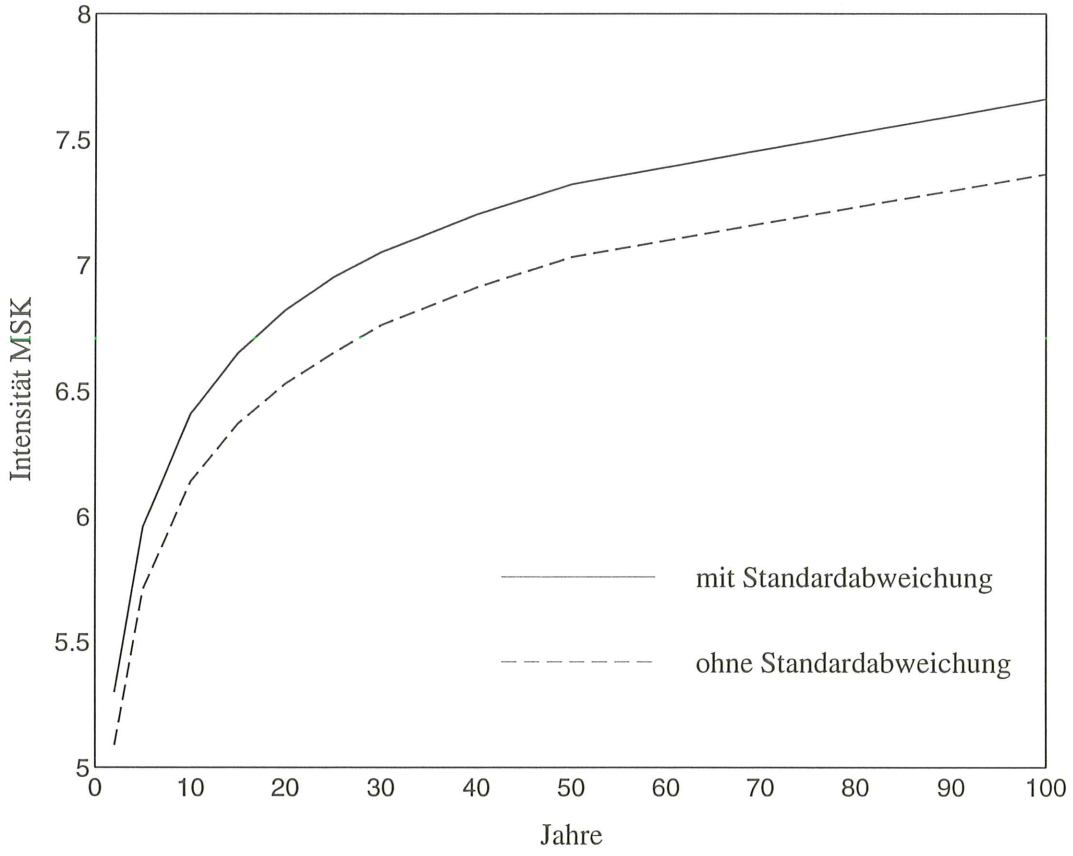


Fig. 5.10: Intensitäten, die mit 90% Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Zeitperiode in Sarnen nicht überschritten werden. Die zwei Kurven zeigen den Einfluss einer Standardabweichung von 0,5 in der Abminderungsrelation.

6. Einfluss lokaler geotechnischer Parameter

6.1. Generelles Vorgehen

Analysen verschiedener Erdbeben (WYLLIE & FILSON 1989, BOATWRIGHT 1991) haben gezeigt, dass neben der Distanz zum Epizentrum der lokale Untergrund eine dominierende Rolle in der Stärke der Bodenerschütterungen spielt. Die Amplituden sowie der Frequenzinhalt von seismischen Signalen wird wesentlich durch die lokalen geotechnischen Verhältnisse beeinflusst. So können Schäden an identischen Bauwerken in räumlich relativ engen Grenzen stark variieren.

Die makroseismischen Informationen, die die Auswirkungen eines Bebens auf Personen, Gebäude und Umwelt beschreiben, sind eine Überlagerung der Stärke des Erdbebens, des Einflusses des Weges sowie des Einflusses des lokalen Untergrundes. In dieser Studie soll nun versucht werden, den Einfluss des lokalen Untergrundes von demjenigen des Weges zu trennen und soweit als möglich zu quantifizieren. Dies wird mit einem Vorgehen in 3 Stufen erreicht:

1. Die Beziehung zwischen Erschütterungsstärke und Distanz zum Epizentrum des Bebens wird modelliert, wobei über alle Beobachtungen gemittelt wird (dieses Vorgehen ist detailliert in Kapitel 5.3 beschrieben). In diesem Schritt wird somit das regionale Feld der Intensitäten beschrieben.

2. Die Abweichungen zwischen dem im ersten Schritt gewonnenen regionalen Modell und den beobachteten Intensitätswerten werden ermittelt.

3. Die gefundenen Abweichungen werden nach geeigneten Bodenparametern klassiert und die mittleren Abweichungen einer Klasse berechnet.

Frühere Studien in der Schweiz (vgl. FÄH 1985) haben bereits einen qualitativen Zusammenhang zwischen den Abweichungen und geotechnischen sowie hydrologischen Parametern nachgewiesen. Die dabei gefundene grosse Streuung in den Intensitätsabweichungen konnten nicht näher eingegrenzt werden, da detaillierte Informationen über die Geologie und Hydrologie fehlten. In der vorliegenden Arbeit wird nun versucht, zusätzlichen Daten (wie z.B. Mächtigkeit der Sedimente oder Lagerungsdichte) über den Bodenaufbau in die Klassifizierung miteinzubeziehen und somit einen quantitativen Zusammenhang herzustellen.

Bei der systematischen Untersuchung der gefundenen lokalen Intensitätsanomalien wird versucht, bodenspezifische Eigenschaften mit seismischen Anomalien zu korrelieren, den Einfluss (abmindernde oder verstärkende Tendenz) abzuschätzen sowie die einzelnen Bodenparameter zu gewichten. Ist der Einfluss bekannt, so können den relevanten Bodenparametern aus der akquirierten Datengrundlage (Kap. 3) Intensitätskorrekturwerte entsprechend ihrem seismischen Verhalten zugeordnet werden. Über die räumliche Verteilung der Bodenparameter im Untersuchungsgebiet kann somit eine Karte erstellt werden, die das Verhalten der Gebiete auf seismische Anregungen wiedergibt (Karten Anhang A18/A19). Wird der seismischen Gefährdungskarte (Anhang A12) die Karte der Intensitätskorrekturwerte überlagert, resultiert eine Gefährdungskarte, welche lokale geotechnische Charakteristiken berücksichtigt ("korrigierte seismische Gefährdung").

6.2. Relevante Parameter, Korrekturschemas

Um einen Überblick über die lokalen Parameter zu gewinnen, welche einen Einfluss auf die seismische Intensität haben, wurde die Arbeit von BAROSH (1960) eingehend analysiert. Diese Analyse lieferte charakteristische geologische, geotechnische, hydrogeologische und geomorphologische Kriterien, welche einen Einfluss auf die Intensität haben. Die Zusammenfassung dieser Kriterien zu einer Matrix ermöglicht es, beliebige Böden aufgrund der spezifischen Eigenschaften hinsichtlich ihres seismischen Verhaltens zu klassieren. Indem die verschiedenen Informationsebenen der akquirierten Daten des Untersuchungsgebietes im GIS entsprechend verbunden werden, ist eine flächendeckende Klassierung möglich.

In Tabelle A25 sind die seismisch relevanten Parameter des Bodenaufbaus sowie die (nicht diskrete) Abstufung der Einflusskriterien, dargestellt. Ein wichtiger Parameter im Hinblick auf die Erschütterungsempfindlichkeit ist die Gesteinsart. So verstärken grundsätzlich die Lockergesteine seismische Erschütterungen im Vergleich zu den Festgesteinen. Die Gesamtmächtigkeit, Lagerung und Struktur des Gesteinskomplexes sowie dessen Materialbeschaffenheit, Korngrösse, Sortierung und Verwitterungsgrad erlauben eine differenziertere Abschätzung des Amplifizierungseffektes. Weitere Einflussgrössen sind die lokalen tektonischen Verhältnisse sowie die Neigung der Oberfläche. Dabei zeigen flach gelagerte Böden und tektonisch ungestörte Zonen geringere Erschütterungsempfindlichkeit als steil gelagerte Böden und tektonisch gestörte Zonen. Die Kontaktverhältnisse des untersuchten Untergrundes zum Nachbargestein sind ebenfalls nicht unwesentlich. So ist eine Kontaktzone seismisch umso gefährlicher, je unterschiedlicher die physikalischen Eigenschaften der aneinander grenzenden Schichten oder Schichtkomplexe sind. Des weitern spielt der Grad der Wassersättigung eine wesentliche Rolle, da wassergesättigte Böden deutlich empfindlicher auf dynamische Belastung reagieren als trockene.

Um diese sensitiven geologisch-geotechnischen Parameter erfassen zu können, werden die folgenden Kartengrundlagen benötigt:

- Geologisch-tektonische Karte
- Fels-Isohypsenkarte
- Geotechnische Karte
- Karte der Grundwasseroberfläche
- Neigungskarte (abgeleitet aus topographischer Karte)

Zur Erstellung dieser Karten werden lokale und regionale stratigraphische und geologische Beschreibungen sowie geologische, geotechnische und hydrogeologische Gutachten und Sondierungen von privaten Büros miteinbezogen. So können für den Kanton Obwalden über 250 Bohrungen und Rammsondierungen herangezogen werden. Ergänzt werden diese Daten durch geotechnische Feldaufnahmen im Untersuchungsgebiet im Massstab 1:5'000 oder 1:10'000 (vgl. Kap. 3). Diese Unterlagen erlauben zudem, die Abfolge der Lockergesteine im Profil grob zu erfassen. Dies ist für die obersten 30 m Boden relativ detailliert möglich - glücklicherweise ist dies der Bereich, welcher für die hier angesprochenen Probleme massgeblich ist.

6.2.1. Auf geotechnische Bodenklassen reduziertes Verfahren

Ein Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss der lokalen Geologie auf seismische Intensitäten nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu erfassen. Die vorhandenen Intensitätsdaten erzwingen, bedingt durch ihre ungenügende Auflösung, eine wesentliche Vereinfachung der Klassifikationsmatrix. Um statistisch signifikante Aussagen zu erhalten, müssen die makroseismischen Daten der gesamten Schweiz in die Untersuchungen miteinbezogen werden. Dies erfordert aber, dass die geotechnischen und hydrogeologischen Angaben an allen Beobachtungsstandorten bekannt sind. Da zur Zeit der einzige Parameter, der flächendeckend für die Schweiz in digitaler Form verfügbar ist, die geotechnische Karte ist, beschränkt sich die Quantifizierung in dieser Studie auf diese geotechnischen Einheiten.

Dazu wurden die im Untersuchungsgebiet auftretenden Bodentypen nach den Kriterien gemäss Tabelle A25 unter Berücksichtigung der geotechnischen Faziesabgrenzung klassiert. Für alle auftretenden Bodenklassen wurden sämtliche Abweichungen zwischen den berechneten und den beobachteten Intensitätswerten ermittelt und in Histogrammen dargestellt (vgl. Fig. 6.1, 6.2). Diese Histogramme zeigen die zu erwartenden grossen Streuungen innerhalb einer Bodenklasse. Die mittleren Abweichungen werden durch den Mittelwert einer Gauss-Verteilung repräsentiert. Diese gefundenen Korrekurwerte (siehe Tab. 6.1) erlauben eine erste Zonierung des Untersuchungsgebietes (A18). Dabei bedeuten positive Werte eine Verstärkung der seismischen Intensität, negative Werte eine Erniedrigung.

Es ist folgende Tendenz erkennbar: Die Lockergesteine weisen relativ hohe Werte auf, währenddem die Festgesteine der Bodenklassen 14, 19, 21 und 22 (siehe Tab. 4.2) relativ geringe Werte aufweisen. Mergelige Felsgesteine, wie die Klassen 12 und 17, zeigen aufgrund ihrer medianen Werte praktisch keine anomale Tendenz.

Bei der Beurteilung der Korrekturwerte müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Die Korrekturwerte zeigen nur relative Differenzen zum regionalen Abminderungsverhalten der Intensitäten. Sie dürfen daher auch nur zusammen mit dem regionalen Abminderungsmodell verwendet werden.

- Die grosse Streuung in den beobachteten Intensitäten und die berechneten Standardabweichungen zeigen deutlich, wie unsicher eine Klassierung aufgrund der verwendeten Parameter ist.

6.2.2. Übertragung der Korrekturwerte des U.S. Geological Survey

Als Vergleich und zur Beurteilung der bestimmten Korrekturwerte wurde das vom U.S. Geological Survey für Kalifornien entwickelte Korrekturschema herangezogen. Diese Korrekturwerte basieren auf einer Korrelation der Einheiten der Geologischen Karte 1:250'000 von Kalifornien mit beobachteten Intensitätsanomalien (Tab. 6.1). Bei den quartären, alluvialen Ablagerungen konnten drei Klassen in Abhängigkeit des Grundwasserspiegels definiert werden, für die ein spezifischer Intensitätswert zugeordnet werden konnten.

Da sich die Klassierung des U.S. Geological Survey auf chronostratigraphische Einheiten der Kartenblätter 1:250'000 von Kalifornien bezieht, muss in einem ersten Schritt die geologische bzw. lithostratigraphische Beschreibung, der auf den Karten chronostratigraphisch ausgeschiedenen Einheiten nach geotechnischen Kriterien interpretiert werden. Es müssen äquivalente oder geotechnisch ähnliche Einheiten wie die, welche im Untersuchungsgebiet auftreten, herausgelesen werden. Die Korrekturwerte der entsprechenden Klassen sind anschliessend auf die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Bodenklassen zu übertragen. In einem weiteren Arbeitsschritt sind die quartären Ablagerungen nach der Lage des Grundwasserspiegels zu unterteilen (gem. Tab. 6.1) und die entsprechenden Korrekturwerte zu bestimmen.

Diese Übertragung der chronostratigraphischen Einheiten auf die geotechnischen Einheiten im Untersuchungsgebiet und die Zuordnung der Korrekturwerte für Intensitäten führt zu einer weiteren Korrekturkarte (Anhang A19). Die hierfür notwendigen Basiskarten sind die geotechnische Karte und die Karte der Lage des Grundwasserspiegels.

6.3. Gefährdung unter Berücksichtigung lokaler Parameter

Durch die Korrelation von beobachteten Intensitätsanomalien mit geotechnischen Charakteristiken (Kap. 6.2.1) und die Übertragung der chronostratigraphischen Einheiten von Kalifornien auf das Untersuchungsgebiet (Kap. 6.2.2) entstehen Karten (A18, A19), die Auskunft geben über die seismische Erschütterungsempfindlichkeit im Kanton Obwalden. Es muss dabei betont werden, dass die Korrekturwerte dI nicht als absolute Werte zu verstehen sind, sondern direkt mit dem verwendeten regionalen Abminderungsmodell (Kap. 5.3) zusammenhängen.

Auf der Korrekturkarte (Anh. A19) der Intensitätswerte nach U.S.G.S. erscheinen die alpinen Dolomit- und Gipsgesteine und der vorwiegend eckige, trockene Schutt von Bergsturzmaterial und Gehängeschutt mit einem Korrekturwert ΔI von 0. Dies bedeutet, dass die bei einem Erdbeben auftretenden Intensitäten dem regionalen Durchschnitt entsprechen. Die massigen Kalksteine mit ihren bedeutenderen Lagen von Mergelschiefern und Mergelkalken und die stets von Sandstein- und Mergellagen begleiteten, schwach bis mittelstark verfestigten Konglomerate zeigen Korrekturwerte ΔI von +0.2, die Mergelschiefer bis Kalkphyllite mit Einlagerungen von Sandsteinen Korrekturwerte ΔI von +0.4.

Die wassergesättigten Lockergesteine weisen mit einem Wert dI von +1.5 die höchste Empfindlichkeit bezüglich seismischer Anregung auf. Für die Erstellung der Korrekturkarten ist den Gebieten mit Lockergesteinen, über die nur ungenügende Informationen über den Grundwasserspiegel vorgelegen haben, ein mittlerer Grundwasserstand zugewiesen worden. So ist den meist tonigen, oft mit Geschiebe oder in Mischung mit Schutt oft mit Blöcken versetzten Sanden bis Silten sowie den meist sauberen, bisweilen mit dünnen, tonigen oder siltigen Überdeckungen oder Einlagerungen versehenen Kiesen und Sanden - ohne Angabe des Grundwasserspiegels - ein Wert ΔI von +0.5 und dem vorwiegend eckigen, groben bis feinen Schutt ein Wert ΔI von 0.0 zugewiesen worden.

Die seismische Zonierungskarte (Anhang A20) als Überlagerung der seismischen Gefährung (Anhang A12) mit der Karte der Korrekturwerte nach ETH (Anhang A18) widerspiegelt dieses bodenspezifische Verhalten. So zeigen die vorwiegend jurassischen und kretazischen Kalke der helvetischen Wildhorn/Drusberg-Decke im SE-Teil des Untersuchungsgebietes sowie jene des Mueterschwanderberges und der Pilatus-Region eine relativ geringe Gefährdung auf. Ähnlich sind die Nagelfluh-Serien der Molasse sowie die trockenen Bergsturz- und grobblockigen Hangschutt-Ablagerungen einzustufen. Die den massigen helvetischen Kalken zwischengelagerten Mergelschiefer und Mergelkalke und die mit Bänken von Sandsteinen wechsellagernden Mergelschiefer der Flysch-Gebiete im Raume Schwendi-Schlierentäler zeigen höhere zu erwartende Intensitäten. Etwa gleich verhalten sich die lehmigen, sandigen bis tonigen Hangschutt-Ablagerungen sowie die kiesigen und sandigen Talfüllungen, deren Grundwasseroberfläche mindestens in einer Tiefe von 9 m liegt. Hier ist allerdings anzufügen, dass den Quartärablagerungen im Raume Drachenried sicher eine Grundwassertiefe <9 m zuzuordnen wäre und somit die Intensitätswerte dort etwas höher liegen dürften. Die höchste seismische Gefährdung erreichen die Talböden mit einem Grundwasserspiegel nahe der Terrainoberfläche im Gebiete von Giswil und zwischen Sarnen und Alpnachstad.

Die auf den Werten des U.S. Geological Survey basierende Korrekturkarte (Anhang A19) stellt die massiven Kalksteine und bedeutenderen Lagen von Mergelschiefern und Mergelkalken mit einem Korrekturwert ΔI von -0.5 als die seismisch stabilsten Formationen dar. Die Mergelschiefer bis Kalkphyllite mit Einlagerungen von Sandsteinen zeigen ΔI-Werte von 0. Am empfindlichsten erscheinen, neben den stets von Sandstein- und Mergellagen begleiteten, schwach bis mittelstark verfestigten Konglomeraten, die quartären Lockergesteine. So weisen Lockergesteine mit einer Lage des Grundwasserspiegels tiefer als 30 m einen Wert ΔI von +0.2 auf, solche mit einer Lage der Grundwasseroberfläche zwischen 9 bis 30 m Tiefe einen ΔI-Wert von +0.7 und Böden mit einer Grundwasseroberfläche höher als 9 m unter Terrain einen ΔI-Wert von +1.7.

Basierend auf diesen Korrekturwerten der Intensitäten zeigt die seismische Zonierungskarte (Anhang A21) folgende Charakteristiken. Die massigen helvetischen Kalke wie auch die Mergelkalke weisen die geringste Gefährdung auf. Die Gebiete des Schlieren- und Wildflysches fallen in eine mittlere Gefährdungsstufe. Die quartären Hangablagerungen vor allem des Talbodens, weniger der Talflanken, zeigen in Abhängigkeit der hochliegenden Grundwasseroberfläche eine relativ starke Gefährdung.

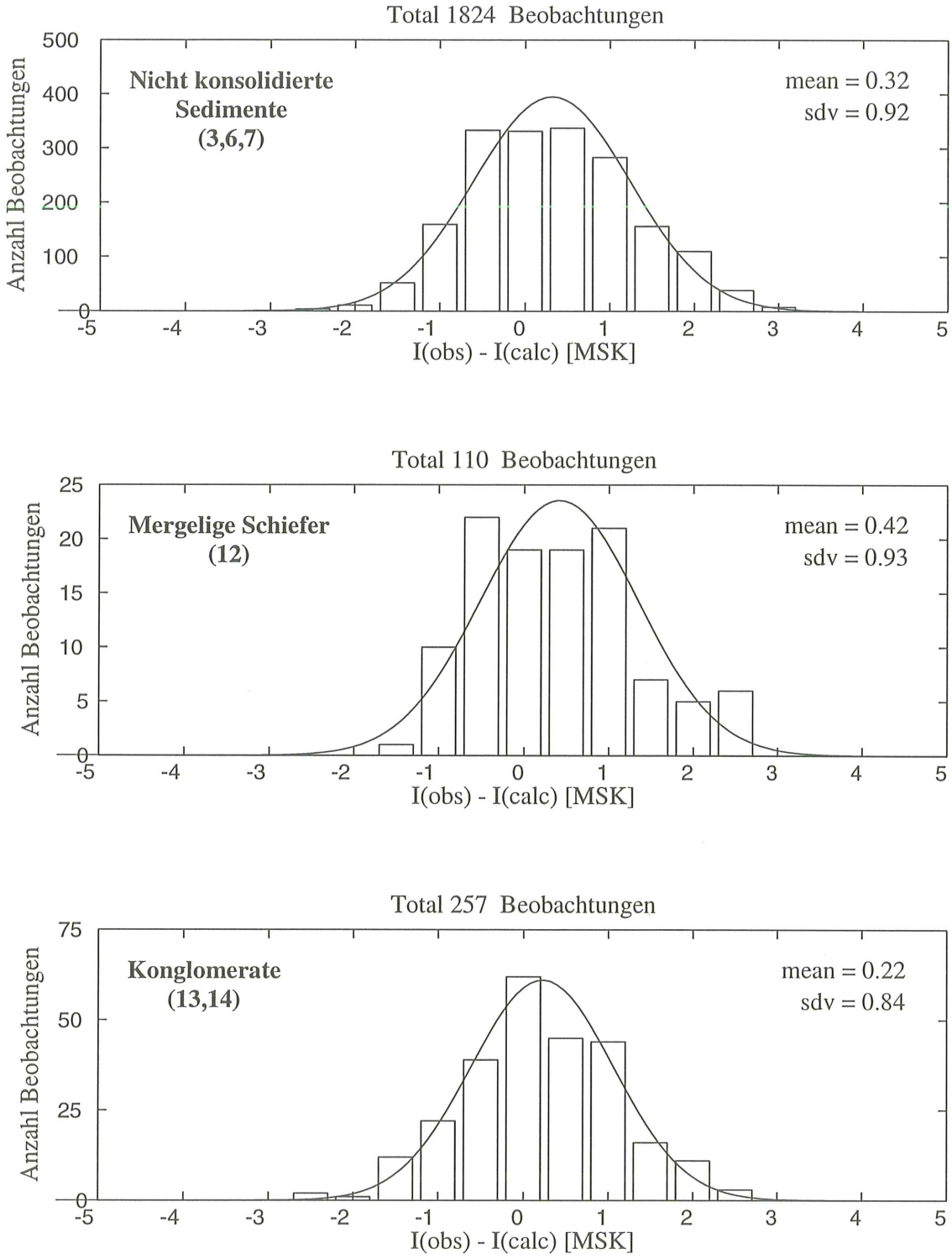


Fig. 6.1: Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Intensitäten in Abhängigkeit des geologischen Untergrundes.

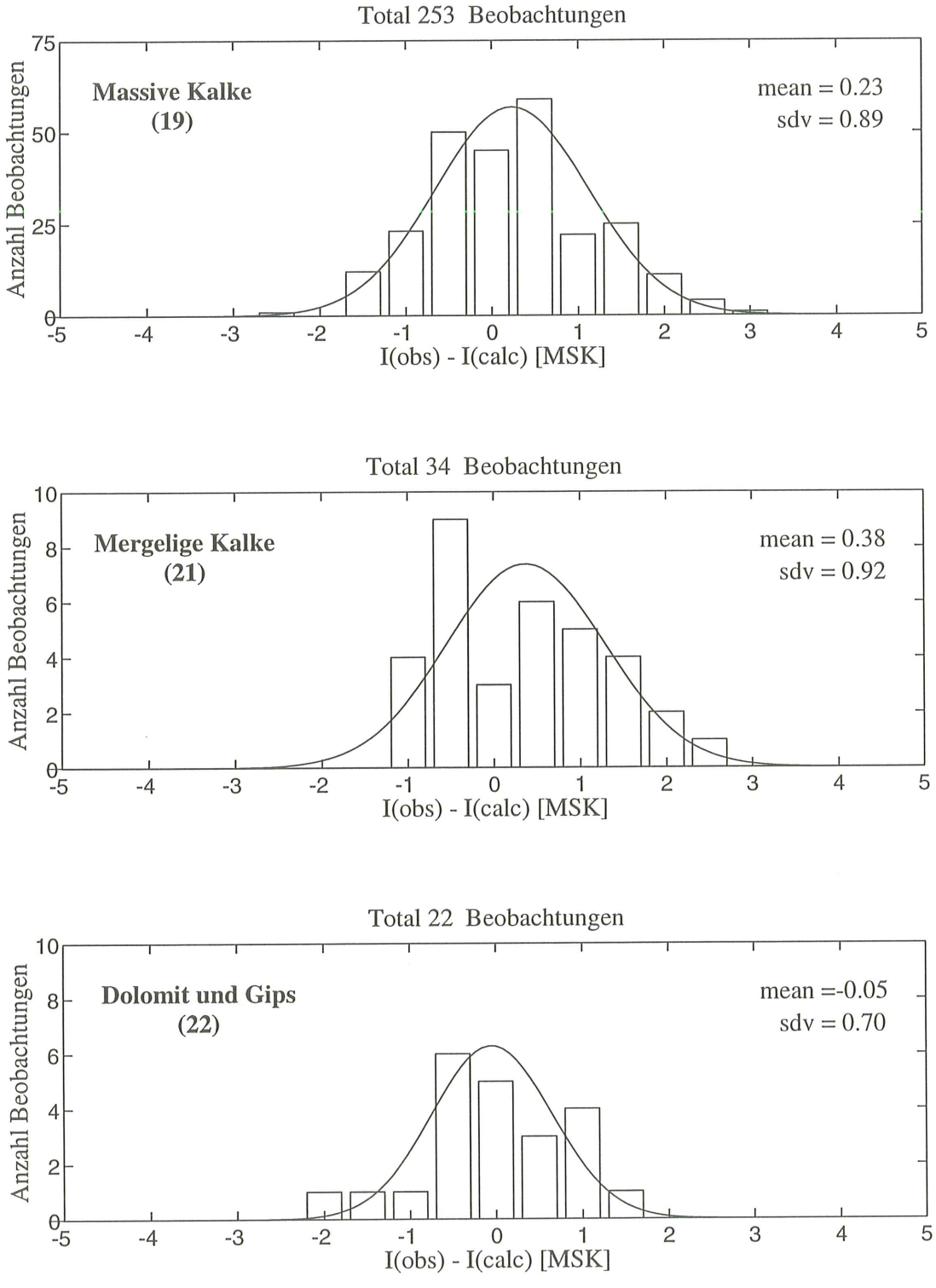


Fig. 6.2: Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Intensitäten in Abhängigkeit des geologischen Untergrundes.

Geotechnische Einheiten (Schweiz 1:200'000)	Korrekturwerte ΔI für Obwalden (ETH - Zurich)
Mergelige Kalke	+0,4
Massive Kalke	+0,2
Dolomite und Gips	0,0
Mergelige Schiefer mit Einlagerungen von Sandsteinen	+0,4
Verschiedene Konglomerate	+0,2
Nicht konsolidierte Sedimente (Sande, Silte, Kiese) in Abhängigkeit des Grundwasserspiegels:	
0 - 9 m	+1,5
9 - 30 m	+0,5
> 30 m	0,0

Geologische Einheiten (Kalifornien 1:250'000)	Korrekturwerte ΔI normiert auf Tertiare Gesteine
Früh Mesozoische Sedimentgesteine	-0,5
Tertiäre Sedimentgesteine	0,0
Plio-Pleistozäne Sedimentgesteine	+0,7
Quartäre Sedimentgesteine in Abhängigkeit der Tiefe des Grundwasserspiegels:	
0 - 9 m	+1,7
9 - 30 m	+0,7
> 30 m	+0,2

Tab. 6.1: Korrekturwerte ΔI für Intensitäten in Abhängigkeit des geologischen Untergrundes fur den Kanton Obwalden nach ETHZ und nach U.S. Geological Survey (EVERNDEN & THOMSON 1985).

7. DISKUSSION

Ziel dieses Projektes, das für die Schweiz eine Pilotstudie auf dem Gebiet der regionalen seismischen Mikrozonierung darstellt, war es, Erfahrungen über die prinzipiellen Möglichkeiten und das Vorgehen, aber auch über auftretende Schwierigkeiten bei solchen Vorhaben zu sammeln.

7.1. Datenaufbereitung

Der Bereitstellung der Datengrundlage ist bei der Konzipierung eines solchen Projektes ausreichend Zeit beizumessen. Es muss im Detail abgeklärt werden, welche Daten in welcher Form und Qualität zur Verfügung stehen. Eine gute (flächendeckende) Datenbasis ist entscheidend für das Gelingen. Folgende Aspekte müssen besonders beachtet bzw. abgeklärt werden:

- Sind bereits Daten über das Studiengebiet vorhanden oder müssen diese neu erarbeitet werden? Stehen geologische und geotechnische Grundlagen von privaten Gutachterbüros zur Verfügung? Ist dies der Fall, dann müssen die rechtlichen Konditionen abgeklärt werden. Oft sind Daten und Informationen wesentlich schneller und einfacher über eine zentrale Dokumentationsstelle zu beschaffen. Allerdings haben nicht alle Kantone solche Stellen und die gewünschten Unterlagen sind oft lückenhaft.

- In welcher Form und Qualität liegen die Daten vor? Oft sind Rohdaten, wie z.B. Bohrprofile, günstiger als bereits interpretierte und generalisierte Querprofile oder geologische Berichte. Bei den geologischen Berichten ist zudem die Ausrichtung des Gutachtens und die spezifische Auswahl der relevanten Daten zu berücksichtigen. Die enorme Menge und die unterschiedliche Form der Unterlagen erfordert als ersten Schritt eine einheitliche Erfassung, die vorteilhaft in einer Datenbank erfolgt. Dabei muss ein effizienter Zugriff aufgrund bestimmter Suchkriterien gewährleistet sein. Von Vorteil ist ein Dateiformat, welches direkt vom GIS verarbeitet werden kann.

- Der Arbeitsaufwand, aber auch die Qualität der resultierenden Karten hängt sehr stark vom gewählten Massstab ab. Die für die Schweiz vorhandene und auch benutzte geotechnische Karte im Massstab 1:200'000 war für die Entwicklung der Methoden sehr wertvoll, reicht aber für eine Auflösung von < 200 m nicht aus. Besser wären geologische Karten im Massstab 1:25'000, sofern auf diesen das Quartär genügend gegliedert ist. Leider war für Obwalden eine derartige Unterlage nicht vorhanden. Allerdings konnte auf bereits bestehende geotechnische Karten 1:5000 von geotechnischen Büros zurückgegriffen werden, welche einerseits sehr detaillierte Auskünfte vermittelten, andererseits aber nur einen Bruchteil des Untersuchungsgebiets abdeckten. Einige besonders aufschlussreiche Gebiete wurden deshalb im Rahmen des Projekts und zweier Diplomarbeiten der Ingenieurgeologie zusätzlich im Massstab 1:5000 aufgenommen. Von diesen Aufnahmen wurde nur ein Teil in das GIS übernommen (Karte A8).

Es hat sich klar gezeigt, dass es für zukünftige Arbeiten sinnvoll ist, schon zu Beginn der Bearbeitung zwei Stufen in der Bearbeitungsdichte einzuführen: Erstens eine grobe und

eher summarische Bearbeitung wenig kritischer Gebiete (z.B. mit homogenem Untergrund, oder wenig besiedelt), und zweitens eine eingehende Untersuchung der heterogenen und wichtigen Bereiche (Lockergesteinsschichten, hoher Grundwasserspiegel, dichte Besiedlung, bedeutende Verkehrswege etc.).

7.2. Geographisches Informations-System (GIS)

Zur Aufnahme der Grundlagendaten in ein GIS müssen die Daten entsprechend aufbereitet werden. Bei bereits in digitaler Form vorhandenen Daten beschränkt sich dieser Schritt i.a. auf eine Umformatierung. Alle in Kartenform vorhandenen Daten hingegen müssen erst von Hand digitalisiert werden. Eine Verarbeitung von stark unregelmässig verteilten Datenpunkten (wie z.B. Tiefe des Grundwasserspiegels) durch das GIS zeigte sich als nicht durchführbar. Die Ursachen liegen in der stark variierenden Datendichte und in der nur schwierig in einen Interpolationsalgorithmus zu integrierenden Zusatzinformationen, die der Geologe beim Interpretieren von z.B. hydrogeologischen Daten zusätzlich benötigt und berücksichtigt.

Zur Interpretation der Grundwasserdaten wurde daher mit dem GIS unter Verwendung des primären Datensatzes zuerst eine Hilfskarte angefertigt. Die Erstellung der Karte mit der Lage des Grundwasserspiegels erfolgte dann mehr oder weniger manuell, unter Einbezug von anderen Grundlagendaten empirischer Art. Da das Zeichnen von hydrogeologischen Karten prinzipiell eine bestimmte Datendichte erfordert, konnte nicht das gesamte Untersuchungsgebiet auf diese Weise erfasst werden. In den anderen Gebieten wurde für Rechenzwecke ein gemittelter Grundwasserspiegel angenommen. Aus den gleichen Gründen wurden auch die Karte des Felsreliefs und die geotechnischen Karten 1:5000 weitgehend von Hand erstellt.

Der Zeitbedarf für den ersten Teil des Projektes war bedeutend höher als ursprünglich geschätzt wurde. Dies liegt einerseits daran, dass sowohl im Bereich der geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Erfassung wie auch bei der Einstufung in erdbebenrelevante Boden- und Felsklassen vorerst die Konzepte erarbeitet und Grundlagen geschaffen werden mussten. Das Gleiche gilt für die Arbeiten mit dem GIS. Beim zeitlichen Vorgehen muss berücksichtigt werden, dass die Eingabe in das GIS erst erfolgen kann, wenn die geotechnischen, hydrogeologischen und seismischen Daten bereits vorliegen.

7.3. Seismische Klassierung des geologischen Untergrundes

Der Rolle bestimmter geotechnischer Bodenverhältnisse in bezug auf das seismische Verhalten ist komplex und wurde zuerst auf der Basis publizierter Zusammenhänge qualitativ untersucht. Das Resultat dieser Untersuchung ist eine umfassende Parametermatrix (Tab. A24), die es erlaubt, bestimmte Gruppierungen der Bodenparameter vorzunehmen, die ein ähnliches makroseismisches Verhalten zeigen.

Die Quantifizierung dieses seismischen Verhaltens ist allerdings weit komplexer. In dieser Studie wurden makroseismische Beobachtungen von starken historischen Erdbeben in der ganzen Schweiz verwendet. Die an jedem Beobachtungspunkt festgestellte Abweichung vom regional gemittelten Wert wird mit den geotechnischen Bodenklassen verglichen. Die Zusammenfassung aller Abweichungen, die auf demselben lokalen Untergrund (basierend auf der geotechnischen Karte der Schweiz) ermittelt wurden, erlauben eine statistische

Aussage über das makroseismische Verhalten dieses Untergrundes. Die Figuren 6.1 und 6.2 zeigen diese Abweichnungen für die im Kanton Obwalden vorkommenden geotechnischen Einheiten. Die grosse Streuung dieser Abweichungen zeigt die Unsicherheit (oder Unmöglichkeit) bei der Zuordnung eines bestimmten Korrekturwertes zu einer geotechnischen Einheit. Dafür können folgende Faktoren verantwortlich sein:

- Die makroseismischen Intensitäten sind in den unteren Bereichen, die in der Schweiz vor allem vorliegen, mit Unsicherheiten bei der Bestimmung in der Grössenordnung einer Intensitätsstufe behaftet.

- Die Ermittlung der Intensität für einen Ort ist über ein grösseres Gebiet gemittelt, das u.U. unterschiedliche geotechnische Einheiten (und damit auch Intensitätsabweichungen) aufweist.

- Die Klassierung der Beobachtungen basiert auf der geotechnischen Karte der Schweiz (1:200'000). Die in dieser Karte ausgeschiedenen Einheiten können seismisch unterschiedlich empfindliche Böden zusammenfassen.

- Es fehlen flächendeckende Daten über den Einfluss des Grundwasserspiegels in der Schweiz. Damit können nur die entsprechenden Daten aus den USA für die diesbezügliche Klassierung in der Schweiz herangezogen werden.

- Neben den rein geotechnischen Bodeneigenschaften und der Lage des Grundwasserspiegels sind noch weitere Faktoren von Bedeutung, wie z.B. Topographie oder laterale Heterogenität des Untergrundes.

Die Zuordnung von den in der USA-Untersuchung eingeführten chronostratigraphischen Einheiten zu den im Untersuchungsgebiet vorkommenden geotechnischen Einheiten ist nicht eindeutig. Ein Vergleich der Korrekturwerte ist somit nur bedingt möglich.

Die hier vorliegende Pilotstudie hat eindeutig gezeigt, dass im Gebiet Obwalden, und damit sehr wahrscheinlich in der ganzen Schweiz, der Einfluss des Untergrundes auf das seismische Verhalten eine bedeutende Rolle spielt. Die Untersuchung von Intensitäten, auf unterschiedlichem Untergrund ermittelt, erlaubt eine Zonierung in bezug auf die Erschütterungsfähigkeit.

Allerdings muss festgestellt werden, dass die Streuung bei der Zuordnung von Intensitätsanomalien und spezifischem Untergrund relativ gross ist. Diese Streubreite muss bei der Interpretation und Weiterverwendung in der Berechnung der seismischen Gefährdung berücksichtigt werden.

7.4. Hanginstabilitäten

Verschiedene im GIS gespeicherte Basisdaten, speziell Hangneigung, Vegetation und geologischer Untergrund, wurden zur Identifizierung von potentiell instabilen Hängen herangezogen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass mit dem GIS sehr effizient verschiedenste Kombinationen von Daten durchgerechnet werden können und prinzipiell damit Gebietsausgrenzungen machbar sind.

Allerdings bedarf die endgültige Kartierung von potentiell instabilen Hängen unbedingt der Verifizierung durch den Geologen im Feld. Die dabei gewonnenen zusätzlichen Informationen in bekannten instabilen und stabilen Zonen sowie die sorgfältige Analyse der funktionalen Zusammenhänge der jeweiligen Basisdaten bilden eine notwendige Grundlage für die Überprüfung und Korrektur der im GIS ausgewiesenen Problemzonen.

7.5. Ausblick

Die hier vorliegende Studie ist im Zusammenhang mit mehreren sich folgenden Projekten zu sehen, die zum Ziel haben, die Erdbebengefährdung in der Schweiz neu zu bestimmen. Insbesonders soll, im Gegensatz zu früheren Studien, der Einfluss des Untergrundes auf die Bodenerschütterungen und gegebenenfalls auf Bodeninstabilitäten quantitativ mit einbezogen werden.

Für den Kanton Obwalden konnten neue Methoden sowie neue Daten zum ersten Mal eingesetzt werden. Die dabei gemachten Erfahrungen sollen auf andere Regionen übertragen werden, wie z.B. auf die besonders erdbebengefährdeten Gebiete in der Region Basel, des St.Galler Rheintals und des Wallis.

Das Ergebnis dieser Studie ist sehr umfangreiches Kartenmaterial, das in einem Geographischen Informationssystem vorhanden ist und auf das jederzeit schnell und gezielt zugegriffen werden kann. Dies erlaubt eine fortlaufende Ergänzung der gespeicherten Daten auch nach Abschluss dieser Studie.

Ein weiteres wichtiges Resultat sind die Karten mit makroseismischer Zonierung, die eine wertvolle Grundlage für weitere ähnliche Projekte in der Schweiz darstellen. Karten dieser Art sind ein wichtiges Hilfsmittel für den Ingenieur und Planer bei der Festlegung von geeigneten Massnahmen zur Minderung möglicher Schäden bei Erdbeben.

LITERATUR

Barosh, P.J. (1990): Use of seismic intensity data to predict damage from earthquakes and underground nuclear explosions.- Technical letter NTS 169, United States Department of the Interior, Federal Center Denver Colorado.

Bayer, A.A. (1982): Untersuchungen im Habkern-Melange ("Wildflysch") zwischen Aare und Rhein.- Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 240.

Bender, B. & Perkins, D.M. (1987): Seisrisk III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation.- Bull. U.S. geol. Surv. 1772.

Benz, F. (1948): Geologie des Sarnersee-Gebietes.- Eclogae geol. Helv. 41/1, 1-79.

Boatwright, J., Buckle, I. & Mozley, P. (1991): Ground Motion Amplification in the Marina District.- Bull. seismol. Soc. Amer. 81, 1980-1997.

Bundesamt für Statistik (1992): Die Bodennutzung der Schweiz. Arealstatistik 1979/85.- Bundesamt für Statist., Bern.

Bundesamt für Wasserwirtschaft (1990): Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz, 1:200'000.- Bundesamt für Statistik, Bern.

Buxtorf, A., Tobler A., Niethammer G., Baumberger E., Arbenz P. & Staub W. (1916): Geologische Vierwalstättersee Karte - Geologische Spezialkarte No 66a 1:50'000.- Beitr. geol. Karte der Schweiz, Schweiz. geol. Kommission.

Collet, C. (1992): Systèmes d'information géographique en mode image. Collection Gérer. l'environnement.- Ed. Presses polytech. et univer. romandes, Lausanne.

Colombi, C., Gees, R.A., Haefeli, C., Kellerhals, P., Schindler, C. & Zingg, M.A. (1985): Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft vom 7./8. Oktober 1984.- Eclogae. geol. Helv. 78/1, 205-214.

Cornell, C.A. (1968): Engineering Seismic Risk Analysis.- Bull. seismol. Soc. Amer. 58, 1563-1606.

Dr. von Moos AG (1990): Bemerkungen zur Tektonik zwischen Brünigpass und Sarnen.- Unpubl. Ber. Nr. 5089/3 Dr. von Moos AG, Zürich.

Everneden, J.F. & Thomson, J.M. (1985): Predicting Seismic Intensities. In: Zioni, J.I. (Ed.): Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region - An Earth-Science Perspective.- Prof. Pap. U.S. geol. Surv. 1360.

Fäh, D. (1985): Seismische Mikrozonierung der Schweiz.- Unpubl. Diplomarb. Inst. Geophys., ETH-Zürich.

Felber, P. J. (1984): Der Dogger der Zentral-Schweizer Klippen.- Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich, N.F. 246.

Gutenberg, B. & Richter, C.F. (1956): Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration.- Bull. seismol. Soc. Amer. 46, 105-145.

Hantke, R. (1961): Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St. Galler Rheintal.- Vjschr. natf. Ges. Zürich 106, 1-210.

Hantke, R. (1980): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiet, Bd. 2.- Ott, Thun.

Hess, H. (1914): Geographie von Unterwalden.- Britschgi, Sarnen.

Imfeld, W. (1976): Streifzüge in und um Lungern.- Selbstverlag des Autors, Lungern.

Imhof, E. (1978): Die Delkeskamp-Karte aus den Jahren 1830-1835: Malerisches Relief des klassischen Bodens der Schweiz nach der Natur gezeichnet und radiert von Friederich Wilhelm Delkeskamp.- Stocker-Schmid, Dietikon.

Kantonales Oberforstamt Obwalden (1980): Geologische Karte des Kantons Obwalden 1:50'000.- Aerni Leuch, Bern.

Knaap, W.G.M. van der (1992): The Vector to Raster Conversion (Mis)use in Geographical Information Systems.- Int. J. of geogr. Inform. Syst. 6, 159-170.

McGuire, R.K. (1976): Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis.- U.S. geol. Surv. Open File Rep. 76-67.

Medvedev, S. V., Sponheuer, W. & Karnik, V. (1964): Seismic Intensity Scale.- Acad. sci. USSR, Sov. geophys. Comm.

Mohler, H. (1966): Stratigraphische Untersuchungen in den Giswiler Klippen (Préalpes Médianes) und ihrer helvetisch-ultrahelvetischen Unterlage.- Beitr. geol. Karte der Schweiz [N.F.] 129.

Office fédéral de topographie (1992): Modèle numérique du terrain MNT25.- Office fédéral de topogr., Wabern.

Pavoni, N. (1977): Erdbeben im Gebiet der Schweiz.- Eclogae Geol. Helv. 70/2, 351-370.

Rickenbacher, M. (1992): Das digitale Höhenmodell DHM25 und seine möglichen Anwendungen in der amtlichen Vermessung. Photogrammetrie und Landinformationssysteme in der RAV, 30. Juni -3. Juli 1992.- EPF-Lausanne.

Rösli, U. (1990): Vereinfachte Geotechnische Karte der Schweiz, Erfassung auf ARC/INFO.- Bundesamt für Wasserwirtsch., Bern.

Sägesser, R. & Mayer-Rosa, D. (1978): Erdbebengefährdung in der Schweiz.- Schweiz. Bauztg. 98/7, 107-123.

Scheuchzer, J. J. (1715): Nova Helvetiae Tabula geographica illustrissimis et potentissimis cantonibus et rebuspublicis reformatae religionis Tigurinae, Bernensi, Glaronensi, Basiliens, 1:238'000.- Schenk, Amsterdam.

Schindler, C. (1980): Geologisch-geotechnische Voruntersuchungen der N8 zwischen Sarnen und dem Brünigpass.- Strasse u. Verkehr 5.

Sponheur, W. (1960): Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik.- Freiberger Forschh. C88.

Staeger, D. (1944): Geologie der Wildhorngruppe zwischen Spiez und Lungern.- Eclogae geol. Helv. 37/1, 99-188.

Vonderschmitt, L. (1923): Die Giswiler Klippen und ihre Unterlage.- Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 50.

Walser, G (1770): Schweizer Geographie samt den Merkwürdigkeiten in den Alpen und hohen Bergen, zur Erläuterung Hommannischen Charten herausgegeben - Bl. 6: Canton Unterwalden.- Zürich (1769).

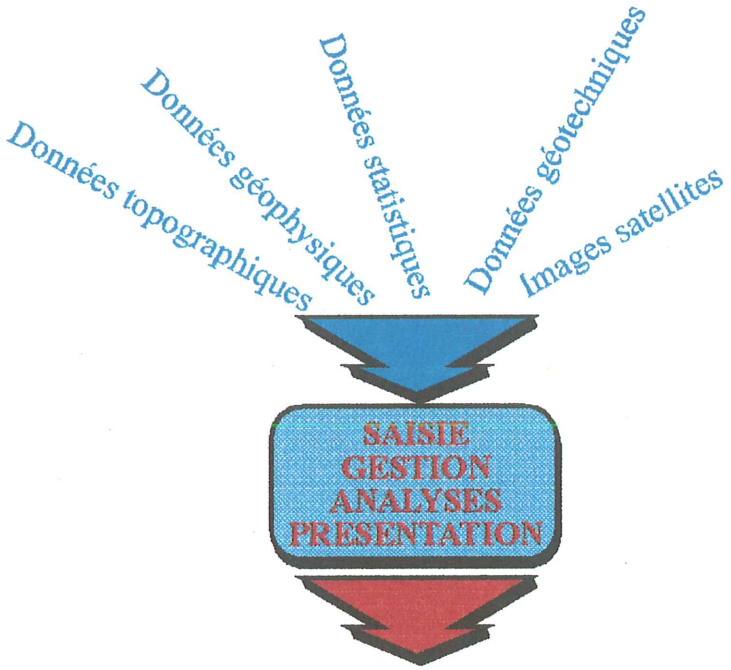
Wildberger, A., Gruner, U. & Siegenthaler, U. (1982): Markierversuche und weitere hydrologische Untersuchungen im Karst des Brienzergrates und des Brünigpasses.- Akten natl. Kongr. Höhlenforsch., Schwyz, Sept. 1982, 249-267.

Wildberger, A. (1988): Der Bergrutsch vom 8. September 1986 bei Giswil. Geologische und geotechnische Aspekte.- Schweiz. Ing. u. Archit. 24, 727-729.

Winkler, W. (1983): Stratigraphie, Sedimentologie und Sedimentpetrographie des Schlieren-Flysches (Zentralschweiz).- Beitr. geol. karte der Schweiz [N.F.] 158.

Wyllie, L.A. & Filsen J.R. (1989): Armenia Earthquake Reconnaissance Report.- Earthquake Spectra Spec. Suppl. 89-01.

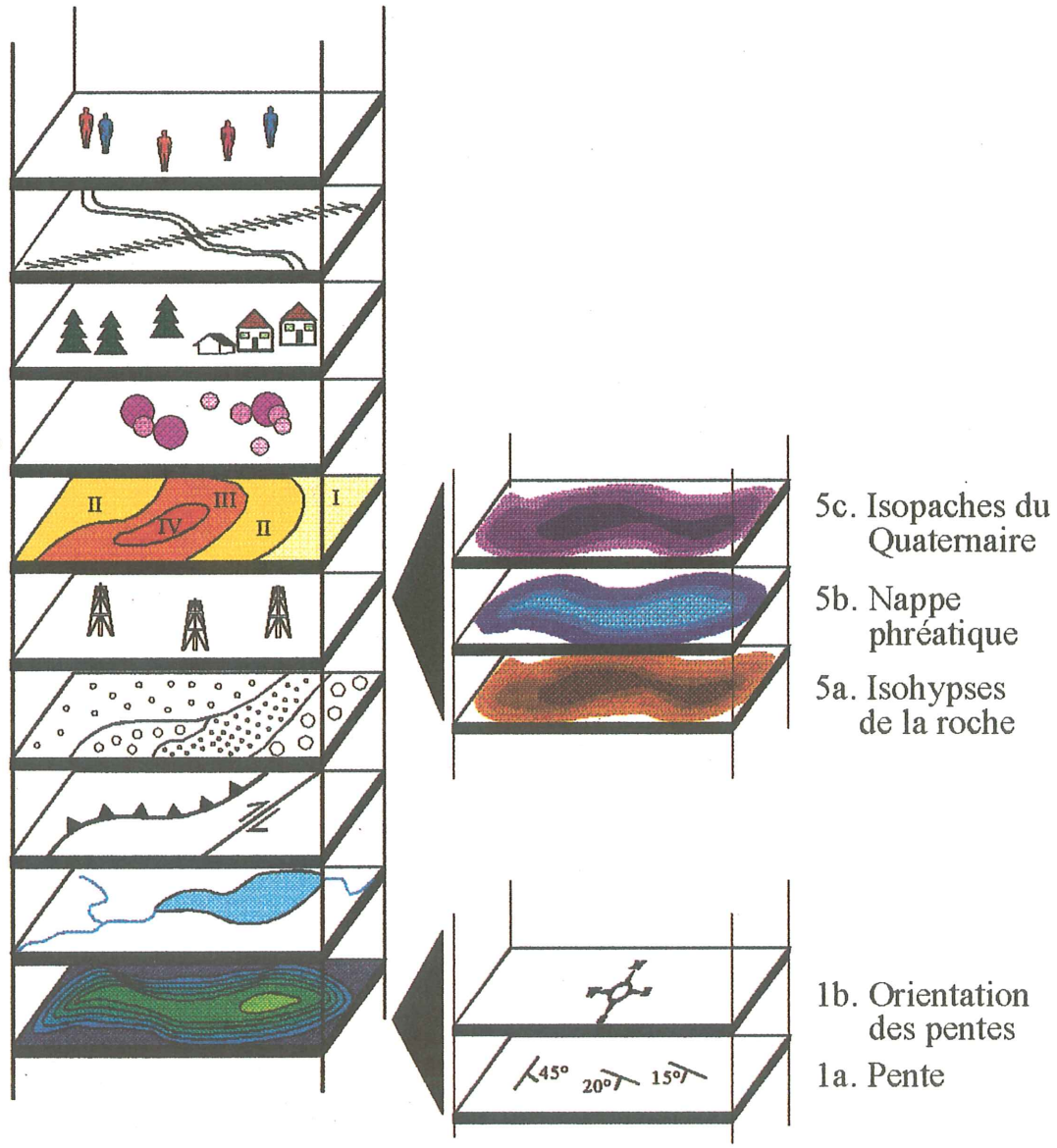
A1

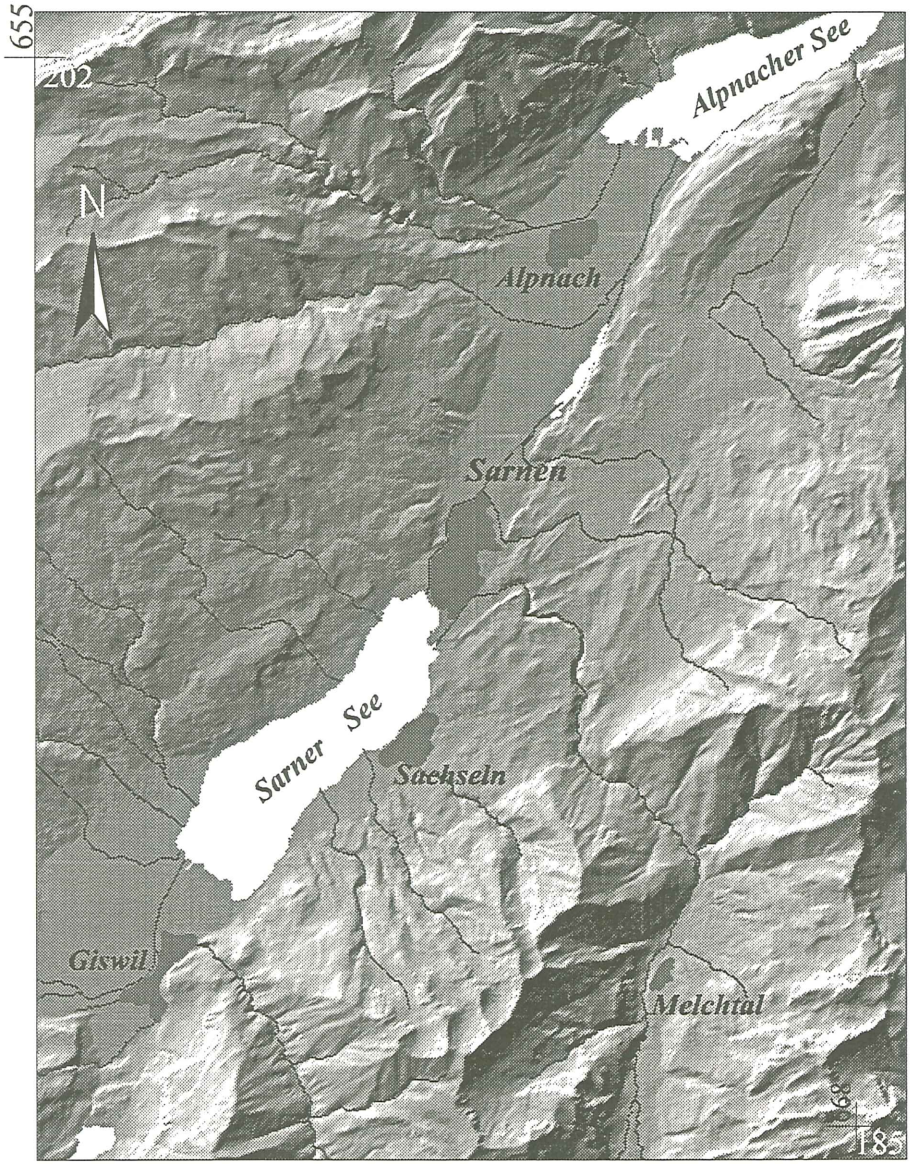


BASE DE DONNEES

DONNEES PRIMAIRES

DONNEES DERIVEES





CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

RELIEF TOPOGRAPHIQUE
Topographisches Relief

(Ce relief a été créé à partir du MNT25)
(Dieses Relief wurde mit dem DHM25 erstellt)

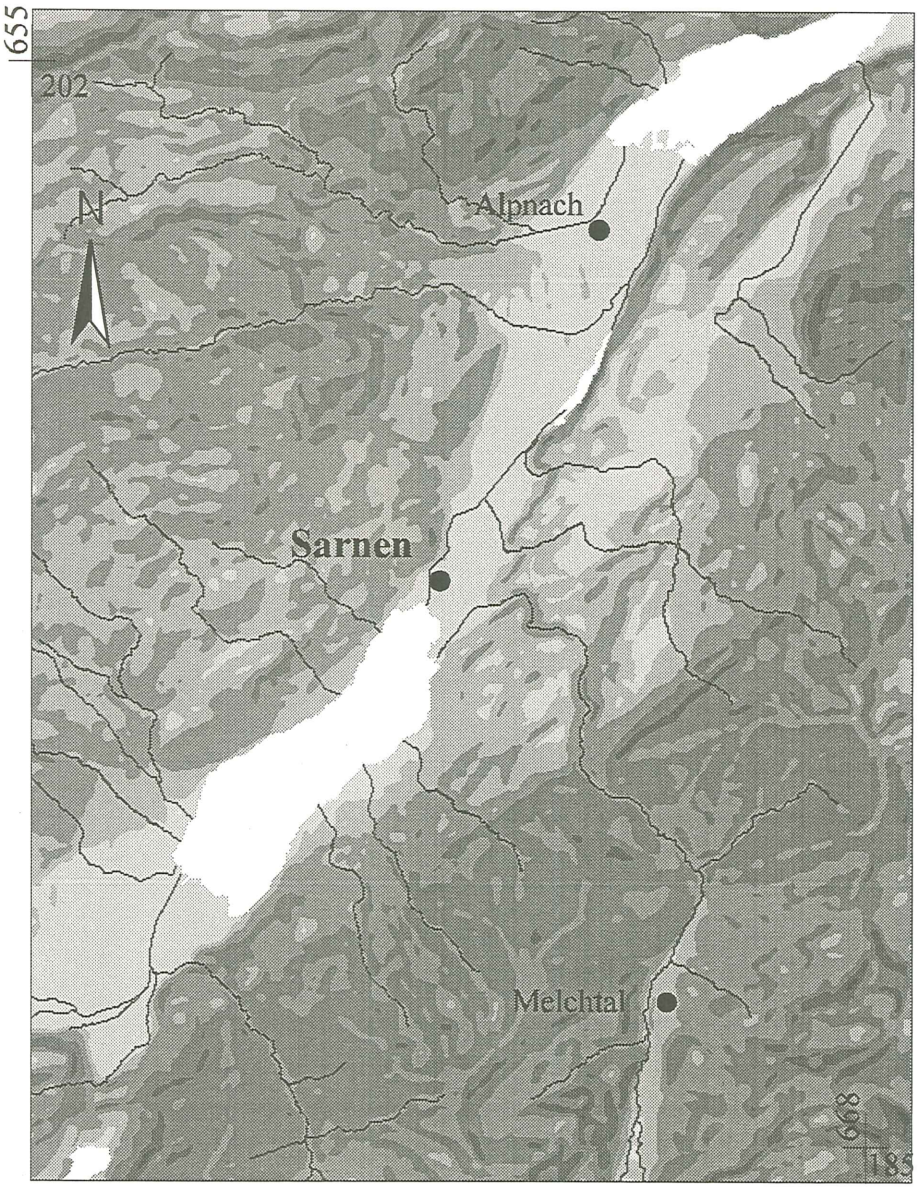
Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 28.6.1995

LEGENDE :

- lacs / Seen
- rivières / Flüsse
- villes principales / Hauptsiedlungen

0 — 5km

A2



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

PENTES
Neigungen

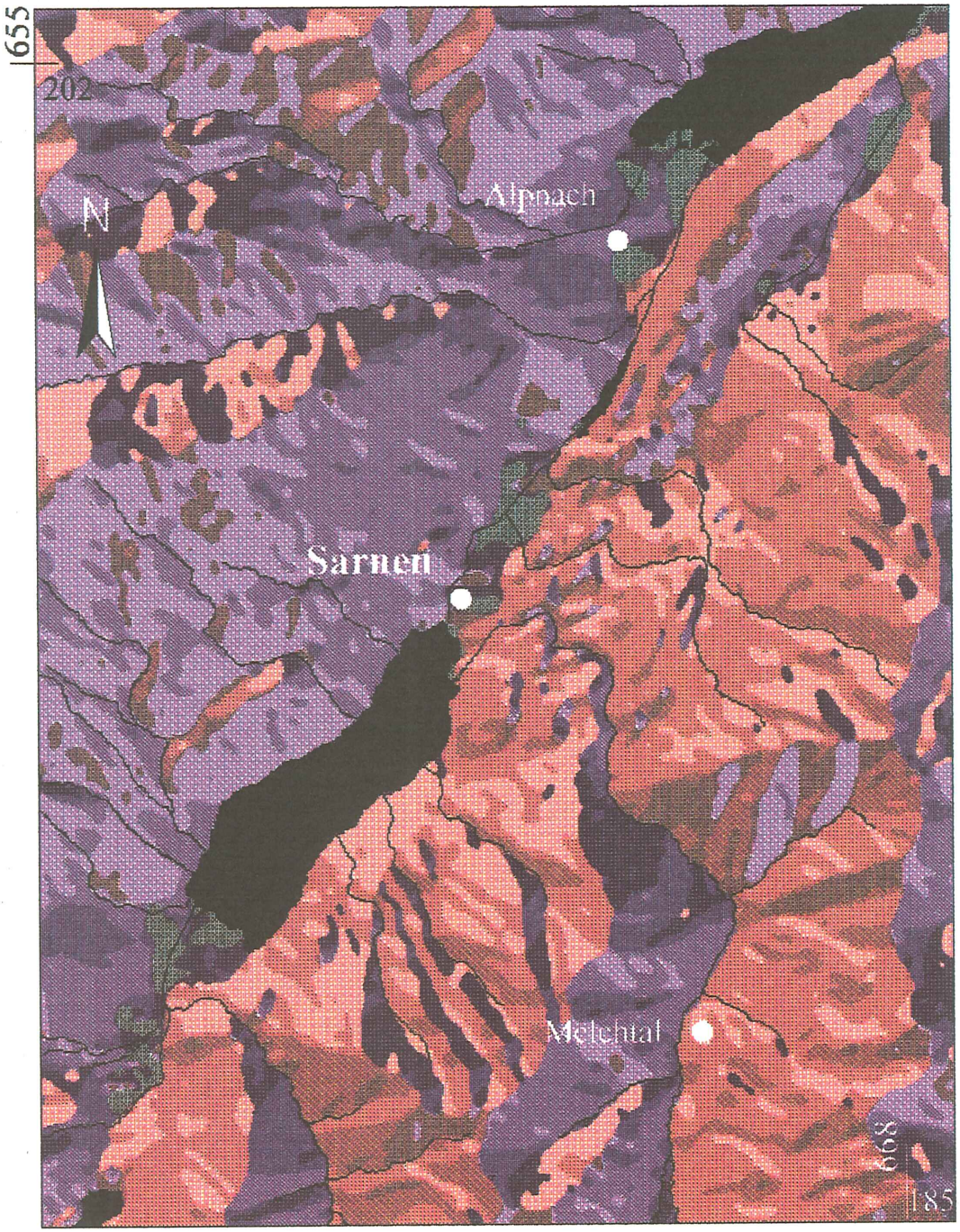
(d'après le MNT25 filtré)
(nach dem gefilterten DHM25)

LEGENDE :

pente [en degré]	superficie [en % du terrain]
0- 5	16.02
5-15	19.98
15-30	37.15
30-45	24.68
45-60	2.10
60-70	0.07

0 5km

A3



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ORIENTATION DES PENTES
Hangorientierung

(d'après le MNT25 filtré)

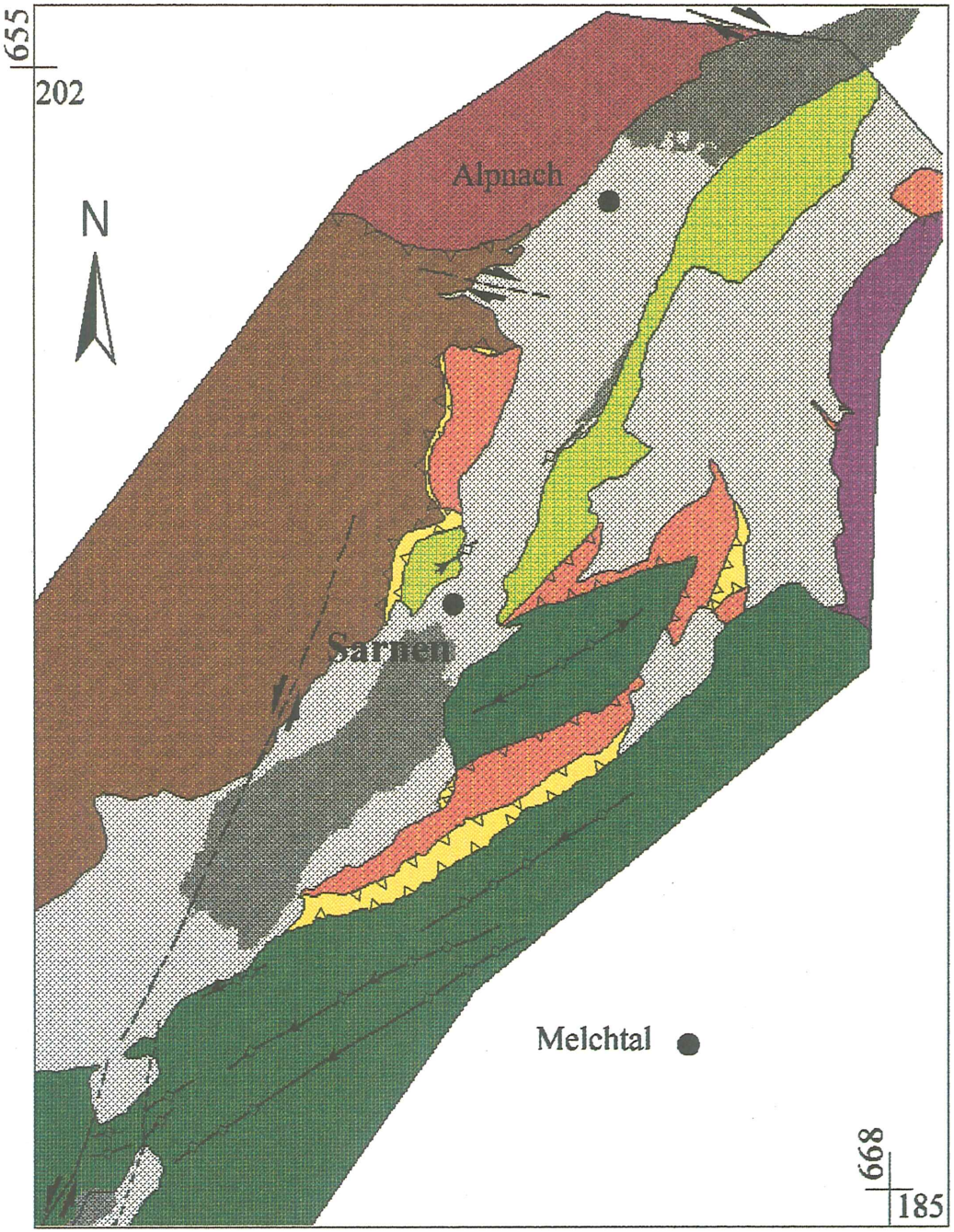
(nach dem gefilterten DHM25)

LEGENDE :

- Sans orientation
  Ohne Orientierung
- Nord/Nord-est
  Nord/Nord-ost
- Nord-est/Est
  Nord-ost/Ost
- Est/Sud-est
  Ost/Süd-ost
- Sud-est/Sud
  Süd-ost/Süd
- Sud/Sud-ouest
  Süd/Süd-west
- Sud-ouest/Ouest
  Süd-west/West
- Ouest/Nord-ouest
  West/Nord-west
- Nord-ouest/Nord
  Nord-west/Nord

0 5km

A4



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

TECTONIQUE
Tektonik

LEGENDE :

- Pilatus / Lopper; chaîne bordière
  Pilatus / Lopper; Randkette
- Flysch de Schlieren
  Schlieren-Flysch
- Ecaille de Sachseln-Kerns
  Schuppenzone von Sachseln - Kerns
- Wildflysch
- Nappe du Bürgenstock
  Bürgenstock-Teildecke
- Quaternaire
  Quartäre Lockergesteine von grösserer Mächtigkeit
- Stanserhorn; klippe pennique
  Stanserhorn; penninische Klippe
- Wildhorn / Nappe de Drusberg
  Wildhorn / Drusberg-Decke
- axe du pli
  Faltenachse
- direction du pli
  Fallrichtung der Achse
- direction du décrochement
  Bewegungssinn von Blattverschiebungen
- chevauchement, écaille
  Überschiebung, Schuppenzone

0 5km

A5



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

CARTE GEOTECHNIQUE SIMPLIFIEE

Vereinfachte geotechnische Karte

(d'après la carte géotechnique de la Suisse au 1:200'000, 1963-67)

(nach der geotechnischen Karte der Schweiz im Massstab 1:200'000, 1963-67)

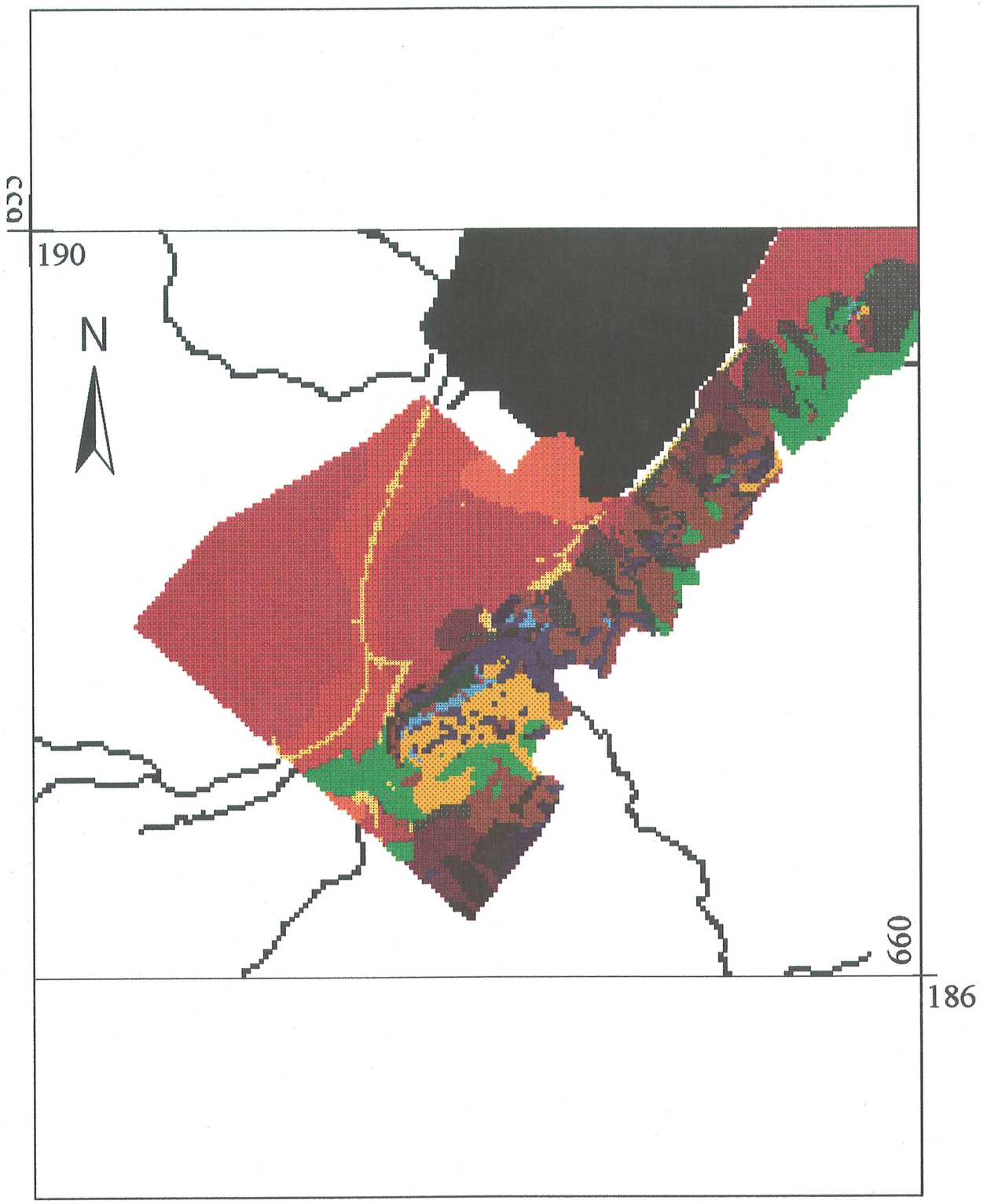
Source : Office fédéral de la statistique, GEOSTAT

LEGENDE :

- sable à silt, le plus souvent argileux
  Sande bis Silte, meist tonig
- graviers, sables, à intercalations argilo-limoneuses
  Kiese und Sande, bisweilen mit tonig-siltigen Einlagerungen
- matériel d'éboulement
  Bergsturzmaterial
- conglomérats
  Konglomerate
- pélites marneuses à intercalations de grès
  Mergelschiefer mit Einlagerungen von Sandsteinen
- calcaire massif à intercalations marneuses
  Kalke allgemein, massige Ausbildung mit mergeligen Zwischenlagen
- pélites et calcaires marneux
  Mergelschiefer und Mergelkalk
- dolomie à intercalations d'évaporites
  Dolomite mit Gipslagen

0 5km

A6



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

CARTE GEOTECHNIQUE

(d'après un levé au 1:5'000)

Geotechnische Karte

(nach einer Aufnahme im Massstab 1:5'000)

A7

LEGENDE :

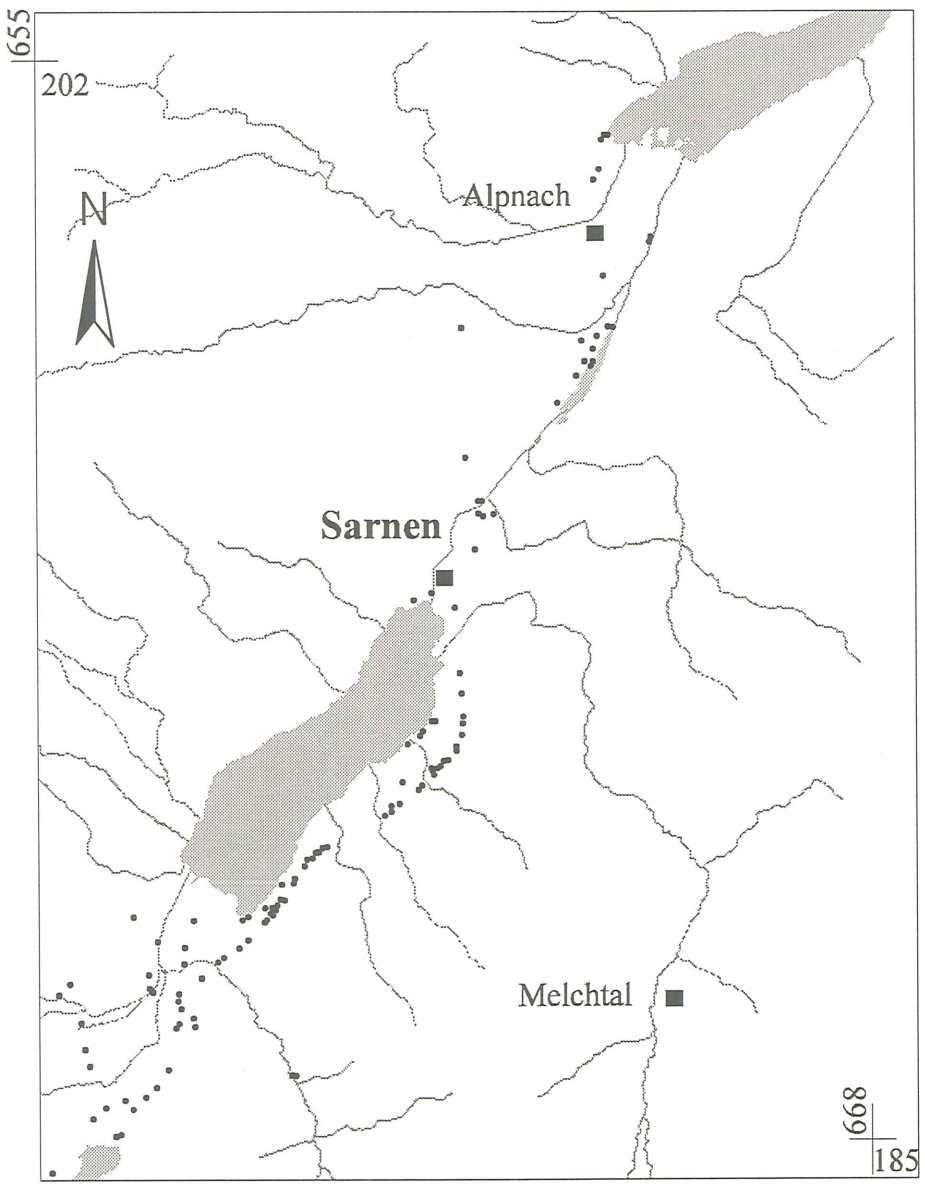
Lockergesteine

- Auffüllungen
- Verlandungssedimente, feinkörnige Muldenfüllungen
- Bachablagerungen, eher feinkörnig, lehmig-kiesig
- Bach-, Runsenablagerungen, grob, kiesig-lehmig-sandig
- Bach-, Runsenablagerungen, grob, kiesig-sandig, z.T. etwas lehmig
- Hangschutt, eher fein, lehmig-kiesig
- Hangschutt, kiesig-lehmig-sandig mit Blöcken
- Glazialer, späteiszeitlicher Bach-, Runsenschutt
- Moräne

Fels

- Mergel, schiefrige Gesteine
- Kalke mit Mergel-Zwischenlagen
- Harte Sandsteine, Kalksandsteine und Kalke
- Fels unter geringer Bedeckung, hauptsächlich schiefrige Gesteine
- Fels unter geringer Bedeckung, vermutlich harte Gesteine

0 2.5km



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

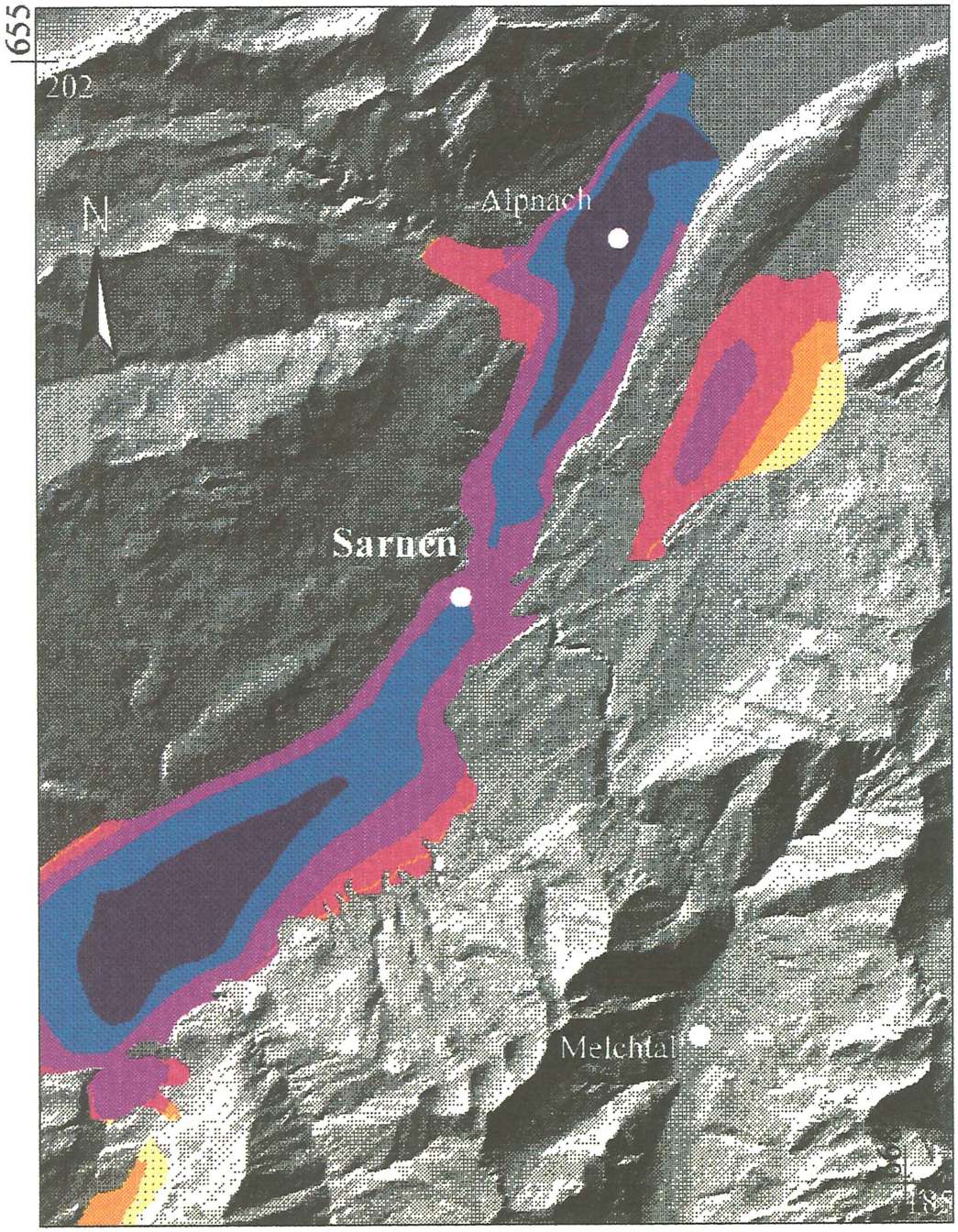
POSITION DES SONDAGES
Lage der Bohrungen

LEGENDE :

- sondages
  Bohrungen

0 5km

A8



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ISOHYPSES DU TOIT DE LA ROCHE

Isohypsen der Felsoberfläche

Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 28.6.1995

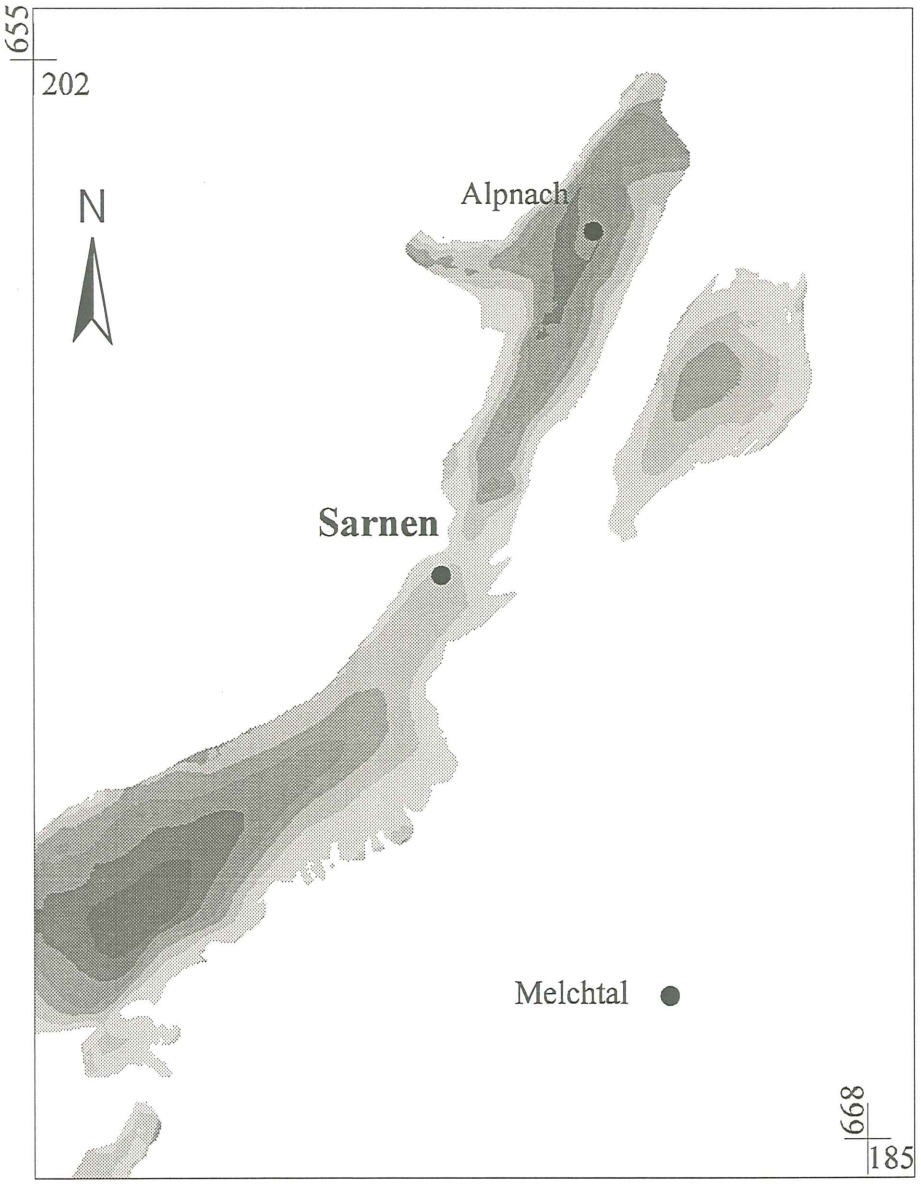
LEGENDE :

Altitude

- 200-300 m
- 300-400 m
- 400-500 m
- 500-600 m
- 600-700 m
- 700-850 m

0 5km

A9



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ISOPACHES DU QUATERNAIRE

Quartärmächtigkeit

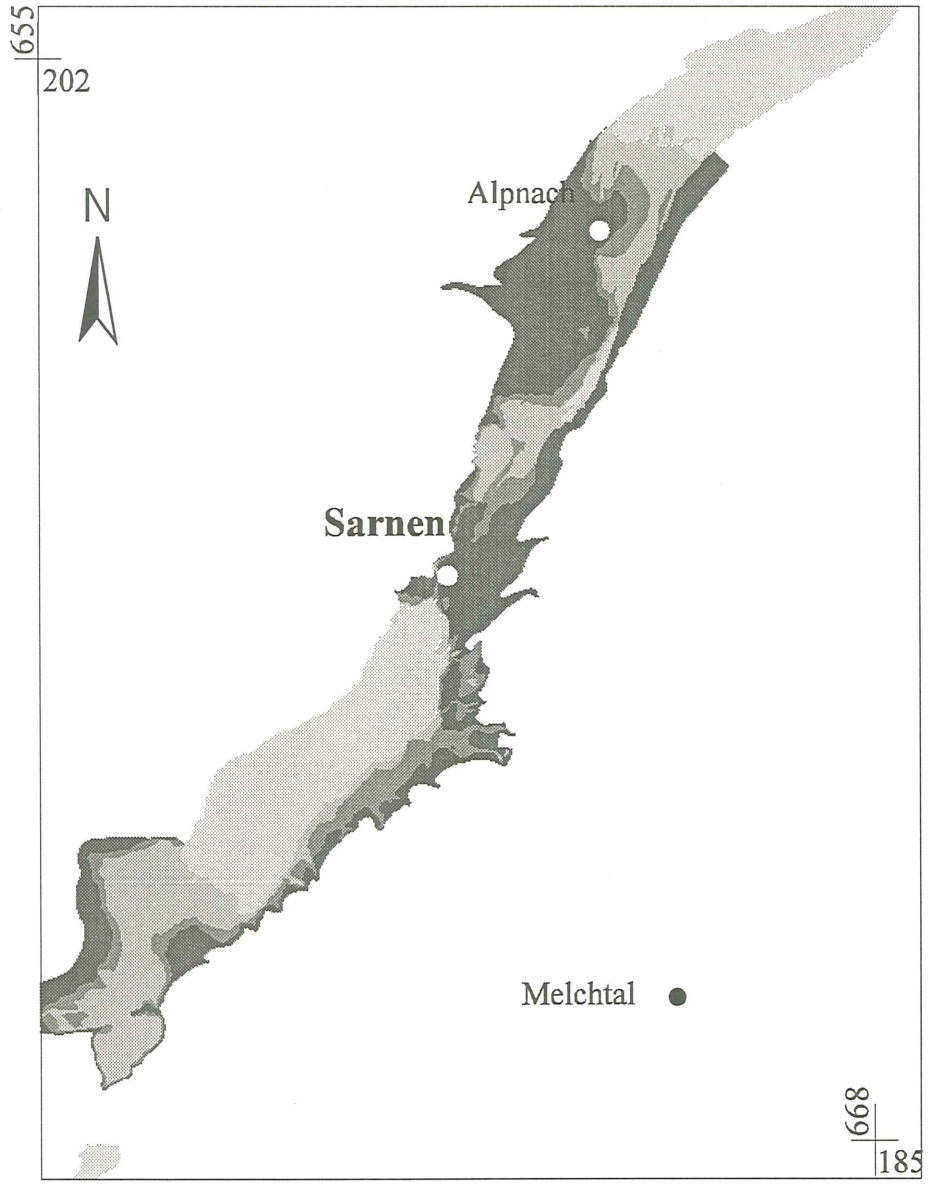
LEGENDE :

Isopaches

- 1- 50 m
- 50-100 m
- 100-150 m
- 150-200 m
- 200-250 m
- 250-300 m

0 5km

A10



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE

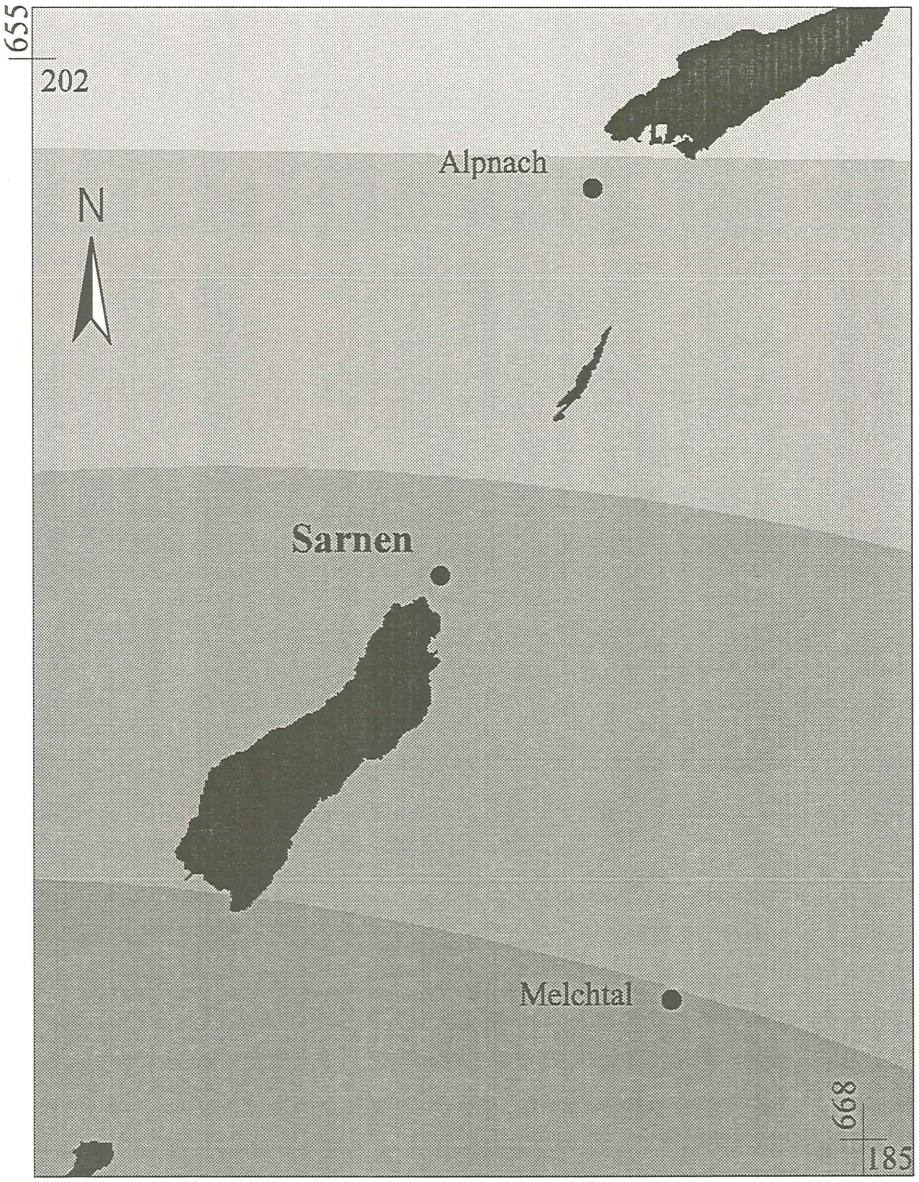
Tiefe der Grundwasseroberfläche

LEGENDE :

- lacs
- 0-2 m
- 2-5 m
- > 5 m

0 5km

A11



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ALEA SISMIQUE DE BASE
Seismische Basisgefährdung

Intensités (MSK) ayant une probabilité de 90 % de ne pas être dépassées pour une période de 50 ans

Intensitäten (MSK), die mit 90 % Wahrscheinlichkeit innerhalb von 50 Jahren nicht überschritten werden

LEGENDE :

- **7.1-7.2**
- **7.2-7.3**
- **7.3-7.4**
- **7.4-7.5**

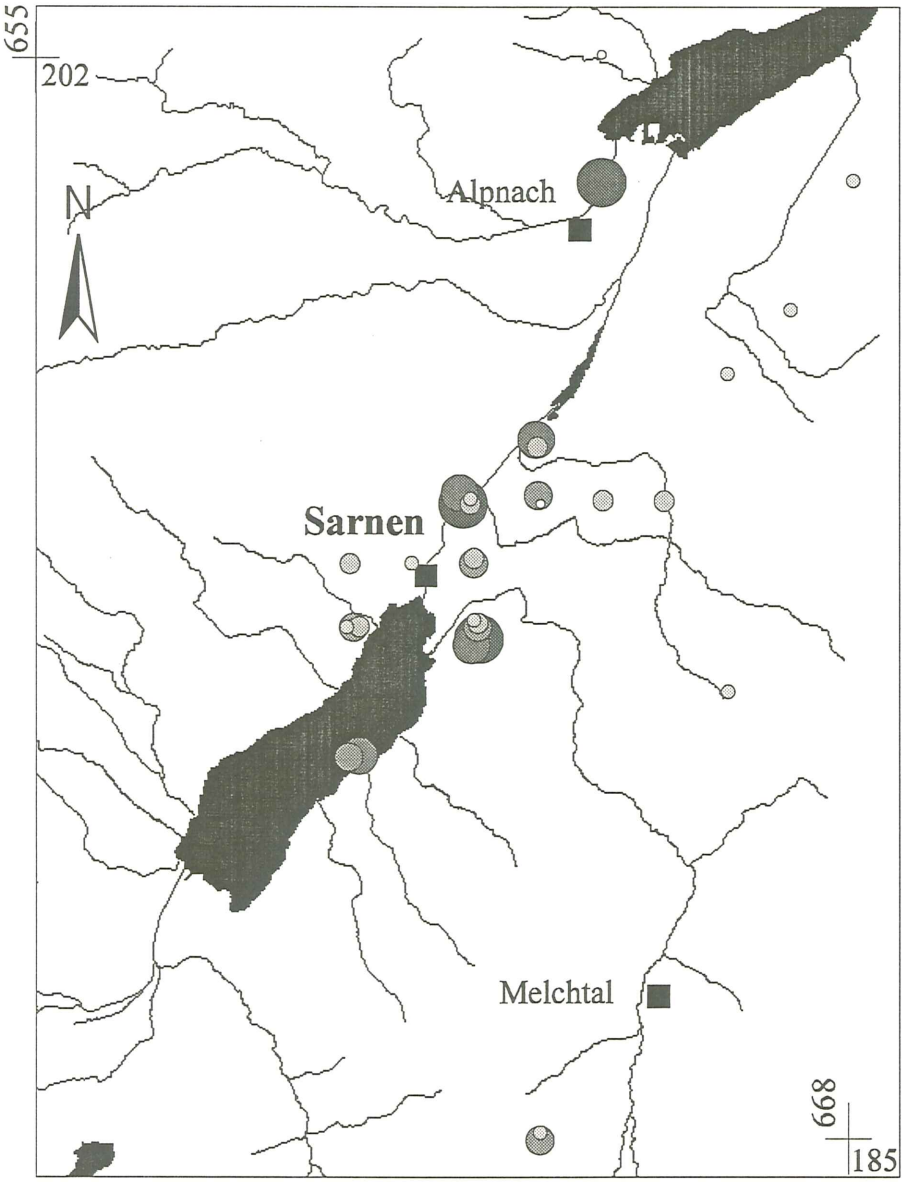
0 5km

A12

Table de l'échelle d'intensité MSK 1964

Degré	Force	Effets du tremblement de terre sur :		
		Personnes	Bâtiments	Nature
I	imperceptible	non ressentis		
II	très légère	ressentis sporadiquement		
III	légère	ressentis nettement avant tout par des personnes au repos		
IV	moyenne	ressentis dans les maisons, réveille	fenêtres vibrent	
V	assez forte	ressentis partout en plein air	crépi des maisons se détache, objets suspendus se balancent, tableaux de travers	
VI	forte	frayeur	cheminées et crépi endommagés	crevasses isolées dans terrain humide
VII	très forte	beaucoup de personnes se réfugient en plein air	dégâts importants, avant tout à des bâtiments en mauvais état, cheminées s'écroulent	glissements de terrain isolés sur des versants raides
VIII	destructrice	frayeur et panique	beaucoup de maisons anciennes subissent des dégâts, ruptures de canalisations	changement des sources, glissements de talus sur chaussée
IX	dévastatrice	panique	gros dégâts sur bâtiments peu solides, dégâts aussi à des maisons bien bâties, ruptures de canalisations souterraines	crevasses dans terrain, éboulements, beaucoup de glissements de terrain
X	anéantissante	panique générale	bâtiments en briques détruits	rails tordus, glissements de terrains meubles sur versants, formation de nouveaux lacs
XI	catastrophique		peu de bâtiments résistent, canalisations sautent	modifications étendue du sol, tsunami*
XII	grande catastrophe		constructions au-dessus et au-dessous du sol totalement détruites	bouleversement de la topographie, tsunami*

* Grande vague engendrée par un mouvement brutal du fond de l'océan au cours d'un séisme



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

SISMICITE
(historique et instrumentale)

Seismizität
(historische und instrumentelle)

1765-1992

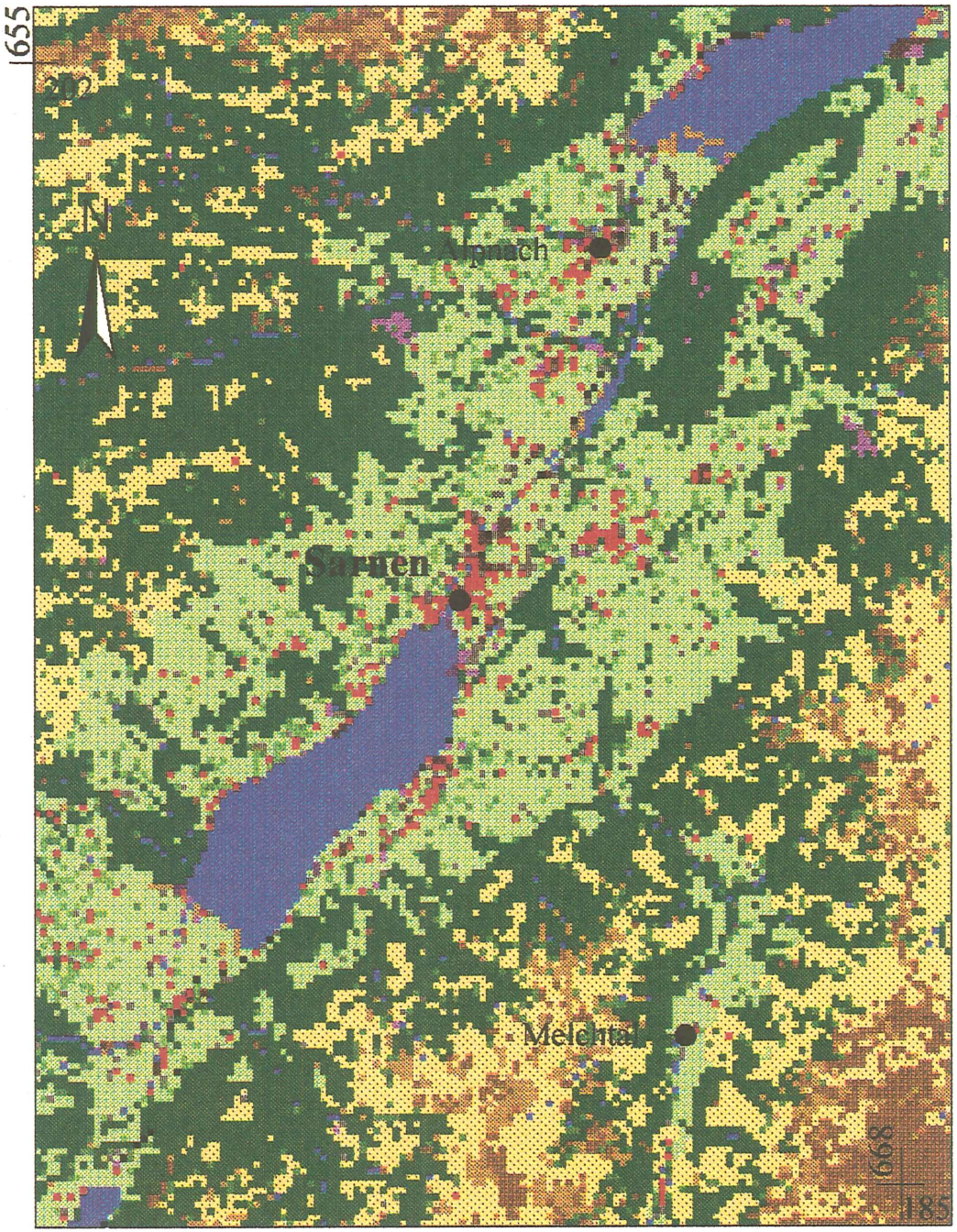
LEGENDE :

Intensités selon l'échelle MSK

- **2**
- **3**
- **4**
- **5**
- **6**
- **7**

0 5km

A14



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

OCCUPATION DU SOL
Bodennutzung
1979-1985

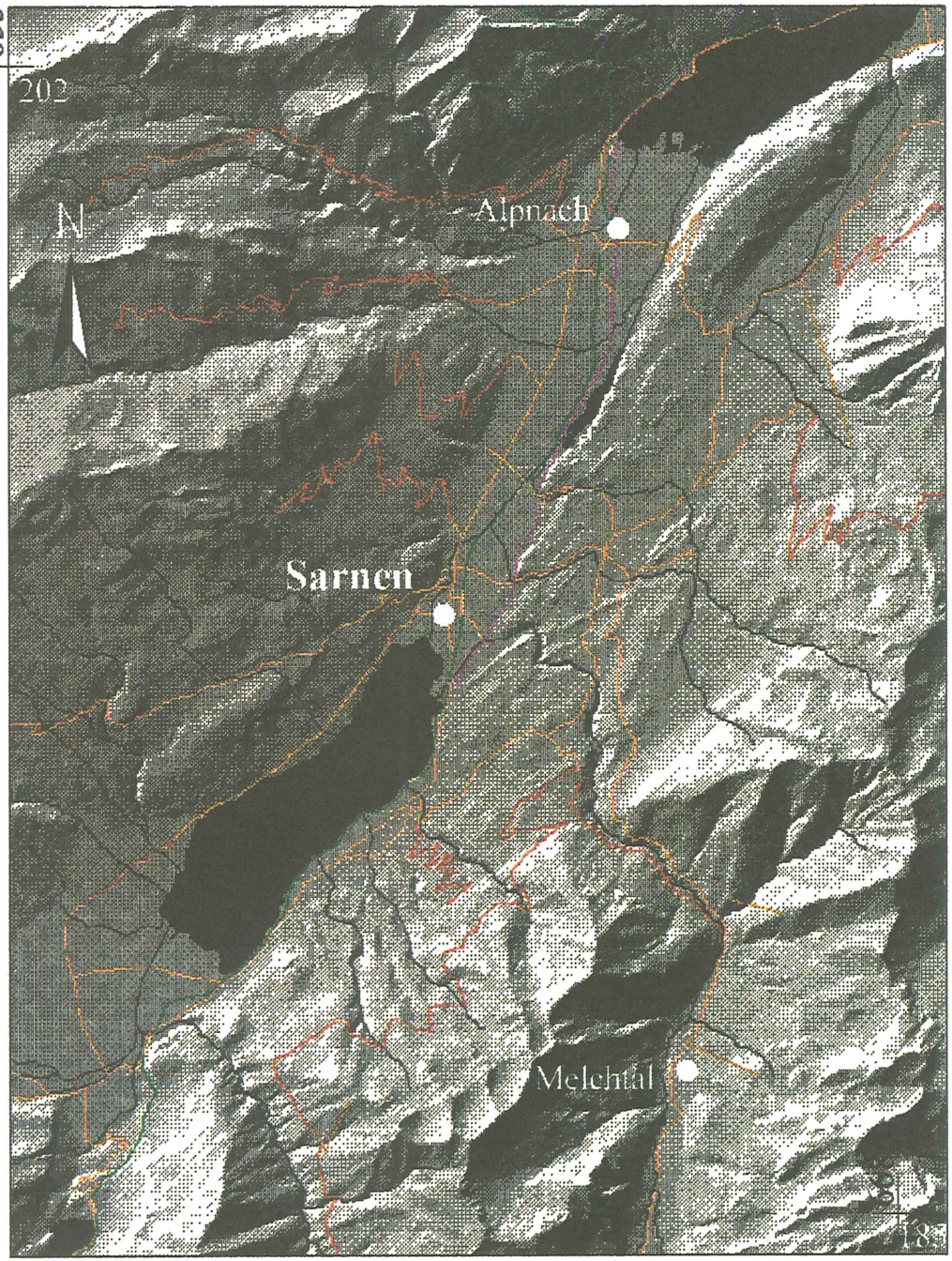
Source : Office fédéral de la statistique, GEOSTAT

LEGENDE :

- forêts / Wald
- buissons, bosquets / Gebüsch, Gehölze
- cultures diverses / Verschiedene Kulturen
- prairies / Weiden
- alpages / Alpweiden
- marais, zones en friche / Moorgebiete, Brachland
- zones sans végétation / Vegetationslose Flächen
- lacs et rivières / Seen und Flüsse
- zones habitées / Wohnzonen
- zones industrielles / Industriezonen
- infrastructures spéciales / Besondere Siedlungsflächen
- zones de repos / Erholungsgebiete
- routes / Strasse
- chemins de fer / Bahn
- aéroports / Flugplatz

0 5km

A15



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

VOIES DE COMMUNICATION
Verkehrsnetz
1989

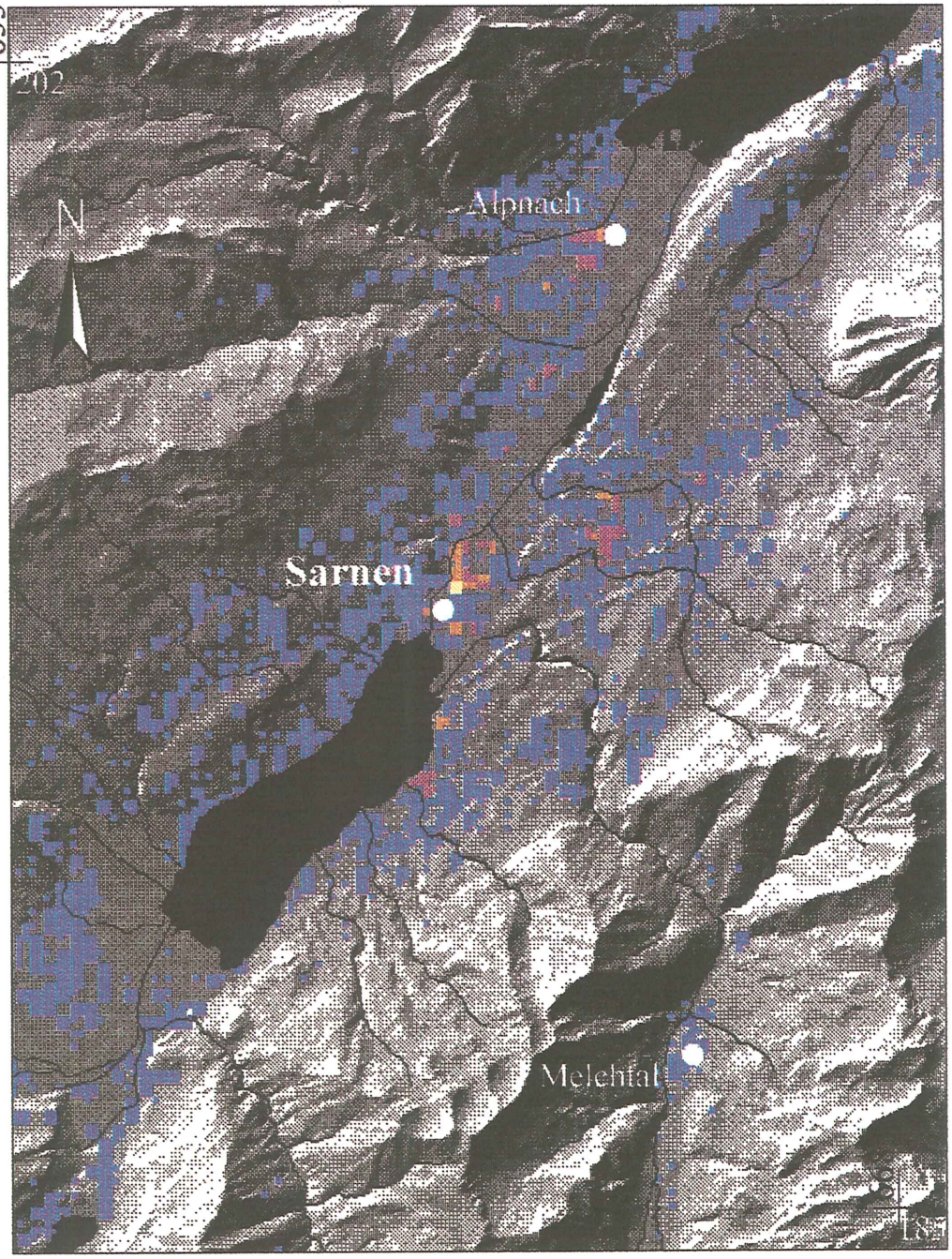
Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 28.6.1995

LEGENDE :

- routes principales
  Hauptstrasse
- routes secondaires
  Nebenstrasse
- ponts
  Brücke
- téléphériques
  Seilbahn
- gares
  Bahnhof
- chemins de fer
  Eisenbahn
- tunnels
  Tunnel
- autoroute
  Autobahn

0 5km

A16



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

DENSITE DE POPULATION
Bevölkerungsdichte
1980

Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 28.6.1995

Source : Office fédéral de la statistique, GEOSTAT

LEGENDE :

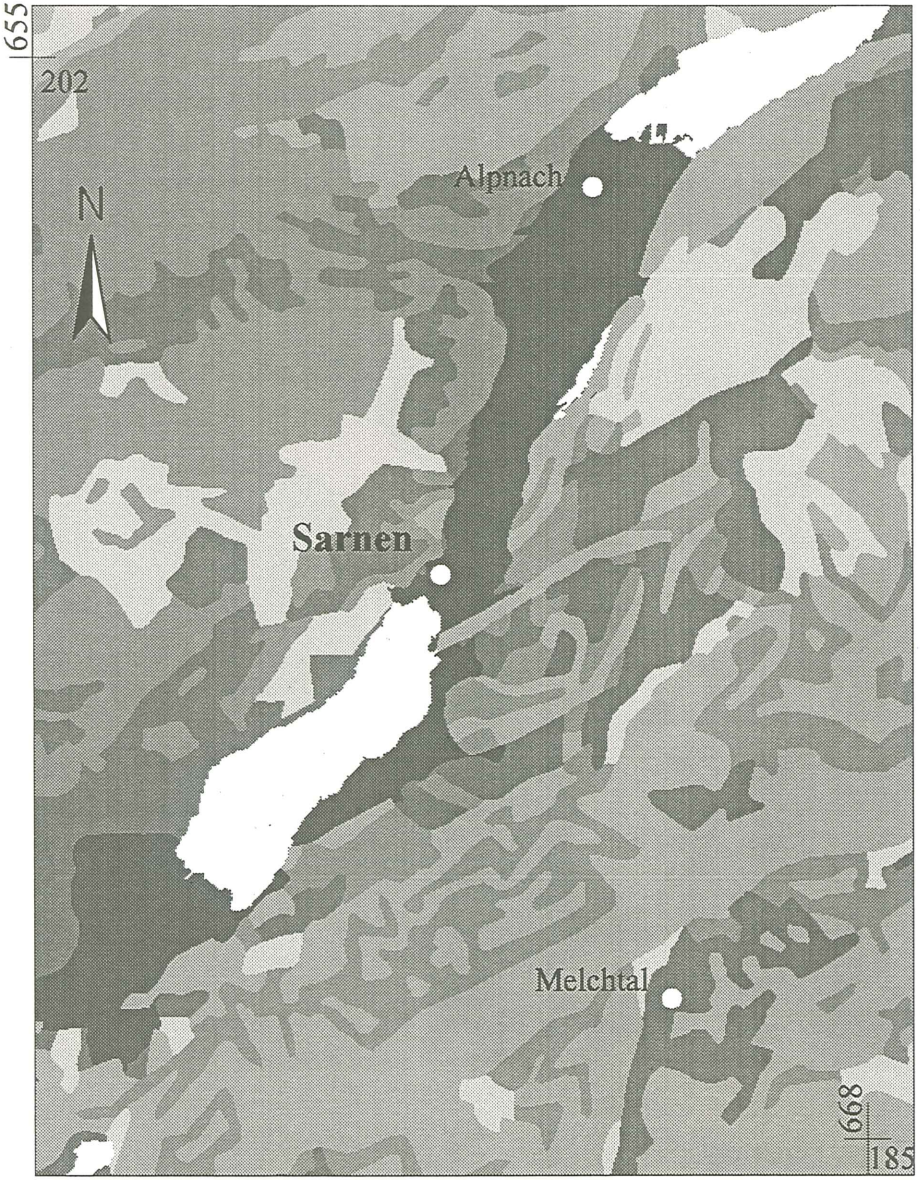
Habitants par hectare

Wohnbevölkerung pro Hektar

- 1- 30
- 30- 50
- 50-105
- 105-135

0 5km

A17



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

CORRECTION DE L'INTENSITE SISMIQUE

Korrekturwerte der seismischen Intensität

version 1

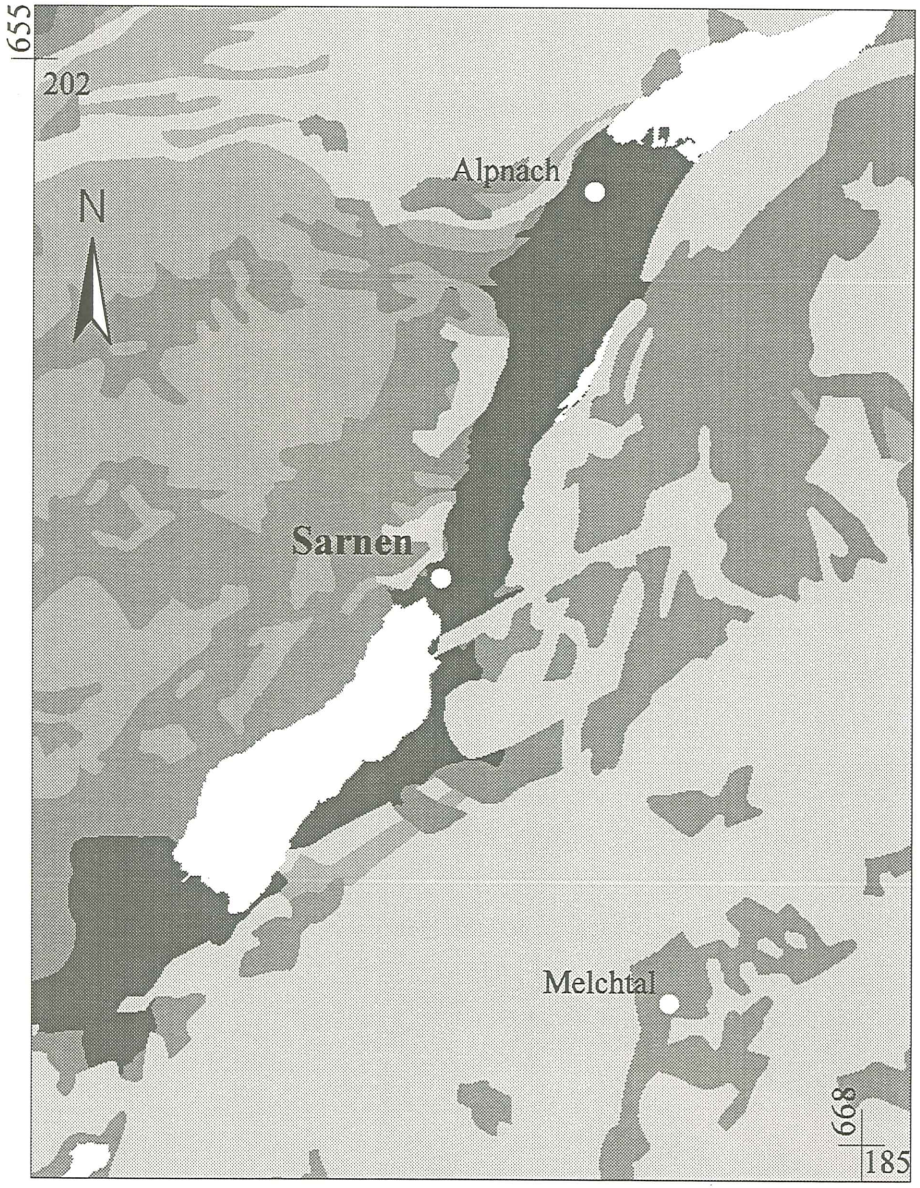
Version 1 : basierend auf den Arbeiten der Projektgruppe

LEGENDE :

Geotechnische Einheiten (Schweiz 1:200'000)	Zugeordnete Korrekturwerte in Intensitäten
Lockergesteine (Grundwasserspiegel 0-9m)	+ 1.5
Lockergesteine (Grundwasserspiegels 9-30m) Sande bis Silte (ohne Angaben über Lage des Grundwasserspiegels) Kiese und Sande (ohne Angaben über Lage des Grundwasserspiegels)	+ 0.5
Mergelige Kalke und Schiefer	+ 0.4
Massive Kalke Konglomerate	+ 0.2
Dolomite und Gips Lockergesteine (Grundwasserspiegel > 30m) Vorwiegend eckiger Schutt (ohne Angaben über Lage des Grundwasserspiegels)	0.0

0 5km

A18



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

CORRECTION DE L'INTENSITE SISMIQUE

Korrekturwerte der seismischen Intensität

version 2

Version 2 : basée sur les travaux du Service géologique américain (U.S.G.S.)

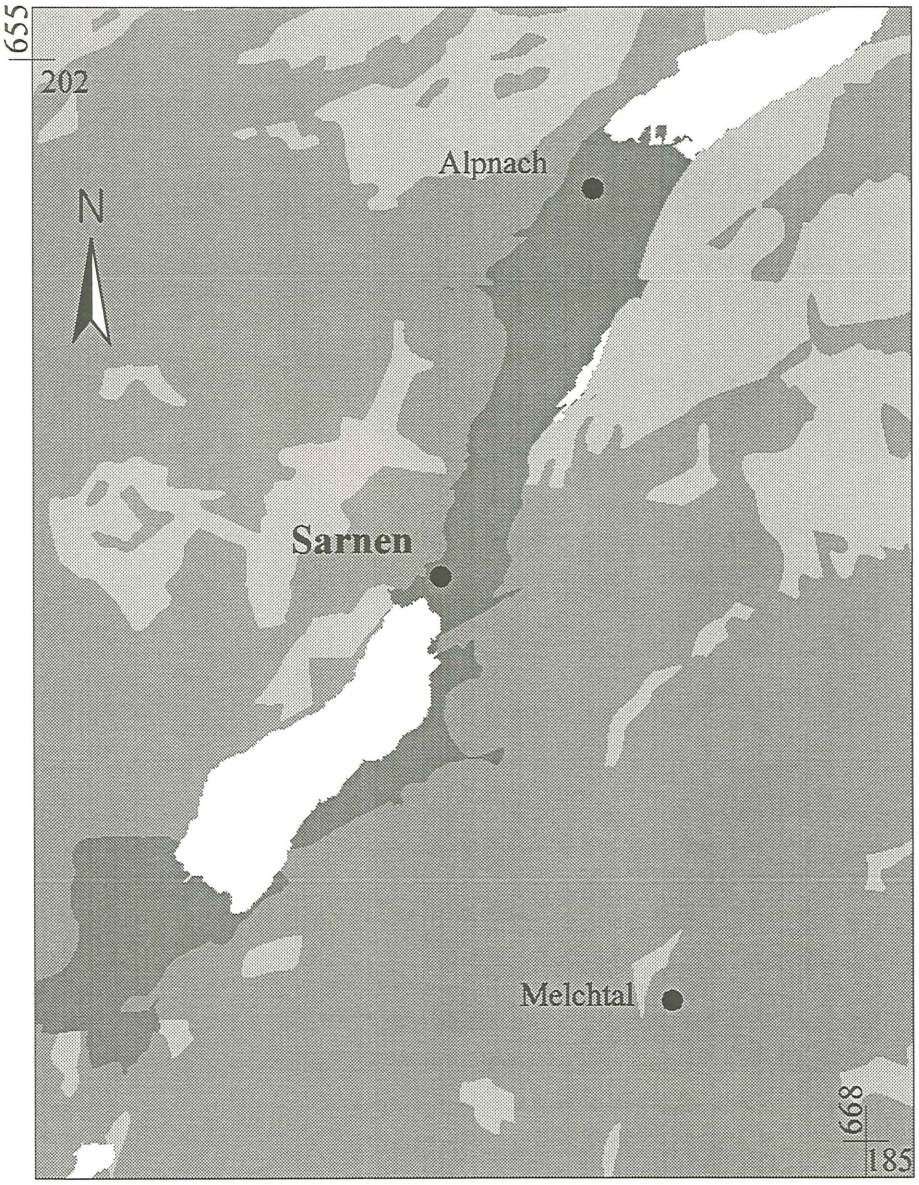
Version 2 : basierend auf den Arbeiten des U.S. Geological Survey (U.S.G.S.)

LEGENDE :

	Aequivalente Einheiten der geologischen Karte Kalifornien 1:250'000	**Zugeordnete Korrekturwerte in Intensitäten**
	Quartäre Sedimentgesteine (Grundwasserspiegel 0-9m)	+ 1.7
	Quartäre Sedimentgesteine (Grundwasserspiegel 9-30m)	+ 0.7
	Plio-Pleistozäne Sedimentgesteine	
	Quartäre Sedimentgesteine (Grundwasserspiegel >30m)	+ 0.2
	Tertiäre Sedimentgesteine	0.0
	Mesozoische Sedimentgesteine	- 0.5

0 5km

A19



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ALEA SISMIQUE CORRIGE

Korrigierte seismische Gefährdung

version 1

Intensités (MSK) ayant une probabilité de 90 % de ne pas être dépassées pour une période de 50 ans

Intensitäten (MSK), die mit 90 % Wahrscheinlichkeit innerhalb von 50 Jahren nicht überschritten werden

LEGENDE :

Intensités (valeurs moyennes) selon l'échelle MSK

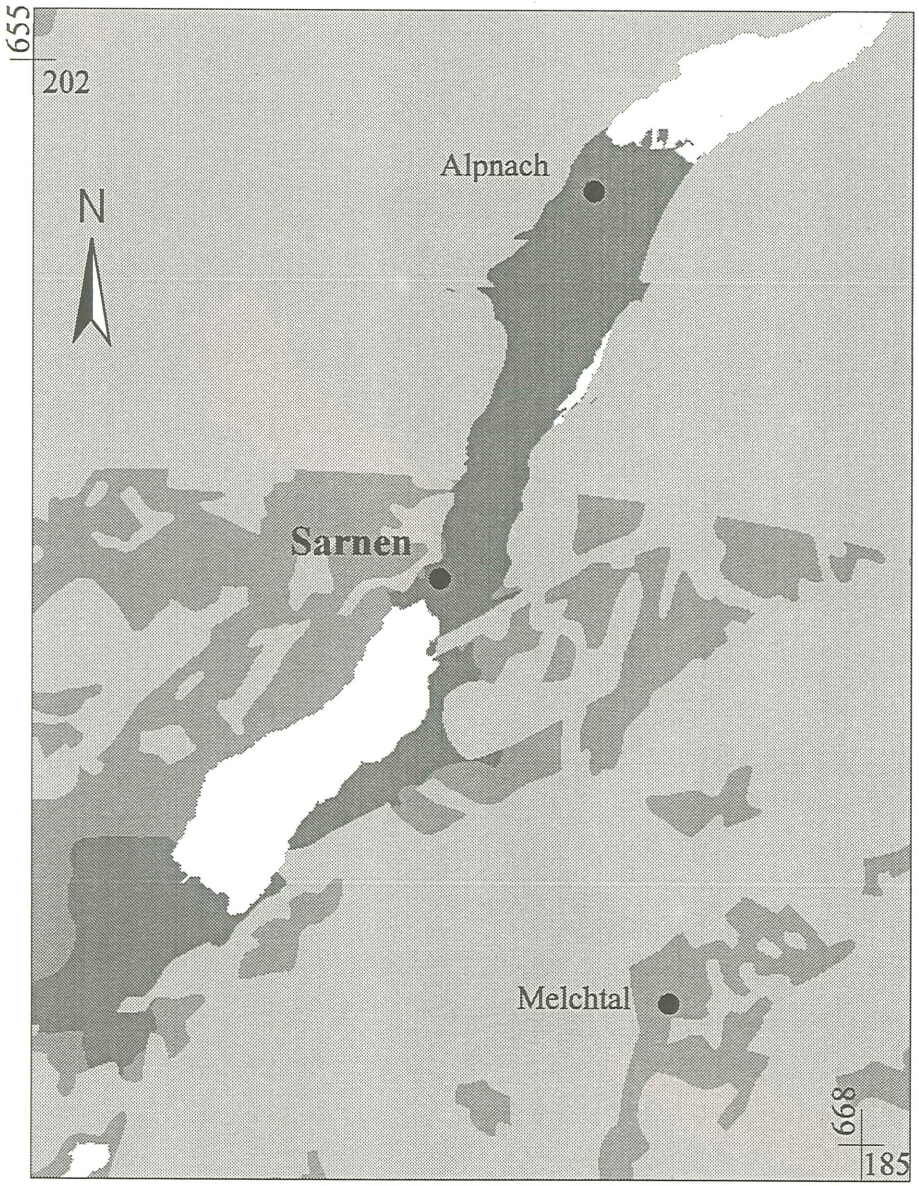
7

8

9

0 5km

A20



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ALEA SISMIQUE CORRIGE

Korrigierte seismische Gefährdung

version 2

Intensités (MSK) ayant une probabilité de 90 % de ne pas être dépassées pour une période de 50 ans

Intensitäten (MSK), die mit 90 % Wahrscheinlichkeit innerhalb von 50 Jahren nicht überschritten werden

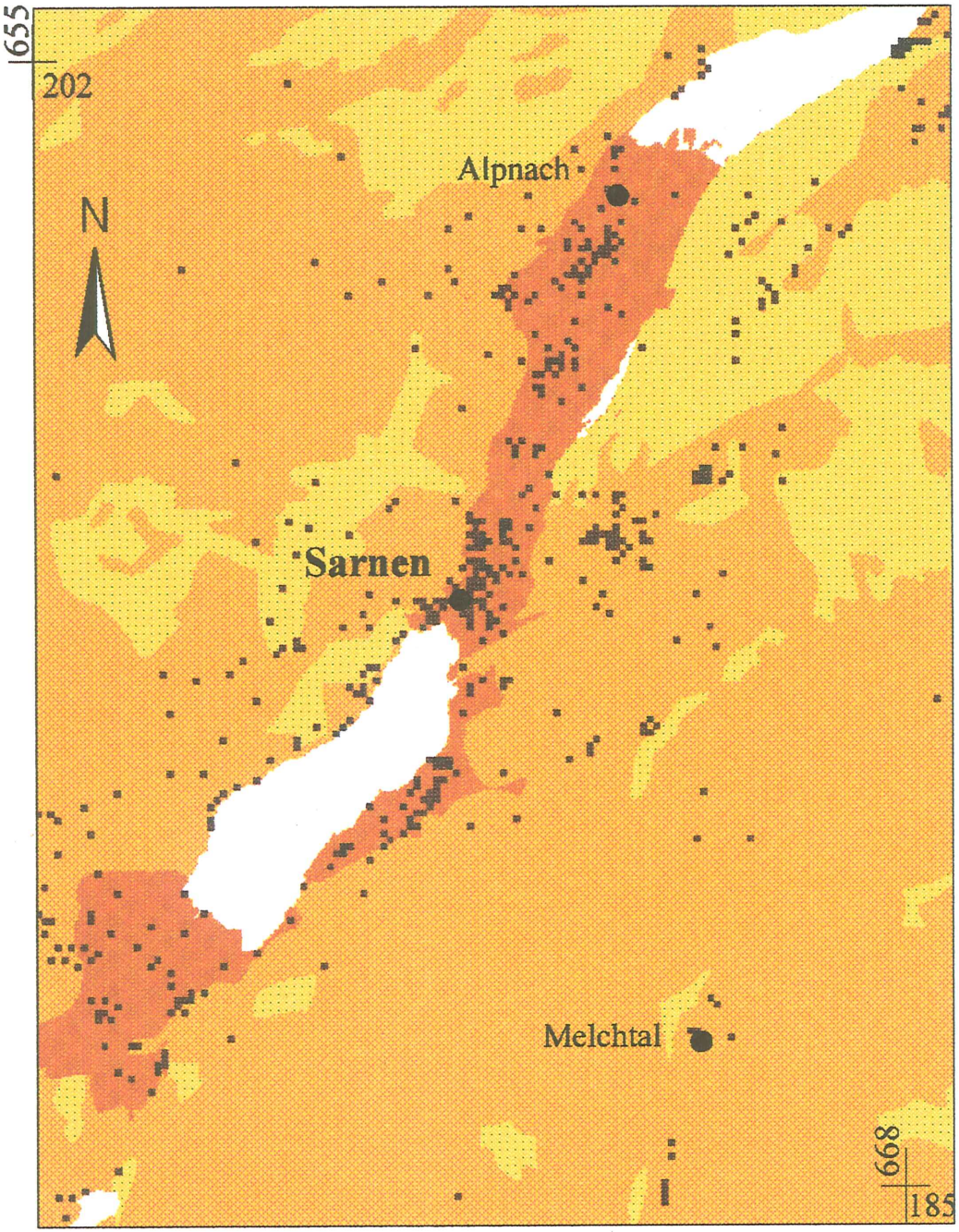
LEGENDE :

Intensités (valeurs moyennes) selon l'échelle MSK

- **7**
- **8**
- **9**

0 5km

A21



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

ZONES HABITEES ET INDUSTRIELLES (1979-85) AVEC L'ALEA SISMIQUE CORRIGE (version 1)

Korrigierte seismische Gefährdung (Version 1) mit Überlagerung der Wohn- und Industriezonen (1979-85)

LEGENDE :

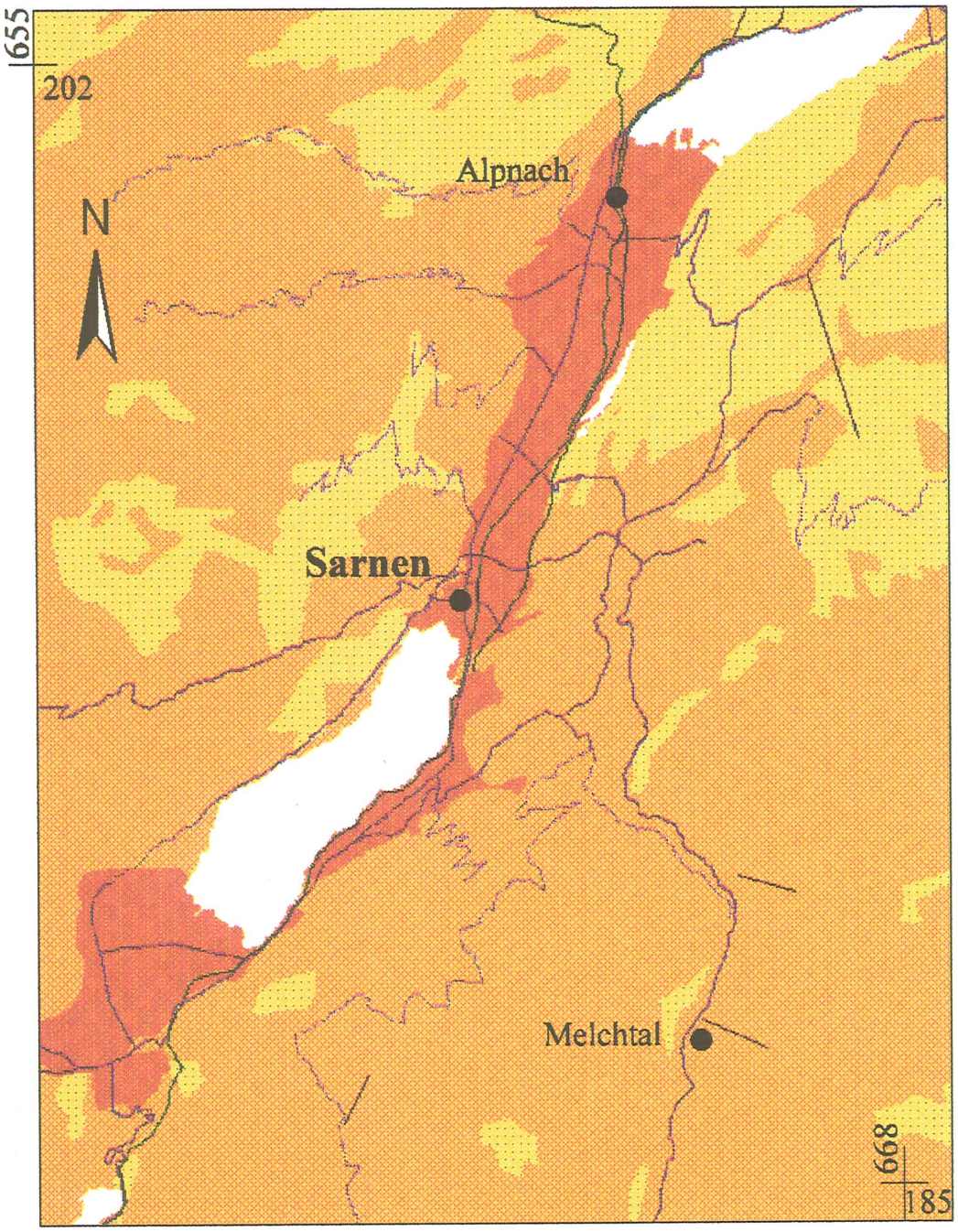
- zones habitées
  Wohnzonen
- zones industrielles
  Industriezonen

Intensités (valeurs moyennes) selon l'échelle MSK

- 7
- 8
- 9

0 5km

A22



CANTON D'OBWALD - KANTON OBWALDEN

VOIES DE COMMUNICATION (1989) ET ALEA SISMIQUE CORRIGE (version 1)

Korrigierte seismische Gefährdung (Version 1) mit Überlagerung der Verkehrswege (1989)

LEGENDE :

- routes principales — Hauptstrasse
- routes secondaires — Nebenstrasse
- téléphériques — Seilbahn
- gares — Bahnhof
- chemins de fer — Eisenbahn
- tunnels — Tunnel
- autoroute — Autobahn

Intensités (valeurs moyennes) selon l'échelle MSK

- 7
- 8
- 9

0 5km

A23

Ebene	Kriterium	Klassierung						
	Index	1	2	3	4	5	6	7
A	**Gesteinsart**	Festgestein	Lockergestein					
B	**Gesamtmächtigkeit des Komplexes**	sehr gross (>100m)	gross (10-100m)	mittel (5-10m)	klein (2-5m)	sehr klein (<2m)		
C	**Neigung der Oberfläche**	flach	schwach geneigt	steil (>45°)				
D	**Lagerung**	massiv (kompakt)	dickbankig (>10m)	mittelbankig (5-10m)	dünnbankig (<5m)	intrusiv	Rutschung (stabil)	Rutschung (labil/aktiv)
E	**Kontaktverhältnisse zu:**	Kristallingestein	Sedimentgestein (diagenetisch verfestigt)	Lockergestein				
F	**Tektonik**	ungestört	sanft geneigt	stark gekippt	flache Falten (nicht frakturiert)	Bruchzone (frakturiert)		
G	**Struktur**	massig (isotrop) homogen	geschiefert	gebändert	alternierend gebankt / geschichtet	scharfe Faziesgrenzen	porös	kavernös
H	**Materialbeschaffenheit**	mineralisch	karbonatisch	mineralisch + karbonatisch	evaporitisch	organisch	antropogen	
I	**Kompaktion**	stark	schwach	locker, unkonsolidiert				
J	**Korngrösse**	Ton	Lehm	Silt	Sand	Kies	Geröll	
K	**Sortierung**	gut	schlecht					
L	**Verwitterungsgrad**	unverwittert	verwittert					
M	**Wassersättigung**	trocken	wassergesättigt ab Tiefen >5m	wassergesättigt ab Tiefen <5m-1m	vollständig wassergesättigt			
N	**Besondere Eigenschaften**							

A 24: Klassifikationsmatrix der seismisch relevanten Parameter

Sondierungen nach Koordinaten geordnet

E-Koord.	N-Koord.	Höhe	Teufe	Fels	F-Kote	Q-Mächt.	GW-Niv	GW-Dat
654550	181850		20	Nein		>20	See	
654650	181225		15	Ja	-10	10	-2	1.84
654651	188318	582.5	71	Nein		>71	518.4	2.7.84
654750	181300		12	Ja	-6	6	-2	
654750	181650		20	Nein		>20	-1	
654822	180979	725.3	6	Ja	724.1	1.2		
654948	180991	765.2	12	Ja	760.8	3.6		
655069	184309	703.2	20	Ja	689.9	13.3	698.7	
655174	184511	722.2	6.8	Ja	720.3	1.9		
655183	181881	727.6	20	Nein		>20	710	5.12.88
655214	181186	755.2	22	Ja	736.2	19	740.6	5.12.88
655264	182207	727.9	20	Nein		>20		
655293	187295	516.1	16	Nein		>16	509.1	29.1.85
655303	181382	749.9	6	Ja	749.2	0.7		
655352	182430	713.8	30	Nein		>30	688.8	9.7.90
655363	182638	683.2	30	Nein		>30		
655399	183043	711.4	31.8	Ja	687.4	24		
655405	182607	701.6	40	Nein		>40		
655408	182807	703.4	40	Nein		>40		
655465	187463	513.5	30	Nein		>30	501.4	28.3.85
655625	186855	499.2	20.5	Nein		>20.5	496.5	10.10.72
655650	192600							
655700	186461	577.4	24	Ja	558.5	18.9		
655768	186177	574.5	30.2	Nein		>30.2		
655829	185348	646.5	7.9	Ja	645.2	1.3		
655966	181879	868.3	69.6	Ja	822	46.3		
656023	185513	626.5	9	Ja	625.5	1		
656138	183275	882.3	53.7	Ja	856.9	35.4	863.8	6.8.80
656167	186018	486.9	25.6	Ja	464.1	22.8	485.7	12.3.90
656170	187730		10	Nein		>10		
656178	185077	696.9	27.5	Ja	674.7	22.2		
656202	184547	698.3	20	Nein		>20	688.3	9.7.90
656234	182797	1004	266.5	Ja	801.2	203.8		
656249	185109	696.5	14.4	Ja	687.9	8.6	692.1	24.8.67
656270	184934	701.7	30	Nein		>30	689.7	9.7.90
656282	185007	704.2	22	Ja	686.7	17.5	693.2	28.3.88
656295	186078	486.1	30	Ja	461.6	24.5	485.5	5.4.91
656308	186088	486.1	20.9	Nein		>20.9	485	7.3.90
656317	186092	486.1	34	Ja	453.8	32.3	485.5	9.4.91
656325	185648	597.7	11.2	Ja	594.3	3.4		
656326	185105	699	24	Ja	677.7	21.3	692.8	13.6.90
656370	187070		10	Nein		>10	-1	
656442	184938	741.8	94	Ja	656.3	85.5	690.8	30.8.88
656446	185261	709.4	16	Nein		>16		
656448	185250	710.7	29.3	Ja	690.5	20.2	700.7	18.11.87
656458	185509	688.3	15.3	Ja	685.2	3.1		
656460	185066	737.1	60	Ja	689.6	47.5	686	14.11.88
656460	187120		10	Nein		>10	-1	
656468	188500	483.5	20	Nein		>20		
656477	185404	706.1	16	Ja	697.3	8.8		

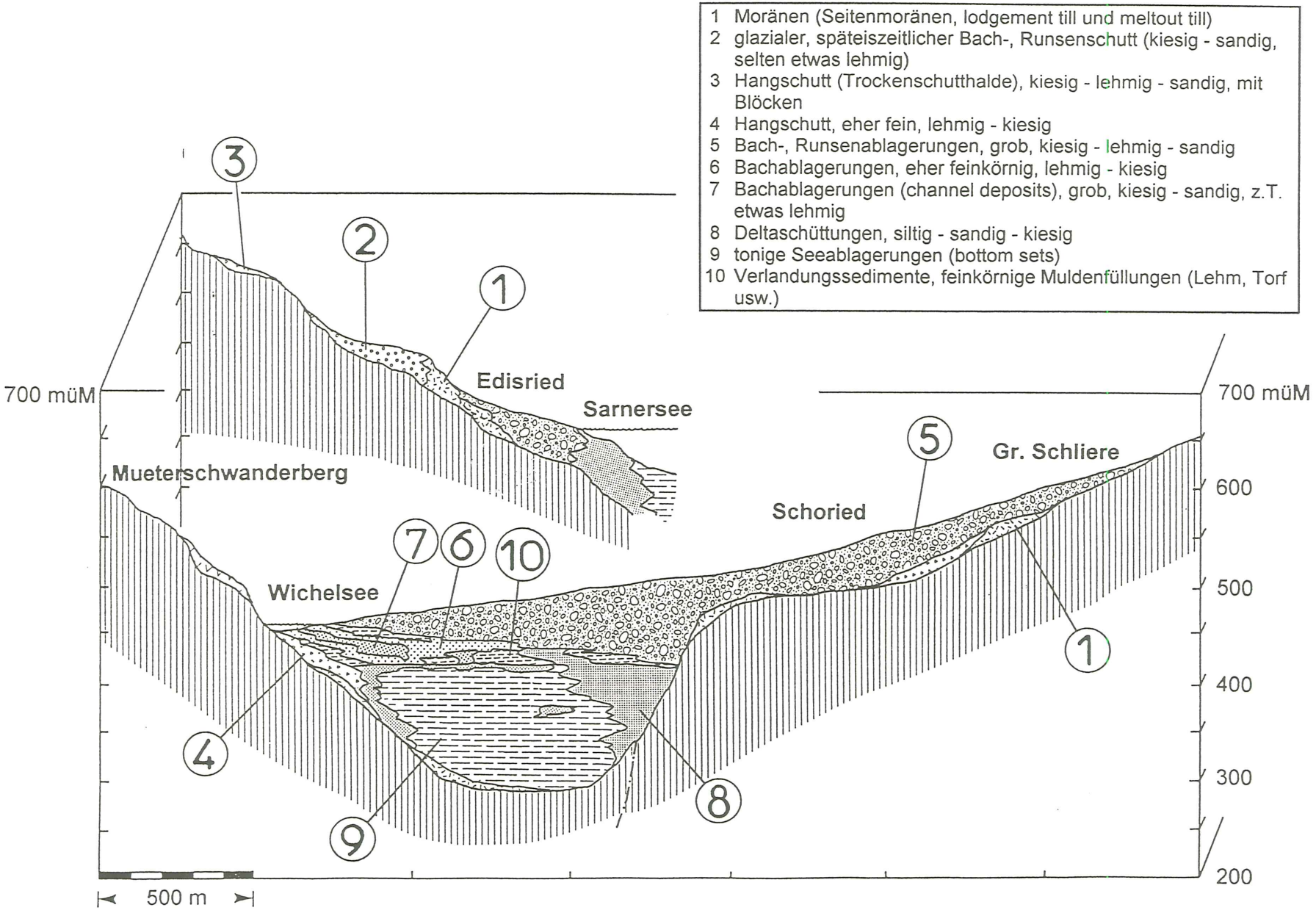
656500	188550		4	Nein		>4	-1	12.83
656542	185269	729.5	40	Ja	698.3	31.2		
656560	187100		19	Ja	-16	16	-1	8.82
656600	188000		24	Nein		>24	-1	
656638	185699	674.5	16	Ja	670.5	4		
656660	187230		10	Nein		>10	-1	
656689	186103	542.6	20	Nein		>20		
656707	187590	483.5	10	Nein		>10	482.4	29.4.74
656733	187367	484.5	28	Nein		>28		
656743	186204	537.9	15.9	Ja	528	9.9		
656752	187330	485	30	Nein		>30	483.7	29.4.74
656759	186337	509.9	16	Ja	507	2.9		
656793	186325	536.6	20.4	Ja	520.2	16.4		
656813	185845	676	32	Ja	656.6	19.4		
656825	186354	525.8	14.6	Ja	517	8.8	519.8	27.11.87
656828	186422	510.6	14.4	Ja	501.8	8.8	503.1	1.10.87
656840	188120	479.1	10	Nein		>10	475	13.5.74
656841	186036	606.1	41	Ja	669.1	37		
656846	186341	535.5	16.7	Ja	520.3	15.2	527.5	20.2.90
656857	186378	535.5	27	Ja	519.5	16		
656861	186132	593.6	45.2	Ja	553.6	40		
656873	186381	531.8	18	Ja	523	8.8		
656875	186975		16					
656880	187500		10	Nein		>10	-1	
656883	188115	479.4	17	Nein		>17	474.2	13.6.74
656971	185943	711.2	29.5	Ja	688.9	22.3		
656995	186113	653.5	26	Ja	634.9	18.6		
657042	186004	720.1	40.1	Ja	692.7	26.4		
657050	186515	583.8	30.3	Ja	564.3	19.5		
657069	186584	574.8	46	Ja	541	33.8		
657121	186551	587.2	31	Ja	564.8	22.4		
657125	186766	548.1	19.2	Ja	534.5	13.6	537.5	7.10.74
657142	187203	641.5	25.5	Ja	640.5	1		
657146	186650	572.3	36.5	Ja	542	30.3	542.5	1.2.88
657165	186817	556.3	13	Ja	550.3	6	551.1	10.10.74
657167	187309	627.9	9.7	Ja	625.5	2.4		
657204	187065	611.3	8	Ja	608	3.3		
657250	187740	488	26.6	Nein		>26.6	473	
657285	188014	485	12	Nein		>12	473.4	20.5.74
657403	188444	475.2	16	Nein		>16	471.5	5.9.72
657410	186916	618.3	16	Ja	607.7	10.6	612.8	20.5.67
657429	186794	637	34	Ja	609.2	27.8		
657535	187549	613.5	15	Ja	611.1	2.4		
657791	187810	597.1	12.4	Ja	590.3	6.8		
657865	187868	602.4	16.3	Ja	591.7	10.7	593.7	9.11.66
658116	188036	572.8	29.4	Ja	548.8	24		
658184	188481	470.9	23.1	Nein		>23.1		
658243	188518	471.3	20	Nein		>20	470.8	11.3.76
658255	188142	574.4	24.7	Ja	555.1	19.3	564.5	30.11.66
658515	188423	537.4	33	Nein		>33	522.3	16.12.66
658517	188638	501.8	27	Nein		>27	569.4	23.10.72
658540	188458	531.9	30	Nein		>30.0	517.9	10.4.67
658626	188584	537.6	30	Nein		>30.0	533.3	20.5.67

658640	188551	559.4	30	Nein		>30.0	541.6	10.4.67
658662	188650	534.6	30.2	Nein		>30.2	529.5	16.12.66
658701	188624	549.3	30	Nein		>30.0	531.9	20.5.67
658717	188701	525.3	30.2	Nein		>30.2	521.5	16.12.66
658786	188794	527.6	31	Nein		>31	515.5	18.12.64
658792	189014	478.6	14	Ja	472.6	6		
658800	193200		4	Ja	-3	3		
658815	188763	544.8	18.8	Nein		>18.8	540.1	10.4.67
658832	189129	479.8	12	Ja	467.8	12	474.8	7.9.88
658940	186022	857.8	26.3	Ja	844.8	13	851.6	19.8.83
658945	189201	496.3	16	Ja	485.7	10.6		
658955	186017	858.6	42.7	Ja	828.1	30.5	838.6	21.9.83
658961	189263	494.8	24	Ja	476.5	18.3		
658969	186014	859.9	45.1	Ja	822.4	37.5	838.5	21.9.83
658974	189056	512.6	15.8	Ja	504	8.6	512	30.3.67
659013	189137	518.9	11.4	Ja	512.1	6.8	518.1	21.3.67
659160	189256	533.7	123	Ja	525.7	8		
659160	189335	510.8	13	Ja	503.4	7.4	507.5	22.3.67
659209	189430	487.1	15.2	Ja	478.2	8.9	485.8	5.5.70
659270	189453	505.5	23.7	Ja	489.4	16.1	495.5	8.3.67
659318	189537	493.9	16	Nein		>16	490.2	7.5.84
659375	191750		10	Nein		>10	470.5	
659393	189558	500.3	15.6	Ja	482.1	18.2		
659448	189590	510.5	24	Ja	490.5	20		
659497	189632	506.1	16	Ja	494	12.1		
659610	190080	482.3	42	Nein		>42	470.9	5.3.82
659610	190080	482.4	42	Nein		>42	480.8	5.3.82
659721	189369	586.8	38	Ja	580.8	6		
659893	189478	613.4	28.1	Ja	594.7	18.7		
660052	189616	604.8	28.2	Ja	584	20.8		
660204	189968	535.3	24	Ja	516	19.3	520	17.10.88
660220	190120		10	Nein		>10		
660300	197750		41.3	Ja	-32	32		
660307	189884	549.1	19.7	Ja	539	10.1	544.6	16.8.88
660316	189838	554	20	Ja	543.8	10.2	548	15.12.87
660352	190085	527.5	17.2	Ja	510.3	17.2		
660436	190128	533.5	15.4	Ja	522.5	11		
660513	190170	529.7	14	Ja	521.4	8.3		
660536	190243	514.3	13	Ja	509.3	5		
660650	190288	541.2	8	Ja	536.8	4.4		
660650	190304	537.6	12	Ja	531.3	6.3		
660771	191235	471.2	15.4	Nein		>15.4	469.1	3.3.76
660875	193490	472.2	15	Nein		>15	469.4	17.7.78
660946	190528	522.8	12	Ja	511.4	11.4	517.3	27.4.84
660965	191377	471.2	15.5	Nein		>15.5	469.5	27.3.76
660968	193517	471	24	Nein		>24	463	18.11.88
660993	190578	528.8	18	Ja	513.2	15.6		
661014	193519	471	24	Nein		>24	463	3.11.88
661026	193536	471	24	Nein		>24	463	18.11.88
661034	191434	470.7	15.4	Nein		>15.4	469.6	27.2.76
661130	193630		15	Nein		>15		
661148	190849	521.6	21.2	Ja	502.1	19.5	505	20.6.84
661176	191591	470.3	20.3	Ja	452.1	18.2	469.7	23.2.76

661178	190789	532.4	15	Ja	524.8	7.6		
661185	193625	470.6	15	Nein		>15	464.8	13.7.78
661199	190756	548.7	14	Ja	536.3	12.4	538.8	22.4.70
661210	191594	470.6	10.2	Nein		>10.2	470	17.2.76
661240	190855	529.4	15.2	Ja	518.1	11.3		
661256	190848	535	14	Ja	526.2	8.8		
661297	190912	526.8	14.2	Ja	519.1	7.7		
661300	192740		7.5	Nein		>7.5	-1.5	16.12.78
661315	194125	469.8	16.3	Nein		>16.3	467.7	11.7.78
661320	193300		10	Nein		>10	-9	
661330	193630		10	Nein		>10	-9	
661360	190964	528.4	17.8	Ja	514.2	14.2		
661371	190736	574.5	24	Ja	556.7	17.8		
661419	191011	531.8	12.8	Ja	519	12.8		
661464	194488	469.3	15.2	Nein		>15.2		
661470	194150		12	Nein		>12		
661505	193351	472.1	73	Nein		>73		
661525	193375	472.1	73	Nein		>73		
661544	191189	535.4	24	Ja	521.8	13.6	532	21.10.69
661546	191140	533.5	20	Ja	518.6	14.9		
661550	193465	473.7	24.3	Nein		>24.3	466.1	5.5.86
661560	194060	472.4	20.5	Nein		>20.5	462.2	2.4.86
661595	191060	548	24	Ja	530.5	17.5	543.8	29.2.88
661601	192342	514.9	12	Ja	513.2	1.7		
661614	191368	526.5	21.5	Ja	511.3	15.2	524.1	18.12.69
661621	192026	532.3	15.6	Ja	531.5	0.8	528.3	30.3.84
661646	191558	535.6	12	Ja	535.2	0.4		
661648	191659	536	14	Ja	533.8	2.2		
661651	197769	532.8	12	Ja	532.1	0.7	531	6.4.84
661670	194310	472.1	32	Nein		>32	464.6	19.11.79
661700	194100		12	Nein		>12		
661720	194100	473.5	24	Nein		>24	462.6	19.10.88
661721	192975	476.1	24	Nein		>24	464.1	24.10.88
661730	193230	477.6	25.8	Nein		>25.8	462.7	10.88
661760	193395	478.4	25.5	Nein		>25.5	462.9	10.88
661780	194530		10	Nein		>10	-5	
661800	194000	472.7	28	Nein		>28	462.9	11.6.80
661800	194060	473.7	17	Nein		>17	462.6	27.10.88
661800	194300		20	Nein		>20	-9	
661805	193207	479.6	35	Ja	449.8	29.8	463.2	23.10.89
661805	193207	479.8	35	Ja	450	29.8	463.3	23.10.89
661850	194300	463.2	20	Nein		>20	454	5.2.75
661894	193122	480.2	35	Nein		>35	463.2	19.10.89
661894	193122	480.3	35	Nein		>35	463.3	19.10.89
661900	194885	485.6	16	Nein		>16	480.4	1.3.74
661929	195060	465.8	20	Nein		>20	464.1	23.3.73
661949	195057	485.9	20	Nein		>20	482.7	27.3.73
661950	195550		20	Nein		>20	-1	11.78
661975	194825	466.4	40.4	Nein		>40.4	462	17.12.80
661992	193313	482.9	42	Ja	443.9	39	463.4	18.10.89
661992	193313	483.1	42	Ja	444.1	39	463.7	18.10.89
662030	194880	466	45	Nein		>45	462	
662120	196180		20	Nein		>20	-1	

662120	196180		20	Nein		>20	-1	
662140	194850		26	Nein		>26		
662200	193420	483	15	Ja	473.2	9.8		
662200	193420	483	15	Ja	473.2	9.8		
662327	193411	484.3	32	Ja	454.5	29.8	466.5	26.10.89
662327	193411	484.3	32	Ja	454.8	29.5	467	26.10.89
662400	196250		24	Nein		>24	-1.5	11.78
662500	196050		28	Nein		>28	2	23.3.73
663120	199140	470.2	49.5	Nein		>49.5	456	12.2.81
663120	199140	470.2	49.5	Nein		>49.5	461.7	9.1.81
663143	196598	460.7	16	Nein		>16		
663325	195662		5	Ja	-3	3		
663390	199210	463	56.1	Nein		>56.1	455.2	24.7.85
663400	199070	459.3	50.5	Nein		>50.5	452.9	27.8.85
663445	197025	462.8	15.7	Nein		>15.7	459.2	11.2.76
663450	194750		12	Ja	-8	8	-2	
663524	197578	465.3	12	Nein		>12	460.3	17.7.75
663580	197241	462.9	15.2	Nein		>15.2	458.2	6.2.76
663590	194780		12	Ja	-6	6		
663625	200525		24	Nein		>24	438.9	6.6.83
663650	199363	450.5	46	Nein		>46	445.4	16.10.80
663680	199370	455.5	46	Nein		>46	450.4	16.10.80
663684	197187	460.7	15.2	Nein		>15.2	458.5	3.2.76
663700	197250	459.6	11	Nein		>11	458.7	
663703	197450	463.7	15.2	Nein		>15.2	458.5	28.1.76
663723	200100	442.9	16.3	Nein		>16.3		
663750	199100	448.4	26	Nein		>26	449.2	26.3.84
663770	200580	437	17.9	Nein		>17.9	436.5	19.3.81
663781	197647	464.2	15.3	Nein		>15.3	457.8	21.1.76
663790	200270	439.4	14	Nein		>14	439.1	
663800	200800		10	Ja	-7	7	-1.5	
663850	200750	435.1	32	Ja	406.9	28.2	434.2	6.3.81
663864	198596	444.2	25.5	Nein		>25.5	444.2	3.7.64
663890	200805	435.3	22.6	Ja	418.3	17		
663950	200790	434.2	48	Nein		>48	433.6	8.6.76
663960	197795	456.8	30.3	Nein		>30.3		
664015	200958	427.4	24	Ja	409	18.4	See	
664028	197770	453.2	27.9	Ja	427.2	26		
664079	201053	429	14	Ja	421.5	7.5	See	
664179	201211	435.6	36	Ja	424.1	11.5	431.1	2.77
664200	199000		15	Nein		>15	-1	5.81
664202	201175	426.6	22	Ja	407.6	19	See	
664216	201207	434.9	21.4	Nein		>21.4	433.9	8.83
664226	201194	434.7	27.1	Nein		>27.1	433.9	8.83
664259	201271	436.1	66.7	Ja	390.8	45.3	433.9	12.76
664279	201286	435.9	62.6	Ja	382.4	53.5	433.9	2.77
664287	198715	443.3	25	Nein		>25	442.3	3.83
664305	198670	443.3	20	Nein		>20	442.3	3.83
664310	201276	434.9	20.6	Nein		>20.6	433.7	8.83
664325	201261	425.1	31	Nein		>31	See	
664345	201338	435.9	46.6	Ja	399.9	36	433.7	11.76
664400	201425	461.8	62	Ja	414.3	47.5	451	2.77
664407	201352	435.7	29	Ja	413.7	22		

664408	201346	435.3	23.5	Nein		>23.5	433.7	8.83
664471	201367	425.5	24	Ja	406.5	19	See	
664474	201429	436	59	Ja	398.5	37.5	433.7	1.77
664597	201487	442	26	Nein		>26	See	
664610	199130	440.2	30	Nein		>30	438.5	14.3.73
664615	199200	440	30	Ja	412.7	27.3	437.5	14.3.73
664640	200120	436.6	25	Nein		>25	434.9	3.83
664655	200090	436.9	20	Nein		>20	435.2	3.83
664675	199520	438.7	30.4	Nein		>30.4	435.8	5.83
664700	199300	438.4	12	Nein		>12	436.8	
664810	199740	438	25	Nein		>25	435.1	3.83
664830	199850	437.2	10	Nein		>10	433.3	
664900	199712	437.7	21	Ja	422.7	15	435.2	5.83
664962	199887	436.5	22.3	Nein		>22.3	434.8	5.83
664965	201815	445.7	31	Nein		>31	See	
665100	201940	429.3	20	Nein		>20	See	
665141	202003	423.2	20	Ja	405.2	18	See	
665165	202193	476.6	19.7	Ja	465	11.6		
665226	202202	472.4	17.5	Ja	460.1	12.3	463.4	6.71
665232	202300	510.1	28.4	Ja	488.4	21.7		
665390	202153	427.8	16	Ja	415.8	12	See	
665582	202206	420.1	20	Ja	404.1	16	See	
665639	202291	446.9	26	Ja	427.5	19.4	443	3.72
665685	202261	433.6	21.3	Ja	417.4	16.2		
665728	202260	433.5	15.2	Ja	412.4	21.1		
665797	202270	429.3	32	Nein		>32	See	
665950	195100		15	Nein		>15		
666018	202370	430.1	32	Nein		>32	See	
666025	198500		5	Nein		>5	-1	3.84
666147	202414	431.1	30	Ja	404.1	27	See	
666314	202390	419.6	12	Ja	414.6	5	See	
668110	201300	504	10	Nein		>10	503.4	20.5.76
668170	201160	506	10	Nein		>10	504.7	20.5.76
668300	201100		15	Nein		>15	-1	1.84



Querprofil durch die quartäre Lockergesteinsfüllung des Obwaldner Haupttales

Verzeichnis der historischen Erdbeben 1300-1942 mit I ≥ V

Datum			Zeit	Länge	Breite	(X / Y)	Mag.	I
1375	0	0	0:0:0.0	46.90N	8.40E	(673 195)		VIII
1601	9	8	1:0:0.0	46.83N	8.50E	(681 187)		IX
1616	2	29	0:0:0.0	46.83N	8.40E	(673 187)		VIII
1625	2	22	10:0:0.0	46.82N	8.40E	(673 185)		V
1765	4	7	13:0:0.0	46.87N	8.23E	(660 191)		VI
1772	10	9	20:0:0.0	46.78N	8.52E	(682 182)		V
1773	2	1	9:0:0.0	46.85N	8.17E	(655 189)		V
1774	9	10	5:30:0.0	46.88N	8.65E	(692 193)		V
1774	9	10	10: 0:0.0	46.88N	8.65E	(692 193)		V
1774	9	10	15:25:0.0	46.85N	8.67E	(694 189)		VIII
1774	9	10	17:0:0.0	46.95N	8.48E	(679 200)		V
1774	9	16	4:0:0.0	46.85N	8.55E	(685 189)		VI
1775	1	20	3:0:0.0	46.95N	8.55E	(685 200)		V
1775	1	23	3:25:0.0	46.85N	8.55E	(685 189)		VII
1777	2	7	1:0:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		VII
1777	3	25	0:0:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		VII
1777	3	27	23:45:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		VI
1777	3	28	0: 0: 0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		VII
1777	4	3	14: 0: 0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1777	4	8	16:30: 0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1777	6	8	9:45: 0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1777	8	5	18:0:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		VI
1777	9	19	19:0:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1777	12	20	0:0:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1779	5	10	6:0:0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1779	5	27	17:30:0.0	46.85N	8.68E	(695 189)		V
1781	4	21	6:0:0.0	46.85N	8.68E	(695 189)		V
1781	5	9	0:0:0.0	46.85N	8.68E	(695 189)		V
1886	11	16	1:45:0.0	46.92N	8.65E	(692 197)		V
1902	1	21	20:40:0.0	46.90N	8.27E	(663 195)		V
1902	12	6	3:10:0.0	46.92N	8.27E	(663 196)		VI
1915	2	14	12:43:15.0	46.82N	8.65E	(692 186)		V
1915	6	24	21:0:24.0	46.95N	8.62E	(690 200)		V
1915	6	26	13:40:12.0	46.95N	8.62E	(690 200)		V
1915	7	4	17:56:47.0	46.95N	8.62E	(690 200)		V
1917	2	9	7:57:32.0	46.88N	8.23E	(660 193)	3.7	VI
1917	2	10	18:55:0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1917	2	22	4:38:0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1917	5	14	21:27: 0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1917	6	13	19: 3: 0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1917	6	13	21:14: 0.0	46.88N	8.25E	(662 193)		V
1917	6	14	5:21: 0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1917	6	22	18:38: 0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1917	8	9	7:37: 0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1918	8	14	14:12: 0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1919	3	1	15:22: 0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V

Datum			Zeit	Länge	Breite	(X / Y)	Mag.	I
1919	3	14	5:30:0.0	46.88N	8.23E	(660 193)		V
1919	8	13	4:27: 0.0	46.75N	8.35E	(670 178)		V
1926	6	16	2:59: 0.0	46.87N	8.23E	(660 191)		V
1926	11	30	10:56:11.0	46.87N	8.23E	(660 191)		V

Verzeichnis der historischen Erdbeben 1942-1974 mit I ≥ IV oder M ≥ 2.5

Datum	Zeit	Länge	Breite	(X / Y)	Mag.	I
1942 8 28	11:28:58.0	46.82N	8.27E	(663 185)		V
1943 10 6	20:42:52.7	46.91N	8.56E	(685 196)	4.0	
1945 4 12	16:35:0.0	46.88N	8.65E	(692 193)		IV
1949 11 13	17:21:0.0	46.83N	8.17E	(655 187)		V
1951 6 25	21:46:0.0	46.85N	8.65E	(692 189)		IV
1952 10 2	14:51:0.0	46.85N	8.65E	(692 189)		V
1954 4 19	12:44:33.1	46.95N	8.48E	(679 200)	3.6	
1958 10 11	6:35:0.0	46.82N	8.65E	(692 186)		IV
1958 12 4	3:5:0.0	46.83N	8.50E	(681 187)	3.0	IV
1960 7 27	3:30:0.0	46.73N	8.35E	(670 176)		IV
1960 11 8	4:14:0.0	46.90N	8.25E	(662 194)		IV
1961 5 12	4:24:0.0	46.90N	8.28E	(664 195)		IV
1963 12 16	4:59:0.0	46.90N	8.25E	(662 194)		V
1964 2 17	12:19:1.0	46.90N	8.25E	(662 195)	4.8	VII
1964 2 17	15:15:46.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.0	III
1964 2 18	0:22:59.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.8	III
1964 2 18	6:8:4.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.6	IV
1964 2 18	16:29:6.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.2	IV
1964 2 18	16:58:9.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.2	IV
1964 2 18	17:45:0.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.6	III
1964 2 22	22:11:33.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.8	III
1964 2 25	18:17:20.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.0	IV
1964 2 27	7:10:30.1	46.95N	8.43E	(675 200)	3.5	
1964 3 8	14:54:57.8	46.91N	8.74E	(699 196)	3.4	
1964 3 11	19:19:7.5	46.90N	8.25E	(662 195)	4.2	VI
1964 3 1	15:42:19.2	46.93N	8.32E	(667 198)	3.4	
1964 3 14	1:6:39.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.9	III
1964 3 14	2:37:22.0	46.95N	8.28E	(664 200)	4.8	VII
1964 3 14	14:9:48.6	46.90N	8.25E	(662 195)	3.0	IV
1964 3 14	20:44:44.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.5	III
1964 3 15	2:35:53.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.9	IV
1964 3 15	5:22:59.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.7	III
1964 3 15	15:53:9.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.4	III
1964 3 16	13:30:36.0	46.90N	8.25E	(662 195)	3.8	IV
1964 3 16	13:45:35.0	46.90N	8.25E	(662 195)		IV
1964 3 17	1:19:21.9	46.90N	8.24E	(661 194)	3.5	
1964 3 18	2:38:17.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.8	IV
1964 3 19	7:18:16.5	46.81N	8.38E	(672 184)	3.6	
1964 4 3	11:8:59.0	46.80N	8.60E	(688 184)	3.1	
1964 4 17	1:21:50.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.9	III
1964 5 12	22:6:0.0	46.90N	8.65E	(692 195)		IV
1964 6 18	9:2:39.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.4	IV
1964 9 8	21:15:33.0	46.90N	8.25E	(662 195)		IV
1964 11 28	3:9:50.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.1	IV
1964 12 8	1:21:48.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.8	
1965 2 10	4:43:47.0	46.80N	8.60E	(689 184)		IV

Datum			Zeit	Länge	Breite	(X / Y)	Mag.	I
1965	8	20	8:44:0.0	46.90N	8.25E	(662 195)		IV
1965	8	27	7:26:7.0	46.80N	8.30E	(666 183)		IV
1965	12	14	13:45:16.1	46.86N	8.58E	(687 190)		IV
1965	12	17	18:49:0.0	46.90N	8.25E	(662 195)	2.1	IV
1966	3	4	18:25:54.0	46.90N	8.25E	(662 195)		IV
1966	4	22	1:39:9.8	46.84N	8.45E	(677 188)	3.1	
1969	11	5	5:25:48.8	46.80N	8.30E	(666 183)		IV
1971	8	6	5:29:27.0	46.90N	8.30E	(665 195)		IV

Instrumentell erfasste Erdbeben 1975-1992 mit M $\geq$ 2.5

Datum			Zeit	Länge	Breite	(X / Y)	Mag.	I
1976	5	27	20:52:43.3	46.72N	8.19E	(657 175)	2.8	IV
1978	7	27	4:5:3.4	46.72N	8.14E	(654 174)	2.5	
1982	7	31	19:47:28.5	46.85N	8.70E	(696 190)	2.5	
1983	4	23	0:4:38.1	46.90N	8.47E	(678 195)	2.7	
1985	9	29	23:36:3.3	46.92N	8.31E	(666 197)	2.5	
1985	12	21	17:19:22.9	46.88N	8.31E	(666 192)	2.9	

Geologische Berichte Rapports géologiques Rapporti geologici

Vertrieb durch

Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern

Nr. 1	1987	TJ. PETERS, A. MATTER, H.-R. BLÄSI, A. GAUTSCHI Sondierbohrung Böttstein – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 2	1987	A. ESCHER, H. MASSON, A. STECK Coupes géologiques des Alpes occidentales suisses	vergriffen
Nr. 3	1988	A. PUGIN Carte des isohypses de la base des sédiments du Quaternaire	Fr. 10.–
Nr. 4	1988	M. BURKHARD Horizontalschnitt des Helvetikums der Westschweiz	Fr. 10.–
Nr. 5	1988	A. MATTER, TJ. PETERS, CH. ISENSCHMID, H.-R. BLÄSI, H.-J. ZIEGLER Sondierbohrung Riniken – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 6	1988	A. MATTER, TJ. PETERS, H.-R. BLÄSI, J. MEYER, H. ISCHI, CH. MEYER Sondierbohrung Weiach – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 7	1988	A. ESCHER Structure de la nappe du Grand-Saint-Bernard entre le val de Bagnes et les Mischabel	Fr. 10.–
Nr. 8	1988	A. MATTER, TJ. PETERS, H.-R. BLÄSI, F. SCHENKER, H.-P. WEISS Sondierbohrung Schafisheim – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 9	1989	TJ. PETERS, A. MATTER, H.-R. BLÄSI, CH. ISENSCHMID, P. KLEBOTH, CH. MEYER, J. MEYER Sondierbohrung Leuggern – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 10	1989	TJ. PETERS, A. MATTER, J. MEYER, CH. ISENSCHMID, H.-J. ZIEGLER Sondierbohrung Kaisten – Geologie	Fr. 70.–
Nr. 11	1989	P. JEANBOURQUIN, M. BURRI La zone de Sion-Courmayeur dans la région du Simplon	Fr. 10.–
Nr. 12	1990	H. DRONKERT, H.-R. BLÄSI, A. MATTER Facies and Origin of Triassic Evaporites from the NAGRA Boreholes, Northern Switzerland	Fr. 60.–

Nr. 13	1990	B. KELLER, H.-R. BLÄSI, N.H. PLATT, P.S. MOZLEY, A. MATTER Sedimentäre Architektur der distalen Unteren Süsswassermolasse	vergriffen
Nr. 14	1992	P. DIEBOLD, H. NAEF, M. AMMANN Zur Tektonik der zentralen Nordschweiz (regionale Seismik, Oberflächengeologie und Tiefbohrungen)	Fr. 100.–
Nr. 15	1992	A. SPICHER (†) Verzeichnis der geologischen und tektonischen Karten und Kartenskizzen der Schweiz 1930-1950 (Neudruck)	Fr. 20.–
Nr. 16	1993	M. AMMANN, P. BIRKHÄUSER, H.R. BLÄSI, J.-M. LAVANCHY, S. LÖW, B. MEIER, W.H. MÜLLER Untere Süsswassermolasse im Erdsondenfeld Burgdorf. Charakterisierung mittels Geologie, Petrophysik und Fluid Logging	Fr. 40.–
Nr. 17	1994	Y.P. BONANOMI, E.R. MÜLLER, W.K. NABHOLZ, H. SCHEIWILLER Zur Hydrogeologie des Bergsturzgebietes im Raum Flims	Fr. 25.–
Nr. 18	1994	M. THURY, A. GAUTSCHI, M. MAZUREK, W.H. MÜLLER, H. NAEF, F.J. PEARSON S. VOMVORIS, W. WILSON Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland	Fr. 100.–

ISSN 1017-1509
ISBN 3-906723-02-X