

GIS-gestützte Gefährdungskartierung einer alpinen Region

Georisikokarte Vorarlberg - Pilotprojekt Bregenzer Wald

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
an der Fakultät für Bio- und Geowissenschaften
der
Universität Karlsruhe
genehmigte
DISSERTATION

von

Dipl.-Geol. Wolf Kassebeer

aus Kiel

2002

Tag der mündlichen Prüfung: 15.05.2002

Referent: Prof. Dr. Dr. K. A. Czurda

Korreferent: Prof. Dr. Dr. G. Schmitt

KURZFASSUNG

Im Rahmen des Projektes „Georisikokarte Vorarlberg“ wurde ein 222 km² großes Gebiet in Vorarlberg/Österreich geologisch und geotechnisch bearbeitet und teilweise neu kartiert.

Der bearbeitete Geländestreifen liegt im Bregenzerwald und zieht sich entlang der Bregenzerach und der für den regionalen Verkehr wichtigen Bundesstraße 200. Im Arbeitsgebiet treten Gesteine des Penninikums, des Helvetikums und der Molasse auf. Während im Penninikum und in der Molasse gehäuft Rutschungen auftreten, stellt im Helvetikum Steinschlag und Felssturz die größte Gefährdung dar.

Die erhobenen Daten wurden in einem Geoinformationssystem (GIS) gespeichert. Als Software-Basis diente ArcInfoTM. Durch Kombination mit amtlichen Daten wurde eine Gefährdungskartierung durchgeführt.

Als Methode zur Beurteilung der Gefährdung durch Rutschungen im Bereich des Penninikums und der Molasse wurde eine qualitative Index-Methode unter Verwendung von Rasterdaten angewendet.

Für den Bereich des Helvetikums wurde die Gefährdung durch Steinschlag und Felssturz in zwei Schritten ermittelt. Abbruch- und Ablagerungsbereich wurden im Digitalen Geländemodell (DGM) ermittelt. Zur Darstellung der möglichen Sturzbahnen erfolgte eine Analyse des DGM mit dem „D8“-Verfahren.

Schlüsselwörter: Österreich, Vorarlberg, Bregenzerwald, Hangbewegungen, Geoinformationssystem, GIS, Gefährdungsanalyse, Gefahrenkartierung

ABSTRACT

In the course of the Project „Georisikokarte Vorarlberg“ a 222 km² large area in Vorarlberg/Austria was geologically and geotechnically examined and partly remapped.

The research area is situated in the Bregenzerwald. It is located along the river Bregenzerach and the federal road 200 in the stratigraphic and tectonic setting of the Penninikum, the Helvetikum and the Molasse. While landslides often occur in the vicinity of the Penninikum and the Molasse, rockfalls of varying magnitude represent the main hazard in the Helvetikum.

The collected data was stored in a geographic information system (GIS). The software used was ArcInfo™. A hazard mitigation was performed using this data in combination with data obtained from the local authorities.

To achieve this, a qualitative index method was performed for the region of the Penninikum and the Molasse using cell-by-cell analysis.

For the area of the Helvetikum the hazard represented by rockfall was determined in two steps. The digital elevation model (DEM) was used to locate the steep regions of origin and the deposit areas. To show possible rockfall paths a flow direction analysis from the above mentioned areas of origin was performed using the the DEM.

keywords: Austria, Vorarlberg, landslides, rockfall, geo-Informationssysteme, GIS, hazard mitigation

VORWORT

Die folgende Arbeit entstand am Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe im Rahmen des Projektes „Georisikokarte Vorarlberg“. Der Vorarlberger Landesregierung und der Naturschau sowie den Verantwortlichen vor Ort möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank für die finanzielle Unterstützung aussprechen.

Beim Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und dem Hydrographischen Dienst Vorarlberg möchte ich mich für die überlassenen Daten bedanken.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. K. Czurda für die Vergabe der Arbeit, das in mich gesetzte Vertrauen und die stete Bereitschaft, mich bei der Bearbeitung des Projektes zu unterstützen.

Bei Prof. Dr. Dr. G. Schmitt bedanke ich für die Übernahme des Korreferats.

Für seine tatkräftige und geduldige Unterstützung in allen Phasen des Projektes gilt mein ganz besonderer Dank Herrn Dr. Joachim Rohn.

Meinen „Superdiplomanden“ Matthias Leibing, Michael Ruff und Oliver Gast, ohne die eine Durchführung der Arbeit nicht möglich gewesen wäre, danke ich für die hervorragende Arbeit, die sie im Rahmen des Projektes leisteten.

Christopher Neukum, Heike Werz und Nico Goldscheider danke ich für die überlassenen Kartiererergebnisse und die Kooperation bei der Geländearbeit.

Den Kollegen aus der „Risiko Gruppe“, Alexander Kienzle und Tomás Fernandez-Steeger danke ich für die fruchtbare Zusammenarbeit in den letzten Jahren. Die stete Diskussionsbereitschaft sowie die Kooperation bei der Lösung von Problemen, vor allem in Bezug auf edv-technische Details, waren mir immer eine große Hilfe.

Christina Rönnau danke ich für die mühevoll Dateneingabe in der Anfangsphase des Projektes.

Auch folgenden Mitarbeitern und ehemaligen Mitarbeitern des Lehrstuhls möchte ich an dieser Stelle meinen Dank für anregende Gespräche und moralische Unterstützung ausdrücken: Ulrike Schneider, Veronica Berceanu, Tanja Liesch, Michel Lambert und Kai Witthüser.

In ganz besonderem Maße möchte ich mich bei meiner Frau Petra bedanken. Ihre Bereitschaft, auch nach einem langen Arbeitstag bei der Fertigstellung dieser Arbeit zu helfen, war bis zum Schluss ungebrot-

chen. Vor allem die Hilfe bei der Formatierung war von unschätzbarem Wert, aber auch die moralische Unterstützung war unverzichtbar. Meinen Eltern sei an dieser Stelle nochmal für die Unterstützung des Studiums und den moralischen Beistand in allen Phasen der Ausbildung gedankt.

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	III
Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XVII
Verzeichnis Anhang	XIX
1 Einführung	1
1.1 Projektziel	1
1.2 GIS-gestützte Gefahrenkartierung	3
1.2.1 Definition: Gefahr, Gefährdung, Vulnerabilität, Risiko	3
1.2.2 Untersuchungsmethoden	5
1.2.2.1 Qualitative Methoden	6
1.2.2.2 Quantitative Methoden	7
1.2.2.3 Verwendete Methode	8
2 Grundlagen und Wahl der Software	9
2.1 Definition von GIS	9
2.2 Die Wahl der Software	9
2.3 Vektor- und Rasterdaten	11
2.4 Die Wahl des Koordinatensystems	12
2.5 Datenakquisition und Aufbereitung	13
2.5.1 Digitale Datensätze	14
2.5.2 „Hardcopy“ Datensätze	15
2.5.3 Eigene Datensätze	18
3 Beschreibung des Arbeitsgebietes	19
3.1 Geologischer Bearbeitungsstand	22
3.2 Schichtenfolge	27
3.2.1 Penninikum	27
3.2.1.1 Arosa-Zone (Dogger - unteres Turon)	27
3.2.1.2 Rhenodanubischer Flysch	28
3.2.1.3 Feuerstätter Zone (Oberkreide und Paläozän)	35
3.2.2 Helvetikum und Ultrahelvetikum	37
3.2.2.1 Helvetikum	37
3.2.2.2 Ultrahelvetikum (Alb bis mittleres Eozän)	46
3.2.3 Molasse	46
3.2.3.1 Untere Meeresmolasse	49
3.2.3.2 Untere Süßwassermolasse	51

3.2.3.3	Obere Meeresmolasse	54
3.2.3.4	Obere Süßwassermolasse (oberes Burdigal - Torton).. 55	
3.2.4	Pleistozän und Holozän	56
3.3	Lagerungsverhältnisse	65
3.3.1	Penninikum	65
3.3.2	Helvetikum und Ultrahelvetikum	67
3.3.3	Molasse	69
3.4	Massenbewegungen und Geotechnik.....	71
3.4.1	Hangbewegungen: Gliederung und Definitionen	71
3.4.2	Aufteilung des Gebietes in Teilgebiete	74
3.4.3	Geotechnik von Blatt Schoppernau	74
3.4.3.1	Geotechnische Eigenschaften der Gesteine	74
3.4.3.2	Rutschungen	78
3.4.3.3	Muren	87
3.4.3.4	Kriechen	88
3.4.3.5	Zusammenfassende Bewertung.....	89
3.4.4	Geotechnik von Blatt Bezau	90
3.4.4.1	Geotechnische Eigenschaften der Gesteine	90
3.4.4.2	Rutschungen	91
3.4.4.3	Sturzbewegungen.....	93
3.4.4.4	Zusammenfassende Bewertung.....	99
3.4.5	Geotechnik von Blatt Alberschwende	100
3.4.5.1	Geotechnische Eigenschaften der Gesteine	100
3.4.5.2	Rutschungen	102
3.4.5.3	Sturzbewegungen.....	105
3.4.5.4	Zusammenfassende Bewertung.....	105
3.5	Klima und Niederschlagsdaten	106
3.5.1	Klima	107
3.5.2	Mai '99.....	109
4	Erstellung der Gefährdungskarten.....	113
4.1	Beschreibung der Digitalen Datensätze und ihre Verarbeitung 113	
4.1.1	Digitales Geländehöhenmodell (DGM)	113
4.1.1.1	Beschreibung.....	113
4.1.1.2	Verarbeitung	114
4.1.2	Geologische Karte	116
4.1.2.1	Beschreibung.....	116
4.1.2.2	Verarbeitung	117
4.1.3	Geotechnische Karte	119

4.1.3.1	Beschreibung.....	119
4.1.3.2	Verarbeitung.....	119
4.1.4	Topographische Karte	120
4.1.4.1	Beschreibung.....	120
4.1.5	Verarbeitung	121
4.1.6	Orthophotos (Vegetation, Siedlungsbereiche).....	123
4.1.6.1	Beschreibung.....	123
4.1.6.2	Verarbeitung	123
4.2	Karten der Rutschungsgefährdung	125
4.2.1	Bewertung der Ebenen	126
4.2.1.1	Hangneigung	126
4.2.1.2	Geologische Faktoren	131
4.2.1.3	Umwelt-Faktoren	139
4.2.1.4	Bewertung der Faktoren und Gruppen	140
4.3	Karte der Steinschlaggefährdung (Blatt Bezau).....	143
5	Zusammenfassung und Fazit	147
5.1	Zusammenfassung	147
5.2	Fazit	149
6	Literatur	151
	Anhang.....	161



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Registrierte Katastrophen in den 90er Jahren. Hangbewegungen werden zwar auch von Erdbeben ausgelöst, fallen nach der Studie des Roten Kreuzes aber überwiegend unter die „wetterbedingten“ Katastrophen.	1
Abb. 2:	Lage des Arbeitsgebietes	2
Abb. 3:	Methoden der Gefahrenkartierung nach ALEOTTI & CHOWDHURY (1999)	6
Abb. 4:	Der Verschnitt von Raster- (links) und Vektordaten (rechts). Bei Rasterdaten werden Operationen zellenweise durchgeführt. Beim Verschnitt von Vektordaten entstehen bei jeder Operation neue Polygone.....	11
Abb. 5:	Arbeitsschritte bei der Datenakquisition. Während die digitalen Ausgangsdaten direkt in ArcInfoTM übernommen werden können, müssen die Analogen Ausgangsdaten erst manuell bearbeitet werden.	14
Abb. 6:	Arbeitsschritte zur Erstellung von digitalen Datensätzen aus gedruckten Kartenwerken.....	16
Abb. 7:	Tektonische Einheiten im Bregenzerwald (nach OBERHAUSER, 1998).....	19
Abb. 8:	Zeitlich Einordnung der beschriebenen Schichtglieder (Zusammengestellt aus den Tab. 4, 6 und 7)	20
Abb. 9:	Flächenhafte Abdeckung der einzelnen geologischen und geomorphologischen Karten aus Tab. 3. Nicht aufgeführt sind die großmaßstäblichen Karten von OBERHAUSER (1998) und ZACHER (1972).	23
Abb. 10:	Lage der Diplomkartierungen des Lehrstuhls.	25
Abb. 11:	Gesteine der Arosa-Zone im Arbeitsgebiet.....	27
Abb. 12:	Gesteine des Rhenodanubischen Flysch im Arbeitsgebiet.	29
Abb. 13:	Typische Ausbildung des Reiselsberger Sandsteins. Der Aufschluss liegt am Forstweg von der Gräsalp zur Tobelalpe (Photo M. Ruff).	32

Abb. 14:	Gesteine der Feuerstätter Zone und des Ultrahelvetikum im Arbeitsgebiet. In der südlichen Melangezone gelang keine Trennung der beiden Einheiten.	35
Abb. 15:	Stark tektonisch beeinflusste Melangezone aus Feuerstätter Decke und Ultrahelvetikum am Schrannenbach (Photo M. Leibing).	36
Abb. 16:	Gesteine des Helvetikum im Arbeitsgebiet.	38
Abb. 17:	Blick auf die westliche Steilwand der Mittagsfluh. Die Mächtigkeit des Quintner Kalkes wurde hier durch eine Aufschiebung erhöht.	40
Abb. 18:	Felsbänder des Schrattekalkes südlich der Kluse am Klausberg.	43
Abb. 19:	Gesteine der Molasse im Arbeitsgebiet.	47
Abb. 20:	Wechselagerung von Sandsteinen und Megreln der Weisachsichten am Westufer der Bregenzerach nordöstlich von Reute.	51
Abb. 21:	Gletscherhöhen während des Würmglazials im zentralen und südlichen Teil des Gebietes (SEIJMONSBERGEN, 1987).	57
Abb. 22:	Präwürmzeitliche Eisstauseen im nordwestlichen Bregenzerwald nach HANTKE (1980). In den schraffierten Bereichen muß im Arbeitsgebiet mit dem Auftreten von Seetonen gerechnet werden.	62
Abb. 23:	Profil durch den südliche Arbeitsgebiet im Bereich des Penninikums nach RUFF (2000).	65
Abb. 24:	Isoklinale nordvergente Falte in der Wechselagerung der Piesenkopf-Serie am Nordufer des Schrecksbaches (Photo M. Ruff).	66
Abb. 25:	Profilskizze durch das Kartiergebiet (nach Leibing 2000)...	68
Abb. 26:	Oben: Tektonische Einheiten der Molasse im westlichen Vorarlberg und Ostallgäu nach VOLLMAYR (1958). Unten: Molasseprofil mit interpretierter Deltastruktur nach MÜLLER et al. (1988) aus KIENZLE (1998). Die Lage des Profils ist in der oberen Abbildung eingezeichnet.	69

Abb. 27:	Einteilung des Arbeitsgebietes in drei Teilgebiete.....	75
Abb. 28:	„Himmelsriesen“ am Westhang der Ütschenspitze. Piesenkopf Serie und Untere Fanola Serie werden hier tiefgreifend erodiert, wobei es immer wieder zu Nachbrüchen kommt. (Photo M. Ruff)	76
Abb. 29:	Schuttfächer aus verwittertem Hauptdolomit am Nordwesthang der Künzelspitze. Links: Ansicht von der Künzelspitze, rechts: Seitenansicht von Süden.	78
Abb. 30:	Geotechnische Situation im Bereich der Dürrenbach-Rutschung. Der nach Norden exponierte Hang weist eine durchschnittliche Hangneigung von 32° auf. Das eingezeichnete Längsprofil ist in Abb. 31 abgebildet. Das Querprofil befindet sich bei RUFF (2000).	79
Abb. 31:	Längsprofil der Dürrenbach-Rutschung (nach Ruff, 2000).	80
Abb. 32:	Ütschenrutschung: Auffällig ist die Steilwand im Bereich der Hauptabbrisskante.(Photo M. Ruff)	82
Abb. 33:	Profil der Ütschen-Rutschung. Im Bereich der Abrisskante fallen die Schichten mit dem Hang ein. Translatorische Bewegungen in der Fanola Serie führen möglicherweise zu einem Nachgleiten der Moräne (nach RUFF, 2000).	83
Abb. 34:	Kleiner Schuttstrom bei Vorder-Hopfreben (Photo M. RUFF)..	83
Abb. 35:	Kluffrosendarstellung der Trennflächen an der Böschung südlich der Armeseelenkapelle (RUFF, 2000)	84
Abb. 36:	Situation in der Umgebung der Armeseelenkapelle am Süportal des Straßentunnels. Das Trennflächengefüge begünstigt hier das Abgleiten m-großer Bereiche.	85
Abb. 37:	Geotechnische Situation in der Umgebung des Schrecksbaches. Vor allem am Nordufer kommt es immer wieder zu Nachbrüchen.	86
Abb. 38:	Staumauern am Schrecksbach, Blick in Richtung Osten. (Photo M. Ruff).	86

Abb. 39: Übersicht über Abrisszone, Fließweg und Ablagerungsbe- reich der „Schopernau-Mure“ vom 30.05.1999 (RUFF, 2000).	87
Abb. 40: Geotechnische Situation im Bereich der Hochalpe südlich des Toblermannkopfes.	88
Abb. 41: Photo der Hangmorphologie im Bereich der Hochalpe. (Photo M. Ruff)	89
Abb. 42: Lockergesteinmächtigkeiten im Bereich von Blatt Schopp- ernau.	90
Abb. 43: Unten: Rutschungen in der Umgebung des Kojenkopfes in den Mergeln der Palfris Formation.	91
Abb. 44: Lage der besprochenen Sturzbereiche auf Blatt Bezau.	93
Abb. 45: Felswand am Schwarzenberger Klausberg mit aktueller Steinschlagrinne.	94
Abb. 46: Hang des Andelsbacher Klausberges. Die Entfernung des Bannwaldes dient der Vorbereitung für die Abtragung des Brandschroffens.	95
Abb. 47: Steile Felswände in der Kluse bei Hinterreuthe und Stein- schlaggalerie aus südlicher Richtung.	96
Abb. 48: Geotechnische Situation der Kanisfluh-Mittagsfluh-Kluse. .	98
Abb. 49: Kluse zwischen Kanisfluh und Mittagsfluh. Von den steilen Kalkwänden gehen immer wieder Steinschlag- und Felssturz- ereignisse aus.	99
Abb. 50: Geotechnische Situation an der Bucher Straße mit der Lage des Profils. Die elf Rutschungen liegen alle im Bereich der Granitischen Molasse.	102
Abb. 51: Geotechnisches Längsprofil der kombinierten Rutschung vom Mai 1999 an der Bucher Straße (nach Gast, 2001). Un- terhalb der Hauptabrisskante ist ein Teil der Gleitbahn freige- legt (31°, sandige Mergel). Im oberen Bereich handelt es sich um eine Translationsbewegung. Im unteren Bereich läuft die Rutschung vermutlich mit einer listrischen Gleitfläche aus (La- ge des Profils s. Abb. 52).	103

Abb. 52:	Geotechnische Situation im Schwarzsachtobel.....	104
Abb. 53:	Jahresverlauf des Niederschlages anhand Durchschnittlicher 30 jähriger Werte für vier Stationen im Arbeitsgebiet.	107
Abb. 54:	Tageswerte vom 21.05.99 für vier Stationen im Arbeitsgebiet.....	108
Abb. 55:	Flächenhafte Darstellung der Jahresniederschlagssumme anhand der Werte von dreizehn Stationen.	109
Abb. 56:	Vergleich der Niederschlagswerte von Mai '99 mit den durch- schnittlichen Werten für den Monat Mai.	110
Abb. 57:	Flächenhafte Darstellung der Niederschlagssumme vom Mai '99.....	111
Abb. 58:	Zeitlicher Niederschlagsverlauf für den Mai 99. Die einzelnen Stationen sind nach der Höhe geordnet.	112
Abb. 59:	Digitales Geländemodell dargestellt für den Bereich des Ar- beitsgebietes unter Verwendung des [Hillshade]-Befehls von ArcInfotm.	114
Abb. 60:	Klassifizierung mit ArcInfo™	116
Abb. 61:	Die vektorisierte geologische Information (a) wird mit dem [polygrid]-Behehl in Flächenhafte Raster (b) verwandelt..	117
Abb. 62:	Umwandlung der vektoriellen geologischen Daten zu flächen- haften Raster-Daten	118
Abb. 63:	Verarbeitung des KM50-R.	121
Abb. 64:	a. Das Gewässernetz, b. Gewässernetz mit „Buffer“. Vor dem Erstellen der Buffer wurden die Bäche in zwei Kategorien (Hauptbäche und Nebenbäche) eingeteilt um der Tatsache Rechnung zu tragen, das der Einfluss den Bäche auf ihre Um- welt haben mit der geführten Wassermenge steigt.	122
Abb. 65:	Flussdiagramm der verwendeten Index-Methode.	125
Abb. 66:	Prozentuale Verteilung der Hangneigung insgesamt im Ver- gleich zur prozentualen Verteilung der Hangneigung in allen Rutschungen auf Blatt Schoppernau.....	127

Abb. 67:	Prozentualer Anteil der der von Rutschungen betroffenen Hangneigungsbereiche am Gesamtanteil der Hangneigungsbereiche für Blatt Schoppernau.	128
Abb. 68:	Prozentuale Verteilung der Hangneigung insgesamt im Vergleich zur prozentualen Verteilung der Hangneigung in allen Rutschungen auf Blatt Alberschwende	129
Abb. 69:	Prozentualer Anteil der der von Rutschungen betroffenen Hangneigungsbereiche am Gesamtanteil der Hangneigungsbereiche für Blatt Alberschwende.	129
Abb. 70:	Verteilung Rutschungen und Einheiten auf Blatt Schoppernau. Oben: Prozentualer Anteil der Einheiten welche von Rutschungen betroffen sind an der Gesamtfläche des Gebietes. Unten: Prozentualer Anteil der Einheiten an der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche.....	132
Abb. 71:	Prozentualer Anteil der Einheiten an der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche für Blatt Schoppernau.	133
Abb. 72:	Prozentualer Anteil der Einheiten, welche von Rutschungen betroffen sind an der gesamtfläche des Gebietes und Prozentualer Anteil der Einheiten an der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche für Blatt Alberschwende.	134
Abb. 73:	Der prozentuale Anteil der Rutschenden Fläche an der Gesamtfläche der Einheiten für Blatt Alberschwende.	135
Abb. 74:	Bestimmung der Fließrichtung mit ArcInfoTM und Kodierung der Ergebnisse unter Verwendung der D8-Methode (MEIßL, 1998).....	144
Abb. 75:	Flussdiagramm der Arbeitsschritte zur Erstellung von Gefahrenkarten.....	147
Abb. 76:	Prozentualer Anteil der einzelnen Gefährdungsbereiche an der bebauten Fläche für die Blätter Schoppernau und Alberschwende. Bei dieser Betrachtung darf nicht vergessen werden, dass sowohl die Hangneigung als auch das ein Kriterium „Bebaubarkeit“, stark in die Bewertung der Gefährdung eingeht.....	149

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	ArcInfo™ Module und deren Funktion	10
Tab. 2:	Zum Projektbeginn (Anfang 1999) veröffentlichte geologische und geomorphologische Karten des Projektgebietes.	22
Tab. 3:	Diplomarbeiten innerhalb des Gebietes, welche am Lehrstuhl für Angewandte Geologie (AGK) erstellt wurden.....	24
Tab. 4:	Stratigraphie der Feuerstätter Zone und des Rhenodanubischen Flysch (nach SCHNABEL 1980, OBERHAUSER 1980, RICHTER 1980, FESSLER et al. 1992, RUFF 2000).....	30
Tab. 5:	Variation der Mächtigkeitsangaben für die Schichtglieder des Rhenodanubischen Flysch in Meter (RUFF, 2000).....	31
Tab. 6:	Stratigraphie des Ultrahelvetikums und des Helvetikums (nach ZACHER, 1973, LEIBING, 2000).....	39
Tab. 7:	Stratigraphie der Molasse Vorarlbergs (verändert nach Gast, 2001).....	48
Tab. 8:	Beschreibende Gesteinsparameter von Lockergesteinsmaterial wie es im Hangschutt auftreten kann. (nach SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN, 1978).	61
Tab. 9:	Kennwerte von Moränenablagerungen nach SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1987).....	63
Tab. 10:	Einteilung der Massenbewegungen (verändert nach MOSER & ÜBLAGGER, 1984).....	72
Tab. 12:	Mineralogische Zusammensetzung der Sandsteine (SW) und Mergel (MW) der Weissachsichten (nach BERTLE, 1995) und der Mergel (MG) der St. Galler Schichten (nach CZURDA & GINTHER, 1983). (/ = keine Angabe)	101
Tab. 11:	Felsmechanische Parameter von Kalksandsteinen und Mergeln der Weissachsichten (ermittelt aus mehreren Bohrkernproben aus der Zone von Alberschwende). (Zusammengestellt nach BERTLE, 1995)	101
Tab. 13:	Durchschnittlicher Fehler des DGM (Quelle: Homepage des BEV, 2001)	115

Tab. 14:	Bewertung der Hangneigungsbereiche	130
Tab. 15:	Bewertung der Schichtglieder von Blatt Schoppernau und Blatt Alberschwende.	136
Tab. 16:	Bewertung der Winkeldifferenz von Exposition und Einfallrichtung sowie Hangneigung und Einfallen. Für die endgültige Bewertung werden die beiden Werte addiert.	137
Tab. 17:	Bewertung des Faktors Abstand zu Störungen nach REITERER (2001).	137
Tab. 18:	Einfluss der Mächtigkeit von Deckschichten auf Blatt Schoppernau.	138
Tab. 19:	Tabellarische Darstellung des Entscheidungsbaums für Blatt Schoppernau	140
Tab. 20:	Entscheidungsbaum für Blatt Alberschwende	140
Tab. 21:	Einteilung der Gefährdungskarten in Bereiche unterschiedlicher Gefährdung anhand der ermittelten Wertung.	142

VERZEICHNIS ANHANG

Anhang 1: Zuordnung der geologischen Karte	163
Anhang 2: Liniensignaturen in den Geotechnischen Kartenausschnitten.....	165
Anhang 3: AML zur Erzeugung des Verschnitts von Einfallen und Hangneigung sowie Streichen und Exposition.	167
Anhang 4: AML zur Berechnung der Gefährdungskarten für die Blätter Schoppernau und Alberschwende im Grid-Modul von Arc-Info.....	169
Anhang 5: AML zur Durchfuehrung einer Fallspuren Analyse.	173

KARTENVERZEICHNIS

- Geologische Karte Blatt Alberschwende
- Geologische Karte Blatt Bezau
- Geologische Karte Blatt Schoppernau
- Rutschungsgefährdung Blatt Alberschwende
- Steinschlaggefährdung Blatt Bezau
- Rutschungsgefährdung Blatt Schoppernau

1 EINFÜHRUNG

1.1 Projektziel

Im Jahr 2000 waren 256 Millionen Menschen von Naturkatastrophen betroffen, fast 25 % mehr als in den vergangenen 10 Jahren. Für diese Steigerung wird die Erwärmung des Erdklimas verantwortlich gemacht. Mehr als 90 % der Katastrophenopfer verloren ihr Leben durch wetterbedingte Katastrophen (Weltkatastrophen-Bericht 2001 des Roten Kreuzes, siehe Abb. 1).



Abb. 1: Registrierte Katastrophen in den 90er Jahren. Hangbewegungen werden zwar auch von Erdbeben ausgelöst, fallen nach der Studie des Roten Kreuzes aber überwiegend unter die „wetterbedingten“ Katastrophen.

Naturkatastrophen wie Erdbeben, Hochwasser, Hangbewegungen und Vulkanausbrüche führen in vielen Ländern zu erheblichen Verlusten an Leben, Infrastruktur, Nutzland und Wohnraum. Das beschleunigte Bevölkerungswachstum, vor allem aber die Urbanisierung auch von dafür ungeeigneten Landstrichen, führt weltweit zu einer verstärkten Auswirkung von Naturkatastrophen. Regional erhöhte Niederschläge haben in den letzten Jahren, auch für Hangbewegungen, diesen Trend verstärkt. Die Republik Österreich ist aufgrund ihrer geographischen Lage in den Alpen und ihrer Morphologie besonders von Hangbewegungen (z.B. Rutschungen, Muren, Steinschläge, Bergstürze etc.) betroffen. Eine Vorhersage von Hangbewegungen sowie eine Abgrenzung gefährdeter Bereiche wäre wünschenswert: Einerseits um bereits bebaute Bereiche so weit wie möglich zu sichern, andererseits um die Bebauung gefährdeter Bereiche zu verhindern.

1.1 Projektziel

Die Vorhersage von Hangbewegungen, sowohl räumlich als auch zeitlich, ist jedoch eine sehr schwierige Aufgabe, welche nur anhand detaillierter räumlicher Daten, langer Beobachtung betroffener Bereiche und einem präzisen Verständnis für die zugrundeliegenden Mechanismen zu verwirklichen ist. In der Regel läßt die Datenlage eine solche Vorhersage nicht zu. Hinzu kommt, dass eine zeitliche Vorhersage von Hangbewegungen außer von den geologischen Gegebenheiten auch von auslösenden Faktoren wie Niederschlag und Seismik abhängt, Phänomene, deren präzise Vorhersage an sich schon schwierig ist.

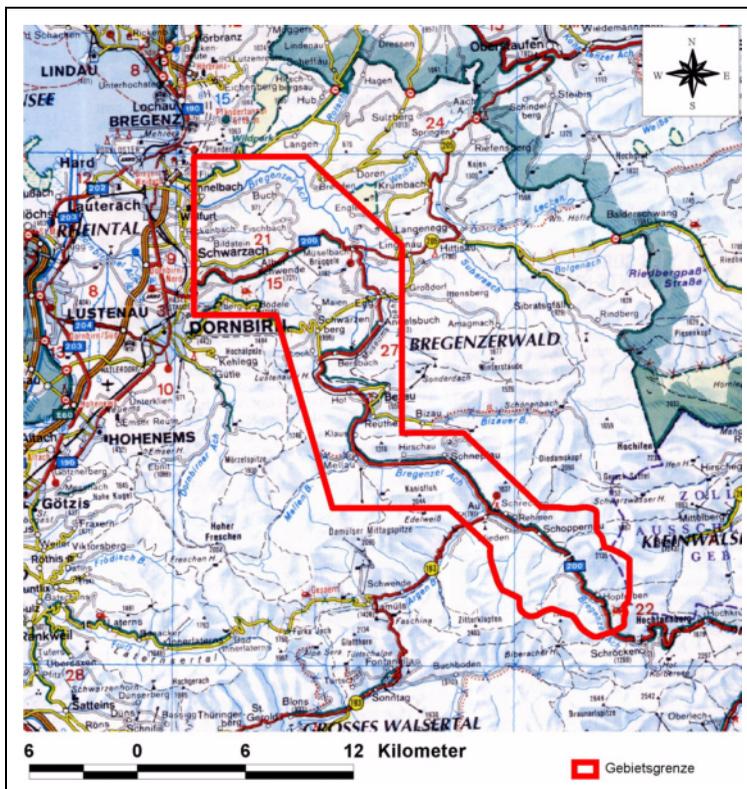


Abb. 2: Lage des Arbeitsgebietes

Um für Vorarlberg den ersten Schritt zu unternehmen, bei dem potentielle Hangbewegungen räumlich abgegrenzt werden, arbeitet der Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe (AGK) am

Projekt „Georisikokarte Vorarlberg“.

Langfristiges Ziel des Projektes ist ein flächendeckendes GIS-gestütztes geowissenschaftliches Kartenwerk der Vorarlberger Talschaften (Abb. 2), welches unter anderem Gefährdungskarten enthält. Als Grundlage für die Gefährdungskarten und als Ergänzung für den Benutzer sind außerdem eine geologische Karte sowie geotechnische Detailkartierungen besonders gefährdeter Bereiche vorgesehen. Das Kartenwerk soll als Vorerkundungsinstrument und Ergänzung zu der Gefahrenzonenabgrenzung dienen, welche in letzter Instanz nur durch amtliche Stellen vorgenommen werden kann.

Im Rahmen des „Pilotprojekt Bregenzerwald“ wurde ein ca. 1 km breiter Streifen beiderseits der B200 und der Bregenzerach in diesem Sinne bearbeitet.

Diese Arbeit ist die Erläuterung zum Kartenwerk, welches im Rahmen des Pilotprojektes entstanden ist. Außerdem soll sie als Leitfaden für die Bearbeitung der folgenden Projektabschnitte dienen.

Die Lage des Arbeitsgebietes wurde in Absprache mit den örtlichen Behörden auf der Basis von wirtschaftlichen und infrastrukturellen Interessen festgelegt. Es handelt es sich um ein vergleichsweise dicht besiedelten Geländeabschnitt, dessen Naturgefahren den einheimischen Bewohnern hinlänglich bekannt sind. Entscheidungen zur Erschließung von Bauland für industrielle oder touristische Zwecke werden heutzutage allerdings oft von den Behörden und Firmen in den Verwaltungszentren getroffen. Dort fehlt jedoch häufig eine übersichtliche Inventarisierung und Beurteilung der Gefahren, welche vor Ort auftreten können.

1.2 GIS-gestützte Gefahrenkartierung - Stand der Technik

1.2.1 Definition: Gefahr, Gefährdung, Vulnerabilität, Risiko

Im Bereich der GIS-gestützten geowissenschaftlichen Analyseverfahren stehen eine Vielzahl von Arbeitsmethoden zur Verfügung. Bei einem Studium der Literatur tauchen immer wieder die Begriffe Gefahr, Gefährdung, Vulnerabilität und Risiko auf. Da diese Begriffe in den einzelnen akademischen Fachrichtungen unterschiedliche Bedeutung haben und die mit diesen Begriffen verbundenen Arbeitsmethoden zu völlig verschiedenen Aussagen führen, ist es zum Verständnis dieser Arbeit sinnvoll, diese Begriffe im Vorfeld zu definieren. Die Definitionen,

welche in dieser Arbeit Verwendung finden, lehnen sich an die Arbeiten von VARNES (1984), EINSTEIN (1997) und VAN WESTEN (1997) an. Da der überwiegende Teil der fachbezogenen Literatur in diesem Bereich lediglich auf Englisch vorliegt, werden auch die entsprechenden englischen Begriffe aufgeführt.

Gefahr (danger): Der Begriff "Gefahr" beschreibt das Phänomen selbst. Im Falle von Hangbewegungen also deren geometrische und mechanische Eigenschaften. Bei einer Kartierung von Gefahren handelt es sich demnach um eine Inventarisierung vorhandener und bekannter Phänomene. Es werden dabei jedoch keine Vorhersagen getroffen, weder wann es zu einer Reaktivierung kommt, noch ob ähnliche Situationen in der näheren Umgebung ähnliche Gefahren darstellen. Beispiel für ein Projekt welches auf der Inventarisierung von Gefahren basiert, ist GEORISK des Bayrischen Geologischen Landesamtes (POSCHINGER, 1992).

Gefährdung (hazard, susceptibility): Dieser Begriff ist wohl der am häufigsten verwendete Begriff und damit auch der, der zu den meisten Missverständnissen führt. Gefährdung kann definiert werden als die Wahrscheinlichkeit, mit der ein potentiell gefährliches Ereignis zeitlich oder räumlich eintritt. Das zeitliche Eintreten wird im Englischen in der Regel mit „hazard“ beschrieben, das räumliche vielfach mit dem Wort „susceptibility“. Eine Gefährdungskarte versucht also eine Vorhersage für Bereiche, in denen noch keine Hangbewegungen stattgefunden haben zu treffen. Gesellschaftlich sind Gefährdungskarten nicht ganz unproblematisch: Die Veröffentlichung kann bei Anwohnern zu unbegründeten Ängsten führen, manchmal sogar zu Verlusten bei Grundstückspreisen.

Vulnerabilität (vulnerability): Vulnerabilität kann als die Verletzbarkeit durch eine Gefahr verstanden werden. Im Falle von Hangrutschungen wäre zur Ermittlung der Vulnerabilität also eine Aufnahme der durch Rutschungen gefährdeten Objekte (Gebäude, Strassen, Agrarflächen etc.) sowie eine Abschätzung ihres „Wertes“ nötig. Der in diesem Zusammenhang im Englischen häufig auftretende Begriff „elements at risk“ kann im Deutschen übersetzt werden mit „gefährdete Objekte“. Eine Vulnerabilitätsanalyse im Falle von Rutschungen gibt also eine Antwort auf die Frage nach der Verletzlichkeit der Infrastruktur, der Siedlungen und der Kulturlflächen. In der Hydrogeologie beschreibt „Vulnerabilität“ in der Regel die „Verletzbarkeit“ von Grundwasserleitern durch Schadstoffeinträge.

Risiko (risk): Der Begriff „Risiko“ hat in den einzelnen Fachrichtungen

recht unterschiedliche Bedeutung. Die im folgenden gegebene Definition stammt aus der Probabilistik. Danach ist „Risiko“ der beim Eintritt eines Ereignisses zu erwartende Schaden. Da dieselbe Gefährdung je nach betroffenen Objekten zu unterschiedlichen Schäden führt, kann „Risiko“ auch definiert werden als:

$$\text{Risiko} = \text{Gefährdung} \times \text{Vulnerabilität}$$

Bei einer Risikoanalyse wird also sowohl eine zeitliche oder räumliche Vorhersage bezüglich der zu erwartenden Ereignisse als auch eine Vorhersage des zu erwartenden Schadens erarbeitet. Man kann sich vorstellen, dass solche Analysen nicht nur aufwendig in der Herstellung sind, sondern ziehen auch sozioökonomische Probleme nach sich. Aus diesem Grund sind Risikokarten in diesem Sinne recht selten und, wenn vorhanden, der Öffentlichkeit meist nicht ohne weiteres zugänglich. Risikokarten sind vor allem für Versicherungsgesellschaften interessant, da sie für sie die Grundlage zur Ermittlung der Prämien darstellen.

Die Benennung des Projektes „Georisikokarte Vorarlberg“ erfolgte, unabhängig von der jeweils anerkannten Definition des Wortes „Risiko“, analog zur Benennung des bereits seit längerem angelaufenen Projektes „Georisiken Erfassung“ im Hauptprogramm für Angewandte Geowissenschaften der Geologischen Bundesanstalt Wien (Homepage des GBA, 2001). Obwohl „Risiko“ nach obiger Definition nicht ermittelt wird, sollen die Ergebnisse dieser Arbeit Entscheidungsträgern die Einschätzung des Risikos, welches von geologischen Gefahren ausgeht, erleichtern.

1.2.2 Untersuchungsmethoden

Für das Phänomen „Hangbewegung“ werden in der Regel Gefährdungskarten erstellt, welche eine räumliche Vorhersage über das Auftreten solcher Ereignisse treffen. Auch im Rahmen dieses Projektes war früh die Entscheidung für eine Gefährdungskarte gefallen, die Frage war nur, welcher Ansatz am ehesten zu nachvollziehbaren Ergebnissen führen würde.

Weiterhin stellte sich heraus, dass der Teil des Arbeitsgebietes, in dem Gesteine des Helvetikum anstehen, stark von Steinschlägen und Felsstürzen betroffen ist. Bei diesen Sturzbewegungen wird Material meist aus sehr steilen, wirtschaftlich weniger interessanten Bereichen sehr

weit in flachere, häufig genutzte Bereiche transportiert, so dass bei diesen Hangbewegungen nicht nur interessant ist, wo sie entstehen, sondern vor allem wohin die Massen transportiert werden. Um die Gefahr, die von diesen Massenbewegungen ausgeht abschätzen zu können, ist also die Durchführung einer Reichweitenanalyse sinnvoll (Kap. 3.4). ALEOTTI UND CHOWDHURY (1999) teilen die Verfahren der Gefährdungskartierung in qualitative und quantitative Methoden ein (Abb. 3).

1.2.2.1 Qualitative Methoden

Die qualitativen Methoden basieren fast ausschließlich auf sogenanntem „Expertenwissen“. Die Bewertung der einzelnen Faktoren, welche Hangrutschungen fördern, wird dabei zu einem überwiegenden Anteil aufgrund der subjektiven Meinung des Bearbeiters oder auf der Grundlage von Literatur durchgeführt.

Die qualitativen Methoden werden weiterhin eingeteilt in die Methode der geomorphologischen Feldanalyse und Methoden, welche auf der

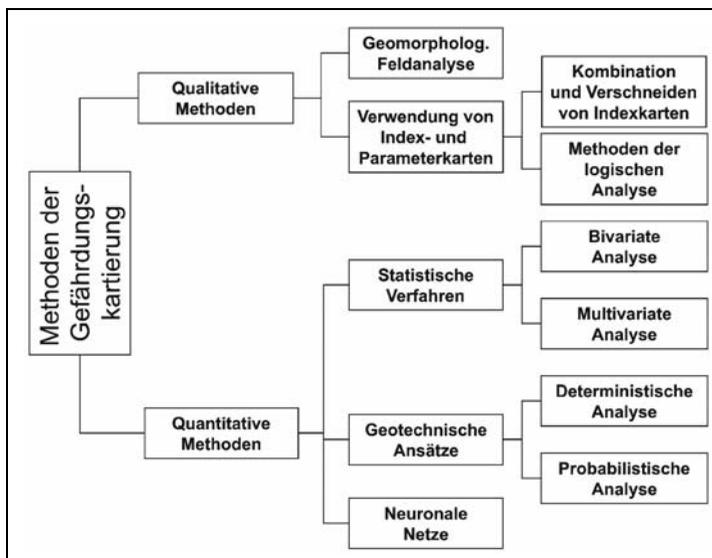


Abb. 3: Methoden der Gefahrenkartierung nach ALEOTTI & CHOWDHURY (1999)

Verwendung einzelner Parameter- oder Indexkarten basieren. Bei der

geomorphologischen Feldanalyse wird die Gefährdung direkt im Gelände ermittelt, basierend auf dem Vergleich mit ähnlichen Situationen bzw. auf der Erfahrung des Bearbeiters (Beisp. bei VAN WESTEN et al. (1996), HOEXTER et al. (1978), KIENHOLZ (1978), RUPKE et al. (1988)). Bei den **Parameter- oder Index-Karten** unterscheiden ALEOTTI & CHOWDHURY (1999) zwischen der „Kombination von Indexkarten“ und der „logisch-analytischen Methode“. Bei den Indexkarten-Verfahren werden die Faktoren, welche zu Hangrutschungen führen, in einzelne Ebenen aufgeteilt. Diese wiederum werden in ihrer Bedeutung gewichtet und in Bereiche unterschiedlichen Beitrags zur Gefährdung aufgeteilt. Durch Multiplikation, Addition oder Subtraktion werden die Ebenen anschließend kombiniert, um so zum Endprodukt, einer Gefährdungskarte, zu gelangen (Beisp. bei ANBALAGAN & SINGH (1996), GUPTA & ANBALAGAN (1997), TURRINI & VISINTAINER (1998), REITERER (2001)). Die **logisch-analytischen Methoden** funktionieren ähnlich, im Zuge ihrer Erstellung werden jedoch gleichzeitig Rutschungsbereiche mit Meßtechnik überwacht und die Ergebnisse mit den fertigen Karten verglichen. Ist die Übereinstimmung nicht zufriedenstellend, werden die Faktoren frisch bewertet und die Ergebnisse wieder mit den Messungen verglichen.

1.2.2.2 Quantitative Methoden

Die quantitativen Methoden basieren auf Statistik oder geotechnischen Stabilitätsanalysen. Sie werden von ALEOTTI & CHOWDHURY (1999) in statistische Analysen, geotechnische Ansätze und „black-box“-Verfahren unter Verwendung von neuronalen Netzwerken eingeteilt. Bei den **statistischen Methoden** werden, durch einen Vergleich mit aktiven und historischen Hangbewegungen, die Anteile der einzelnen Gefährdungsfaktoren statistisch ermittelt. Hierfür kommen bivariate (alle Faktoren werden mit einer Karte der Massenbewegungsereignisse verglichen) und multivariate (mehrere Faktoren/Ebenen werden miteinander verglichen) Methoden in Frage. Fallbeispiele für statistische Verfahren sind JÄGER & WIECZOREK (1994), NARANJO et al. (1994), CARRARA et al. (1995), BAEZA & COROMINAS (1996), und UROMEIHY & MAHDAVIFAR (2000).

Die **geotechnischen Ansätze** basieren auf Stabilitätsberechnungen und eignen sich in der Regel nur für kleinere Maßstäbe oder sehr homogene Geländeabschnitte, da sie auf einer Vielzahl von Messwerten bei gleichzeitiger präziser Kenntnis der zugrundeliegenden Rut-

schungsmechanismen basieren. Bei probabilistischen Ansätzen werden zusätzlich statistische Ansätze verwendet. Fallbeispiele für geotechnische Ansätze befinden sich bei VAN WESTEN & TERLIEN (1996) und GÖKCEOGLU & AKSOY (1996). Eine stark verallgemeinernde, nur auf wenigen Messwerten basierende Bearbeitung mit deterministischen Methoden beeinträchtigt den quantitativen Charakter der Methode stark. Mit der Gefährdungsanalyse unter Verwendung von **Neuronalen Netzen** beschäftigt sich an der AGK zur Zeit ein weiteres Projekt (FERNANDEZ-STEEGER, in Bearb.), weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

1.2.2.3 Verwendete Methode

Nach Abwägung der Möglichkeiten sowohl der einzelnen Verfahren als auch der des Institutes, fiel recht früh die Entscheidung eine qualitative Index-Methode und eine bivariate statistische Methode anzuwenden. Ein Grund für diese Auswahl war, dass beide Verfahren für den angedachten Maßstab von 1:25000 geeignet sind. Ein weiterer großer Vorteil dieser Ansätze liegt in ihrer Flexibilität. Da beide Verfahren auf der Verwendung mehrerer verschiedener Faktorebenen basieren, können beide Verfahren mit identischen Ausgangsdaten durchgeführt werden. Leider erwies sich im Verlauf des Projektes, dass die einzelnen Teilgebiete zu klein sind, bzw. zu wenig Rutschungen aufweisen, um Gefährdungskarten allein mit statistischen Methoden erarbeiten zu können. Bei der Bewertung der einzelnen Informationsebenen im Rahmen des Indexverfahrens waren die statistischen Ergebnisse jedoch zum Teil verwendbar. Nachdem die Verfahrensfrage entschieden war, konnte mit dem Sammeln und Aufarbeiten der Daten begonnen werden.

2 GRUNDLAGEN UND WAHL DER SOFTWARE

2.1 Definition von GIS

Fast jede Abhandlung zum Thema **GeoInformationssysteme** enthält eine Definition von GIS, denn selbst in der Fachwelt herrscht keineswegs Einigkeit darüber, was als vollwertiges GIS gilt und was nicht. Nach NEUER (2000) legt man daher auf eine entsprechend breit angelegte Definition wert: Ein GIS besteht aus einem Software-Paket plus Datensammlung, um damit in einem datenbankbasiertem System raumbezogene Informationen zu erfassen, speichern, verwalten, analysieren und vor allem auch grafisch auszugeben. Mit Hilfe von Geoinformationssystemen wird also ein von der jeweiligen Anwendung festgelegter Ausschnitt der realen Welt in digitaler Form in einem Rechner abgebildet und bei Bedarf als Karte wieder ausgegeben.

Die Stunde für den GIS-Einsatz schlägt immer dann, wenn die Kenntnis über die Lage eines Landstrichs, einer Pflanze, einer Straße oder eines Gebäudes nicht genügt, sondern darüber hinaus weitere Eigenschaften dieser Objekte interessieren und damit räumliche Analysen erfolgen sollen (NEUER, 2000). Die Hauptgründe für die Investition in GIS sind angestrebte Effizienzsteigerung und Rationalisierungseffekte sowie neue Aufgaben und Geschäftsfelder (SCHILCHER et al., 1996).

Bereits Ende der 50er Jahre begannen Entwicklungen, die später zum Entstehen von GIS führten. Der Begriff GIS entstand allerdings erst auf dem ersten großen GIS-Symposium, organisiert von Roger Tomlinson, im Jahre 1970 (STAHL, 1995). Parallel zur ersten Version von ArcInfo™ der Firma ESRI begann um 1982 die Zeit der kommerziellen GIS-Software. In den 90er Jahren kam es zu einem weiteren Innovationsschub durch Datenhochgeschwindigkeitsnetze, Internet, World-Wide-Web und Multimedia.

2.2 Die Wahl der Software

Als de-facto-Standard für GIS-Systeme hat sich dabei in Vorarlberg auf Landesebene ArcInfo™ herausgebildet, das bereits von allen österreichischen Bundesländern verwendet wird (SCHMID & WASSERBURGER, 1994). 1991 wurde ArcInfo™ an der Vorarlberger Naturschau einge-

2.2 Die Wahl der Software

führt. Auch das Vorarlberger Geografische Informationssystem der Landesregierung (VOGIS) verwendet ArcInfo™ als GIS-Basis.

Da nicht vorhandene Kompatibilität bei EDV-Projekten oft zu schwerwiegenden Problemen führt, war somit die Wahl der zugrundeliegenden GIS-Software schon vor Projektbeginn getroffen.

Eine weitere Entscheidungsgrundlage für ArcInfo™ war die Tatsache, dass es ein hybrides System ist, welches sowohl Vektor- als auch Rasterdaten verarbeiten kann. Software-Technisch ist ArcInfo™ ein modulares System, welches aus verschiedenen Programmmodulen (Tab. 1) besteht, die verschiedene Aufgaben erfüllen.

Tab. 1: ArcInfo™ Module und deren Funktion

Name des Modules	Funktion
Arc Startermodul	Erzeugung der Topologie, Fehlerbereinigung, Koordinatentransformation und –projektion, Arbeitsbereicheinstellungen, Datenimport und –export, Kontrolle der Graphikumgebung
ArcEdit	Datenerfassung, Editierung und Aktualisierung der Daten
ArcPlot	Visualisierung und graphische Ausgabe
Info	Relationale Datenbank
Tables	Datenbankoberfläche
TIN	Oberflächendarstellung und Modellierung
Network	Verarbeitung und Analyse von Netzwerkstrukturen, Routenplanung
ArcScan	Vektorisierung von Rasterdaten (halb- und vollautomatisch)
Grid	Bearbeitung und Verarbeitung von Rastern

Zur Erstellung kleinerer Abbildungen sowie den Druckfiles für die Gefährdungskarten wurde das Desktop-GIS der Firma ESRI, ArcView™ verwendet. Diese Software ist mit einer graphischen Bedienoberfläche nach MS-Windows™-Standard versehen.

2.3 Vektor- und Rasterdaten

Beide Datenformen haben Vor- und Nachteile. Vektorsysteme werden überall dort benötigt, wo großmaßstäbliche Daten oder Daten hoher Genauigkeit verarbeitet werden. Die Erzeugung von **Vektordaten** ist meist sehr aufwendig und nur durch manuelle Eingabe zu erreichen, oft jedoch die einzige Möglichkeit eigene Datensätze zu erzeugen. Bei diesem Datenformat können einem Objekt (Punkt, Linie, Polygon) mehrere Eigenschaften verschiedenster Formate (Zahl, Buchstaben, Datum, etc.) zugeordnet werden, welche in sogenannten „Attribut Tabellen“ gespeichert werden.

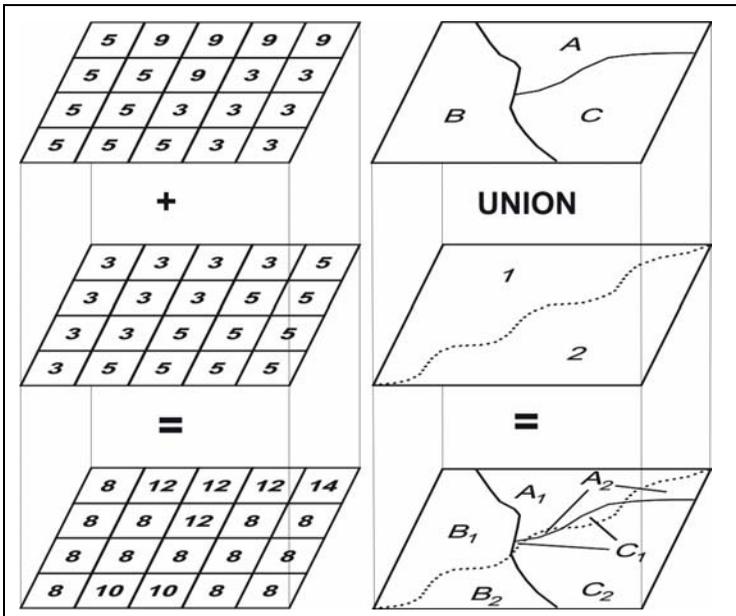


Abb. 4: Der Verschnitt von Raster- (links) und Vektordaten (rechts). Bei Rasterdaten werden Operationen zellenweise durchgeführt. Beim Verschnitt von Vektordaten entstehen bei jeder Operation neue Polygone.

Bei **Rasterdaten** werden die Informationen in ein flächendeckendes Punkte-Raster verwandelt, wobei jedem Raster-Punkt die entsprechende Information zugeordnet wird. Rasterdaten überforderten auf-

grund des hohen Datenaufkommens in der Vergangenheit viele Computersysteme. Gerade in den letzten Jahren haben Rasterdaten jedoch an Bedeutung zugenommen, da heute einerseits viele Systeme in der Lage sind hybrid (Raster und Vektor) zu arbeiten und andererseits die Hardware Leistungsbereiche erreicht hat, welche die Anzeige und Bearbeitung auch umfangreicher Rasterdaten erlauben. Ein typischer Vertreter der Rasterdaten ist das Höhenmodell, welches aus einem quadratischen Raster besteht, dessen einzelne Elemente in der Natur eine Kantenlänge von 20 m besitzen. Jeder Rasterpunkt besitzt eine Eigenschaft, die Höhe, welche unter Verwendung von GIS-Software auch farblich abgestuft dargestellt werden kann. Vor allem im analytischen Bereich besitzen Rasterdaten eine hohe Bedeutung (STAHL, 1995). Dafür gibt es zwei wichtige Gründe: Erstens eignen sich die Rasterdaten wesentlich besser für die Darstellung natürlicher, fließender Übergänge (z.B. Höhenmodelle), zweitens sind sie für Berechnungen besser geeignet, da jedem Punkt im Raum für jede Informationsebene ein Wert zugeordnet ist. Mathematische Operationen lassen sich auf dieser Grundlage einfach ausführen (Abb. 4). Vektordaten hingegen werden bei Verschnittoperationen oft im erheblichen Maße fragmentiert, es entstehen immer mehr kleine Polygone, vor allem bei subparallelen Linien kann dies zu einer Vielzahl von kleinen redundanten Polygonen führen, welche anschließend durch Generalisierung wieder entfernt werden müssen. In der Praxis werden Vektorsysteme häufig verwendet, um neue Datensätze zu erzeugen, welche dann anschließend für die Analyse in einen Raster umgewandelt werden. Auch in dieser Arbeit werden die Analysen zur Erstellung der Gefährdungskarten auf der Basis von Rasterdaten durchgeführt.

2.4 Die Wahl des Koordinatensystems

Bei der Verwendung von Karten im Zusammenhang mit einem GIS spielt das Koordinatensystem eine bedeutende Rolle, da die Information in verschiedenen Ebenen aufgeteilt wird, welche natürlich exakt „übereinander“ liegen müssen. Koordinatenverschiebungen und –ungenauigkeiten führen zu einer Verschiebung der Ebenen untereinander, welches natürlich wiederum zu fehlerhaften Ergebnissen bei Kombination und Verschneidung mehrerer Ebenen führt. Zwar ist Umrechnung zwischen den verschiedenen Referenzsystemen und Projektionen grundsätzlich möglich, in der Regel aber mit vielen Fehlerquellen

behaftet. Die Berechnungen gelten immer nur für einen Punkt. Will man also eine ganze Ebene umrechnen, geht dies nur unter Verwendung einer Vielzahl von Referenzpunkten. Dies kann zeitintensiv sein und führt häufig zu Fehlern.

Fest steht, dass alle Daten, welche im Rahmen eines Projektes verwendet werden, auf ein gemeinsames Referenz- und Koordinatensystem gebracht werden müssen. Bei Projekten, deren Ergebnisse später der regionalen Planung dienen, sollte das Koordinatensystem der örtlichen Vermessungsverwaltung verwendet werden.

Das Referenzsystem (mathematisch definierter Körper, welcher die Erdgestalt am besten repräsentiert) der österreichischen Landesvermessung ist das Bessel-Ellipsoid. Als Projektion (Abbildung des Ellipsoides auf eine Ebene) wird die Gauß-Krüger-Projektion (winkeltreue Zylinderprojektion) vom MGI (Militär-Geographisches Institut) verwendet. Das Bundesgebiet wird in drei 3°-breite Meridianstreifen (1,5° östlich und westlich des Bezugsmeridians) abgebildet (Bezugsmeridiane: 28° (M28), 31° (M31) und 34° (M34) östlich von Ferro. (Ferro liegt 17° östlich von Greenwich). Der Koordinatenursprung liegt jeweils im Schnittpunkt des Bezugsmeridians mit dem Äquator. Da dadurch drei getrennte Koordinatensysteme entstehen, ist zur eindeutigen Festlegung der Gauß-Krüger-Koordinaten die Angabe des Meridianstreifens notwendig.

2.5 Datenakquisition und Aufbereitung

Der wichtigste und mit Abstand teuerste Teil eines GIS-Projektes sind die Daten. In der Fachliteratur (BARTELME, 1995; BILL & FRITSCH, 1999a) wird ein Verhältnis der Kosten von 2:3:10 (Hardware:Software:Daten) und eine Lebensdauer von etwa 4:10:30 Jahren genannt (STAHL, 1995). Vor allem der Arbeitsaufwand bei der Erstaufnahme von Daten darf nicht unterschätzt werden. Der mühevolle und zeitintensive Vorgang der Datenakquisition und -aufbereitung rechnet sich nach NEUER (2000) dann, wenn die erhobenen Daten das Fundament für eine längerfristige Anwendung bilden, zum Beispiel in kommunalen Verwaltungen. Einmal in ein GIS übertragen, sind die Daten jedoch wiederverwendbar und einfach miteinander zu kombinieren. Darüber hinaus können sie flexibel ergänzt und aktualisiert werden.

Im Rahmen des Pilotprojektes wurden sowohl bereits vorhandene als auch eigens erstellte Datensätze verwendet. Die bereits vorhandenen

2.5 Datenakquisition und Aufbereitung

Datensätze lagen dabei in zwei Formen vor: digital oder lediglich in gedruckter Form als sogenannte „hardcopy“ (Abb. 5).

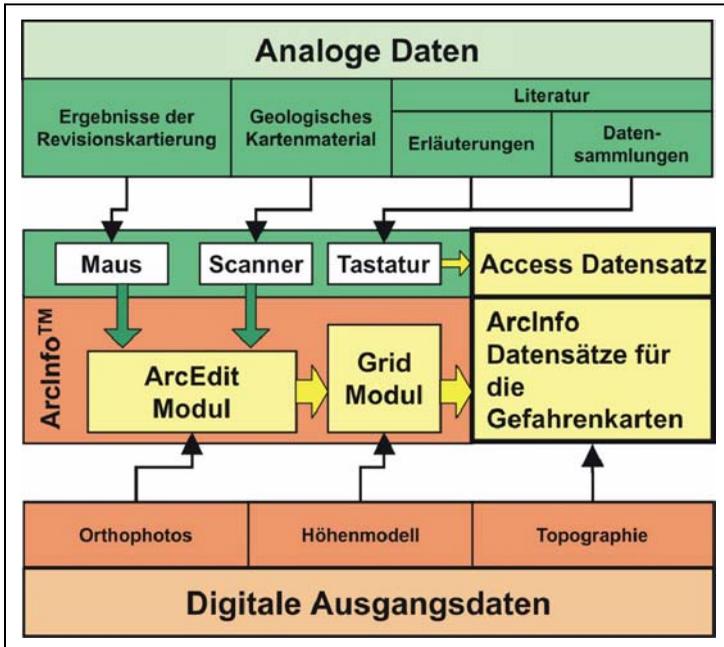


Abb. 5: Arbeitsschritte bei der Datenakquisition. Während die digitalen Ausgangsdaten direkt in ArcInfo™ übernommen werden können, müssen die Analogen Ausgangsdaten erst manuell bearbeitet werden.

2.5.1 Digitale Datensätze

Digitale Datensätze sind Datensätze, die bereits elektronisch gespeichert vorliegen und somit ohne große Schwierigkeit in ein GIS aufgenommen werden können. Aufgrund eines langwierigen und häufig teuren Herstellungsvorgangs sind digitale Daten oft nur bei wenigen Quellen zu beziehen und meist sehr teuer. Digitale Datensätze wurden im Rahmen des Projektes überwiegend von **Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)** zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich in erster Linie um das **Digitale Geländemodell (DGM)** und das **digitale Kartographische Modell (KM50-R)**. Während ersteres in die Berechnung der Hangneigung, Exposition etc. direkt eingeflossen ist,

findet das kartographische Modell überwiegend als topographischer Hintergrund für die Bearbeitung und spätere Veröffentlichung Anwendung. Für die Erstellung der Gefährdungskarten wurden aus dem KM50 lediglich die Bachläufe direkt verwendet.

Indirekt eingeflossen, vor allem als Hilfsmittel bei der Geländearbeit, sind die digitalen Orthophotos. Sie dienten außerdem der Erstellung der Ebene „Elements at risk“, für die sämtliche Gebäude von den Photos abdigitalisiert wurden.

Vom Amt für Wildbach und Lawinenverbauung wurden dem Projekt die digitalen Gefahrenzonenpläne zur Verfügung gestellt, wobei diese nur als Vergleichsmaterial Anwendung fanden.

Zwei weitere digitale Datensätze lagen bei Beginn der Arbeit bereits an der AGK vor: Es handelt sich um die beiden Diplomarbeiten von KIENZLE (1998) und FERNANDEZ-STEEGER (1998), welche im Nordosten des Molassegebietes durchgeführt wurden.

2.5.2 „Hardcopy“ Datensätze

Da erst in den letzten Jahren eine zunehmend digitale Arbeitsweise im Bereich der geologischen Kartierung Einzug gehalten hat, sind die meisten Arbeiten lediglich in gedruckter Form verfügbar, der sogenannten „harcopy“. Im Bereich des Arbeitsgebietes gilt dies für alle geologischen und geotechnischen Bearbeitungen außer denen, die an der AGK erstellt wurden.

Als Grundlage für die Revisionskartierung dienten eine Reihe geologischer Kartierungen: MUHEIM (1934), KALLIES (1961), ZACHER (1972), FESSLER et al. (1992) und OBERHAUSER (1994, 1998), welche lediglich in Papierform vorlagen. Weiterhin lieferten die analogen „Geotechnischen und Gefahrenkarten des hinteren Bregenzerwaldes“ von SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1987) eine Fülle von Kartenmaterial und Detailinformationen.

Wenn solches Kartenmaterial direkt in die Arbeit einfließen soll, muss es erst in eine digitale Form gebracht werden, die von der verwendeten Software verarbeitet werden kann (Abb. 6). ArcInfo™ kann gerasterte, georeferenzierte Graphikdateien verarbeiten. Der erste Schritt, der zur Erstellung eines solchen Rasters unternommen werden muss, ist das Einscannen der Papiervorlage.

Den zweiten Arbeitsschritt stellt die „Registrierung“ dar, bei der die elektronische Abbildung der Karte mit Koordinaten versehen wird. Hierbei können oft erhebliche Schwierigkeiten auftreten, die in der Praxis zu re-

lativen Lageverschiebung und somit zu einer Missinterpretation der Ergebnisse führen.

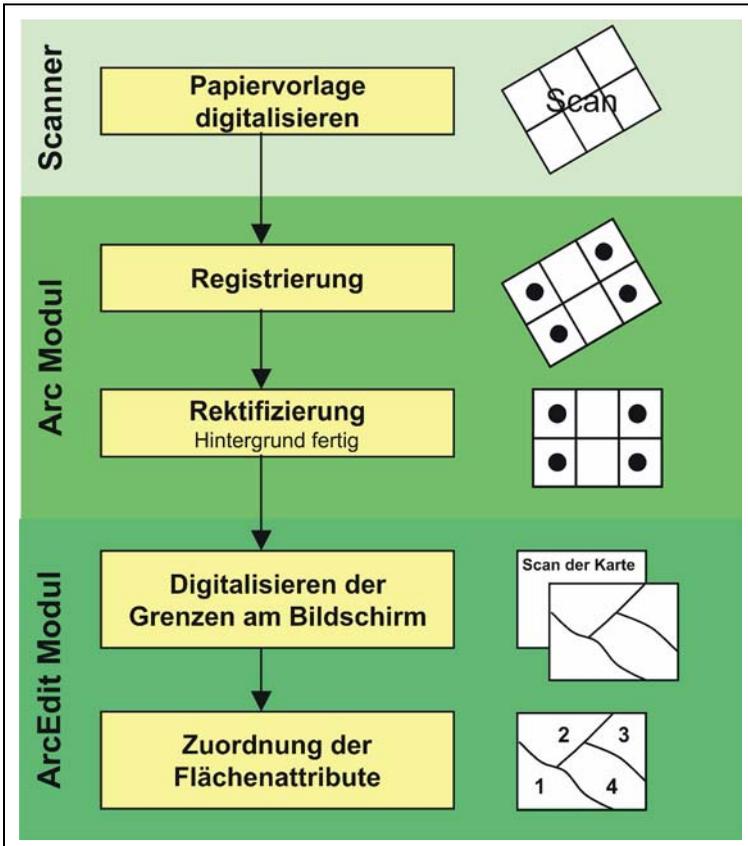


Abb. 6: Arbeitsschritte zur Erstellung von digitalen Datensätzen aus gedruckten Kartenwerken

Der kartierende Geologe verwendet in der Regel die topographische Grundlage, welche die Geländegegebenheiten am exaktesten wiedergibt. Die Verfügbarkeit von Kartenmaterial ändert sich in der Bearbeitungsgeschichte eines Gebietes jedoch je nach politischen und sozialen Gegebenheiten. Für das Projektgebiet waren lediglich die geomorphologische Arbeit von SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1987) und die geologischen Karten von OBERHAUSER (1994,1998) auf Basis

des auch heute noch verfügbaren Kartenmaterials des BEV erstellt worden, was die Wahl der Referenzpunkte leicht machte. Der Karte von KALLIES (1961) hingegen diente sogar eine eigens gezeichnete topographische Karte als Hintergrund, welche lediglich mit einer einzigen geographischen Koordinate versehen ist. Die Registrierung der Karte von KALLIES (1961) gestaltete sich deshalb etwas schwieriger. Die Position von Berggipfeln, Bachzusammenflüssen und Kirchen musste aus der aktuellen digitalen Karte ausgelesen und am Rechner auf den Scan der alten Karte übertragen werden. Da der Scan anschließend unter Verwendung von ArcInfo™ entzerrt („rektifiziert“) wird, wobei die eingegebenen Koordinaten als Grundlage dienen, führt die Verwendung von möglichst vielen Referenzpunkten zu einer gesteigerten Genauigkeit. Sobald dieser Arbeitsschritt abgeschlossen war stand das Kartenmaterial als Graphikdatei zur Verfügung, welche bei der Bildschirmarbeit mit ArcInfo™ in den Hintergrund gelegt werden kann. Um einen direkten Vergleich der Karten untereinander am Rechner zu ermöglichen, wurden die Karten durch manuelle oder automatische Vektorisierung in verschiedenen Informationsebenen aufgetrennt und in die typischen Elemente von GIS-Daten (Punkte, Linien und Polygone) umgewandelt. Die Vektorisierung macht häufig subjektive Entscheidungen erforderlich. Da die Erstellung von Faktorebenen klare Entscheidungen abverlangt, sind unsichere gestrichelte Grenzen, „fließende“ Übergänge, unvollständig abgegrenzte Flächen und Fragezeichen an Grenzen und in Flächen, obwohl mit einem GIS darstellbar, nicht sinnvoll für die gewünschte Anwendung. Werden die Daten später für Analysen verwendet, gehen solche Unsicherheiten in den neuen Ergebnissen auf. Das Kartenmaterial aus der Arbeit von SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1987) besteht schon in der gedruckten Form aus mehreren Informationsebenen auf Transparentpapier. Nach einer geringfügigen manuellen Bearbeitung war es möglich, zumindest die schwarzweiß gehaltenen lithologischen und geotechnischen Karten teilweise automatisch zu vektorisieren. Dies gilt jedoch nicht für die dieser Arbeit zugrundeliegenden, extrem detaillierten morphologischen Karten. Die Textbände, welche die einzelnen Kartierungen erläutern, enthalten außerdem eine Fülle von Informationen zu den einzelnen stratigraphischen Einheiten (z.B. geotechnische Daten und lithologische Eigenschaften). Teilweise wurden diese Informationen zu Projektbeginn in einer Access™-Datenbank gesammelt, um bei der Revisionskartierung ein vollständigeres Bild der verschiedenen Lithologien zu haben.

2.5.3 Eigene Datensätze

Die Grundlage für die eigenen Datensätze wurden bei der Geländearbeit erhoben. Im Anschluß an die geologische und geotechnische Kartierung mußten die Informationen in das GIS übertragen werden. Die geometrischen Formen wurden als Punkte (Streich- und Fallwerte), Linien (Schichtgrenzen, Störungen) und Polygone (stratigraphische Einheiten) vor dem topographischen Hintergrund des KM50 am Bildschirm mit der Maus digitalisiert. Da die Datensätze der verschiedenen Bearbeiter letztendlich zu einem einzigen zusammengefügt werden und ArcInfo™ nur identisch strukturierte Datensätze vollständig kombinieren kann, muss vor allem auf eine standardisierte Zuordnung der einzelnen Elemente bei diesem Schritt geachtet werden. Dabei muss auf zwei Dinge Rücksicht genommen werden: Erstens müssen die „Attribut-Tabellen“ gleich aufgebaut sein, was bedeutet, Anzahl der Spalten sowie deren Breite und Benennung müssen identisch sein. Zweiten muss darauf geachtet werden, dass für die einzelnen Elemente ein abgestimmter Zuordnungscode verwendet wird. Bei der Digitalisierung geologischer und geotechnischer Daten sind dabei vor allem die Zuordnung der Stratigraphie und der einzelnen Lineare wichtig. So wurden für das Projekt zwei Referenztabellen erzeugt, in denen diese Zuordnung festgeschrieben wurde. Die Referenztable für die Stratigraphie befindet sich im Anhang.

Für den Ausdruck musste außerdem festgelegt werden, welche Farbe eine Fläche oder Signatur eine Linie später haben soll. Unter ArcInfo™ werden Liniensignaturen und Flächensignaturen in Form von sogenannten „Shadesets“ und „Linesets“ festgelegt, in denen die Zuordnungseinheit und die jeweilige graphische Darstellung gespeichert werden.

3 BESCHREIBUNG DES ARBEITSGEBIETES

Das Tal der Bregenzerach ist vergleichsweise dicht besiedelt, wodurch siedlungsgeographische, verkehrstechnische und touristische Interessen von Land und Gemeinden vorliegen, so dass eine frühe Bearbeitung schon in der Planungsphase des Gesamtprojektes beschlossen wurde.

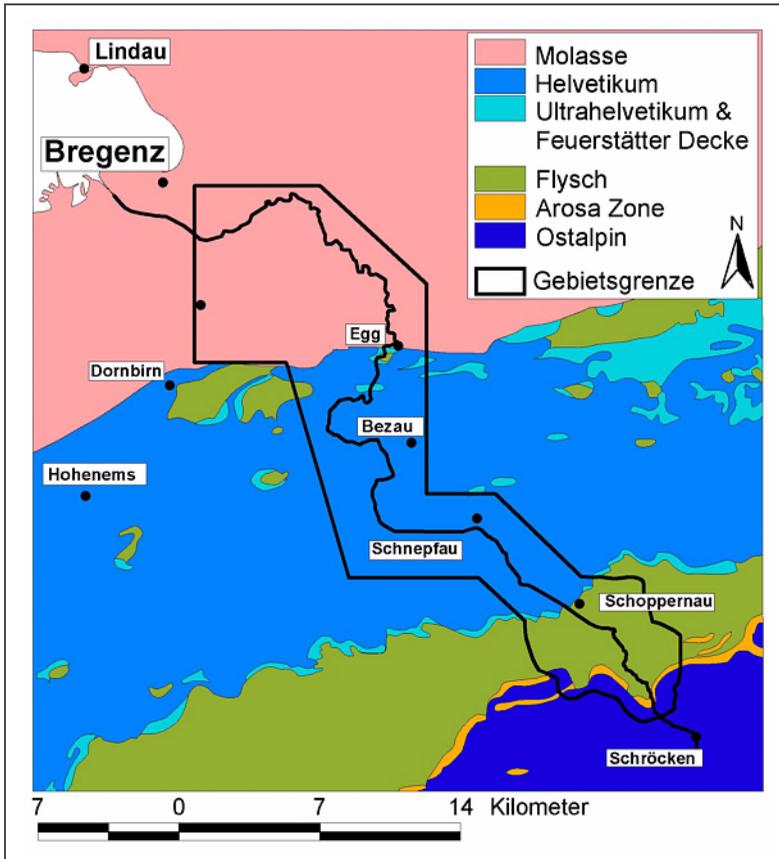


Abb. 7: Tektonische Einheiten im Bregenzerwald (nach OBERHAUSER, 1998).

Da es sich um ein Pilotprojekt handelte, war außerdem die Tatsache, dass der bearbeitete Abschnitt des Bregenzerwaldes von drei großen tektonischen Einheiten (Penninikum, Helvetikum und Molasse) aufgebaut wird, günstig. Das einsetzende Ostalpin am Übergang zum Hochtannberg bildet den südlichen Gebietsabschluss. Die Gesamtfläche des Gebietes beträgt ca. 222 km², wovon 95 km² auf die Molasse, 89 km² auf das Helvetikum und 38 km² auf den Flysch entfallen. Die starke Differenzierung der Lithologien und der damit verbundenen Landschaftstypen führt zu verschiedenen Massenbewegungen, die die Anwendung unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren bei der Erstellung der Gefährdungskarten forderten. Während die Landschaft der im Norden gelegenen Molasse eher den Charakter von Mittelgebirgen aufweist, ist das Helvetikum durch steile Felswände aus mächtigen Kalkgesteinen geprägt. Im Bereich des Flysch hingegen treten die Felswände zugunsten steiler, häufig rutschunggefährdeter Hänge zurück.

Die Gesteine der drei Decken unterscheiden sich grundlegend, sowohl im Alter (Abb. 8) als auch in der Ausbildung. Bei den Gesteinen der Molasse handelt es sich überwiegend um klastische Ablagerungen verschiedenster Fraktionen, von wenig kompetenten Tonmergeln bis zu mächtigen Konglomeratbänken (Nagelfluh). Bei den Kreide- und Jura-gesteinen des Helvetikums hingegen dominieren dickbankige Kalke in Wechsellagerung mit Mergeln unterschiedlicher Mächtigkeit. Der

Alter		Arosa-zone	Rheno-danubischer Flysch	Feuerstätter Decke	Helvetikum	Ultra-helvetikum	Subalpine Molasse	Abgeschürfte Molasse
Tertiär	Pliozän							
	Miozän							
	Oligozän							
	Eozän							
	Paläozän							
Kreide	Obere							
	Untere							
Jura	Malm							

Abb. 8: Zeitlich Einordnung der beschriebenen geologischen Einheiten (Zusammengestellt aus den Tab. 4, 6 und 7)

Flysch besteht aus vergleichsweise monotonen zyklischen Ton-, Mergel- und Sandstein-Wechselfolgen, welche im Zuge der Alpenbildung starken tektonischen Einflüssen ausgesetzt waren.

Der Hauptdolomit tritt im Arbeitsgebiet nur als südlicher Gebietsabschluß auf. Seine schroffen, vegetationsarmen Felswände treten hinter Hopfreben auffällig hervor und leiten den Übergang in den hochalpinen Bereich ein. Vor allem die breiten Schuttfächer, welche sich aufgrund einer intensiven tektonischen Zerlegung unterhalb der Felswände bilden, prägen die Landschaft. Mit Massenbewegungen und Geotechnik im Bereich des Kalkalpins befasst sich der zweite Teil des Projektes „Georisikokarte Vorarlberg-Hochtannberg/Arlberg-Gebiet“, welcher im Spätsommer 2001 angelaufen ist.

Ein weiterer Faktor für die Gebietswahl war die vergleichsweise gute Dokumentation durch bereits vorliegende geologische Karten, Literatur und hausinterne Arbeiten, wodurch lediglich eine geologische Revisionskartierung durchgeführt werden musste.

Die Vegetation des Gebietes entspricht dem jeweiligen Gebirgscharakter: Während im Bereich der Molasse und des Helvetikums noch Laubbäume vorkommen, dominieren im Flysch Nadelwälder. Teile des Gebietes liegen bereits oberhalb der Baumgrenze, der höchste Punkt ist der Gipfel der nördlichen Künzelspitze mit 2156 mSh. Der niedrigste Punkt des Gebietes befindet sich mit 414 mSh im Bachbett der Bregenzerach bei Kennelbach.

Die Ebenen und flacheren Hänge sind überwiegend durch Viehwirtschaft genutzt, wobei auch höher gelegene Bereiche durch eine intensive Almwirtschaft geprägt sind. Ackerbau wird, aufgrund der geographischen Verhältnisse, nicht im großen Umfang betrieben. Weite Teile des Gebietes sind durch Forstwirtschaft geprägt.

3.1 Geologischer Bearbeitungsstand

Da für das Arbeitsgebiet zu Projektbeginn keine flächendeckende, allgemein zugängliche, geologische Karte zur Verfügung stand, war es nötig eine solche zu erstellen. Dazu wurde zuerst das bereits veröffentlichte Kartenmaterial aufgearbeitet und das Gebiet im Rahmen von drei Diplomarbeiten z.T. neu kartiert. In Tab. 2 werden alle zu Projektbeginn veröffentlichten Karten aufgeführt.

Tab. 2: Zum Projektbeginn (Anfang 1999) veröffentlichte geologische und geomorphologische Karten des Projektgebietes.

Autor	Jahr	Titel	Maßstab
MUHEIM, F.	1934	Die Subalpine Molasse im östlichen Vorarlberg	1 : 25 000
KALLIES, H.-B.	1961	Geologie des Bregenzer Waldes beiderseits der Bregenzerach in der Umgebung von Schoppernaut	1 : 25 000
ZACHER, W.	1972	Geologische Karte von Bayern, Blatt 670 Obersdorf	1 : 100 000
SEIJMONSBERGEN, A.C. & VAN WESTEN, C.J.	1987	Geomorphical-, Geotechnical- and Natural Hazard Maps of the Hintere Bregenzerwald Area	1 : 10 000
FESSLER, U. et al.	1992	Die vorquartäre Geologie im Andelsbucher Becken (Vorarlberg)	ca.1 : 37 000
OBERHAUSER, R.	1994	Geologische Karte der Republik Österreich, Blatt 110 St. Gallen Nord und 111 Dornbirn Nord	1 : 25 000
OBERHAUSER, R.	1998	Geologisch-tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg	1 : 200 000

Wenn man die flächenhafte Abdeckung des Gebietes durch die einzelnen Autoren betrachtet (Abb. 9), könnte man zu der Auffassung kommen, das Gebiet sei vollständig kartiert und eine flächendeckende Karte somit leicht zu erstellen. Leider decken sich die stratigraphischen Einteilungen der einzelnen Autoren, vor allem in den Randbereichen, nicht immer. Eine Revisionskartierung des bislang nur in wenigen Teilen detailliert kartierten Gebietes wurde somit unumgänglich. Um die

bereits vorhandenen Kartierungen trotzdem so weit wie möglich verwenden zu können, wurden alle Arbeiten für den Bereich des Arbeitsgebietes digitalisiert. Ausgedruckt auf einer gemeinsamen topographischen Grundlage wurden sie somit auch im Gelände direkt vergleichbar.

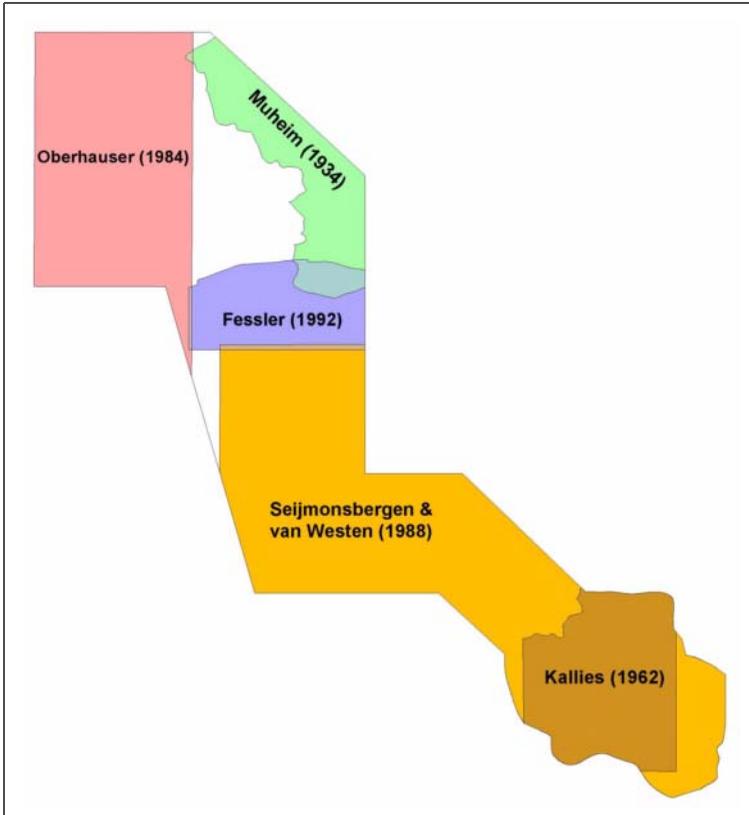


Abb. 9: Flächenhafte Abdeckung der einzelnen geologischen und geomorphologischen Karten aus Tab. 3. Nicht aufgeführt sind die großmaßstäblichen Karten von OBERHAUSER (1998) und ZACHER (1972).

Außer den oben genannten geologischen Karten und der geomorphologischen Arbeit von SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1988) lagen bei Projektbeginn einige Detailbearbeitungen in Form von Diplomarbeiten

3.1 Geologischer Bearbeitungsstand

vor, welche bei der Revisionskartierung und der geotechnischen Bearbeitung sehr hilfreich waren. In Tab. 3 sind diese Arbeiten und die im Jahre 2000 und 2001 im Rahmen des Projektes durchgeführten Di-

Tab. 3: Diplomarbeiten innerhalb des Gebietes, welche am Lehrstuhl für Angewandte Geologie (AGK) erstellt wurden.

Autor	Jahr	Titel
FERNANDEZ-STEEGER, T.	1998	Geologische Kartierung in Bregenz und Umgebung (West). TI. 1
FERNANDEZ-STEEGER, T.	1998	Bericht zur geologischen Kartierung an der Weissach bei Doren (Vorarlberg, Österreich).TI. 2
KIENZLE, A.	1998	Geologische Kartierung an der Bregenzerach im Bereich der Weissach- und Rotach-Mündung. TI. 1
KIENZLE, A.	1998	Geologische und geotechnische Kartierung in Bregenz und Umgebung (östliches Stadtgebiet und Pfänder). TI. 2
NEUKUM, C.	2001	Tektonik und Karstentwässerung im Gebirgsmassiv der Winterstaude (Marktgemeinde Bezau, Vorarlberg, Österreich).
WERZ, H.	2001	Kartierung der Geologie, Hydrogeologie und Vulnerabilität im alpinen Karst als Grundlage eines Konzeptes zum Trinkwasserschutz für die Gemeinde Bezau (Brgenzerwald, Österreich).
Im Rahmen des Projektes erstellt:		
LEIBING, M.	2000	Geologische Kartierung beiderseits der Bregenzerach (Bregenzerwald) im Helvetikum Vorarlbergs. TI. 1
LEIBING, M.	2000	Geotechnische Kartierung beiderseits der Bregenzerach (Bregenzerwald) im Helvetikum Vorarlbergs. TI. 2
RUFF, M.	2000	Geologische und geotechnische Kartierung in der südlichen Vorarlberger Flyschzone (Bregenzer Ach/Schopernau).
GAST, O.	2001	Geologische und geotechnische Kartierung in der Molassezone im Bereich von Alberschwende (Vorderer Bregenzerwald/Vorarlberg).

plomkartierungen (LEIBING, 2000, RUFF, 2000, GAST, 2001) aufgeführt. Die im Rahmen des Projektes erstellten Diplomarbeiten wurden zur Revisionskartierung der vorliegenden Kartierungen angesetzt. Ziel dieser Arbeiten war eine geologische und geotechnische Aufarbeitung des vorhandenen Geoinventars. Außer den drei im Rahmen des Projektes durchgeführten Diplomarbeiten wurde im selben Zeitraum zwei weitere Arbeiten in Hinblick auf die Vulnerabilität der Trinkwasserversorgung im Projektgebiet durchgeführt, welche ebenfalls Verwendung fanden. Abb. 10 zeigt die Lage der geologischen Kartierungen, die im Rahmen der Diplomarbeiten erstellt wurden.

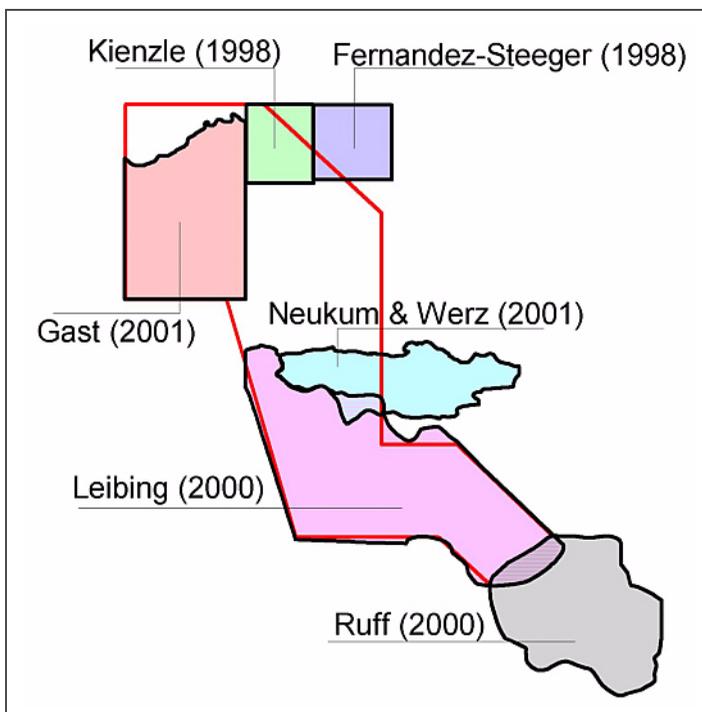


Abb. 10: Lage der Diplomkartierungen des Lehrstuhls.

Neben der Revisionskartierung hinsichtlich der Geologie lag der Schwerpunkt auf der geotechnischen Kartierung, welche das Ziel verfolgte Bereiche ähnlicher Lithologie und Lagerung abzugrenzen, um sie mit vorhandenen Rutschungen korrelieren zu können.

3.1 Geologischer Bearbeitungsstand

Tritt der Fall ein, dass Einheiten zusammengefasst werden, welche in vorangegangenen Arbeiten getrennt behandelt wurden, wird dies im Text erwähnt um Verwirrung zu vermeiden. Geologische Detailkartierungen bleiben, wie bereits erwähnt, für die Planung einzelner Bauwerke unerlässlich.

3.2 Schichtenfolge

3.2.1 Penninikum

3.2.1.1 Arosa-Zone (Dogger - unteres Turon)

Nach RICHTER (1984) handelt es sich bei der Arosa-Zone um einen Melangekomplex aus ophiolithischen Gesteinen des südpenninischen Ozeanbodens (Ophiolithaufschluß in der Bregenzerach) inklusive der daraufliegenden Sedimentgesteine sowie Sedimenten vom Schwellenbereich, deren Fazies neben typischen penninischen Merkmalen bereits viele ostalpine Züge aufweist. Die Sedimentgesteine wurden im

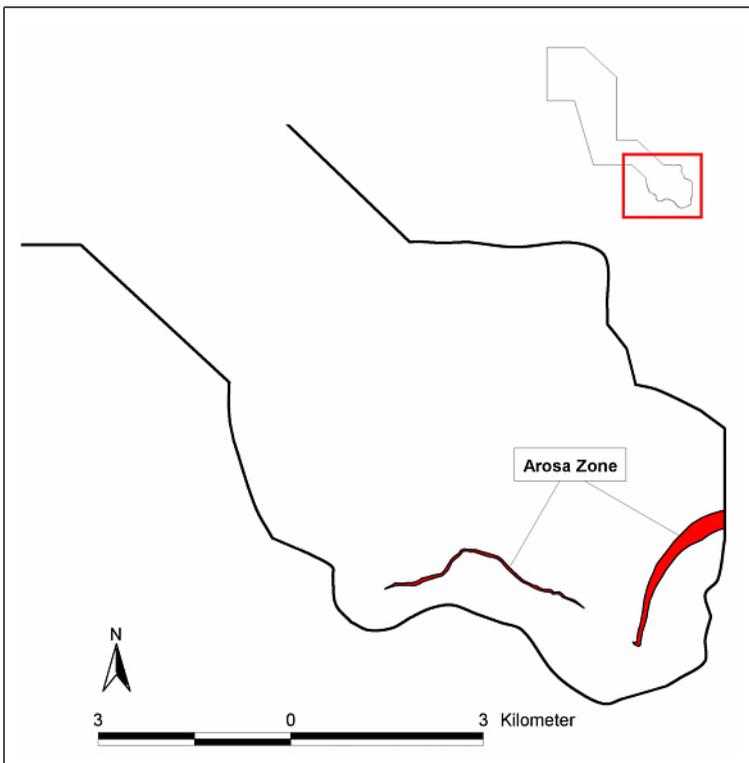


Abb. 11: Gesteine der Arosa-Zone im Arbeitsgebiet.

3.2 Schichtenfolge

mittleren Jura (Dogger) bis zur Oberen Kreide (Turon) abgelagert, die Schwellensedimente können noch älter sein.

Die tektonisch stark reduzierte Melange enthält rote und grüne Mergel, Aptychenkalke, Quarzite und Kalksteine in einer Matrix aus schwarz-grauen Tonmergeln. Meist wird die Arosa-Zone von Schuttmaterial des Hauptdolomits überdeckt. Nach RUFF (2000) ist sie im Arbeitsgebiet nur im Bachanschnitt östlich von Bad-Hopfreben und am Üntschenpass zugänglich. Im Osten des Gebietes ist sie dabei max. 100 m mächtig. Westlich der Bregenzerach ist die Arosa-Zone im Arbeitsgebiet nur noch durch Lesesteine nachweisbar oder keilt vollständig aus (Abb. 11).

3.2.1.2 Rhenodanubischer Flysch

Im Arbeitsgebiet treten sowohl im Süden, in der Umgebung von Schopernau (südliche Vorarlberger Flyschzone) als auch im nördlichen Bereich, in der Umgebung von Andelsbuch (nördliche Vorarlberger Flyschzone), Flyschgesteine auf (Abb. 12). Alle Flysch-Serien der sog. „Üntschen-Fazies“ sind im Süden des Arbeitsgebietes ohne Unterbrechung erhalten, die Ablagerungen im Norden des Gebietes beschränkt sich auf einige isolierte Vorkommen von Reiselsberger Sandstein.

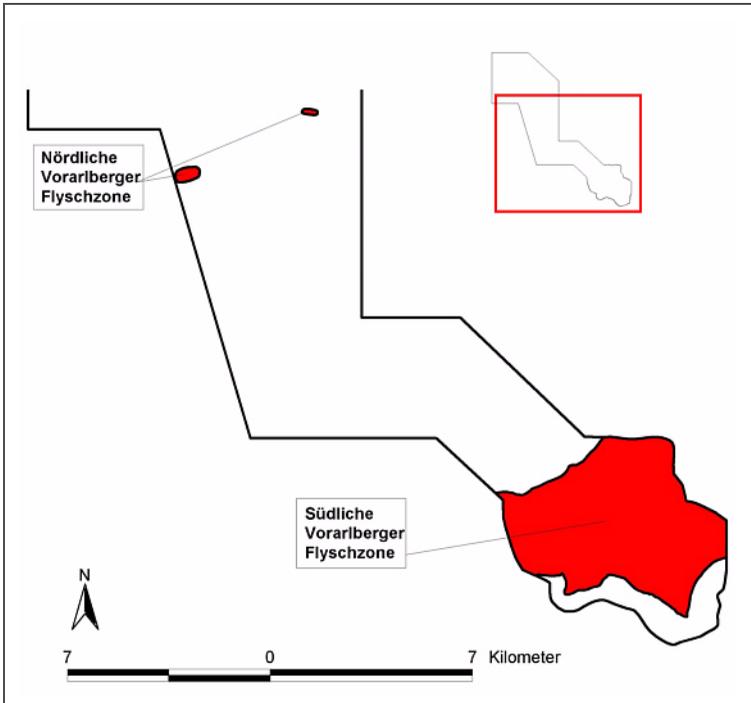


Abb. 12: Gesteine des Rhenodanubischen Flysch im Arbeitsgebiet.

Nach FÜCHTBAUER (1988) versteht man unter dem Begriff „Flysch“ syn-orogene submarine Turbidit-Ablagerungen in rasch absinkenden Tiefsee-Trögen (im Falle des Vorarlberger Flysch der Rhenodanubische Trog), die meist als rhythmische Pelit-Psammit-Wechselfolgen ausgebildet sind und vorherrschend in einer Tiefe von 200 m bis wenige Kilometer abgelagert werden. Die einzelnen Zyklen weisen eine Gradierung der Korngrößen auf, an der Basis treten Kolkungsmarken auf. Die zyklische Sedimentation beruht auf einzelnen Hebungsphasen. Außer den am Top der Zyklen auftretenden Ichnofossilien sind solche Gesteine aufgrund ihres Transportes i. d. R. fossilarm. Untersuchungen der Kolkungsmarken haben ergeben, dass die vorherrschende Strömungsrichtung der Turbidite parallel zu der etwa Ost-West gerichteten Trogachse war (von RAD, 1972). Teilweise treten in den Flysch-Gesteinen synsedimentäre Gleitfallen auf.

3.2 Schichtenfolge

Tab. 4: Stratigraphie der Feuerstätter Zone und des Rhenodanubischen Flysch (nach SCHNABEL 1980, OBERHAUSER 1980, D.RICHTER 1980, FESSLER et al. 1992, RUFF 2000)

Geologische Einheit		Feuerstätter Zone	Rhenodanubischer Flysch		
Tektonische Einheit		Feuerstätter Decke	Üntschene Decke	Sigiswanger Einheit	Obersdorfer Einheit
Zeit					
Tertiär	Eozän	Junghansen-Schichten Rote Gschlief Schichten	„Bolgen-Konglomerat“	Jüngeres erodiert oder abgeschert?	
	Paläozän	Feuerstätter Sandstein?		Fanola Serie	Bleicherhom Serie
Oberkreide	Maastricht	Hömlein Schichten?	Plankner Brücke Serie	Hälritzer Serie	Zementmergel
	Campan	Basis abgeschert	Piesenkopf Serie		
	Santon		Rieselberger Sandstein		Obere Bunte Mergel
	Coniac				
	Turon				
	Cenoman				
	Alb		Öferschwanger Serie	Quarzit Schichten (Flysch-Gault)	Untere Bunte Mergel
Unterkreide	Äpt				
	Barrême				
	Hauterive				
	Valendis				
	Bemas				
					Basis abgeschert

Die ständige Veränderung der Sedimentationsbedingungen führte zu einem häufigen Wechsel der verschiedenartigsten Sedimente. Für die lithologische Gliederung der Sedimentfolge ist die quantitative Beteiligung der einzelnen Gesteinstypen maßgebend. Prinzipiell kann jeder Gesteinstyp in allen Schichten auftreten. Die Änderung des faziellen Charakters im Schichtprofil vollzieht sich meist mit fließenden Übergängen; außerdem werden laterale Faziesänderungen beobachtet (KALLIES, 1962). Diese Tatsache und mögliche tektonische Verdickung der einzelnen Schichtglieder führten schon bei früheren Bearbeitungen zu erheblichen Differenzen der Mächtigkeitsangaben für die einzelnen Schichtglieder (Tab. 5).

Tab. 5: Variation der Mächtigkeitsangaben für die Schichtglieder des Rhodanubischen Flysch in Meter (RUFF, 2000)

Serie	RUFF 2000 , Westen	RUFF 2000 , Osten	KALLIES 1965	SELJMONSBERGEN 1978	RICHTER 1968	OBERHAUSER 1980	MATTERN 1999
Ofterschwanger Serie	200	200	Bis 400	Bis 400	300	200	100-200
Reiselsberger Sandstein	850	850	1000	600	500	600	100-250
Piesenkopf Serie	650	650		350	300	500	300
Untere Plankner-Brücke Serie	50	50	300	350	1000	550	300
Obere Plankner-Brücke Serie	500	1100					
Untere Fanola Serie	1000	1200	600-800	600-800	1500	500-700	600
Obere Fanola Serie	300	600	100-300	100-300			

Ofterschwanger Serie (Cenoman, evtl. schon oberes Alb)

Hellgraue, grob gebankte Mergel mit Mächtigkeiten von mehreren Metern und hell bis dunkelgraue, feinkörnige, schwach sandige, cm-dm gebankte Kalksteine. Selten kommen auch maximal 1 m mächtige Einschaltungen von schwachsandigen, cm-gebankten, dunklen Tonschiefern vor. Die Mergel weisen einen hohen Tonanteil auf und werden leicht erodiert. Der durchschnittliche Sandgehalt der Einheit nimmt zum Hangenden zu.

Die max. 200 m Mächtige Einheit erreicht im Arbeitsgebiet nach RUFF (2000) ca. 80 m. Durch ihre Funktion als Abscherhorizont und die damit verbundene tektonische Reduzierung kommt es jedoch zu Mächtigkeitsschwankungen.

Reiselsberger Sandstein (oberes Cenoman - unteres Turon)

Die typische Landschaftform des Reiselsberger Sandsteines sind nach KALLIES (1965) bewaldete, flach gerundete Bergrücken und große, von Schutt und Blockwerk bedeckte Flächen. Im Arbeitsgebiet bilden die kompetenten Sandsteine Härtlinge. Wo steile Wände auftreten macht die ausgeprägte Klüftung den Reiselsberger Sandstein zu einer Quelle für Steinschlagmaterial.

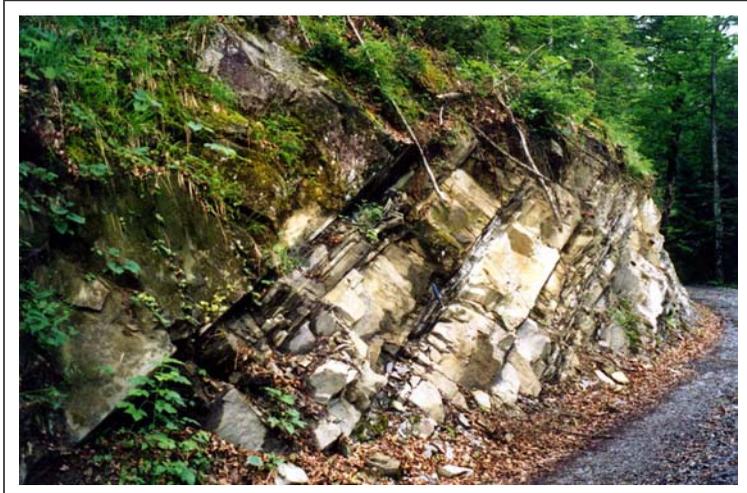


Abb. 13: Typische Ausbildung des Reiselsberger Sandsteins. Der Aufschluss liegt am Forstweg von der Gräsalp zur Tobelalpe (Photo M. Ruff).

Lithologisch handelt es sich um eine Wechselfolge von braunen bis grauen, sehr grob gebankten, glimmerreichen Sandsteinen (Grauwacken) und Konglomeraten, dunkelgraue bis grüngraue, bis wenige cm gebankte Mergel und dunkelgrauen, leicht geschieferten Tonsteinen, die nur wenige cm mächtig sind (Abb. 13). Deutlich tritt im Reiselsberger Sandstein der typische nach oben gradierte Sedimentationszyklus Sandstein-Mergel-Tonstein auf. Typisch für den Reiselsberger Sandstein ist seine rot-bräunliche Verwitterungsfarbe.

Teilweise treten Einschaltungen von Gesteinen auf, welche lithologisch der Piesenkopf Serie entsprechen. Diese liegen anfangs im m-Bereich, werden nach oben jedoch mächtiger.

Piesenkopf Serie (Wende zum Coniac)

Die Piesenkopf Serie ist sehr verwitterungsanfällig. Das Ergebnis sind häufige Tobel und Massenbewegungen wie Blockrutschungen und Muren. Aufgeschlossen ist die Serie hauptsächlich in den Bachanschnitten des Dürrenbachs und des Schrecksbaches.

Die auffällig regelmäßig im cm-Maßstab gebankte Wechselfolge aus dunkelgrauen, tonigen bzw. leicht sandigen feinkörnigen, splittigen, Kalksteinen und dunkelgrauen schiefrigen Tonsteinen kann auch kalkige, glimmerhaltige, dunkelgraue Feinsandsteine enthalten. Typisch für die Piesenkopf Serie ist eine fast weiße Verwitterungsfarbe. Der starke Kompetenzkontrast von Kalken und Tonen führte bei der Deckenbildung zu einer ausgeprägten Faltenantiklinalen für die isoklinale, nordvergente Knickfalten im m-Bereich typisch sind.

Plankner-Brücke Serie (Campan und Maastrich)

Nach KALLIES (1965) kann die Plankner-Brücke Serie in einen unteren und einen oberen Bereich unterteilt werden. Da es sich um eine lithologische Aufteilung handelt, welche im Gelände nachvollziehbar ist, wurde sie von RUFF (2000) im Rahmen der Revisionskartierung beibehalten.

Die **Untere Plankner-Brücke Serie** besteht aus cm-gebankten, dunkelgrauen, glimmerreichen, kalkigen Feinsandsteinen in Wechsellagerung mit stark geschiefertem, grob gebanktem, hellgrauen Mergeln. Vereinzelt treten cm mächtige Einschaltungen von dunklen Tonschiefern auf. Die gesamte Abfolge ist nur 50 m mächtig und meist von Verwitterungsmaterial überdeckt.

Die **Obere Plankner-Brücke Serie** ist sehr kompetent und tritt als Stufenbildner hervor: sie bildet den Gipfel der Üntschespitze und den Härtling, auf dem die Armeseelenkapelle steht. Lithologisch handelt es sich um einen rhythmischen Wechsel von glimmerreichen Sandkalken mit schwankendem Sand-Kalk-Verhältnis, hellgrauen Mergeln, hell- bis dunkelgrauen feinkörnigen Kalksteinen und mehreren cm mächtigen Lagen dunklen Tonschiefers. Die Mächtigkeit der oft schrägeschichteten Sandkalkbänke schwankt im dm-Bereich, Bänke von 1-2 m können auftreten. In der höheren Planknerbrücke-Serie treten im zunehmenden Maße dünne Lagen schwärzlicher Tonschiefer auf. In den Mergeln und Tonen der Plankner-Brücke Serie sind Ichnofossilien häufig, „Graded Bedding“ ist für die gesamte Serie typisch. Die vermutlich tektonisch verdickte maximale Mächtigkeit beträgt im Osten des Arbeitsgebietes nach RUFF (2000) 1100 m.

Fanola Serie (oberes Maastrich)

Die Fanola-Serie stellt die jüngsten, im Arbeitsgebiet erhaltenen Ablagerungen der Ütschenfazies. Nach KALLIES (1965) reißt mit ihr die Sedimentation im Flyschtrog ab. Zum Hangenden wird die tektonische Belastung immer stärker, so dass eine genaue Abgrenzung zur Arosa-Zone nicht immer möglich ist. Nach RUFF (2000) weist die Serie eine noch ausgeprägtere lithologische Zweiteilung als die hangende Plankner Brücke Serie auf.

Für die **Untere Fanola-Serie** beschreibt er eine sehr wechselhafte Lithologie von dünngebankten, glimmerhaltigen, dunkelgrauen Sandsteinen, geschieferten hellgrauen Mergeln, dunklen Tonschiefern. Des weiteren treten dick gebankte, hellgraue, feinkörnige Kalksteine und kalkige Sandsteine und dunkelgraue, kalkige Feinbrekzien oder Grobsandsteine mit großen Kalzitklasten auf. Die Bankmächtigkeit schwankt im cm- bis m-Bereich. Die geschieferten Mergel und die Sandsteine, deren Bankmächtigkeit nach KALLIES (1965) bis zu 10 m anschwellen kann, dominieren in der unteren Serie.

In der **Oberen Fanola-Serie** treten, im Gegensatz zur Unteren Fanola-Serie, Tonsteine stärker hervor, wobei die Bankung deutlich feiner wird. Auch der obere Teil der Serie weist eine sehr wechselhafte Lithologie auf: Dunkelgraue, feingeschichtete Quarzite, dunkelgraue, leicht tonige oder sandige Kalksteine und hellgraue, geschieferte Mergel und dunkle, teilweise mehrere m mächtige Tonschiefer. Die Bankung der Kalke liegt im dm- bis m-Bereich, die der Mergel und Tonsteine meist im cm-Bereich.

3.2.1.3 Feuerstätter Zone (Oberkreide und Paläozän)

Unter der Bezeichnung Feuerstätter Zone werden in dieser Arbeit nach FESSLER et al. (1992) die Gesteine der Feuerstätter Decke zusammengefasst. Die teilweise mit Gesteinen des Ultrahelvetikum (Kapitel 3.2.2.2) verschuppten Gesteine der Feuerstätter Zone stehen im Arbeitsgebiet sowohl südlich als auch nördlich des Helvetikum an (Abb. 14). Aufgrund der lithologischen Ähnlichkeit ist eine Trennung von Feuerstätter Zone und Ultrahelvetikum nur paläontologisch möglich.

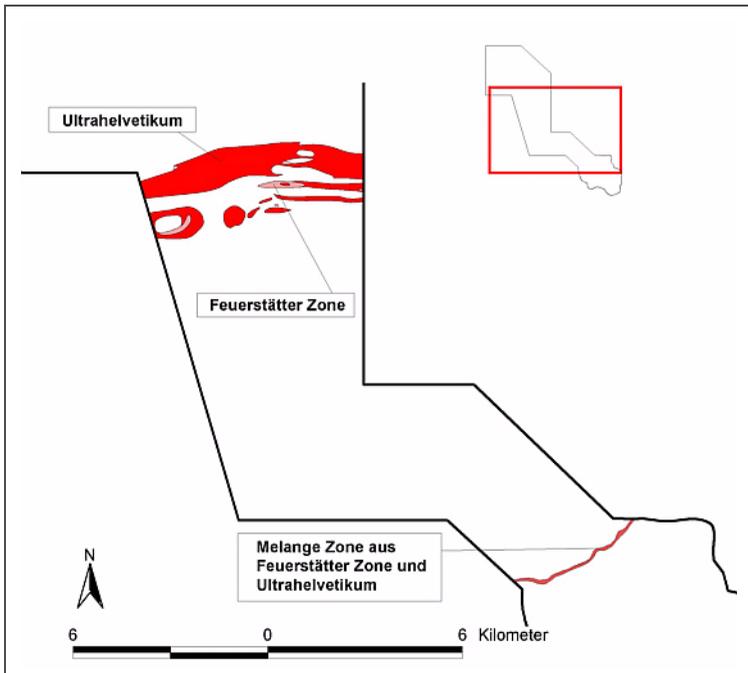


Abb. 14: Gesteine der Feuerstätter Zone und des Ultrahelvetikum im Arbeitsgebiet. In der südlichen Melangezone gelang keine Trennung der beiden Einheiten.

In der Ebene von Andelsbuch beschreiben FESSLER et al. (1992) die dort nur isoliert aufgeschlossenen, mehreren tektonischen Decken zugehörigen Gesteine als „alle erdenkliche Arten von Tonmergel, die in einer braungrauen Farbe auftreten“. Eine Unterscheidung der einzelnen Einheiten gelang FESSLER et al. (1992) nur anhand „mehrerer hun-

3.2 Schichtenfolge

dert“ Mikroproben, welche auf ihren paläontologischen und mineralogischen Gehalt untersucht wurden. Unter Verwendung der Karte von FESSLER et al. (1992) war es möglich im Norden Feuerstätter Zone, Ultrahelvetikum und die helvetischen Amdener Schichten als eigenständige Einheiten auszuhalten.



Abb. 15: Stark tektonisch beeinflusste Melangezone aus Feuerstätter Decke und Ultrahelvetikum am Schrannebach (Photo M. Leibing).

Im Andelsbacher Becken handelt es sich bei den Gesteinen der Feuerstätter Zone überwiegend um kalkfreie bis kalkarme tiefschwarze seltener graue bis rote und grüne Pellite in Verbindung mit stark ausgewalzten, boudinierten Hartbänken (hell- bis dunkelgraue, teils bräunliche Sand- und Siltkalke mit Bankmächtigkeiten im dm-Bereich).

Bereiche dieser Lithologie teilen FESSLER et al. (1992) zur **Junghansen-FM**. Seltener treten relativ harte, leicht sandige, bräunliche Pelite in Wechsellagerung mit mittelgrauen, glaukonitischen, bituminösen, sandigen Kalken auf. Diese werden von den Autoren der **Schelpen-Serie** zugeordnet. Im Süden bei Schoppernau bilden beide Einheiten nach RUFF (2000) eine max. 150 m mächtige Melangezone, in der eine Trennung der einzelnen Decken sich äußerst schwierig gestaltet: In einer Matrix aus schwarzen, stark geschieferten Tonsteinen und Mergeln schwimmen cm-m große Linsen aus sandigen Kalksteinen, glimmerreichen sandigen Mergeln und glimmerreichen Sandsteinen (Abb. 18). Nach OBERHAUSER (1980) wurden die Gesteine der Feuerstätter Zone während der Oberkreide und dem Paläozän in großer Meerestiefe am Rand des Rhenodanubischen Troges abgelagert. Die Melange entstand durch die Überschiebung der hangenden Decken im späten Eozän und frühen Oligozän.

3.2.2 Helvetikum und Ultrahelvetikum

3.2.2.1 Helvetikum

Wenn man der B200 nach Süden folgt und bei Andelsbuch in den Bereich des Helvetikum kommt, fallen unweigerlich die plötzlich auftretenden steilen Schrattekalkwände des Klausberges auf. Teilweise eingerahmt vom Vorarlberger Flysch (nördliche und südliche Zone) beginnt hier der zentrale Teil des Gebietes, welcher von Gesteinen der Vorarlberger Säntis-Decke aufgebaut wird (Abb. 16). Die Vorarlberger Säntis-Decke stellt ein Äquivalent der Säntis-Decke, der Churfürsten-Decke und der Axen-Decke der Ostschweiz (TRÜMPY, 1980) dar. Im Gegensatz zur Ostschweiz kam es in Vorarlberg nicht zu einer völligen Trennung zwischen dem Jura- und dem Kreidestockwerk (WYSSLING, 1985).

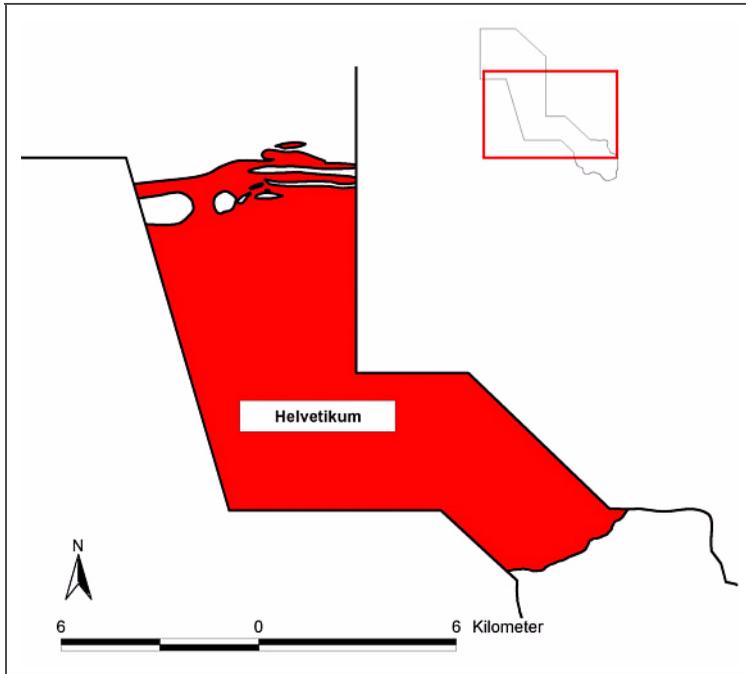


Abb. 16: Gesteine des Helvetikum im Arbeitsgebiet.

Bei den Gesteinen des Helvetikum handelt es sich um jurassische, kre-
tazische und tertiäre Schelfsedimente vom südlichen Kontinentalrand
der Süddeutschen Großscholle. Ausgeprägt sind die Gesteine als eine
Wechselfolge von Kalksteinen, Sandsteinen und Mergeln, wobei so-
wohl die Mächtigkeiten einzelner Schichtglieder als auch die ursprüngli-
che Ablagerungstiefe nach Süden zunehmen. Somit kam es im Norden
eher zu Riffbildungen und, bei relativer Absenkung des Meeresspie-
gels, zu Schichtlücken, während die zunehmende Ablagerungstiefe
nach Süden gleichzeitig zu einer stärkeren Vermergelung der einzelnen
Schichtglieder führte. ZACHER (1973) unterscheidet deswegen vier
Faziesbereiche, die er anhand der Ausbildungsform des Kalkes einteilte:
Nordfazies, Mittlere Fazies, Südfazies und Argenfazies.

Tab. 6: Stratigraphie des Ultrahelvetikums und des Helvetikums (nach ZACHER, 1973, LEIBING 2000)

Mio Jahre	Stratigr. Alter	Ultrahelvetikum	Helvetikum		
			Nord Fazies	Mittlere Fazies	Süd Fazies
65	Ober Eozän	Schelpen Serie	Numulitenkalk		
	Mittel Eozän				
	Unter Eozän				
	Paleozän				
100	Maastrich	Globerinen Schichten/ Schwimmersboden	Wang-Schichten 250 – 300 m		
	Campan	Rudenbach Schichten	Amdener-Schichten		
	Santon	Bregenger Ach Schichten	Seewerkalk 2 - 50 m		
	Coniac				
	Turon	Liebensteiner Kalk	Garschella-Formation max 50 m		
	Cenoman				
140	Alb	Frenschenschichten	Schrattekalk 50 – 150 m Drusberg-Schichten – 400 m Altman-Schichten 0 – 2 m Oerfla-Formation – 200 m Kieselkalk – 100 m Beltiskalk 20 – 5 m Diphyoideskalk 0 – 80 m Palfris-Formation > 300 m		
	Apt				
	Barrême				
	Hauterive				
	Valendis				
	Berrias				
160	Malm		Zementstein-Schichten 60-100 m Quintener Kalk 300-400 m Überschild-Schichten 30-40 m Schiltschichten > 70 m		
	Dogger		ältere Schichten unbekannt		

Schiltschichten (Jura, Oxford)

Wechsellagerung von grauen Mergeln (10-30 cm) und dunkelgrauen dichten Kalken (1-10 cm). Die Schiltschichten verwittern gelblich braun und enthalten im obersten Bereich Hornsteinknollen und -bänder.

Ihre maximale Mächtigkeit im Arbeitsgebiet beträgt 50 m. Die starke

3.2 Schichtenfolge

tektonische Beanspruchung der Kalk- und Mergelschiefer äußert sich in vielen Falten und Kleinfalten.

Quintener Kalk (Jura, Kimmeridge - Tithon)

Dunkelgrauer, leicht bituminöser, deutlich gebankter Kalkmikrit. Der sehr reine Kalkstein ist von vielen Kalzitadern durchzogen, Mergellagen fehlen. Dass es sich um ein fast ausschließlich chemisch gebildetes Sediment handelt, bezeugt der Mangel an Schalendetritus oder anderen fossilen Überresten. Der Übergang aus den Schiltschichten vollzieht sich allmählich, bei der Kartierung wurde eine 2 m mächtige Mergelbank als Grenzkriterium herangezogen. In horizontaler Lage kann Verkarstung auftreten.



Abb. 17: Blick auf die westliche Steilwand der Mittagsfluh. Die Mächtigkeit des Quintner Kalkes wurde hier durch eine Aufschiebung erhöht.

Eine Tiefbohrung für die Kohlenwasserstoffexploration ergab nach COLLINS et al. (1990) bei Au eine Mächtigkeit von 400-500 m für die Formation.

Zementsteinschichten (Jura-Kreide Grenze bis Berrias)

Wechsellagerung von grauen, dichten Kalken bzw. Mergelkalken vom Typus Quintener Kalk und dunkelgrauen zurückweichenden Schiefermergeln, wobei die Mächtigkeit der einzelnen Bänke im dm-Bereich liegt.

Durch tektonische Prozesse wurden Teile der Zementsteinschichten in die Stapelung des Quintener Kalkes mit einbezogen, wobei die Mergelagen dabei als Gleitbahn dienten.

Palfris-Formation (Untere Kreide, Berrias)

Unter dem Begriff Palfris-Formation werden in Vorarlberg die Öhrligmergel und die Valendismergel zusammengefasst. Lithologisch handelt es sich bei den Gesteinen überwiegend um eine monotone, schiefrige, schluffige, graue Mergelabfolge mit einzelnen, nur wenige cm mächtigen, Kalkbänken.

Das Gestein besitzt einen hohen Tongehalt und ist teilweise so weich, dass man es mit den Fingern zerdrücken kann. Die bräunlich verwitternden Mergel bilden plattige oder stengelige Aggregate und werden von Wasser und Eis stark erodiert. Die Mächtigkeit der gesamten Formation beträgt bis zu 300 m.

Aufgrund ihrer lithologischen Eigenschaften ist die Palfris-Formation anfällig für Rutschungen. Tatsächlich treten im Arbeitsgebiet alle großflächigen Rutschungen im Helvetikum in dieser Formation auf.

Oerfla-Formation (Untere Kreide, mittleres Berrias - mittleres Valangin)

Dunkler bis schwarzer Kalkstein, welcher geprägt ist von Ooiden und biogenem Schutt. Die einzelnen Bänke sind 1-2 m mächtig und weisen z.T. eine knollige und unruhige Oberfläche auf. Der hell verwitternde Kalk bildet im Gelände eine mittlere Steilkante.

Am Schwarzenberger Klausberg besitzt die Formation lediglich eine Mächtigkeit von 50 m. Außerhalb des Gebietes im Bereich der Winterstaude erhöht sich die Mächtigkeit jedoch auf 150 m.

Diphyoideskalk (Kreide, oberes Valangin)

Mauerartig gebankter Kalksandstein mit Einschaltungen von dünnen Lagen Schiefermergel. Intensive Bioturbation und ein reicher Fossilieninhalt (Belemniten und Aptychen) sind typisch für den Kalk. Das Gestein ist glaukonit- und pyrithaltig und verwittert mit einer typisch hell- bis mittelbraunen Farbe.

Im Arbeitsgebiet tritt der Diphyoideskalk mit einer maximalen Mächtigkeit von 90 m auf, ist streckenweise aber auch gar nicht nachweisbar (LEIBING, 2000). Die Obergrenze wird durch die einsetzenden kieseligen Sandkalke des Kieselkalkes festgesetzt.

Kieselkalk (Kreide, Hauterive)

In der Mehrheit feinkörnige, karbonatisch gebundene Quarzsandsteine und sandige, z.T. glaukonitführende Kalke. Das Gestein ist gut und regelmäßig gebankt, zwischen den einzelnen Bänken fallen dünne Mergellagen auf. Es treten außerdem Phosphoritlagen und –knollen sowie lagenförmiger Hornstein auf. Grauschwarze Schlieren und eine sandig verwitternde Oberfläche sind typisch für das Gestein. ZACHER (1972) gibt den durchschnittlichen Kalkgehalt mit 40 % an. Der hohe Quarzgehalt stammt aus Quarzkörnchen und Kieselschwammnadeln. Aufgrund ihrer Härte bildet die Formation deutliche Geländekanten und Felswände und stellt für die Bauindustrie einen wichtigen Rohstoff.

Die Mächtigkeit des Kieselkalkes beträgt im Arbeitsgebiet ca. 50 m, südlich der Kanisfluh, außerhalb des Gebietes, erreicht er jedoch bis zu 200 m.

Drusbergschichten (Kreide, Barreme)

Wechselfolge von grauen Kalken und Mergelkalken mit schwarzbraunen Schiefermergeln. Im basalen Teil dominieren dunkelgrau bis schwarz anwitternde schiefrige Mergel, die in unregelmäßigen Abständen durch mergelige cm mächtige Kalkbänke unterbrochen werden. Eingeleitet wird die Wechselfolge durch die Altmann-Schichten, ein 0,8 m mächtiger Kondensationshorizont aus glaukonitischen, fossilreichen Kalken und Mergelkalken. Im mittleren Bereich der Formation beträgt die Mächtigkeit der einzelnen Bänke ca. 20-30 cm. Im Bereich der Formationsgrenze zum überlagernden Schratzenkalk sind zunehmend teilweise mehrere Meter mächtige Kalkbänke eingelagert, so dass die Drusbergschichten kontinuierlich in selbigen übergehen. Aufgrund der bereits oben erwähnten Faziesänderung nehmen die Kalkbänke nach Zahl und Mächtigkeit nach Süden ab.

Die Gesteine wurden unter geringer Durchlüftung abgelagert, so dass sie zwar nur eine wenig diverse Fauna enthalten, Bioturbation jedoch typisch ist.

Schrattenkalk (Kreide, mittleres bis oberes Barreme)

Viele Gipfel im Norden des helvetischen Bereiches werden von Antiklinalstrukturen des Schrattenkalkes aufgebaut (Abb. 18). Die typischen Felsbänder des Schrattenkalkes bestehen aus einem mittel- bis grob-bankigen hellgrau verwitterten Kalkstein bzw. Oolithkalk.

Mineralogisch handelt es sich um einen arenitischen Kalk, der einen CaCO_3 -Gehalt von 80-90 % aufweist. Durch seine erhöhte Verwitterungsresistenz im Vergleich zu umliegenden Gesteinen ist der Schrattenkalk ein Stufenbildner, dessen Steilwände eine stetige Quelle für Steinschläge und Felsstürze sind.

Richtung Süden wird der Schrattenkalk immer mergeliger bis er völlig verschwindet und Drusbergschichten an seine Stelle treten. Er weist somit eine starke Veränderung der Mächtigkeit von 100 m im Norden bis zu 0 m im Süden des helvetischen Bereiches auf.



Abb. 18: Felsbänder des Schrattenkalkes südlich der Kluse am Klausberg.

Garschella Formation (Apt - Alb - Cenoman)

Zwischen den beiden Kalksteinen des Schrattenkalkes und des Seewerkalkes schaltet sich eine auffällige, trennende Formation ein: Spröde brechende Quarzsandsteine, glaukonitreiche Ton-, Mergel- und Kalksteine und kieselig oder kalkig gebundener Quarzsand. Durch den immer vorhandenen Quarzanteil (bis zu 90 %) haben die terrigen beeinflussten Gesteine stets einen sandigen Charakter. Ein vermehrtes Auftreten säureliebender Pflanzen ist ein Zeichen für den geringen Kalkgehalt. Der Glaukonitgehalt (bläuliche oder grünliche Farbe des Gesteins) gab der verwitterungsresistenten Formation auch den Namen „Grünsandstein“.

Die durch ihren hohen Eisengehalt rostrot verwitternde Formation enthält Pflanzenreste, Pyrit und mehrere cm große Phosphoritknollen, teilweise ist sie sehr fossilreich.

Seewerkalk (Kreide, oberes Cenoman - unteres Coniac)

20-30 m mächtiger hellgrauer, sehr feinkörniger gut gebankter Foraminiferenkalk. Zwischen den cm bis dm mächtigen Bänken aus sehr reinem Kalk (nach SEIJMONSBERGEN (1978) bis zu 98 %) treten dünne Mergellagen auf. Die Schichtflächen sind wulstig ausgebildet und oft mit grünlichen Tonhäutchen belegt. Der blättrig bis faserig verwitternde Kalk, welcher im Gelände oft als Härtling ausgebildet ist, neigt bei genügender Mächtigkeit zur Verkarstung.

Der hochreine Kalk ist nach FESSLER et al. (1992) das Produkt einer ruhigen pelagischen Sedimentation.

Amdenerschichten (Kreide, unteres Coniac - oberes Campan)

Der Schichtname, nach der Ostschweizer Ortschaft Amden am Walensee, wurde von HEIM & OBERHOLZER vorgeschlagen. Die Bezeichnung wurde aufgestellt, da sich die darunter zusammengefassten Gesteinstypen aufgrund ihrer lithologischen Ähnlichkeit nicht immer voneinander trennen lassen (FESSLER et al., 1992).

Dieser Gliederung folgend werden in dieser Arbeit Leistenmergel, Leibodenmergel und Bregenzerach-Schichten in den Amdener Schichten zusammengefasst. Flächenmäßig sind von diesen drei Einheiten im Arbeitsgebiet die **Leistenmergel** am weitesten verbreitet. Es handelt sich dabei um eine bis zu 300 m mächtige monotone Serie hell- bis braungrauer kalkreicher Schiefermergel, welche intensiv in den Faltenbau mit einbezogen wurde und vor allem in den Kernen der Antiklinalen zu finden ist. Durch das Zusammenwirken mehrerer Trennflächen (eng-

ständige Schieferung und Kluffflächen mit rostroten Belag), zerfällt das weiche Gestein bei der Verwitterung oft zu stengeligen, im Querschnitt meist rautenförmigen Aggregaten. Vereinzelt sind geringmächtige mergelige Sand- oder Kalksteine eingeschaltet. Das Gestein weist einen deutlichen Feinsandanteil auf. Außerdem treten feine Glimmer und Pyrit auf.

Ihre weiche Beschaffenheit macht die Leistenmergel besonders anfällig für Erosion. Tief eingeschnittene Tobel und Bodenfließen sind typisch, aber auch Einebnungen, deren undurchlässiger Untergrund zu sumpfigen Wiesen und Mooren führt. Typischer Fossilgehalt für die Leistenmergel sind Foraminiferen, welche auf den Schichtflächen herauswittern.

Nach FESSLER et al. (1992) treten Leibodenmergel und Bregenzerach-Schichten im Andelsbucher Becken auf.

Die **Leibodenmergel** treten als Hangendes des Seewerkalkes auf. Es handelt sich um plattige, grüngraue und sandfreie Mergel, die sehr hell verwittern. Bei den **Bregenzerach-Schichten** handelt es sich vermutlich um ein lokales Gestein, welches nur im Bereich der Bregenzerach ansteht. Im Gegensatz zu anderen Gesteinen in der Umgebung von Andelsbuch bilden die sandigen und glimmerhaltigen, rostfleckigen Tonmergel, welche teilweise sandige bituminöse Kalke mit einer Bankmächtigkeit von bis zu 1,5 m enthalten können, schroffe Wände.

Als Sedimentationsraum nehmen FESSLER et al. (1992) ein oxidierendes Millieu in einem offenen Meeresbecken, welches von Norden nach Süden tiefer wurde, an.

Literatur: WAGNER (1950).

Wang-Schichten (Kreide, Campan-Eozän?)

Die Mächtigkeit der Wang-Schichten beläuft sich im Kartiergebiet nach LEIBING (2000) auf max. 100 m. Es handelt sich um massig gebankte, dunkelbraune und dunkelgraue, z.T. glaukonitische sandige Kalke und Mergel. Stellenweise treten Lagen von dunklen harten Quarzsandsteinen auf, die OBERHAUSER (1951) als konglomeratischen Glaukonitquarzit beschreibt. Die Wang-Schichten wurden im südhelvetischen Ablagerungsraum sedimentiert, von ihrer Basis abgeschert und nach Norden transportiert.

3.2.2.2 Ultrahelvetikum (Alb bis mittleres Eozän)

In dieser Arbeit wird das Ultrahelvetikum mit der Liebensteiner Zone nach FESSLER et al. (1992) gleichgesetzt. Lithologisch unterscheiden die Autoren nördlich des Helvetikums im Bereich des Arbeitsgebietes **Schmiedebach Serie, Leimern Schichten** und **Nummulitenkalk**. Überwiegend treten die weichen, dunkelgrauen sandigen Mergel der Schmiedebach Serie und die kalkreichen, sandigen Schiefermergel der Leimern Schichten auf. Die Eozänen Sand- und Nummulitenkalke stehen nur geringmächtig (m-Bereich) an der Bregenzerach im Kontakt zu Bregenzerachschiechten an.

Nach RUFF (2000) treten in der südlichen Melangezone mit der Feuerstätter Zone nur Leimern Schichten auf. Sie sind dort als dünn gebankte, gelblich-weiss verwitternde sandige Mergel und Kalke ausgebildet. Der Sedimentationsraum des Ultrahelvetikums lag südlich des südhelvetischen Faziesraumes. Die räumliche Lage der Ablagerungen wird aufgrund der Verschuppung zusammen mit der Feuerstätter Zone in Abb. 14 dargestellt.

3.2.3 Molasse

Der Norden des Gebietes wird von Gesteinen der Molasse aufgebaut, welche im nördlichen Vorlandbecken der Alpen während des Tertiärs zur Ablagerung kamen (Abb. 19). Der Begriff „Molasse“ stammt aus der französischen Schweiz, wo man die dortigen tertiären Sandsteine so bezeichnete. Heutzutage versteht man unter „Molasse“ alle tertiären Ablagerungen des nördlichen Vorlandbeckens der Alpen, welches sich in südwestlich-nordöstlicher Richtung von den französischen Savoyen bis nach Niederösterreich mit einer Länge von ca. 700 km erstreckt. Anhand von Fossil- und Mineralgehalt kann man vier große Zyklen während der Molassesedimentation unterscheiden: Untere Meeresmolasse, Untere Süßwassermolasse, Obere Meeresmolasse, Obere Süßwassermolasse. Grund für diese Zyklen waren sowohl Meeresspiegelschwankungen als auch geodynamische Vorgänge.

Die noch junge Geschichte des Molassebeckens beginnt an der Wende Eozän-Oligozän mit den turbiditischen Schüttungen flyschähnlicher Sedimente in den etwa Ost-West streichenden Tiefseetrog der Paratechys. Nach LEMCKE (1984) besaß dieser Trog eine Tiefe von ca. 1000 m. Die Ablagerungen dieser Zeit bestehen im wesentlichen aus feinkörnigen und dünnbankigen Sedimenten mit einer Mächtigkeit von etwa 1500 m. Mit dem Übergang der Tonmergelschichten in die

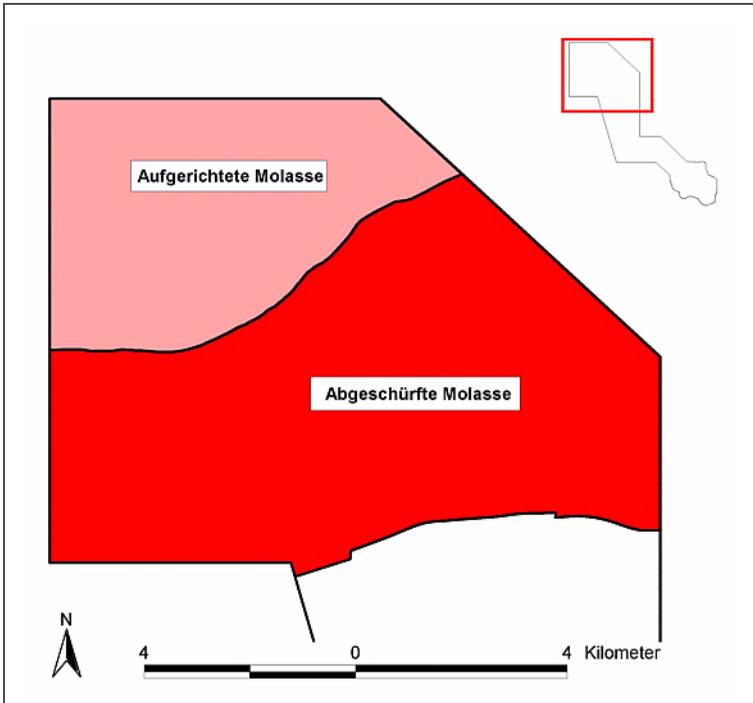


Abb. 19: Gesteine der Molasse im Arbeitsgebiet.

Bausteinschichten zeichnet sich ein allmählicher Rückzug des Meeres ab: Die Muschel- und Schneckenarten aus dieser Zeit geben einen Hinweis darauf, dass der Baustein im küstennahen Brackwassermilieu abgelagert wurde. Lithologisch handelt es sich überwiegend um dünn geschichtete Sandsteine, welche mit Mergeln und selten auch mit quarzreichen Konglomeraten wechsellagern.

Den Übergang zur Unteren Süßwassermolasse bilden mächtige Wechselfolgen aus Mergeln, Sandsteinen und Konglomeraten, in denen sich keinerlei Reste mariner Fauna und Flora mehr befinden. Durch die wachsende Zunahme des Alpenreliefs und das Absinken des Meeresspiegels bildeten sich am Übergang vom Gebirge in den Molassetrog große radiale Schuttfächer. Die Transportkraft der Flüsse war dabei teilweise so groß, dass bis zu Meter große Gerölle abgelagert wurden. Die gut gerundeten Gerölle sind heute in Konglomeratbänken abgelagert, welche im Volksmund als „Nagelfluh“ bezeichnet werden. Die bis

3.2 Schichtenfolge

Tab. 7: Stratigraphie der Molasse Vorarlbergs (verändert nach GAST, 2001).

Abteilung	Intern. Tertiär-gliederung	Neue Paratethys-gliederung	Fazies	Aufgerichtete Vorlandmolasse	Subalpine Molasse
Miozän	Pannon	Torton	Obere Süßwasser-molasse	Serien der OSM	Erosion
	Sarmat	Serrava			
	Baden				
	Karpat	Langh			
	Otnang	Burdigal	Obere Meeres-molasse	St. Galler-Schichten	
	Eggenburg		Luzerner Schichten		
	Oligozän	Eger	Aquitan	Untere Süßwasser-molasse	Granitische Molasse
Chat			Steigbachschichten		
Kiscell		Rupel	Untere Meeres-molasse	Bausteinschichten / Eggschichten	
				Tonmergelschichten	
		Lattorf		Deutenhäusener Schichten / Fischschiefer	

zu 4000 m mächtigen Ablagerungen der Unteren Süßwassermolasse beginnen mit den Weissachschiefern. Säugetierfunde aus dieser Abfolge deuten auf ein wechselfeuchtes subtropisches Klima hin (SIS-SINGH, 1997). Zur gleichen Zeit in der die großen Schuttfächer im Südteil des Molassebeckens abgelagert wurden, wurde im Norden des Beckens die Granitische Molasse abgelagert. Die Schüttungsrichtung erfolgte dabei beckenparallel von West nach Ost. Verzahnungen der beiden Faziesbereiche können im östlichen Vorarlberg und im Allgäu nachgewiesen werden. Im Arbeitsgebiet ist der Kontakt tektonisch ausgebildet (Abb. 23).

Eine Transgression setzte im Untermiozän ein, in deren Folgezeit sich die 100 bis 500 m mächtigen Ablagerungen der Oberen Meeresmolasse bildeten. Bei den Gesteinen der Oberen Meeresmolasse handelt es sich um ufernahe Flachwasserablagerungen, welche zeitweise durch Flussablagerungen beeinflusst wurden. Im mittleren bis späten Oligozän zog sich das Meer endgültig aus dem Molassetrog zurück. In der Folgezeit wurden mehr als 1000 m terrestrische Sedimente der Oberen Süßwassermolasse abgelagert.

3.2.3.1 Untere Meeresmolasse

Tonmergelschichten (Rupel)

Die ältesten im Arbeitsgebiet anstehenden Schichten der Molasse sind graue, grünlichgraue und graubraune kalzitische Tonmergel. Die ansonsten fazieskonstante Einheit enthält im Übergang zu den hangenden Baustein- bzw. Eggschichten vermehrt Mergelkalk- und psammitische Kalksandsteinzwischenlagen. Der Kalkgehalt verleiht den verwitterungsanfälligen Tonmergelschichten eine graue bis hellgraue Verwitterungsfarbe. Der Tonmineralgehalt beträgt nach BERTLE (1995) ca. 30 %, der Quarzgehalt der Sandsteine 20-30 %. Die Quellfähigkeit ist aufgrund des hohen Illit-Montmorillonit-Mixed-Layer- und Kalkgehaltes als eher gering einzustufen.

Der Schichtflächenabstand der dünnschichtigen Tonmergel liegt im mm bis cm-Bereich, der der harten psammitischen Einschaltungen im cm bis dm-Bereich. Die intensiv zerscherten Tonmergel zerfallen in leistenförmige Aggregate. Typisch, auch für die Psammite, sind feine, eingeordnete helle Glimmer. Die Gesamtmächtigkeit der Einheit beläuft sich auf 200-250 m, wobei eine genaue Grenzziehung aufgrund des graduellen Übergangs zum Hangenden oft schwierig ist.

Die marinen, z.T. auch brackischen Ablagerungen enthalten inkohte

Pflanzenreste (Tonmergel) und Pflanzenhäcksel (Schichtflächen der Sandsteine). In den Tonmergeln treten außerdem Foraminiferen auf, Makrofossilien sind eher selten.

Bausteinschichten (Grenze Rupel / unteres Chatt)

Graue bis blaugraue, seltener hell- oder dunkelgraue homogene Kalksandsteine, untergeordnet dünne, graugrüne Mergelzwischenlagen. Das harte und gut spaltbare Gestein verdankt seinen Namen einem intensiven Gesteinsabbau, welcher bis in das 17. Jahrhundert zurückreicht und erst nach dem Zweiten Weltkrieg allmählich zum Erliegen kam. Vor allem entlang der Schwarzach befinden sich zahlreiche, heute zugewachsene Steinbrüche, welche dies belegen.

Die Körnung der massigen Kalksandsteine ist überwiegend fein und mittelkörnig, teilweise grobkörnig. Die Klasten sind schlecht gerundet, gelegentlich kommen Anreicherungen eingeregelter Muskovitplättchen vor. Im frischen Zustand weisen die Bausteinschichten einen scharfkantigen, muscheligen Bruch auf, bei der natürlichen Verwitterung entstehen jedoch eher gerundete Formen.

Die Bankmächtigkeit der 60-70 m mächtigen Bausteinschichten liegt im cm- bis m-Bereich, wobei dicke Bänke häufig sind. Rippelmarken sowie der hohe Gehalt an Pflanzenhäcksel weisen auf einen küstennahen Faziesraum hin.

Die erstmals von HEIM (1928) beschriebenen grobkörnigeren **Egg-schichten** werden als südliche küstennahe Ausbildung der zeitgleich im Norden abgelagerten Bausteinschichten verstanden. Das harte, verwitterungsresistente Gestein weist im frischen Anschlag muscheligen und teilweise klastendurchtrennenden Bruch auf, bildet im Gelände Stufen und bei senkrecht zum Streichen verlaufenden Bächen Wasserfälle.

Lithologisch handelt es sich um grobe Sandsteine und Konglomerate („Nagelfluh“), denen untergeordnet dünne Mergellagen zwischengeschaltet sind. Die gerundeten Klasten der Konglomerate erreichen Straußenei- bis Kopfgröße, sind in der Regel jedoch nur nuss- bis faustgroß. Die Bankmächtigkeiten des 30-40 m mächtigen Schichtpaketes erreicht bis zu 5 m. Der Fossilgehalt entspricht in etwa dem der Bausteinschichten.

3.2.3.2 Untere Süßwassermolasse

Weissachschiechten (Chatt)

Unter dem Namen „Weissachschiechten“ fasste MUHEIM (1934) „die verschiedenen Faziestypen einer einheitlichen Serie“ zusammen. Er stellte fest, dass sich in den jüngsten Ablagerungen der Subalpinen Molasse der Fazieswechsel zwar sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung sehr rasch vollziehen kann, drei Gesteinstypen jedoch wiederholt auftreten: Bunte, fleckige, sandige Mergel, graue oder braune Sandsteine und rote oder graue, mehrere Meter mächtige Konglomeratbänke.



Abb. 20: Wechsellagerung von Sandsteinen und Mergeln der Weissachschiechten am Westufer der Bregenzerach nordöstlich von Reute.

Die Mergel-Bereiche der Weissachschiechten sind gekennzeichnet durch rötliche, gelbgrüne, violette, grüne und graue Kalkmergel, Sandmergel und Tonmergel mit einem Schichtflächenabstand im mm bis cm-Bereich. Aufgrund des hohen Kalk- und Feinsandanteils sind die

3.2 Schichtenfolge

Sedimente im nassen Zustand halbfest bis fest und verschmieren kaum. Röntgendiffraktometrische Untersuchungen von BERTLE (1995) ergaben für den durchschnittlichen Mineralgehalt der Mergel 50-70 % Kalzit, 10-25 % Quarz, 20-30 % Schichtsilikate und einen geringen Gehalt an quellfähigen Montmorillonit (0,5-5 %).

Bei den Sandsteinen der Weissachschiechten handelt es sich um graue, rotgraue oder hellbraune Kalk- und Mergelsandsteine, deren Vermergelung nach Norden zunimmt. Dünnschliffuntersuchungen von GAST (2001) ergaben als Hauptkomponenten Kalzit (50-70 %) und Quarz (20-25 %). Die auffällige graue Färbung stammt laut MUHEIM (1934) von dolomitischen Beimengungen. Weiterhin treten Glimmer (Muskovit und Biotit), Glaukonit und nur untergeordnet Tonminerale auf. Die Bankmächtigkeiten liegen im dm-Bereich, selten erreichen sie m Mächtigkeiten. Die Sandsteine können Tongallen und Pflanzenreste enthalten.

Bei den Konglomeraten handelt es sich um harte, meist kalzitisch gebundene Gesteine, in denen die Gerölle meist lagenförmig angeordnet sind. SCHIEMENZ (1960) bezifferte die Herkunft der Gerölle mit 70 % aus dem Flysch und 30 % aus dem Ostalpin bzw. aus triassischen Gesteinen stammend. Die Gerölle sind nicht einheitlich gerundet, es treten gut gerundete bis lediglich kantengerundete Vertreter auf. Durchschnittlich kann ein geringerer Rundungsgrad als bei den Bausteinschichten beobachtet werden. Der Durchmesser der Gerölle kann nach MUHEIM (1934) bis zu 50 cm betragen, im Rahmen der Geländearbeit konnten jedoch lediglich Gerölle bis ca. 30 cm beobachtet werden. Die Mächtigkeit der häufig unvermutet auskeilenden Bänke variiert sehr stark von 50 cm bis 10 m oder mehr.

Insgesamt kann man eine allgemeine Abnahme der durchschnittlichen Korngröße in Richtung Norden feststellen. Die drei tektonisch voneinander getrennten Vorkommen der Weissachschiechten gliederte MUHEIM (1934) in seiner östlich der Bregenzerach durchgeführten Kartierung deshalb in drei Zonen: eine nagelfluhreiche südliche (entspricht im Arbeitsgebiet dem Vorkommen in der Geißkopfmulde), eine sandstein- und mergelreiche mittlere (entspricht im Arbeitsgebiet dem Vorkommen in der Zone von Alberschwende) sowie eine mergelreiche nördliche Zone, in der Konglomeratbänke nur noch selten auftreten (entspricht im Arbeitsgebiet dem Vorkommen in der Zone von Ingrüne). GAST (2001) beobachtete, dass die Gerölle im südlichen Schenkel der Gaiskopfmulde im Durchschnitt größer als im nördlichen Flügel ausfallen, was eine allgemeine Abnahme der durchschnittlichen Korngröße

innerhalb der Weissachschiechten in Richtung Norden unterstreicht. MUHEIM (1934) beobachtete ebenfalls eine Zunahme sowohl der Mächtigkeit als auch der Häufigkeit der Nagelfluhbänke von Westen nach Osten. Direkt nachweisbar ist dies innerhalb des Arbeitsgebietes nur im äußersten Osten an der Subersach wo überproportional viele Nagelfluhbänke austreichen. Die Gesamtmächtigkeit der Weissachschiechten ist schwer abzuschätzen wenn man tektonisch bedingte Schichtwiederholung nicht ausschließen will. Unter Annahme einer ungestörten Abfolge erreichen sie innerhalb der „Zone von Alberschwende“ eine Mächtigkeit von 1400 m. MUHEIM (1934) gibt die Mächtigkeit mit 1400 - 1600 m an.

Granitische Molasse (Chatt - unteres Burdigal)

Der Kontakt zwischen den Weissachschiechten und der zeitgleich abgelagerten Granitischen Molasse ist die Ost-West verlaufende Rücküberschiebungszone, welche gleichzeitig den Kontakt zwischen Abgeschürfter und Aufgerichteter Molasse darstellt. Neben einer allgemein geringmächtigen Verwitterungsdecke sind die Sedimente südlich der Bregenzerach nur punktuell von glazialen Ablagerungen überdeckt, so dass Aufschlüsse nicht selten sind.

Auch bei der Granitischen Molasse handelt es sich um eine Sandstein-Mergel-Wechselagerung. Südlich der Bregenzerach herrschen nach GAST (2001) Mergel (60 %) über Sandsteinen (40 %) vor. Nördlich der Bregenzerach nimmt der Anteil an Sandsteinen zu. KIENZLE (1998) stellt nördlich der Rotach-Mündung sogar ein Ausklingen der Mergelbänke fest.

In den quarzhaltigen Sandsteinpartien, deren Schichtflächenabstand im cm- bis m-Bereich liegt, können zwei verschiedene Ausprägungen unterschieden werden. Erstens ein weißgrauer, manchmal beige gefärbter mittel- bis grobkörniger Kalksandstein mit einem stellenweise deutlichen Muskovitgehalt. Diese grobkörnigen feldspathaltigen Partien verwittern aufgrund einer schlechten Zementierung sehr leicht zu Grus. Untergeordnet treten hellgrau bis blaugraue, vergleichsweise zähe Feinsandsteine auf, welche ebenfalls eine kalzitische Matrix besitzen, aber fast feldspatfrei sind. In den Sandsteinen können außerdem Tongallen und Schrägschichtung auftreten.

Die Mergel haben eine weiß- bis ocker-graue, seltener rötliche oder grünliche Farbe und weisen einen hohen Kalzit- und Schluffgehalt auf. Der geringe Tonanteil macht sie relativ zäh, so dass sie trotz Wasserzufuhr kaum verschmieren. Die Schichtflächenabstand liegt im cm-Be-

reich.

Der Fossilgehalt der Granitischen Molasse ist eher dürftig, wobei Pflanzenreste die häufigsten organischen Überreste darstellen.

Die Mächtigkeit des gesamten Schichtpaketes beträgt im Arbeitsgebiet ca. 1600 m.

3.2.3.3 Obere Meeresmolasse

Die Obere Meeresmolasse steht im Arbeitsgebiet nur an der nordöstlichen Grenze im Bereich des Gebhardsberges und des Pfänders, die hangende Obere Süßwassermolasse nur am Pfänder an.

Luzerner Schichten (mittleres Burdigal)

Die 270 m mächtige Sandstein- und Konglomeratabfolge setzt über der Granitischen Molasse mit einem Basiskonglomerat diskordant ein. Darüber folgen am Pfänder nach FERNANDEZ-STEEGER (1998) 75 m grünliche mittel- bis grobkörnige, kalzitisch gebundene Glaukonitsandsteine mit gut gerundeten Komponenten. Der Festigkeitsgrad schwankt, teilweise wirkt das Gestein mürbe. Die einzelnen Bänke sind intern fein laminiert. Eingeschaltete, relativ harte, graue Mergel keilen schnell wieder aus. Teilweise treten lateral begrenzte Konglomeratbänke auf. Im Hangenden dieser Abfolge tritt der erste von zwei kohlehaltigen „Terrestrischen Horizonten“ auf. Nach SCHAAD et al. (1992) handelt es sich um Ablagerungen einer fluvio-deltaischen Schwemmebene. Im Hangenden des ersten Terrestrischen Horizontes kam es zur Sedimentation der zwei Abfolgen, welche heute die Morphologie des Gebhardsberges prägen: der „Kanzelabfolge“ und der „Gebhardsbergabfolge“. Beide Abfolgen bestehen aus einer Wechselagerung von Sandsteinen und Mergeln, welche am Top in mächtige Konglomerate übergehen.

Die grüngrauen, selten rötlichen, teilweise wohlgebankten Sandsteine besitzen Bankmächtigkeiten im dm- bis m-Bereich. Teilweise werden sie von geringmächtigen, lateral begrenzten, Konglomerateinschaltungen unterbrochen, Mergellagen treten in der „Kanzelabfolge“ nur untergeordnet auf. Die Bankmächtigkeiten der Sandsteine nimmt zum Hangenden ab, in der „Gebhardsbergabfolge“ treten verstärkt sandige Mergel auf.

Die gelblichen und roten verwitterungsresistenten Konglomerate am Top der Abfolgen weisen vereinzelt bis zu 30 cm große Gerölle auf und besitzen eine sandig-kalkige Matrix sowie ein korngestütztes Gefüge.

Einzelne Bänke sind bis zu 2 m mächtig, gelegentlich können Austernbänke beobachtet werden. Nach SCHIEMENZ (1960) bestehen 96 % der Geröllfracht aus Kalksteingeröllen aus dem Flysch. Sandsteingerölle treten nur untergeordnet auf.

Den Top der Luzerner Schichten bildet der zweite „Terrestrische Horizont“, eine 40 m mächtige Folge von Sandstein und Mergel, welche einen bis zu 1,6 m mächtiges, regional bedeutendes Kohleflöz, die sogenannte „Wirtatobel-Kohle“, enthält.

St. Galler Schichten (oberes Burdigal)

Die St. Galler Schichten werden am Pfänder nach KIENZLE (1998) von einer ca. 20 m mächtigen Mergelabfolge eingeleitet. Anschließend folgt eine Wechsellagerung von hellgrauen, grüngrau verwitternden, glaukonit- und muskovithaltigen Kalksandsteinen und ockergrauen, manchmal rötlichen, sandigen Mergeln mit einem Tonmineralgehalt von ca. 40 %. Während die nicht sehr widerstandsfähigen Sandsteine im cm- bis dm-Bereich wohlgebankt sind, scheinen die, bis zu 20 m mächtigen, Mergelpakete makroskopisch ungeschichtet zu sein.

Eingeschaltet sind bis zu 5 m mächtige Konglomeratbänke welche Pakete bis zu 20 m Gesamtmächtigkeit aufbauen können. Die Häufigkeit dieser Einschaltungen nimmt nach oben zu. Korngestütztes Gefüge, gut gerundete Kalkgerölle in Mittelkies- bis Steinfraktion und eine teils hellgraue, teils rötliche, kalkig-sandige Matrix sind typisch. Die Gerölle stammen auch in dieser Einheit zu über 90 % aus kalkigen Flyschablagerungen.

Die St. Galler Schichten besitzen die stark schwankende Mächtigkeit eines Deltakomplexes was Pauschalaussagen bezüglich der Mächtigkeit nach KIENZLE (1998) schwierig macht. Am Pfänder beträgt sie ca. 200 m.

3.2.3.4 Obere Süßwassermolasse (oberes Burdigal - Torton)

KIENZLE (1998) beschreibt die Obere Süßwassermolasse im Bereich des Pfänders als eine wiederholte Abfolge von Sandstein (10 %), Mergel (60 %) und Nagelfluh (30 %) mit einer Gesamtmächtigkeit von 350 m.

Die unterschiedlich gekörnten Kalksandsteine weisen einen geringeren Feldspat- und einen höheren Kalzitgehalt als die Sandsteine der Oberen Meeresmolasse auf. Die einzelnen Sandstein-Abfolgen von 0,5-1,0 m mächtigen Bänken sind meist 1-3 m mächtig können aber bis zu

10 m mächtig werden. Die dominierenden Mergel bilden bis zu 25 m mächtige, selten aufgeschlossene Schichtpakete. Eine Besonderheit sind Einschaltungen von montmorillonitreichen Süßwassertonen, deren Herkunft noch nicht vollständig geklärt ist. Die bis zu 5 m mächtigen Nagelfluhbänke sind denen der Oberen Meeresmolasse ähnlich. Teilweise treten mergelig gebundene Konglomerat-Nester auf.

3.2.4 Pleistozän und Holozän

Ende des Pliozän kommt es nach OBERHAUSER (1980) zu einer Temperaturabnahme von 5-10° C. Bis zum Ende des Pleistozäns folgten mehrere Vereisungsperioden, in denen der Bregenzerwald nach OBERHAUSER (1995) mindestens fünf mal von Eisströmen überfahren wurde.

Im Hochglazial, vor 29.000-13.000 Jahren, war fast das gesamte Gebiet vom Bregenzerachgletscher bedeckt. Die Überdeckung betrug nach SEIJMONSBERGEN (1987) am Gopfberg bis zu 300 m, wobei erwähnt werden sollte, dass die Angaben über die Mächtigkeit der Eisbedeckung in der Literatur stark schwanken. Eingerahmt vom Rheingletscher im Westen und dem aus den Allgäuer Alpen kommenden Illergletscher im Osten, besaß der Bregenzerachgletscher im hinteren Bregenzerwald ein eigenes Liefergebiet. Aus diesem Grund gehören Flyschgerölle auch zu den häufigsten Komponenten der Moränenablagerungen des Arbeitsgebietes. Während im südlichen und zentralen Teil des Gebietes kleinere Gletscher (Argengletscher, Mellenbachgletscher) dem Bregenzerachgletscher tributär waren, kam es im Nordosten des Gebietes zu einem Zusammenstoß mit einer westlichen Abzweigung des Illergletschers, welcher über Dornbirn und Alberschwende Richtung Nordost ins heutige Rotachtal östlich am Pfänder vorbei floss. Dieser Zusammenstoß ist am Bödele Pass durch einen Moränenwall dokumentiert, wobei westlich des Walls die Gerölle hauptsächlich kristallinen Ursprungs sind, während östlich die typischen Flyschgerölle dominieren. Im Bereich des Arbeitsgebietes ragten nach SEIJMONSBERGEN (1987) im Hochglazial nur der Südöstliche Bereich der Kanisfluh, die Ütschenspitze und die Künzelspitze als Nunatakker aus dem Eis hervor (Abb. 21). Nach HANTKE (1980) galt dies auch für den Pfänder im Norden des Gebietes.

Da die Ablagerungen der älteren Kaltzeiten von den Gletschern der folgenden abgeschürft oder überprägt wurden, sind im Arbeitsgebiet die meisten glazialen Ablagerungen vermutlich Relikte der Würmkaltzeit.

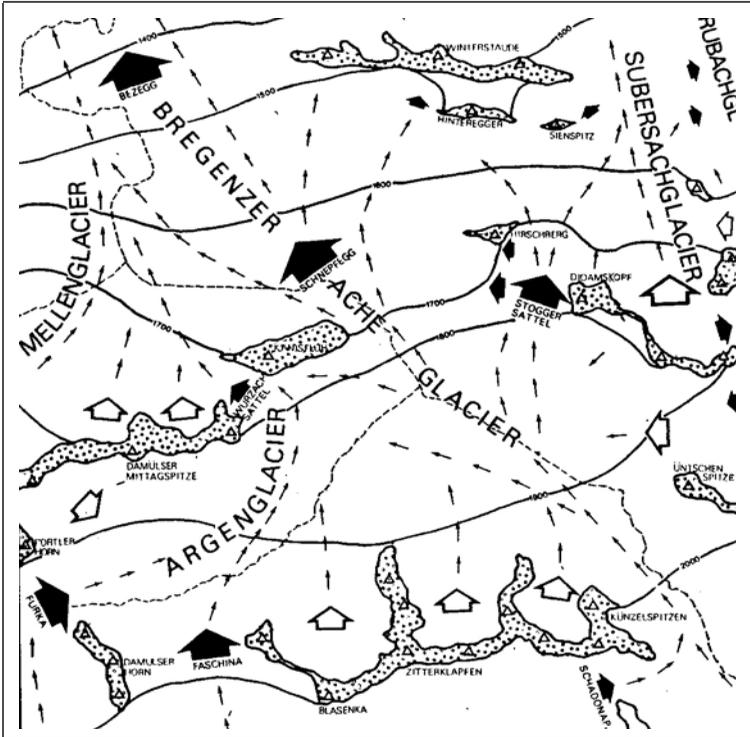


Abb. 21: Gletscherhöhen während des Würmglazials im zentralen und südlichen Teil des Gebietes (SEIJMONSBERGEN, 1987).

Wie die Karformen dokumentieren, wurden einige Seitentäler durch Gletscher erweitert (Schrecksbach-Kar, Toblermann-Kar). Nach DE GRAAFF (1992) entwickelten sich im Zuge der Vergletscherung die Talgletscher früher als die Seitengletscher. Aufbau und Abbauperioden der Talvergletscherung waren deshalb durch Interaktion zwischen glazialen und fluviatilen Prozessen bestimmt. U-förmige Täler entstanden im Oberen Pleistozän dort, wo sich selbstständig Gletscher bildeten, V-förmige Täler dort, wo die fluviatile Erosion dominierte. Oft trifft man auf Täler, deren oberer Bereich Glazial gebildet wurde, während der untere Bereich als steiles V-Tal ausgebildet sind. Die V-förmigen Talstrecken wurden während des pleistozänen Eisaufbaus mit Sedimenten verfüllt und wurden während des nachfolgenden Hochstandes von den lokalen Gletschern überfahren. Sie wurden subglazial eher konserviert als

erodiert (DE GRAAFF, 1993). Da die V-förmigen Talstrecken auch als erste wieder eisfrei waren, konnten sich die Gletscherbäche in den Inter-glazialen und im Spätwürm tief in die ehemals geschützten Sedimente einschneiden, wobei das abgetragene Material in großen Schuttfächern am Eisrand des tiefeingeschnittenen Bregenzerachtales abgelagert (Fächer von Au, Fächer bei Bad Hopfreen) oder fluviatil auf dem Gletscher abtransportiert wurde. Da der Bregenzerachgletscher früher als der Rhein-Illgletscher abschmolz, was den Abfluss der Bregenzerach behinderte, entstand in der Umgebung von Andelsbuch ein Eisstausee. Zuordnenbar zu den Abschmelzvorgängen an dem in den Vorderen Bregenzerwald eingedrungenen Ill- und Rheintaleis, wurden Kies, Sand und Seeton der Terrassen von Hittisau, Lingenau und Andelsbuch geschüttet (OBERHAUSER, 1980).

Durch Felsstürze (z.B. zwischen Kanisfluh und Mittagsfluh) oder lithologischen Härtlingen (z.B. Plankner-Brücke Serie nahe der Armeseelenkapelle oder Seewerkalk am nördlichen Ortsausgang von Schoppernau) kam es zu weiteren Verriegelungen von Tälern, die zu überdurchschnittlich mächtigen glazialen und periglazialen Ablagerungen führten.

Mit dem Rückzug der Gletscher im Spätwürm fehlten den übersteilten Hängen die Eiswiderlager und die stabilisierende Wirkung des Permafrostes. Dies führte zu vielfältigen Massenbewegungen, sowohl in Lockergesteinen als auch in den Festgesteinen. Die großen Wassermassen des abschmelzenden Eises und die langsame Vegetationsentwicklung begünstigten eine intensive Erosion, welche diesen Vorgang beschleunigte. Im Anschluß an die Eiszeit ist auch im Bereich von Andelsbuch durch Felsstürze ein See entstanden.

In den kompetenten Kalken des Helvetikum kam es zu großen Felsstürzen, welche die Bregenzerach zeitweise aufstauten (Nordrand der Kanisfluh). Bäche und Muren transportieren große Mengen klastische Ablagerungen in die Täler, wo es zur Bildung von Auesedimenten kam. In wassergesättigten Böden über Tonmergeln und Moräne entstanden Moore, anmoorige Flächen und Feuchtwiesen.

Im Bereich der leicht erodierbaren tonig-mergeligen Flyschserien schnitten sich die Bäche tief ein. Härtere Abschnitte in kalkiger und silikatischer Ausprägung führten dabei zur Bildung von Wasserfällen (Schrecksbach). Durch einen Einschnitt der Bregenzerach in die Talaue entstand die 1 km lange Terrasse von Au.

Abgesehen von vergleichsweise kleinen Vorkommen von Sinterkalk im Bereich des Helvetikum handelt es sich bei den quartären Ablagerun-

gen des Arbeitsgebietes um Lockergesteine. Nach MOSER & ÜBLAGGER (1984) sollten Lockergesteine bei geotechnischen Bearbeitungen geologisch-genetisch unterschieden werden, da auf diese Weise bereits Anhaltspunkte über die möglichen Hangbewegungen gegeben werden. Bei der Geländearbeit ist dabei auf die Kornverteilung, die Mächtigkeit, den internen Aufbau und die Wasserführung zu achten.

Hangschutt und Verwitterungsmaterial

Unter Hangschutt fällt in dieser Arbeit durch Verwitterung zerkleinertes Festgestein, welches sich durch gravitative Kräfte an einer Böschung hangabwärts bewegt und am Hangfuß akkumuliert. Da das Material aus einem höheren Niveau stammt kann es ortsfremde Komponenten enthalten. Die Mächtigkeit solcher Ablagerungen variiert je nach Hangneigung und morphologischer Lage. So sind die Mächtigkeiten auf steilen Hängen geringer als auf moderaten Hängen. Am Hangfuß steiler Hänge hingegen können sich mächtige Hangschuttmassen ablagern. Als Verwitterungsmaterial wird Material bezeichnet, welches sich nicht in Bewegung befindet. Hangschutt und Verwitterungsmaterial findet sich an fast allen Hängen.

Meist ist der Schluffgehalt sehr hoch. Hangschutt in der Umgebung von Sandsteinen ist meist sehr sandig (z.B. in weiten Bereichen der Molasse). Für den Bereich des Helvetikum und des Flysch haben SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1978) einige wichtige Parameter von Lockergesteinen bestimmt. In Tab. 8 sind Materialien aufgeführt, die im Rahmen dieser Arbeit als Hangschutt und Verwitterungsmaterial kartiert wurden. Ausgezeichnet wurde Hangschutt nur dort, wo deutlich mehr als 2 m anstehen.

Im Bereich des verwitterungsanfälligen Rhenodanubischen Flysch sind Hangschuttbedeckungen fast überall vorhanden und auffallend mächtig. Da sie eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung von Massenbewegungen spielen, wurde von RUFF (2000) für diesen Bereich eine Karte der Lockergesteinsmächtigkeiten erstellt (Kap. 2). Für den Bereich der Molasse gibt GAST (2001) eine Mächtigkeit von 0,5-2 m an.

Fluviatile Ablagerungen, Talfüllungen

Als Talfüllung wurden die subhorizontalen tiefsten Bereiche der Täler kartiert. In diesen Geländeabschnitten haben die Bäche ihre Materialfracht aufgrund sinkender Transportkraft abgelagert. In der Regel handelt es sich um locker gelagerte Klastika unterschiedlicher Korngröße.

3.2 Schichtenfolge

Aufschlüsse entlang der Bregenzerach dokumentieren meist gut gerundete Gerölle in einer sandigen Matrix. Teilweise treten aber auch Gerölle von mehreren Metern Durchmesser auf. Die Mächtigkeit dieser Ablagerungen schwankt über das gesamte Gebiet sehr stark. Im Zuge der Tiefbohrung bei Au (R:-27 589, H: 243 342 nach COLINS et al. (1990) wurden 25 m polymikte Sande, Kiese und Schotter, 40 m durch gröbere Schüttungen verunreinigte Tonmergel, die als Seetone interpretiert werden und abschließen 52 m Blockschutt mit Sanden und Schottern erbohrt.

Eine Sonderform der Talfüllungen sind die Bachschuttfächer. Sie werden durch Seitenbäche, welche oft beträchtliche Mengen Material führen, in die Ebenen geschüttet, wo sie sich fächerförmig ausbreiten. Grundsätzlich ähnelt das Material den normalen fluviatilen Ablagerungen. Teilweise tritt in dem locker gelagerten Material Schichtung auf. Bachschuttfächer erkennt man hauptsächlich an der Morphologie. Auf den porösen Aggregaten mit guter Wasserführung werden häufig Siedlungen gegründet (z.B. Fächer von Au)..I

Tab. 8: Beschreibende Gesteinsparameter von Lockergesteins-material wie es im Hangschutt auftreten kann. (nach SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN, 1978).

Verwitterungs- böden aus:	Feuch- tigkeits- gehalt	Permea- bilität	Durch- schn. Mäch- tigkeit	Kornverteilung			
				G	K	S	F
reinem Kalk	feucht bis nass	10^{-6} - 10^{-9}	< 5 m	0	0	< 5	> 95
reinem Dolomit	trocken	10^{-6} - 10^{-8}	< 2 m	< 15	< 15	< 30	> 40
reinem Sand- stein	trocken bis nass	10^{-5} - 10^{-7}	< 5 m	< 15	15	< 50	> 20
reinem Mergel	feucht bis nass	10^{-6} - 10^{-9}	< 6 m	< 5	< 10	< 15	> 55
Wechselagerun- gen (z.B. Drus- berg, Flyschgesteine)	feucht	10^{-7} - 10^{-9}	< 6 m	< 25	< 10	< 10	> 55
Schutt aus:							
reinem Kalk	trocken bis feucht	$> 10^{-2}$	5-30 m	12-90	20-65	< 25	< 20
reinem Dolomit	trocken	$> 10^{-2}$	bis 100 m	12-90	20-65	< 25	< 20
reinem Sand- stein	trocken bis feucht	$> 10^{-2}$	5-30 m	20	40	20	20
reinem Mergel	trocken bis feucht	$> 10^{-3}$	< 10 m	< 15	< 30	< 40	< 15
Wechselagerun- gen (z.B. Drus- berg, Flyschgesteine)	trocken bis feucht	$> 10^{-2}$	< 40 m	20-95	5-35	< 30	< 15
Solifluktsions- material	gesättigt bis nass	$> 10^{-6}$	< 12 m	< 5	< 5	< 15	bis 95

Periglaziale Ablagerungen

Durch die Blockierung des regionalen Abflusssystemes durch den eingedrungenen Illgletscher im Frühwürm kam es im Bereich der nördlichen Bregenzerach zur Bildung eines Eisstausees (Abb. 22).

In diesem lagerten sich die Sedimente der Bäche aus dem noch eisfreien Hinterland ab. Randlich lagerten sich **Schotterkörper** ab, deren maximal kopfgroßen Gerölle in einer kalkig-sandigen Matrix mehr oder weniger verkittet sind. Da keine gekritzten Geschiebe auftreten, kann von einem fluviatilen Transport ausgegangen werden.

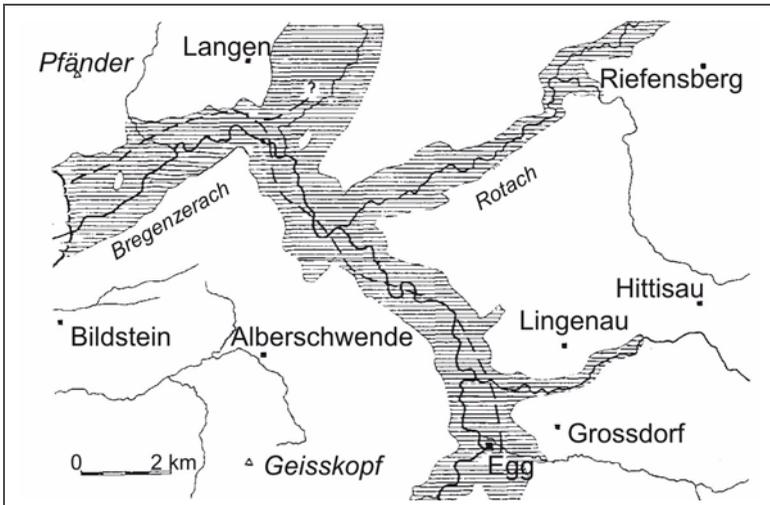


Abb. 22: Präwürmzeitliche Eisstauseen im nordwestlichen Bregenzerwald nach HANTKE (1980). In den schraffierten Bereichen muß im Arbeitsgebiet mit dem Auftreten von Seetonen gerechnet werden.

Ebenfalls in den Eisstauseen abgelagert wurden **Seetone**. Vor allem im Norden des Gebietes im Bereich der Molasse treten die homogenen grauen Tone mit hohem Kalzitgehalt auf. KIENZLE (1998) beschreibt eine durchgehenden Horizont auf einer Höhe von 520-560 mSh am westlichen Ufer der Bregenzerach zwischen der Weißsach- und der Rotach-Mündung. Auch am Nordufer der Bregenzerach zwischen der Rotach-Mündung und dem Kennelbach sowie in der Umgebung von Egg und Andelsbuch treten Seetone auf. Auch in diesen Bereichen befinden sie sich stets zwischen 500 und 600 mSh.

Auch mehrere kleine Seetonaufschlüsse, welche südlich der Bregenzerach zwischen der Rotach-Mündung und Buch von GAST (2001) kartiert wurden, liegen auf einem Niveau von 540-560 mSh.

Im Süden des Gebietes bei Bad Hopfreen treten ebenfalls halbverfestigte periglaziale Schotter in Wechsellagerung mit Tonen auf. Diese 40 m mächtige Abfolge liegt auf ca. 1000 mSh und steht im Zusammenhang mit einem weiteren Eisstausee, welcher sich ebenfalls im Frühwürm in diesem Bereich gebildet hat.

Moränenmaterial

Als Moräne werden alle Ablagerungen der Gletscher bezeichnet, sofern sie direkt von ihnen transportiert wurden. Während des Transportes wird der Feststoffanteil durch die Last des Eises zusammengepresst und zerrieben. Durch diesen Zerkleinerungsprozess entsteht viel Feinmaterial und die typischen „gekritzten Geschiebe“, Gerölle an denen deutliche Kratzspuren auftreten. Da das Feinmaterial aufgrund fehlenden Wassers nicht ausgewaschen werden kann, bildet sich die typische ungleichförmige Kornverteilung. Durch den Druck des Eises kommt es außerdem zu einer Überkonsolidierung des Sediments, wodurch es für ein Lockergestein sehr kompakt ist. Kommt es zu einer Auswaschung des Feinmaterials verliert sich diese Stabilität jedoch schnell.

In der Regel handelt es sich um schlecht sortierte, matrixgestützte, hellbraune bis graue schluff- und tonreiche Ablagerungen, welche mäßig gerundete Gerölle enthalten. In Tab. 9 ist das typische Kornverteilungsspektrum nach SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1987) angegeben..

Tab. 9: Kennwerte von Moränenablagerungen nach SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1987).

Feuchtigkeits- gehalt	Permeabilität	Schichtung	Kornverteilung [%]			
			G	K	S	F
trocken bis feucht	$<10^{-7}$	fehlt	4-27	15-54	10-45	11-50

Während im Helvetikum Moränenmaterial links und rechts der Bregenzerach kaum vorhanden ist, sondern erst jenseits der Bergkämme oder zwischen den Höhen der Seitentäler auftritt, befinden sich im nördlichen Bereich des Gebietes mächtige Ablagerungen. Am mächtigsten sind sie wohl in der „Zone von Alberschwende“: Am Haselstauden Knie

wurden nach BERTLE (1995) 25 m Moränen- und Verbauungsschotter erbohrt. GAST (2001) bestätigt bis zu 8 m Mächtigkeit in einem Bachanschnitt südlich von Adelsgehr.

Felssturzmaterial

Felssturzmaterial ist aufgrund seiner geringen Transportweite sehr schlecht kantengerundet. Meist sind die jungen Ablagerungen äußerst locker gelagert, wodurch sie eine gute Wasserführung besitzen. Fels- und Bergsturzmassen sind an den Hangfuß übersteiler Felswände gebunden. Die Größe der abgelagerten Blöcke variiert je nach Kluftmuster, Kluftabstand und Bankmächtigkeit des Ursprungsgesteins. Besonders häufig tritt Felssturzmaterial im Bereich des Helvetikum auf. LEIBING (2000) gibt hier Blöcke von bis zu 1000 m³ an. Das Alter von Sturzmassen kann anhand des Bewuchses abgeschätzt werden, da junge Ablagerungen meist vegetationsfrei sind und der Wiederbewuchs aufgrund des felsigen Untergrundes nur zögerlich vonstatten geht.

Feuchtgebiete, Anmoorige Flächen

Feuchtgebiete, anmoorige Flächen und Moore bilden sich in auf der undurchlässigen Unterlage von Moräne, Auelehm und tonigen Gesteinen. Viele dieser Flächen befinden sich in einem Übergangsstadium von einer Vernässungszone zu einem Moor (Bödele, Geißkopf, Oberbildstein-Haag).

Eine seltene Erscheinung ist das Hangflachmoor am Ostufer der Brengenzerach nahe der Weissach-Mündung. Selbst an Hanglage ist hier durch den extrem undurchlässigen Untergrund eine Moorbildung möglich.

3.3 Lagerungsverhältnisse

3.3.1 Penninikum

Zum Penninikum werden im Arbeitsgebiet drei tektonische Einheiten gezählt: Die Arosa-Zone, die Rhenodanubische Hauptflysch Decke und die Feuerstätter Decke.

Die **Arosa-Zone** entstand nach Egger (1992) als Akkretionskeil bei der Subduktion des Südpenninischen Ozeans. Nach WINKLER (1990) wurde sie beim Transport der kalkalpinen Decken passiv mitgeschleppt. Östlich von Bad Hopfreben ist sie am Kontakt zum Hauptdolomit mit senkrecht stehenden Aufschiebungsflächen aufgeschlossen, nach Süden verflachen diese jedoch stark.

Die **Rhenodanubische Hauptflysch Decke** kann nach MATTERN (1999) im Arbeitsgebiet in zwei Einheiten aufgeteilt werden: Üntschen Decke und Sigiswanger Einheit. Die Üntschen Decke erhielt ihren Namen 1978 von M. RICHTER nach der im Arbeitsgebiet liegenden Üntschenspitze. Die Sigiswanger Einheit wurde schon 1965 von KRAUS als eigenständige Einheit postuliert. Nach MATTERN (1999) baut sie die nördliche Vorarlberger Flyschzone in ihrer Fortsetzung nach Osten auf.

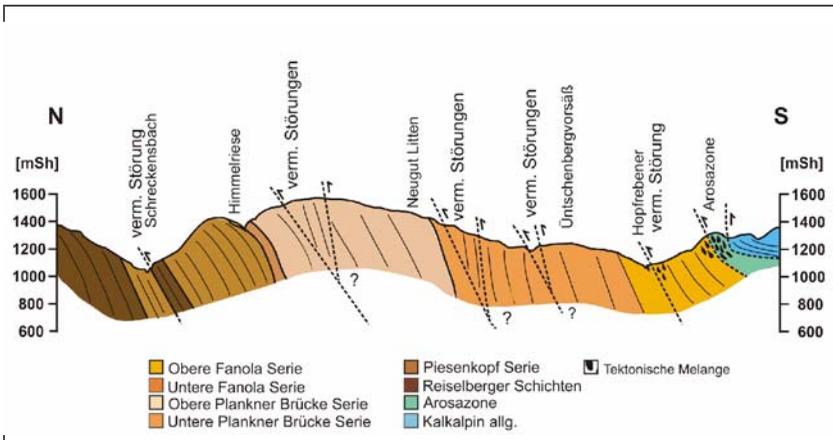


Abb. 23: Profil durch den südliche Arbeitsgebiet im Bereich des Penninikums nach RUFF (2000).

Da der Rhenodanubische Flysch als Abscherhorizont für die hangende kalkalpine Decke diente, kam es zu einer deutlichen tektonischen Be-

3.3 Lagerungsverhältnisse

anspruchung der Gesteine. So sind kleinräumige Falten und Überschiebungen häufig. Der starke Kompetenzkontrast von Kalken und Tonen führte vor allem bei der Piesenkopf Serie zu einer ausgeprägten

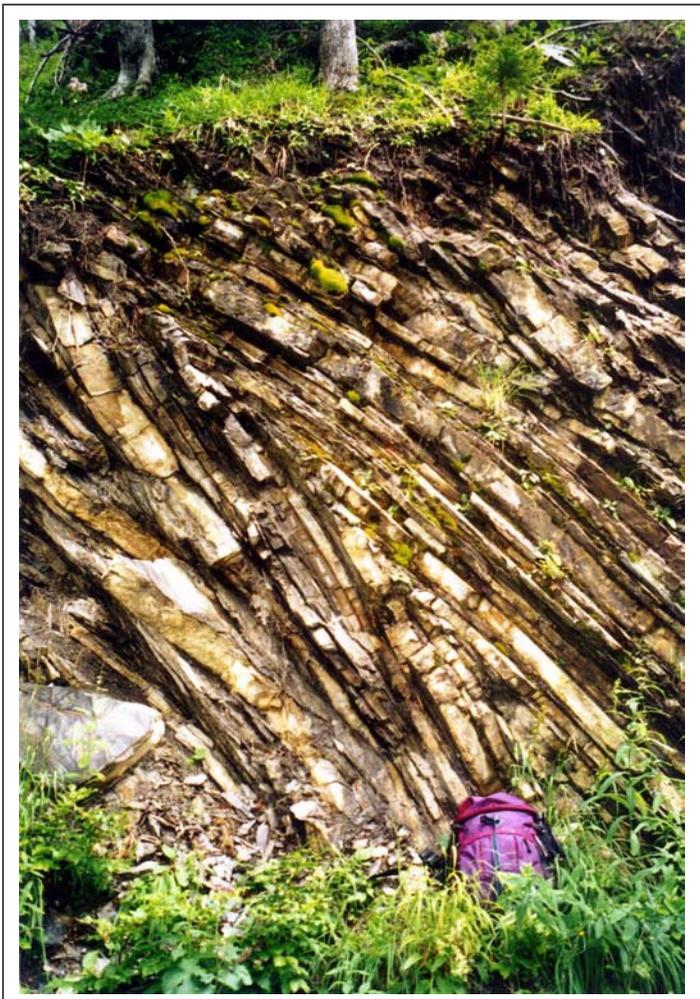


Abb. 24: Isoklinale nordvergente Falte in der Wechsellagerung der Piesenkopf-Serie am Nordufer des Schrecksbaches (Photo M. Ruff).

Faltentektonik mit typischen isoklinalen, nordvergenten Knickfalten im m Bereich (Abb. 24). Aber auch in der Fanola-Serie sind Falten im m Bereich typisch. Eine vergleichsweise große (>100 m) überkippte nord-vergente Synklinale ist in dieser Formation an der Südseite des Toblermannkopfes aufgeschlossen. Im Schnitt fallen die Schichten des Rhenodanubischen Flysch im Arbeitsgebiet mit 40° - 60° ein (Abb. 23). Fast alle Überschiebungen sind schichtparallel orientiert, wobei die häufigen Pelitlagen als Abscherhorizont fungieren. Aufgrund dieser Tatsache sind die Überschiebungen nur schwer zu verfolgen und Versätze kaum zu bestimmen. Anhaltspunkte für Überschiebungen liefern außer den typischen Indikatoren (Boudinage der inkompetenten Lagen, Faserharnische) die stark schwankenden Mächtigkeiten der Schichtglieder.

Die Serien der **Feuerstätter Decke** sind tektonisch stark beansprucht, da sie als Hauptträger der Deckenbewegung dienten. Im Übergang vom Flysch zum Helvetikum sind die Ablagerungen der Feuerstätter Decke im Süden des Gebietes mit den Gesteinen des Ultrahelvetikum verschuppt. Die Lage von Phakoiden in dieser Melange deutet auf ein Einfallen der Zone zwischen 50-60° nach Süden. Die Ablagerungen der Feuerstätter Decke und des Ultrahelvetikum im Norden des Gebietes werden von FESSLER et al. (1992) als völlig zerscherte, intensive verfallene, wurzellose Reste eines tektonischen Gleitstockwerks beschrieben. Die stark geschieferten Gesteine weisen chaotische Lagerungsverhältnisse auf.

3.3.2 Helvetikum und Ultrahelvetikum

Die Ablagerungen des **Ultrahelvetikum** wurden nach D. RICHTER (1984) 20-30 km über das Helvetikum überschoben, wodurch sie heute in Form von Schollen und Linsen vorliegen und im Arbeitsgebiet meist nicht von der Feuerstätter Decke zu trennen sind (s.o.).

Die aus Kalk-Mergel-Wechselfolgen aufgebaute „Sandwichstruktur“ der **Helvetischen Ablagerungen** führte zu einer sehr faltungsfreudigen Schichtenfolge. Der helvetische Bereich des Arbeitsgebietes wird von mehreren Antiklinal- und Synklinalstrukturen aufgebaut:

Die erste Antiklinale baut, von Norden kommend, das Gewölbe des Klausbergs auf (Abb. 26). Die Faltenachse dieser Antiklinale taucht nach Westen ab, im Osten setzt sie sich fort bis zum Gewölbe der Winterstaude. Wie die steilen Kalkwände der Klausberg-Kluse dokumentieren, bildet der Schrattenkalk die oberste, verwitterungsresistente

3.3 Lagerungsverhältnisse

Schicht. Westlich der Bregenzerach kommt es durch die Aufschiebung einer weiteren Antiklinale zur Mächtigtkeitsvergrößerung. Die erste Synklinale, deren Kern aus leicht erodierbarem Leistenmergel besteht, bildet die Ebene von Bezau. Die zweite Antiklinale beginnt nördlich des Dürrenbergs. Hier stehen die Schichten im unteren Bereich senkrecht, während sie auf dem Bayernberg fast horizontal gelagert sind. Im aufgebrochenen Nordschenkel kommen Drusbergsschichten zum Vorschein. Weiter Richtung Süden folgt die tief eingefaltete Synklinale von Bizau.

Die Faltenachse der dritten Antiklinale fällt wieder nach Westen ein. Sie ist im Bereich von Hinterreuthe ebenfalls aufgebrochen, wieder sind Drusbergsschichten aufgeschlossen. Westlich von Mellau stehen die Schichten im Steinbruch saiger, bei Hochvorsäß kommt es sogar zu inverser Lagerung. Diese Antiklinale baut den Gopfberg auf und lässt sich nach WAGNER (1950) mit der Gottesacker Antiklinale korrelieren. Es folgt das Synklinorium von Mellau und Schnepfau. Das vierte Antiklinorium bildet das 3 km breite und 12 km lange Gewölbe der Kanisfluh, welches korrelierbar mit dem des Hohen Freschen ist. Das nach Norden überfaltete Gewölbe fällt steil nach Westen ein und besteht im Osten aus zwei Antiklinalen und einer Synklinale. Im Bereich Jaghausen kommt es durch Überschiebung zu einer Verdreifachung der Mächtigkeit des Quintener Kalkes.

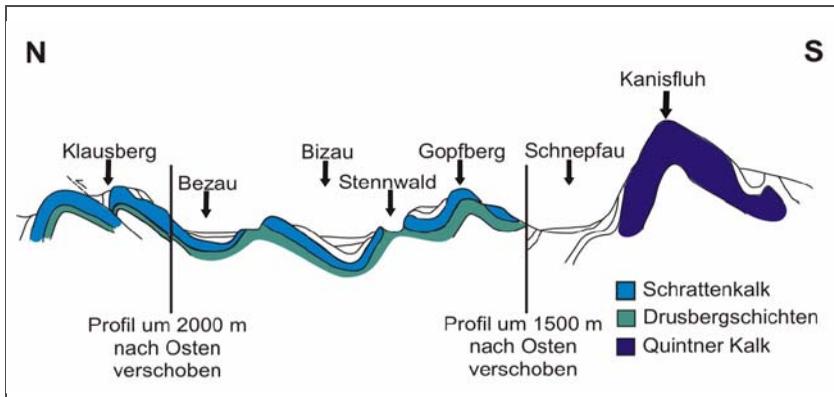


Abb. 25: Profilskizze durch das Kartiergebiet (nach LEIBING 2000).

3.3.3 Molasse

Die Ablagerungen der Molasse können strukturell in zwei Zonen eingeteilt werden. Der südlich und direkt am Alpenkörper angrenzende, gefaltete und verschuppte Teil wird als Abgeschürfte Molasse bezeichnet.

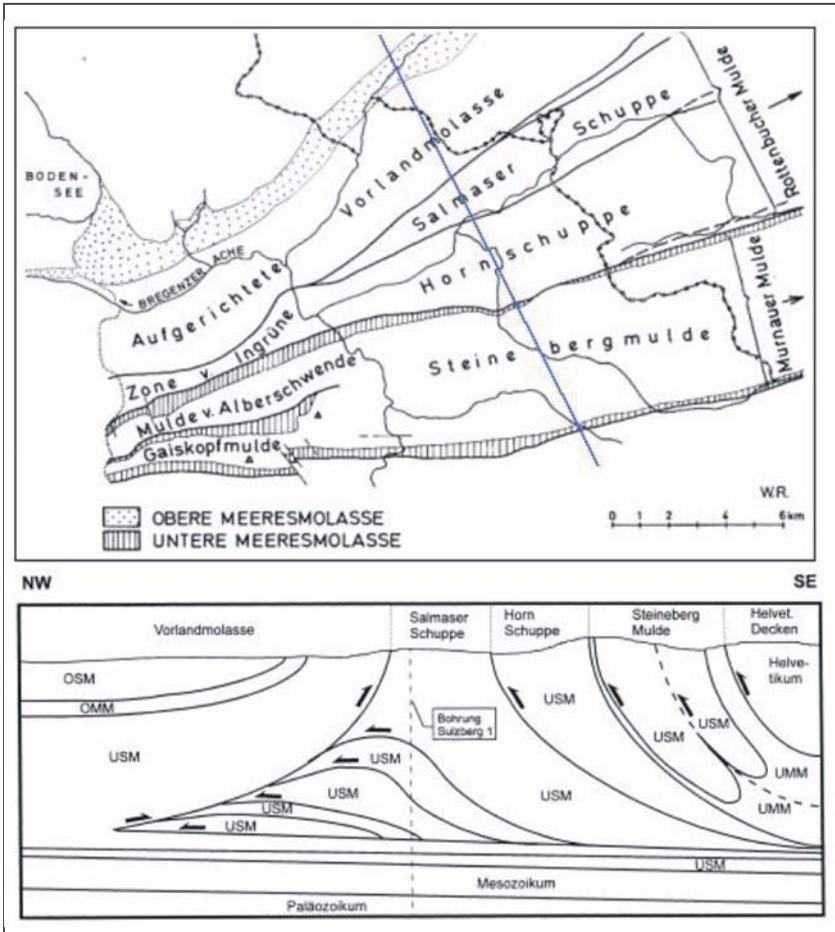


Abb. 26: Oben: Tektonische Einheiten der Molasse im westlichen Vorarlberg und Ostallgäu nach VOLLMAYR (1958). Unten: Molasseprofil mit interpretierter Deltastruktur nach MÜLLER et al. (1988) aus KIENZLE (1998). Die Lage des Profils ist in der oberen Abbildung eingezeichnet.

3.3 Lagerungsverhältnisse

Die Gesteine dieses Bereiches wurden im Zuge des Deckentransports der hangenden helvetischen Decke von ihrer Sedimentationsbasis abgeschert und nach MÜLLER et al. (1984) um mehr als 40 km nach Norden transportiert. Die Abgeschürfte Molasse kann nach HEIM (1928) westlich der Bregenzerach in drei Zonen eingeteilt werden (Geißkopfmulde, Mulde von Alberschwende und Zone von Ingrüne), wobei lediglich die Geißkopfmulde eine geologische Synklinale darstellt. Richtung Osten verschwindet die deutliche Zweiteilung der Geißkopfmulde und der Mulde von Alberschwende und die beiden Strukturen vereinen sich Richtung Osten namentlich zur Steinebergmulde. Nach MÜLLER et al. (1988) handelt es sich jedoch weiterhin um zwei Synklinalen (Abb. 26). Der Ausbiss der gesamten Abgeschürften Molasse besitzt im Kartiergebiet max. eine Breite von 6 km, im Osten sogar deutlich weniger. Außerhalb des Arbeitsgebietes nach Westen und Osten streichen die Gesteine zunehmend breiter aus. Möglicherweise hat der Vorarlberger Teil der Molasse aufgrund seiner vorherrschend mergeligen Ausbildung den geringsten Widerstand gegen den alpinen Schub geleistet.

Die nördliche Aufgerichtete Molasse (oder auch Ungefaltete od. Äußere Molasse) weist aufgrund einer wesentlich geringeren tektonischen Beanspruchung lediglich eine Verstellung auf, welche nach Norden abnimmt. Während das Schichteinfallen im Bereich des Kontaktes auf der Höhe von Bildstein und Oberbildstein ca. 40-45° aufweist, beträgt es im Bereich der Bregenzerach im Norden des Gebietes nur noch ca. 30-35°. Der Kontakt der beiden Zonen ist nach MÜLLER et al. (1988) als Rücküberschiebung der aufgerichteten Molasse auf eine Deltastruktur der subalpinen Molasse ausgebildet (Abb. 26).

3.4 Massenbewegungen und Geotechnik

3.4.1 Hangbewegungen: Gliederung und Definitionen

Will man eine Aussage über potenzielle Hangbewegungen in einer größeren Region treffen, ist ein genaues Studium der bekannten Massenbewegungen im Arbeitsgebiet und wenn möglich auch in der umliegenden Umgebung unerlässlich. Nur so bekommt man ein Verständnis für die gültigen Mechanismen und verschafft sich ein Überblick über die räumliche Verteilung von Massenbewegungsereignissen. Während das Verständnis der Mechanismen einem anschließend erlaubt geologisch ähnliche Situationen zu identifizieren, kann die räumliche Verteilung später statistisch mit anderen Faktoren verglichen werden, um mögliche „versteckte“ Mechanismen zu finden.

Da bei großflächigen langjährigen Projekten im Laufe der Zeit meist viele verschiedene Bearbeiter die Daten im Gelände sammeln, ist es wichtig, eine standardisierte Klassifikation der Massenbewegungen zu verwenden. Nur bei einer einheitlichen Klassifikation und räumlichen Darstellung in geotechnischen Karten ist später eine sinnvolle Verarbeitung der Daten mit einem GIS oder eine statistische Bewertung möglich.

In der Literatur finden sich eine Vielzahl von möglichen Klassifikationen von Massenbewegungen. Ein guter Überblick über die internationale Literatur findet sich bei CRUDEN et al. (1996). Grundsätzlich teilen die meisten Bearbeiter Hangbewegungen nach dem Bewegungsmechanismus sowie dem beteiligten Material ein. Auf dieser Grundlage basiert auch die Einteilung nach MOSER & ÜBLAGGER (1984), welche für den Alpenraum entwickelt und für diese Arbeit leicht verändert übernommen wurde (Tab. 10). Da zur Erstellung von Gefährdungskarten beides eingehend untersucht werden muss, erweist sich eine solche Einteilung schon bei der Geländearbeit als praktisch.

Als **Fallen und Stürzen** werden solche Bewegungen definiert, die überwiegend im freiem Fall stattfinden, wobei es durch Interaktion mit dem Untergrund zu rollenden, springenden und gleitenden Bewegungen kommen kann. Bei Steinschlag handelt es sich nach KIENHOLZ (1996) um einzelne Steine oder Blöcke, die sowohl aus Fest- als auch aus Lockergesteinen stammen können. Bei Felssturz sind größere Felsmassen beteiligt, welche beim Aufprall fraktioniert werden. Die Interaktionen der einzelnen Komponenten haben dabei jedoch keinen Einfluß auf die Gesamtdynamik der Bewegung. Bergstürze sind der Ab-

3.4 Massenbewegungen und Geotechnik

Tab. 10: Einteilung der Massenbewegungen (verändert nach MOSER & ÜBLAGGER, 1984)

Bewegungsvorgang	Material	
	Festgesteine	Lockergesteine
Fallen, Stürzen	Steinschlag Felssturz Bergsturz > 1 Mio m ³	Steinschlag - -
Gleiten, rotationsförmig	Felsgleitung ohne vorgezeichnete Gleitfläche	Rotationsrutschung in Lockergesteinen
Gleiten, translationsförmig	Felsgleitung mit vorgezeichneter Gleitfläche	Translationsrutschung in Lockergesteinen
Fließen, sehr schnell (>5 m/s)	-	Mure
Fließen, schnell (m/a – m/s)	-	Schuttstromfließen
Kriechen, langsam (mm-dm/a)	Talzus Schub (Sackung) /Felskriechen	Lockergesteinskriechen

sturz sehr großer (> 1 Mio m³) mehr oder weniger kohärenter Felsmassen, wobei der Verlagerungsmechanismus durch eine ausgeprägte Interaktion der einzelnen Komponenten untereinander gekennzeichnet ist. Hangbewegungen mit fallenden und stürzenden Bewegungen besitzen einen Abbruchbereich, den eigentlichen Gefahrenherd und einen oft verhältnismäßig weit entfernten Ablagerungsraum.

Gleiten erfolgt entlang einer oder mehrerer diskreter Scherflächen und führt zu „Rutschungen“ im engeren Sinn. Handelt es sich bei den Scherflächen um bereits vorgezeichnete Trennflächen, kommt es zu Translationsrutschungen auf einer ebenen Bahn. Solche Bewegungen treten überwiegend im Festgestein auf, teilweise sind aber auch geschichtete Lockergesteine mit unterschiedlich konsolidierten Bereichen betroffen. In Lockergesteinen treten jedoch meist Bewegungen entlang listrischer Bewegungsbahnen auf, die sogenannten Rotationsrutschungen. Durch die Form der Gleitfläche vollzieht der Rutschungskörper bei solchen Bewegungen eine Drehung um eine horizontale hangparallele Achse. In der Praxis weisen viele Rutschungen entlang ihrer Bewegungsbahn eine Kombination von beiden Möglichkeiten auf, man

spricht dann von komplexen oder kombinierten Rutschungen.

Unter **Fließen** versteht man bei Feststoffen allgemein eine irreversible plastische Verformung unter Zug- oder Schubspannung. Bei einer solchen Kinematik entsteht die Gesamtbewegung der Rutschmasse aus vielen Einzelbewegungen der Partikel relativ zueinander. VARNES (1996) definiert Fließen als eine kontinuierliche räumliche Bewegung, in der die einzelnen engständigen Scherflächen nur kurzlebig sind und in der Regel nicht konserviert werden. Eine Unterteilung der Fließbewegungen kann nach der Zusammensetzung der transportierten Masse (VARNES, 1996) oder der Bewegungsgeschwindigkeit (MOSER & ÜBLAGGER, 1984) erfolgen. Auch bei den Fließbewegungen, vor allem bei den schnellen Muren, liegen Liefergebiet und Ablagerungsbereich oft weit voneinander entfernt.

Die Einteilung nach der Geschwindigkeit, welche bei schnellen Bewegungen durchaus hilfreich ist, führt bei langsamen Bewegungen (cm/a) zu einem Abweichen vom Gliederungsschema nach Bewegungsarten. Obwohl unerlässlich um den Ist-Zustand zu beschreiben, stellt die Bewegungsgeschwindigkeit bei fast allen Hangbewegungen einen zeitlich variablen Faktor dar.

Unter **Kriechen** versteht man sehr langsame Hangbewegungen (mm-dm/a). Kriechen kann vor dem eigentlichen Bruch auftreten so lange die Mohr-Coulombsche Bruchbedingung nicht erreicht wird. Die Mechanik der Bewegung entspricht dann der plastischen Deformation. Kriechen kann allerdings auch nach dem Überschreiten der Mohr-Coulombschen Bruchbedingung in der Auslaufphase einer Rutschung auftreten. Es handelt sich dann um Kriechen im Zustand der Restscherfestigkeit.

3.4.2 Aufteilung des Gebietes in Teilgebiete

Erst nach Abschluss der Geländearbeit konnte die endgültige Entscheidung über die Methode der Gefährdungsanalyse gefällt werden. So hatte sich herausgestellt, dass der Teil des Arbeitsgebietes, welcher im Bereich der Helvetischen Decke liegt, nur wenig Rutschungen im eigentlichen Sinne aufweist und diese in ihrer Entwicklung überwiegend sehr fortgeschritten sind. In den massigen Kalkformationen stellen Steinschlag und Felsstürze von den steilen Wänden der engen Klusen und den aufgebrochenen Falten eine wesentlich bedeutendere Gefährdung dar. Anstelle einer Gefährdungskarte für Rutschungen wurde für diesen Bereich die Steinschlaggefährdung ermittelt (Kap 5.4). Es muss hier betont werden, dass der „Mangel“ an Rutschungen im Bereich des Helvetikums eine Eigenschaft des Arbeitsgebietes, nicht der helvetischen Formationen im allgemeinen ist. Bei einem stärkeren Einbeziehen der Seitentäler und der damit verbundenen Erweiterung des Untersuchungsgebietes ist die Abgrenzung rutschungsgefährdeter Bereiche im Helvetikum sicherlich sinnvoll.

Die Teilgebiete Flysch und Molasse hingegen sind deutlich von Rutschungen betroffen, so dass für diese Bereich eine entsprechende Gefährdungsanalyse durchgeführt werden konnte. Allerdings unterscheiden sich die Rutschungsmechanismen für die beiden Bereiche zum Teil, so dass sie nicht identisch behandelt werden konnten. Bedingt durch das Auftreten der verschiedenen Hangbewegungsmechanismen musste das Arbeitsgebiet also in die drei unten aufgeführten Gebiete aufgeteilt werden, welche ab diesem Zeitpunkt getrennt bearbeitet werden (Abb. 27).

- Blatt Alberschwende (überwiegend Ablagerungen der Molasse)
- Blatt Bezau (überwiegend helvetische Ablagerungen)
- Blatt Schoppernau (überwiegend penninische Ablagerungen)

3.4.3 Geotechnik von Blatt Schoppernau

3.4.3.1 Geotechnische Eigenschaften der Gesteine

Auf Blatt Schoppernau treten überwiegend Gesteine des Rhenodanubischen Flysch auf. Die Bezeichnung „Flysch“ stammt ursprünglich aus der Schweiz und bedeutet soviel wie „fließen“. Der Name etablierte sich sicherlich, weil die für diese Serien typischen Kalk-Mergel-Wechselfol-

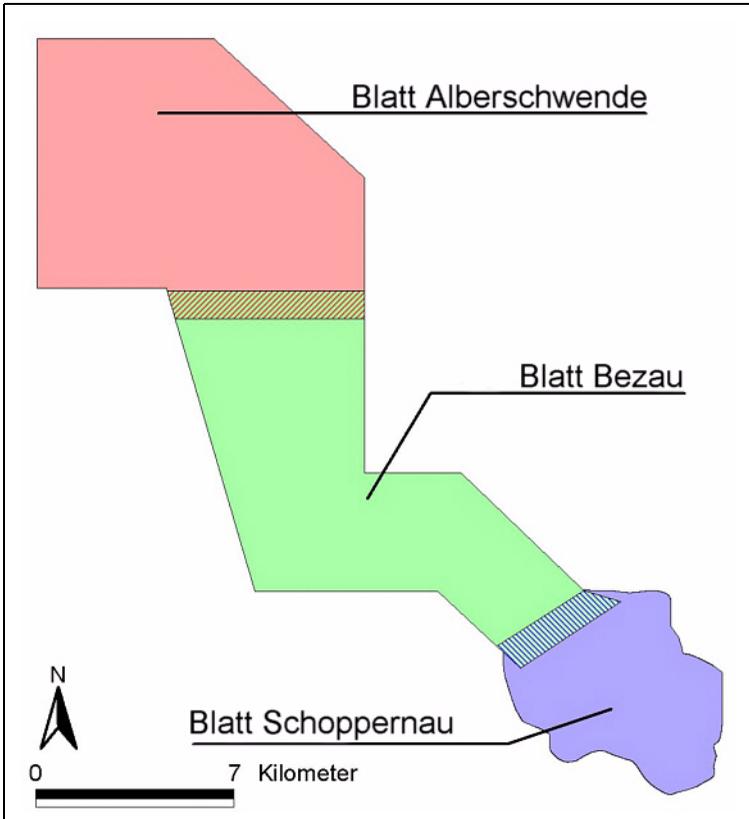


Abb. 27: Einteilung des Arbeitsgebietes in drei Teilgebiete.

gen bei starken Regenfällen besonders zu Hangbewegungen neigen. Die Empfindlichkeit der Einheiten gegenüber äußeren Einflüssen wird schon beim Durchfahren des Flysch-Gebietes deutlich: Immer wieder fallen tief eingeschnittene Erosionsrinnen auf (z.B. „Himmelsriese“ am Westhang der Üntschenspitze (Abb. 28) oder der Nordhang der Hochalpe oberhalb von Armengemach). Die steilwandigen Ufer der Bäche neigen zum Nachbrechen (z.B. Schrecksbach, Blendlerbach).

Die Gesteine des Rhenodanubischen Flysch bestehen überwiegend aus Wechselfolgen verschieden resistenter Gesteine. Für eine Einteilung in Festgesteine und wechselfeste Gesteine muss daher von der dominierenden Lithologie ausgegangen werden.

Unter Festgesteinen versteht man nach DIN 4022, T1 Gesteine, die ihre

mechanischen Eigenschaften auch nach 12 Stunden Wässerung nicht ändern. Wechselfeste Gesteine verändern ihre mechanischen Eigenschaften je nach Wassergehalt. Das Wasser, welches wechselfeste Gesteine aufnehmen, führt aufgrund des hohen Tongehaltes der Gesteine, teilweise zur Quellung, wodurch sich das Volumen und das Gewicht vergrößern und die mechanischen Eigenschaften ändern. So wird vor allem der Scherwiderstand beträchtlich verringert. Starkregenereignisse, langanhaltende Feuchtperioden und die Schneeschmelze im

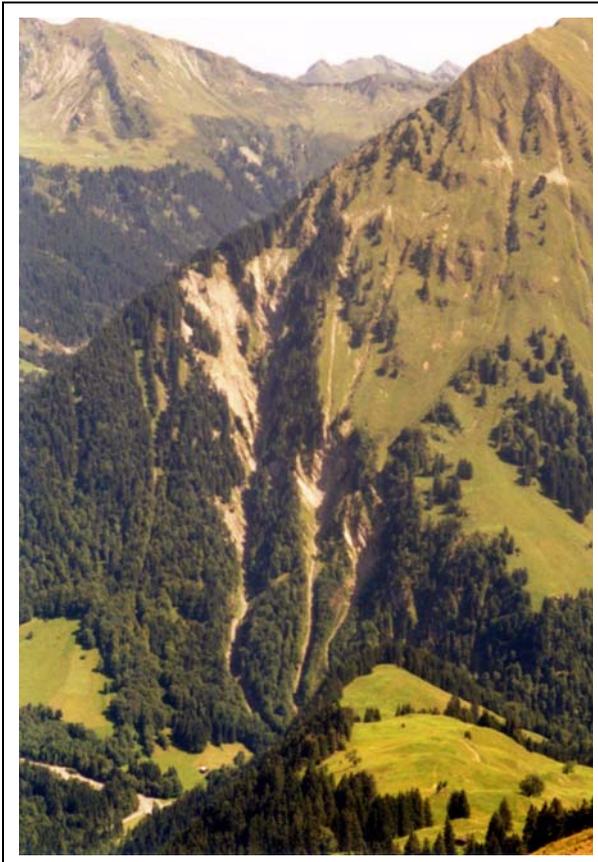


ABB. 28: „HIMMELSRIESEN“ AM WESTHANG DER ÜNTSCHENSPITZE. PIESENKOPF SERIE UND UNTERE FANOLA SERIE WERDEN HIER TIEFGREIFEND ERODIERT, WOBEI ES IMMER WIEDER ZU NACHBRÜCHEN KOMMT. (PHOTO M. RUFF)

Frühling führen in diesen Gesteinen immer wieder zu Massenbewegungen.

Reiselsberger Sandstein, Untere Fanola Serie und Obere Plankner-Brücke Serie können nach diesem Kriterium als Festgesteine betrachtet werden. Bei Festgesteinen ist das bestimmende Kriterium für Stabilität die Orientierung des Trennflächengefüges zum Hang. Mergeligitonige Lithologien bestimmen die Gesteine der Oferschwanger-, Piesenkopf-, Untere Plankner Brücke und Obere Fanola-Serie, welche als wechselfeste Gesteine angesehen werden.

Die Gesteine, welche die Melangezone aus Feuerstätter Decke und Ultrahelvetikum sowie die tektonisch stark beanspruchte Arosa-Zone aufbauen, können aufgrund der tonig-mergeligen Matrix ebenfalls zu den wechselfesten Gesteinen gezählt werden. Ähnlich wie in der Piesenkopf Serie kommt es am Schrankenbach nordöstlich von Schoppernau und im Einflussbereich des Hopferebener Baches östlich von Bad Hopfereben zu tief eingeschnittenen Abflussrinnen in denen es immer wieder zu Nachbrüchen kommt.

Als bedeutende Lockergesteine treten auf Blatt Schoppernau neben Moränen vor allem Hangschutt, Wildbachschutt und Felssturm Massen auf. Die auffälligsten Lockergesteinsablagerungen sind wohl die riesigen Schuttfächer aus Hauptdolomit, welche am Nordwesthang der

Künzelspitze (Abb. 29) die Gesteine des Penninikums überdecken.



ABB. 29: SCHUTTFÄCHER AUS VERWITTERTEM HAUPTDOLOMIT AM NORDWESTHANG DER KÜNZELSPITZE. LINKS: ANSICHT VON DER KÜNZELSPITZE, RECHTS: SEITENANSICHT VON SÜDEN.

3.4.3.2 Rutschungen

Dürrenbach-Rutschung

Auf Blatt Schoppernau treten zwei bedeutende Rutschungssysteme auf. Eines davon befindet sich am Südufer des Dürrenbaches. Piesenkopf-Formation und Reiselberger Sandstein fallen hier zwar mit ca. 50° in den Hang ein, sind aber (vermutlich aus diesem Grund) tiefgründig verwittert. Innerhalb dieser bis zu 20 m mächtigen Verwitterungszone hat sich eine komplex unterteilte Rutschmasse entwickelt, welche bei einer Breite von 780 m und einer Länge von 700 m, eine Fläche von ca. $0,3 \text{ km}^2$ abdeckt (Abb. 30). Nach RUFF (2000) ist das gesamte System aus drei aktiven Rutschkörpern aufgebaut, von denen die beiden nordöstlichen eine gemeinsame Rutschmasse bilden (Abb. 24). Während die südwestliche Rutschmasse ca. $57\,000 \text{ m}^2$ abdeckt, deckt die nordöstliche mit ca. $250\,000 \text{ m}^2$ fast die fünffache Fläche ab. Das Gefälle im Bereich der Rutschung beträgt, gemittelt von der Hauptabrissskante bis zum Dürrenbach, ca. 32° . In der nordöstlichen Rutschmasse kam es im Sommer 1998 zu einer Aktivierung, welche den Forstweg auf einer Länge von ca. 100 m mitriss. Im August 2000 kam es an der-

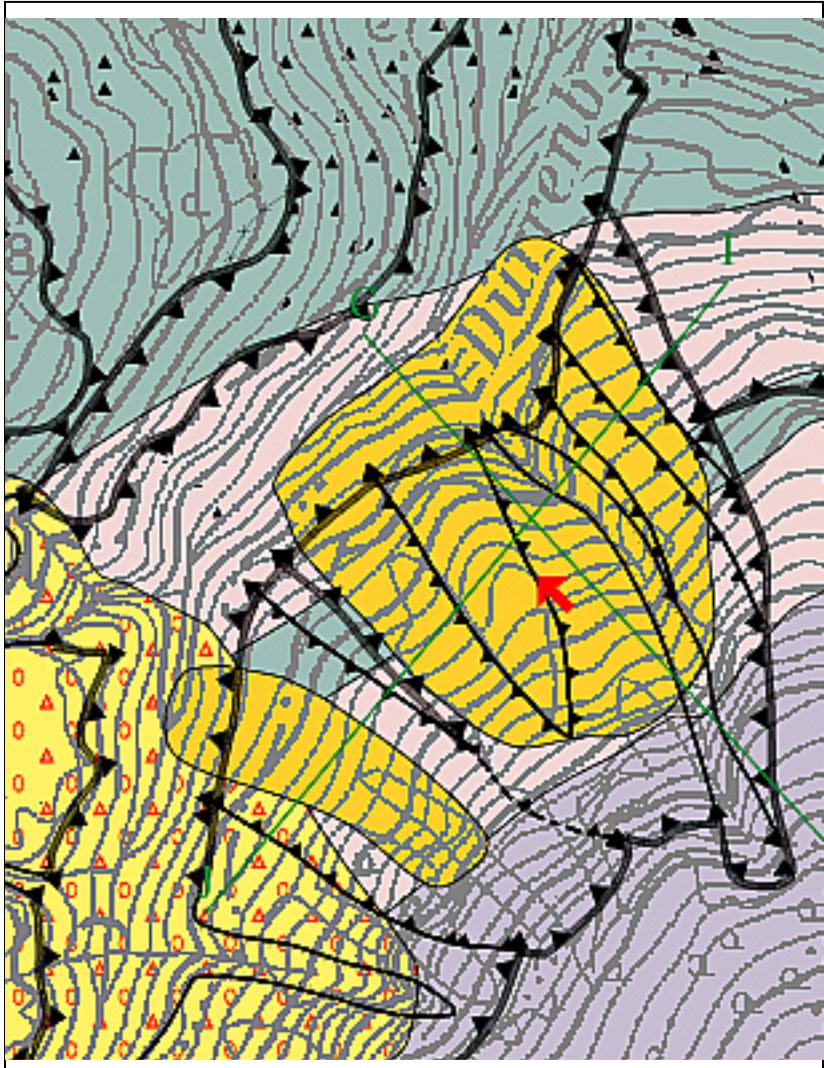


Abb. 30: Geotechnische Situation im Bereich der Dürrenbach-Rutschung. Der nach Norden exponierte Hang weist eine durchschnittliche Hangneigung von 32° auf. Das eingezeichnete Längsprofil ist in Abb. 31 abgebildet. Das Querprofil befindet sich bei RUFF (2000).

selben Stelle wieder zu Bewegungen. Vermutlich findet die gesamte

3.4 Massenbewegungen und Geotechnik

Rutschung innerhalb der Lockergesteinsauflage statt, wobei es wahrscheinlich ist, dass alle drei Rutschkörper einen gemeinsamen Abscherhorizont an der Grenze zum Festgestein besitzen (Abb. 25). Die Liniensignaturen der geotechnischen Kartenausschnitte sind in Anhang erklärt.

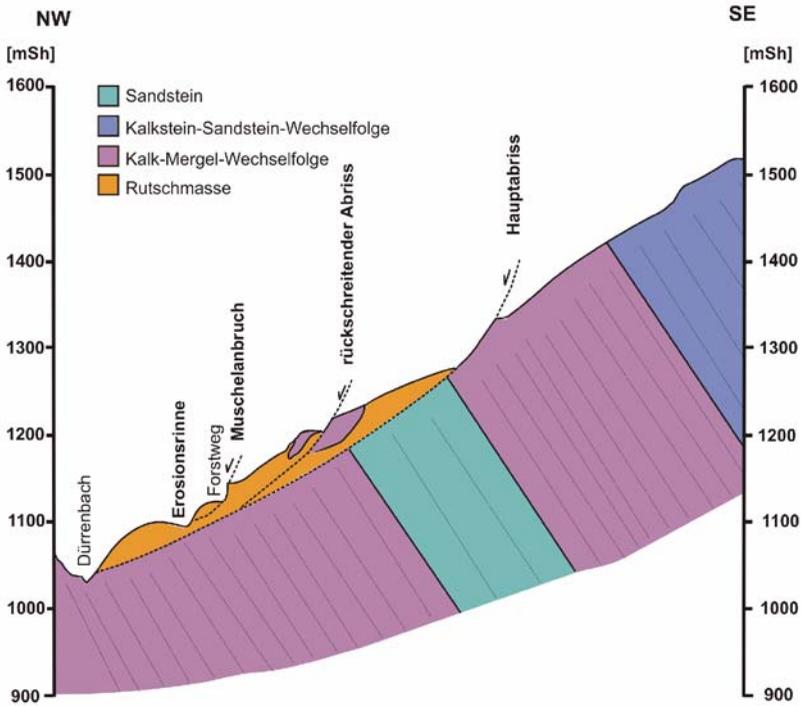


Abb. 31: Längsprofil der Dürrenbach-Rutschung (nach RUFF, 2000).

Üntschen-Rutschung

Das zweite Rutschungssystem ist die ca. 0,46 km² abdeckende Üntschen-Rutschung, welche sich auf unterer Fanola-Serie am Westhang der Üntschen Spitze in der Lockergesteinsauflage gebildet hat (Abb. 32). Die Schichtung der Wechselfolge fällt hier mit Beträgen zwischen 40° und 70° mit dem Hang ein. Das Gefälle der Rutschung, gemessen von der Hauptabbrisskante, beträgt ca. 25°. Schon von weitem ist die asymmetrische Hauptabbrisskante als deutliche Geländestufe zu erkennen (Abb. 33). Im Südostbereich bildet diese Abrisskante eine bis zu 40 m hohe Felswand in der eine 10 m mächtige tonige Melangezone aufgeschlossen ist, welche nach RUFF (2000) als Überschiebung interpretiert werden kann. Möglicherweise hat diese Schwächezone die räumliche Anlage der Rutschung begünstigt. Im nordwestlichen Bereich der ca. 1100 m langen, 650 m breiten und bis zu 30 m mächtigen Rutschmasse konnten im Sommer 2000 frische, konvex zur Bewegungsrichtung gebogene Zerr-Risse beobachtet werden. Der Rutschungskörper selbst besteht zum überwiegenden Teil aus Lockermaterial, enthält aber teilweise bis zu mehrere Meter große Gesteinsblöcke. Unterhalb der Üntschenberg-Vorsäß-Alpe wird die Rutschmasse durch anstehende Fanola-Serie unterbrochen.

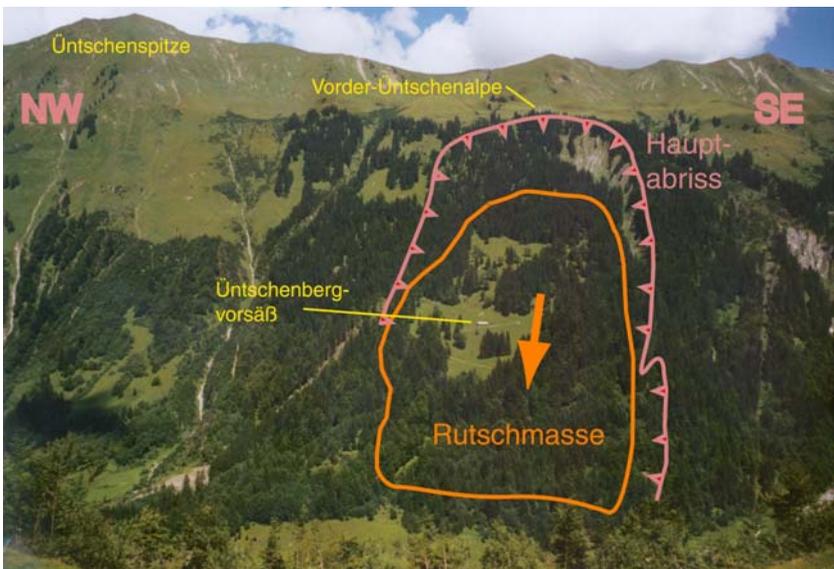


Abb. 32: Üntschentrutschung: Auffällig ist die Steilwand im Bereich der Hauptabrissskante. (Photo M. Ruff)

Oberhalb der Hauptabrissskante, im Bereich der Vorde-Üntschentalpe, kommt es in der Fanola Serie möglicherweise zu translatorischen Gleitungen, welche auch die hangende Moräne nachgleiten läßt (Abb. 33). Im Interesse der zwei Almbetriebe wurden von der Gemeinde Schopernau an sechs Punkten Abstands-Messungen durchgeführt. Nahe dem oberen südöstlichen Abschnitt der Hauptabrissskante wurden dabei von Juni 1999 bis Juni 2000 bis zu 24 cm Versatz gemessen. Im nördlichen Bereich betrug der Versatz im selben Zeitraum weniger als 4 cm. Oberhalb der Hauptabrissskante waren die Versatzbeträge noch geringer.

Die Gefährdung, welche von der Lockergesteinsauflage am Südwesthang der Üntschenspitze ausgeht, wird durch ein weiteres kleineres Ereignis unterstrichen. Im Sommer 1998 kam es am Hang oberhalb von Vorder-Hopfreben zur Bildung eines 40 m langen und 20 m breitem Schuttstromes innerhalb der Lockergesteinsauflage (Abb. 34). Die bewegte Masse setzte sich aus einem Massenanteil von etwa 60% Feinmaterial, gemischt mit Mergel- und sandigen Kalkstein-Geröllen im dm-Bereich, zusammen

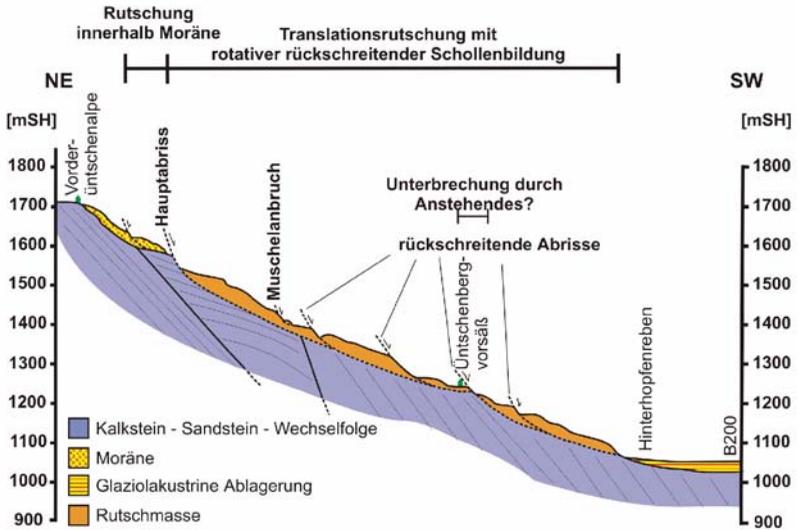


Abb. 33: Profil der Üntschental-Rutschung. Im Bereich der Abrisskante fallen die Schichten mit dem Hang ein. Translatorische Bewegungen in der Fanola Serie führen möglicherweise zu einem Nachgleiten der Moräne (nach RUFF, 2000).



Abb. 34: Kleiner Schuttstrom bei Vorder-Hopfenreben (Photo M. RUFF).

Felsgleitung „Armeseelenkapelle“

Abgesehen von den beiden großen Rutschungssystemen kommt es noch zu einigen kleinräumigeren Bewegungen. Die prominenteste davon ist wohl die Felsgleitung unterhalb der Armeseelenkapelle. Hier fallen die Schichten der Oberen Plankner Brücke Serie hangparallel mit 30-50° ein. Durch eine besonders ungünstige Verschneidung zwischen Böschungslage, Schichtung und Klüftung kommt es zum Abgleiten m-großer Felsbereiche in die Bregenzerach (Abb. 35 u. Abb. 36). Durch die ständige Erosion der Bregenzerach am Hangfuß kam es seit dem Bau der Armeseelenkapelle zu einem Rückschreiten der oberen Abrisskante von mehreren Metern, so das die Kapelle bereits um 5 m zurückversetzt werden musste.

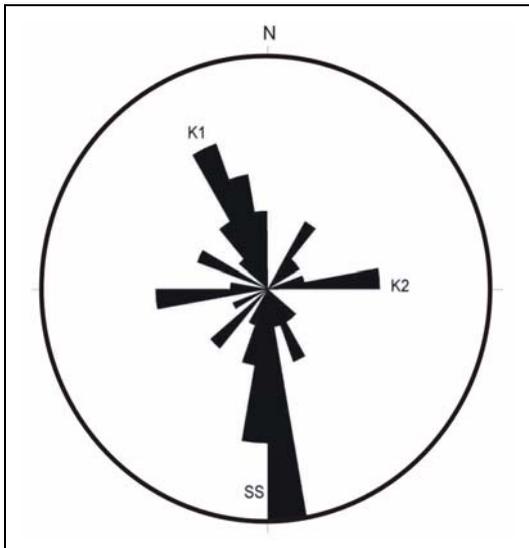


Abb. 35: Klüftrosendarstellung der Trennflächen an der Böschung südlich der Armeseelenkapelle (RUFF, 2000)



Abb. 36: Situation in der Umgebung der Armeseelenkapelle am Südportal des Straßentunnels. Das Trennflächengefüge begünstigt hier das Abgleiten m-großer Bereiche.

Nordhang des Schrecksbaches

Weitere Rotations- und Translationsrutschungen in der Lockergesteinsauflage treten im Bereich des tief angewittertem Reiselberger Sandsteins am Nordhang des Schrecksbaches auf (Abb. 37). Auf dem Hang hat sich eine mehrere Meter mächtige Hangschuttdecke gebildet. Bei langen Feuchtperioden sättigen sich die ansonsten gering durchlässigen Hanglehne mit Wasser. Besonders in Bereichen, in denen die unterlagernden Sandsteine hangparallel einfallen, treten dann auch translative Rutschungen von kalkigen auf tonigen Bänken im Festgestein auf.

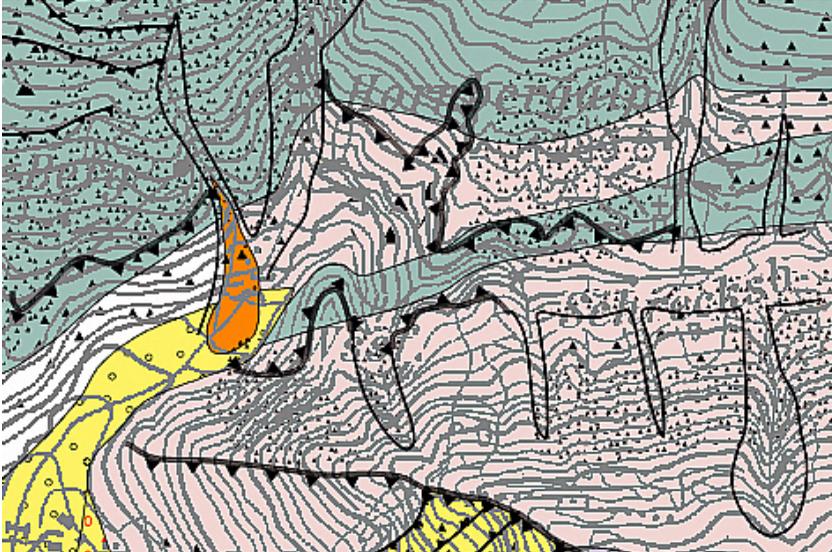


Abb. 37: Geotechnische Situation in der Umgebung des Schrecksbaches. Vor allem am Nordufer kommt es immer wieder zu Nachbrüchen.



Abb. 38: Staumauern am Schrecksbach, Blick in Richtung Osten. (Photo M. Ruff).

3.4.3.3 Muren

Eine der Hauptbedrohungen für die Siedlungen im Tal sind die immer wieder auftretenden Muren. Zahlreiche Ablagerungen von Muren finden sich z.B. entlang der Bregenzerach am Ostufer südlich der Armeeseelenkapelle und in der Umgebung des Schrecksbaches. Vor allem im Bereich von tonig-mergeligen Formationen ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Flanken eines Baches bei langanhaltenden oder extremen Niederschlagsereignissen nachbrechen, besonders groß.

Ein aktuelles Beispiel für eine folgenschwere Mure ist die **Schoppernau Mure**, welche Pfingsten 1999 nach schweren Regenfällen bei gleichzeitiger Schneeschmelze oberhalb von Schoppernau im Bereich des Reiselberger Sandsteins ihren Ausgang nahm. Von einem Abrissbereich bei ca. 1300 m bewegte sich das meist tonige Material in einem Bachbett bis in den Dorfkern von Schoppernau bei 852 m (Abb. 39).

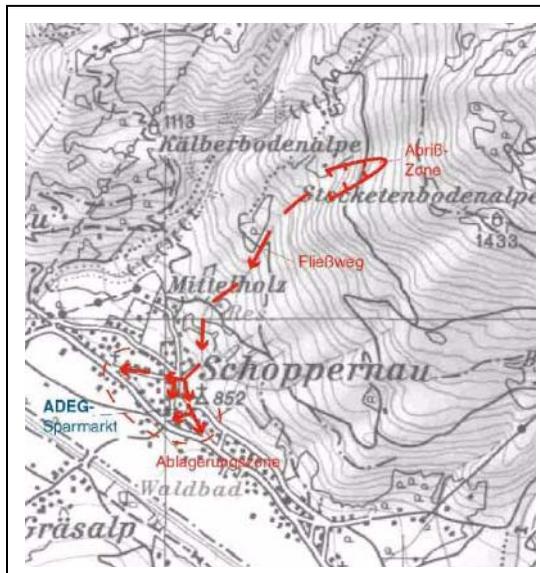


Abb. 39: Übersicht über Abrisszone, Fließweg und Ablagerungsbereich der „Schoppernau-Mure“ vom 30.05.1999 (Ruff, 2000).

3.4.3.4 Kriechen

Mit Kriechbewegungen an Lokalitäten mit deutlichen Hangschuttdecken muss im gesamten Arbeitsgebiet gerechnet werden. Nach RUFF (2000) kommt es im Bereich der Hochalpe südlich des Toblermannkopfes auf einer Fläche von 0,2 km² zu ausgedehnten Kriechbewegungen in einer mächtigen Lockergesteinsauflage auf Unterer Fanola-Serie (Abb. 40). Hierfür spricht vor allem die unruhige Hangmorphologie. Die Hangneigung beträgt in diesem Bereich ca. 27°.

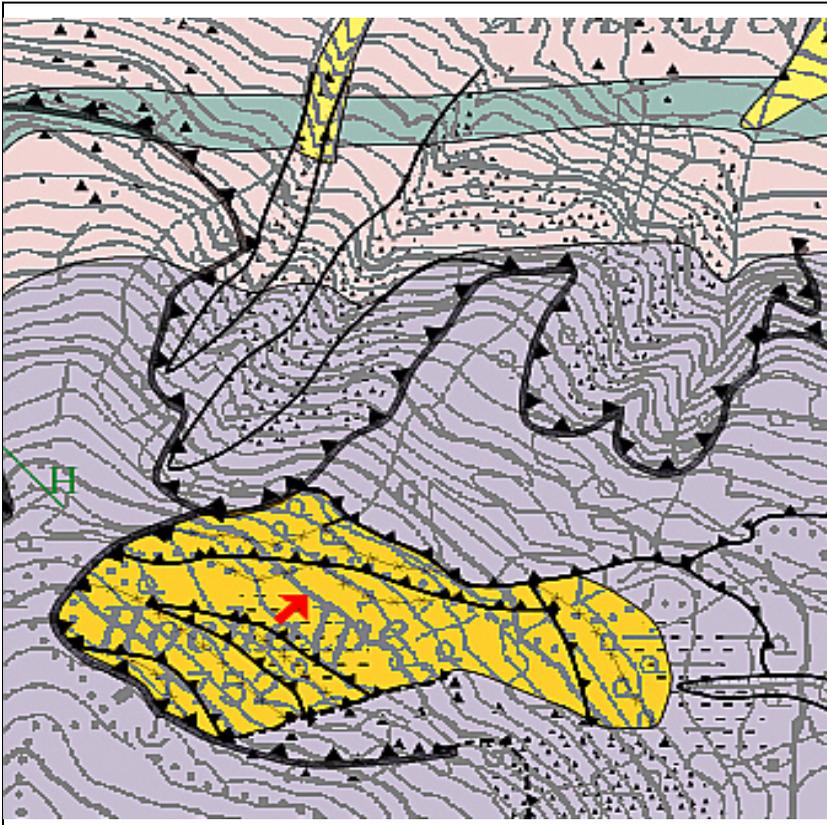


Abb. 40: Geotechnische Situation im Bereich der Hochalpe südlich des Toblermannkopfes.



*Abb. 41: Photo der Hangmorphologie im Bereich der Hochalpe.
(Photo M. Ruff)*

3.4.3.5 Zusammenfassende Bewertung

Abgesehen von der ausgeprägten Erosion lässt sich zusammenfassend sagen, dass es im Bereich des Flysch vor allem zu Rutschungen im eigentlichen Sinne und zu Muren kommt. Bei den Rutschungen treten, je nach Schichtlagerung und Beschaffenheit der Lockergesteinsauflage, sowohl Rotations- als auch Translationsbewegungen auf.

Vor allem in den Lockergesteinen und dort überwiegend im tonreichen Hangschutt und nur untergeordnet in der Moräne, treten auf Blatt Schoppernau Rutschungen auf. Durch die Verwitterungsanfälligkeit der Flyschgesteine sind praktisch alle Hänge mit einer mehr oder weniger mächtigen Hangschuttdecke bedeckt. Vor allem Hänge mit geringem Bewuchs sind gefährdet. Aufgrund der Bedeutung, welche Hangschutt für die Entstehung von Massenbewegungen hat und den teilweise auffälligen Mächtigkeiten, wurde im Rahmen der Bearbeitung durch RUFF (2000) eine Karte der Lockergesteinsmächtigkeiten erstellt (Abb. 42). Die abgegrenzten Mächtigkeiten wurden dabei nicht durch Bohrungen oder Sondierungen ermittelt sondern basieren auf Aufschlüssen und Beobachtung. Wenn in der geologischen Karte nicht anders vermerkt, handelt es sich bei diesen Lockergesteinen um Hangschutt (bzw. Verwitterungsschutt). SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1978) ermittelten für den Bereich des Flysch einige Gesteinsparameter dieses Hangschuttes (Tab. 8).

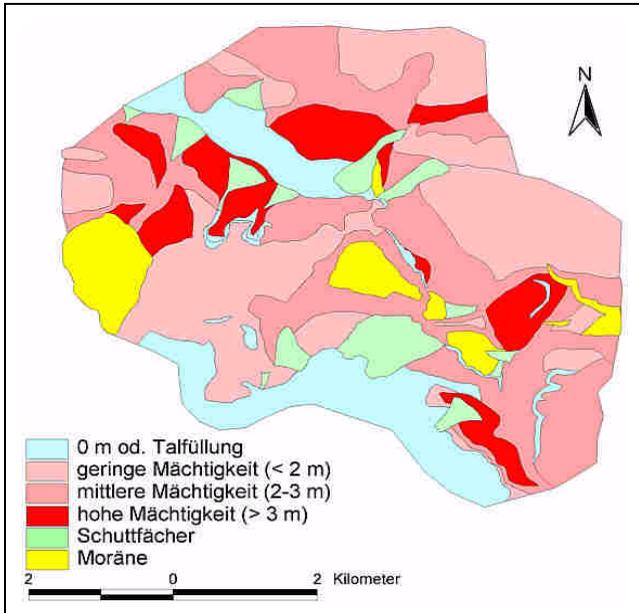


Abb. 42: Lockergesteinmächtigkeiten im Bereich von Blatt Schoppemau.

Von den stratigraphischen Einheiten sind vor allem Untere Fanola Serie und die Piesenkopf Serie rutschungsgefährdet. Aber auch in der Oberen Fanola Serie und der Unteren Planknerbrücke Serie treten Rutschungen auf. Bei hangparallelen Schichteinfallen neigt der Reiselberger Sandstein zu Translationsrutschungen.

3.4.4 Geotechnik von Blatt Bezau

3.4.4.1 Geotechnische Eigenschaften der Gesteine

Die Schichtenfolge des Helvetikums wird von einer Wechselfolge von Kalksteinen, Sandsteinen und Mergeln aufgebaut. Insgesamt dominieren jedoch die Festgesteine über die wechselfesten Gesteine. Nur die Palfris-Formation und die Amdener Schichten können ohne große Einschränkung zu den wechselfesten Gesteinen gezählt werden. Die Drusbergschichten müssen von Fall zu Fall bewertet werden: Enthalten sie im Norden noch zahlreiche Kalkbänke, so nehmen diese nach Süden immer mehr ab, so dass sie dort als wechselfeste Gesteine einge-

stuft werden können. Bei allen anderen helvetischen Gesteinen des Arbeitsgebietes handelt es sich um Festgesteine, welche nur untergeordnet Mergellagen enthalten. Als Lockergesteine treten im Bereich des Helvetikum hauptsächlich Sturzmaterial und Hangschutt auf, für die Massenbewegungen hat aber nur das Verwitterungsmaterial der Palfris-Formation eine Bedeutung.

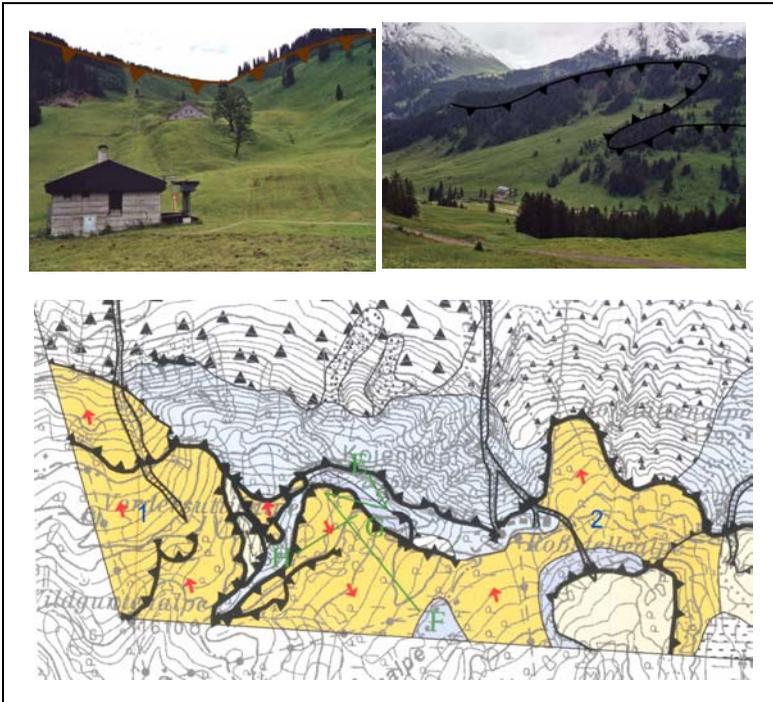


Abb. 43: Unten: Rutschungen in der Umgebung des Kojenkopfes in den Mergeln der Palfris Formation.

Oben links: Rutschung westlich des Kojenkopfes (1).

Oben rechts: Rutschung südlich der Roßstellenalpe (2).

3.4.4.2 Rutschungen

Rutschungen im eigentlichen Sinne treten im Helvetikum des Arbeitsgebietes nur untergeordnet auf. Bei starken Niederschlägen kommt es immer wieder zu kleineren, örtlich begrenzten Rutschungsereignissen. Bei Starkregenereignissen am 5. und 6. August 2000 ereigneten sich

während der Geländeuntersuchungen, verteilt über das Gebiet, mehrere nur wenige m² abdeckende Rutschungen in den Deckschichten.

Zu ausgedehnten Hangbewegungen kommt es nur in zwei Formationen: Den Amdener-Schichten und der Palfris-Formation.

Als fossile Hangbewegung ist die Rutschung am Gopfberg zu erwähnen. VAN WESTEN (1986) führte detaillierte Stabilitätsanalysen an der Felsgleitung durch. Seine Ergebnisse lassen annehmen, dass sie wahrscheinlich im Spätwürm aktiv war, als sich im Tal ein See gebildet hatte.

Amdener Schichten

Ein Bereich, welcher als rutschungsgefährdet betrachtet werden kann, ist das streckenweise tief eingeschnittene **Tal der Bregenzerach** in der Umgebung von Bersbuch und westlich von Andelsbuch im Norden von Blatt Bezau. Die überwiegend mergelig-tonigen Ablagerungen der Amdener Schichten sowie des Ultrahelvetikum und der Feuerstätter Zone neigen zu Uferanbrüchen, besonders bei hohen Wasserständen des Flusses.

Auch in den Amdener Schichten **westlich von Klaus** kommt es in den tief eingeschnittenen Bachläufen immer wieder zu Nachbrüchen, da die Leistenmergel wenig Widerstand gegen die Erosion liefern. Auch dieser Bereich ist Rutschungsgefährdet.

Mergel der Palfris-Formation

Dort, wo die wechselfesten Mergel der Palfris-Formation austreichen (hinteres Mellental, im Bereich des Kojenkopfes und nördlich von Rehmen) treten großflächige Hangbewegungen auf. Eine unruhige Morphologie, Schäden an Gebäuden, Zerr-Risse, frische Muschelanbrüche und Säbelwuchs der Bäume lassen darauf schließen, dass in diesen Bereichen rezente Bewegungen stattfinden. Im Rahmen der geotechnischen Kartierung ermittelte LEIBING (2000) für diese Bereiche komplizierte, aus mehreren Einzelkörpern bestehende Systeme aus kombinierten Rutschungen.

Dabei geht er im **Bereich des Kojenkopfes** von einer maximal 30 m tiefen und nördlich von Rehmen max. 10 m tiefen Scherbahn aus. Die tief ausgeräumte Hohlform am Kojenkopf deutet auf eine alte, weit fortgeschrittene Bewegungen hin (Abb. 43).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sich bei den Bewegungen in den tiefgründig verwitterten Palfris-Mergeln von der Geschwindigkeit her eher um kriechende Prozesse handelt. Vor allem im Bereich

nördlich Rehmen kann es sich um Kriechbewegungen im tiefgreifenden Verwitterungsschutt ohne definierte Gleitfläche handeln.

Steinbruch von Mellau

Von wirtschaftlichen Interesse ist die Rutschung im Steinbruch von Mellau. Hier wurde durch den Abbau der Hangfuß entfernt, wodurch es zu einer künstlichen Versteilung der Böschung kam. Den oberhalb des Steinbruchs anstehenden Drusbergschichten fehlte dadurch das Widerlager, wodurch sie in Bewegung gerieten und den Steinbruch verschütteten. Dieses Ereignis, welches zur Stilllegung des Abbaus führte, zeigt, dass die Drusbergschichten bei ungünstigen Vorrassetzungen durchaus als rutschungsgefährdet gelten können.

3.4.4.3 Sturzbewegungen

Sturzbewegungen treten in weiten Bereichen des Helvetikums, vor allem aber an den steilen Felswänden des Schrattekalkes und des

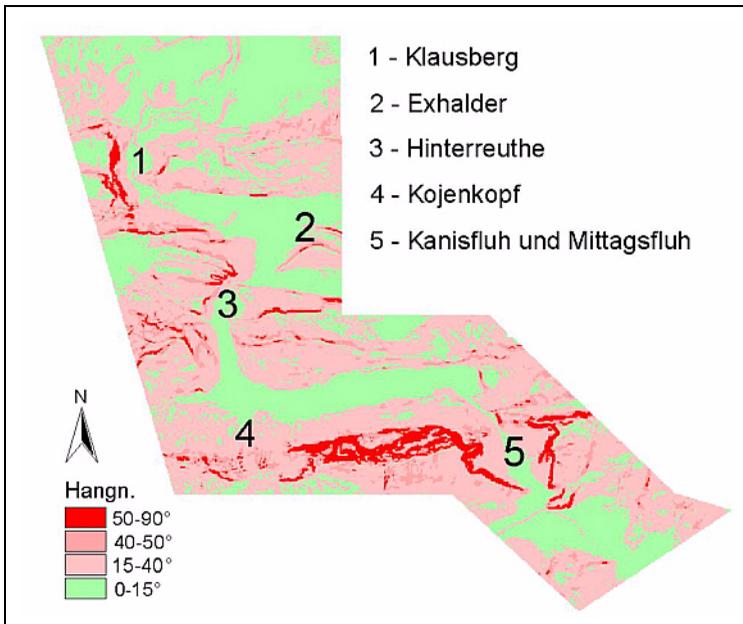


Abb. 44: Lage der besprochenen Sturzbereiche auf Blatt Bezau vor dem Hintergrund der Hangneigungskarte.

Quintner-Kalkes, auf. Fünf Bereiche sollen im Folgenden kurz dargestellt werden (Abb. 44).

Klausberg

Im Norden von Blatt Bezau liegt die Kluse (Talverengung) des Andelsbacher und Schwarzenberger Klausberges. Vor allem im Bereich des westlich gelegenen **Schwarzenberger Klausberg** kam es in den letzten Jahren immer wieder zu Steinschlag- und Felssturzereignissen (Abb. 45).



Abb. 45: Felswand am Schwarzenberger Klausberg mit aktueller Steinschlagrinne.

Die Felswand in diesem Bereich ist ca. 1 km lang und 200 m hoch. Aufgebaut wird sie aus Gesteinen des Schrattenkalkes, der Drusbergschichten und der Oerfla-Formation. Die Schichten streichen ungefähr NNE-SSW und fallen mit 5-30° nach Westen oder Südwesten ein (LEIBING, 2000). Alle drei Einheiten tragen zu den Sturzbewegungen bei, die größte Gefahr geht jedoch vom Schrattenkalk aus.

Obwohl solche großen Felssturzereignisse selten sind, haben die größten aufgefundenen Felsblöcke ein Volumen von bis zu 50 m³. Kleinere Steinschlagereignisse können entlang der gesamten Felswand ständig beobachtet werden.

Im Bereich des östlich gelegenen **Andelsbucher Klausberges** ist die Gefährdung aufgrund der flacheren Hangneigung, vor allem im nördlichen Bereich, deutlich geringer (Abb. 46). Durch ein geringfügig hangauswärts geneigtes Schichteinfallen ist jedoch auch dieser Bereich sturzgefährdet. Ein vom restlichen Gesteinsverband durch eine hangparallele Kluft getrennter Felsturm („Brandschrofen“) könnte in diesem Bereich zu einem größeren Felssturzereignis führen, weshalb er im Laufe der nächsten Jahre stückweise abgetragen werden soll. Die Vorbereitungen hierfür waren Ende 2001 bereits deutlich zu sehen (Abb. 46). Im Bannwald unterhalb des Felsbandes traten im Norden eher alte Sturzmassen auf, deren Kantenlänge durchaus auch im Meter-Bereich liegen kann. Im südlichen Bereich sind die Sturzmassen deutlich jünger (Aktuelle Schneise) und größer (bis zu 10 m Kantenlänge), was auf eine stärkere aktuelle Gefährdung dieses Bereiches schließen lässt.



Abb. 46: Hang des Andelsbucher Klausberges. Die Entfernung des Bannwaldes dient der Vorbereitung für die Abtragung des Brandschrofens.

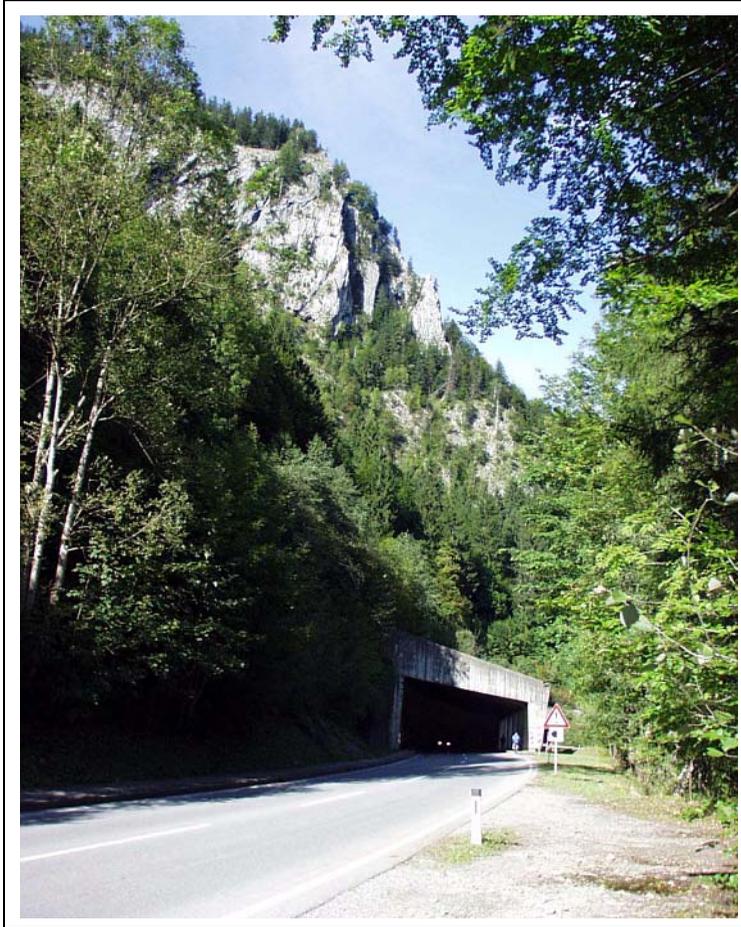


Abb. 47: Steile Felswände in der Kluse bei Hinterreuthe und Steinschlaggalerie aus südlicher Richtung.

Exhalder

Die Nordseite des Exhalders wurde als Beispiel für Steinschlag im Bereich einer aufgebrochenen nordvergenten Falte des Schraffenkalkes aufgenommen. Durch die enge Faltung des Schraffenkalkes kam es zur Bildung eines engständigen Kluftsystems, so dass die zu erwartenden

den Sturzkörper vor allem im dm-m Breich liegen. Von LEIBING (2000) werden am Fuß des Exhalders aber auch Blöcke bis ca. 1000 m³ beschrieben. Die Höhe der Felswand beträgt jedoch nur 30 m, wodurch nur eine geringe potentielle Energie für die zu erwartenden Sturzkörper vorliegt.

Hinterreuthe

Auch die Kluse bei Hinterreuthe ist von Steinschlag und Felssturz betroffen (Abb. 47). Zur Sicherung der unmittelbar unterhalb dieses Bereiches verlaufenden B200 wurde deswegen eine Steinschlaggalerie errichtet. Im Pleistozän fanden in diesem Bereich Sturzereignisse statt, deren Volumen ausreichte die Bregenzerach aufzustauen, wodurch es flussaufwärts zur Bildung eines Sees kam.

Kojenkopf

Auch beim Kanisfluhgewölbe handelt es sich im Bereich des Kojenkopfes um eine aufgebrochene, nordvergente Falte. Durch die aufgebrochene Faltenstruktur, die Versteilung der Talflanke, die intensive Beanspruchung bei der Faltenbildung und der Überschiebung stellt die Nordseite des Kanisfluh-Gewölbes ein Gebiet mit vermehrten Steinschlag und Felssturz dar. Im westlichen Abschnitt, im Bereich des Kojenkopfes, liegen im unteren Abschnitt des Hanges große Mengen an Sturzmaterial, dessen Blöcke nach LEIBING (2000) mehrere 100 m³ aufweisen können. LEIBING (2000) beschreibt im Gipfelbereich bis zu 10 m tiefe Zerr-Risse welche einen „Felsturm“ vom Felsverband trennen. Sollte dieser Felsturm abstürzen, würde dies ein Ereignis mit mindestens 0,5 Mio. m³ Felssturzmasse bedeuten.

Kanisfluh und Mittagsfluh

Felsstürze gehen in der Engstelle im Bereich zwischen der Kanisfluh und Mittagsfluh seit den Eiszeiten nieder (SEIJMONSBERGEN, 1987). Die durch Aufschiebungen tektonisch vergrößerte Mächtigkeit des Quintner Kalkes führt zur Bildung hoher Felswände, die gute Löslichkeit ermöglicht Verkarstung, welche wiederum den inneren Zusammenhalt des Gesteins verringert. Die geotechnische Situation zeigt Abb. 48.

Im Westen der Kluse erhebt sich an der **Kanisfluh** eine bis zu 300 m hohe Felswand aus Quintner Kalk mit Schiltschichten im unteren Bereich (Abb. 49). Unterhalb der Felswand erstreckt sich ein fast vegetationsloser Schuttbereich. Die Blöcke in diesem Bereich besitzt eine Durchschnittsgröße von 0,5 m³ und erreicht maximal 3 m³. Auf dem

Schutfächer treten Entwässerungsrinnen auf. Auch im bewaldeten Bereich unterhalb des Schutfächers treten Sturzmassen auf, wobei hier nach Leibing (2000) Blöcke bis zu 200 m^3 auftreten. Insgesamt bedecken die Schuttmassen im Bereich der Kanisfluh ca. $0,7 \text{ km}^2$.

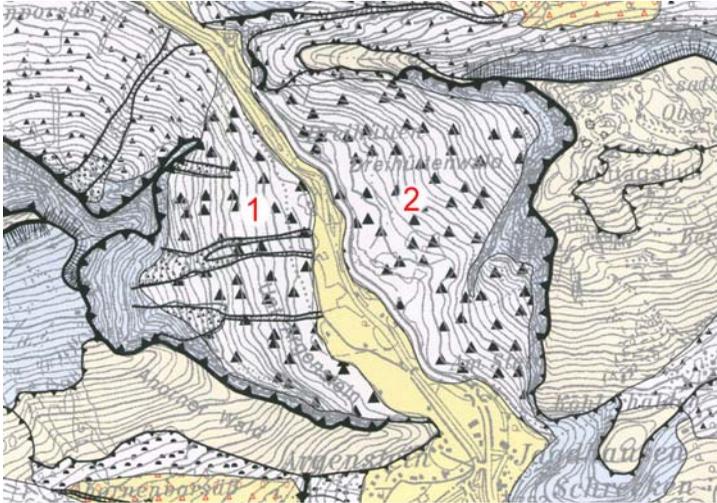


Abb. 48: Geotechnische Situation der Kanisfluh-Mittagsfluh-Kluse.
1) Schutfächer der Kanisfluh. 2) Schutfächer der Mittagsfluh.

Die im Osten gelegene Felswand der **Mittagsfluh**, ebenfalls aus Quintner Kalk und Schiltschichten bestehend, weist eine Höhe von 200 m auf. Am Fuß dieser Felswand schließt sich ein nur randlich bewachsener Schutfächer an, dessen Fläche ca. beträgt und der überwiegend aus Quintner Kalk besteht. Die maximale Größe der Blöcke beträgt 150 m^3 , die Durchschnittsgröße jedoch nur 1 m^3 . Im bewaldeten Bereich, am Fuß des Fächers, treten allerdings fossile Sturzmassen mit Blöcken von bis zu 1000 m^3 auf. Insgesamt ist der Schutt gröber als auf Westseite der Kluse. Insgesamt bedecken die Schuttmassen im Bereich der Mittagsfluh ca. 1 km^2 . Die Hangneigung des von Schutt bedeckten Bereiches beträgt im Schnitt für beide Seiten ca. 28° .

3.4.4.4 Zusammenfassende Bewertung

Durch die Beschaffenheit und räumliche Verteilung der Rutschungen auf Blatt Bezau konnte keine sinnvolle Abgrenzung von Rutschungsmechanismen in helvetischen Gesteinen durchgeführt werden. Die Hangbewegungen im Bereich der Palfris-Formation sind bereits weit fortgeschritten. Sie stellen keine akute Gefahr dar und können somit auch nicht als aktuelle Beispiele für Gefährdung herangezogen werden. Die morphologische Situation an der Bregenzerach bei Bersbuch hingegen unterscheidet sich grundlegend vom restlichen Blatt Bezau wodurch die Mechanismen aus diesem Bereich nicht auf das gesamte Blattgebiet übertragen werden können. Da für eine Gefährdungskartierung jedoch die Annahme grundlegender aktueller Mechanismen erforderlich ist, konnte auch keine Gefährdungskartierung für Rutschungen im Bereich Helvetikum durchgeführt werden. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass es in der Palfris-Formation, den Amdener Schichten und in manchen Situationen auch in den Drusbergschichten zu Rutschungen kommen kann. Dies bedeutet allerdings nicht, dass helvetische Gesteine „rutschungssicher“ sind, sondern dass die Verteilung der vorhandenen Rutschungen auf Blatt Bezau für eine Gefährdungskartierung ungeeignet ist.



Abb. 49: Kluse zwischen Kanisfluh und Mittagsfluh. Von den steilen Kalkwänden gehen immer wieder Steinschlag- und Felssturzereignisse aus.

Tatsächlich sind Sturzbewegungen die eigentliche Bedrohung in diesem Bereich des Gebietes. Die morphologisch auffälligen Antiklinalen des nordvergenten Faltenbaus sind, bei einer Wellenlänge von ca. 1 km, im Norden immer wieder aufgebrochen (Dürrenberg, Gopfberg, Kanisfluh). Da die Antiklinalen von den massigen Kalken des Schratenkalkes im Norden und des Quintner Kalkes im Süden aufgebaut werden, während die weichen mergeligen Gesteine eher in den Synklinalen zu finden sind, führt die exponierte Lage der harten Gesteine immer wieder zu Sturzereignissen. Besonders sturzgefährdet sind jedoch die schluchtartigen Klusen, in denen sich die Bregenzerach senkrecht zum Streichen ihren Weg durch die Faltenzüge gebahnt hat.

3.4.5 Geotechnik von Blatt Alberschwende

3.4.5.1 Geotechnische Eigenschaften der Gesteine

Fast alle Einheiten der Molasse bestehen aus einer Wechselfolge von weichen sandigen Mergeln und härteren Sandsteinen und Konglomeraten, wobei die Mergelinschaltungen ein Grund für die allgemein runde Geländeform der Molasse sind.

Eine Ausnahme sind die Eggschichten, Bausteinschichten und Luzerner Schichten. Im Gelände bilden diese drei Einheiten Härtlinge, wobei die Eggschichten und die Bausteinschichten in der südlichen Hälfte des Molassegebietes deutliche Geländerücken und –stufen aufbauen. Die Luzerner Schichten mit ihren zwei mächtigen Sandstein- und Konglomeratabfolgen sind z.B. verantwortlich für die markanten Steilstufen des Kanzelfelsens und des Gebhardsberges oberhalb von Bregenz.

Eine weitere Ausnahme sind, wie ihr Name schon andeutet, die Tonmergel-Schichten, welche in ihrer gesamten Mächtigkeit nach GAST (2001) zu 80 % aus tonig-schluffigen Kalkmergeln bestehen. Dort wo sie ausstreichen bilden sie aufgrund ihrer Verwitterungsanfälligkeit oft Depressionen.

Die Mächtigkeit der Mergelinschaltungen und die lithologische Beschaffenheit der restlichen Einheiten (Weissachschiefer, Granitische Molasse, St. Galler Schichten und Ablagerungen der Oberen Meeresmolasse) werden in Kapitel 3.2 erläutert. Wie stark sich die geotechnischen Eigenschaften der Mergel- und der Sandsteinbereiche unterscheiden, kann Tab. 11 entnommen werden.

Für die Massenbewegungen auf Blatt Alberschwende sind von den oben genannten Einheiten allerdings nur die Tonmergel-Schichten, die

3 Beschreibung des Arbeitsgebietes

Tab. 11: Felsmechanische Parameter von Kalksandsteinen und Mergeln der Weissachschiechten (ermittelt aus mehreren Bohrkernproben aus der Zone von Alberschwende). (Zusammengestellt nach BERTLE, 1995)

Gestein	Rohdichte kg/m ³	Einachsiale Druckfestigkeit [MPa]	Spaltzugfestigkeit [MPa]	Verformungsmodul Einachsial [MPa]	Poissonzahl	Triaxialer Schervers.		Direktschervers.	
						Kohäsion [MPa]	Reib.w. [MPa]	Kohäsion [MPa]	Reib.w. [MPa]
Sandst.	2665	91	11,5	31500	0,2	8,2	47,1	0,4	42,6
Mergel	2570	30	2,1	9600	0,19	53	46,5	0,9	28,9

Weissachschiechten und die Granitische Molasse von Bedeutung. Da in den Weissachschiechten der Feinanteil nach Norden zunimmt, sind die Mergelpakete in den Zonen von Ingrüne und Alberschwende mächtiger als im Bereich der Geißkopf-Synklinale, was vermutlich ein Grund für die Häufung von Rutschungen im Schwarzachtobel ist. In Tab. 12 wird die mineralogische Zusammensetzung der Mergel und der Sandsteine der Weissachschiechten und zum Vergleich die der Mergel der St. Galler Schichten aufgeführt. Die Mergel der Granitischen Molasse machen im Gelände insgesamt einen sandigeren Eindruck als die der Weissachschiechten.

Tab. 12: Mineralogische Zusammensetzung der Sandsteine (SW) und Mergel (MW) der Weissachschiechten (nach BERTLE, 1995) und der Mergel (MG) der St. Galler Schichten (nach CZURDA & GINTHER, 1983). (/ = keine Angabe)

	allgemeine Zusammensetzung				Zusammensetzung der Schichtsilikate				
	Kalzit	Quarz	Schichtsilikate	Andere	Illit	Montmorillonit	Chlorit	Ben-tonit	Kaoli-nit
SW	60-80	15-35	/	0-10	/	/	/	/	/
MW	55-70	5-25	20-30	/	45-60	2-30	20-50	/	/
MG	20-40	25-50	40	/	30-40	/	6-13	50-60	3-4

Eine weitere Einheit in der auf Blatt Alberschwende Rutschungen auftreten ist die Moräne. Bei entsprechender Hangneigung entstehen immer wieder kleinere Muschelanbrüche. Auch Kriechbewegungen können in Moränenablagerungen anhand der unruhigen Geländemorphologie immer wieder angenommen werden (z.B. Geißkopf und in der

Umgebung von Reute).

3.4.5.2 Rutschungen

Zwei besonders prominente Rutschungsbereiche wurden im Sommer 2000 von GAST detailliert geotechnisch kartiert: Der südliche Hang der Bregenzerach im Norden des Gebietes und der Schwarzachtobel zwischen Farnach und Schwarzach.

Südlicher Hang der Bregenzerach

Am südlichen Hang der Bregenzerach verläuft im Norden des Gebietes mit der Bucher Straße ein wichtiger lokaler Verkehrsweg zwischen Buch und Kennelbach, welcher immer wieder von Rutschungen zerstört wird. Vor allem in den Sommermonaten, aber auch im Frühling kommt es hier nach starken Niederschlägen vermehrt zu Hangbewegungen in der Granitischen Molasse.

Der kurvige Verlauf der Bucherstraße zwischen Ebnet und Kennelbach entsteht dadurch, dass ihr Verlauf durch mehrere Rutschungen führt (Abb. 50): Auf einer Strecke von unter zwei Kilometern fährt man durch

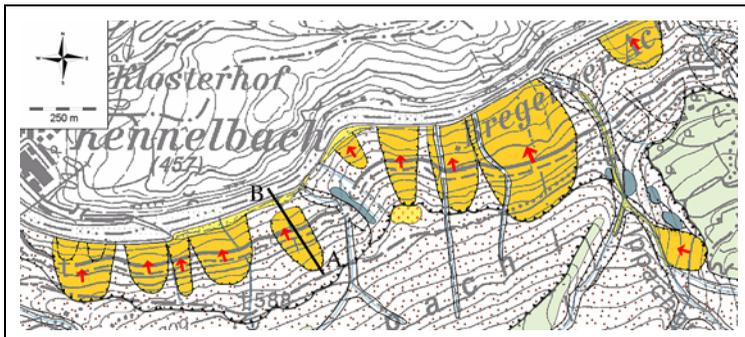


Abb. 50: Geotechnische Situation an der Bucher Straße mit der Lage des Profils. Die elf Rutschungen liegen alle im Bereich der Granitischen Molasse.

mehrere Rutschungen verschiedenen Alters. Bei den Rutschungen handelt es sich nach GAST (2001) sowohl um Translationsrutschungen als auch um kombinierte Translations-/Rotationsrutschungen. Teilweise kommt es zu kombinierten Rutsch-/Sturzereignissen. Für aktuelle Bewegungen entlang der gesamten Strecke sprechen, außer den

aktiven Rutschkörpern, die Schäden an den Verankerungen, Nagelungen und betonierten Stützmauern, welche die Straße stabilisieren sollen. Abb. 51 zeigt den Aufbau der Rutschung vom Mai '99.

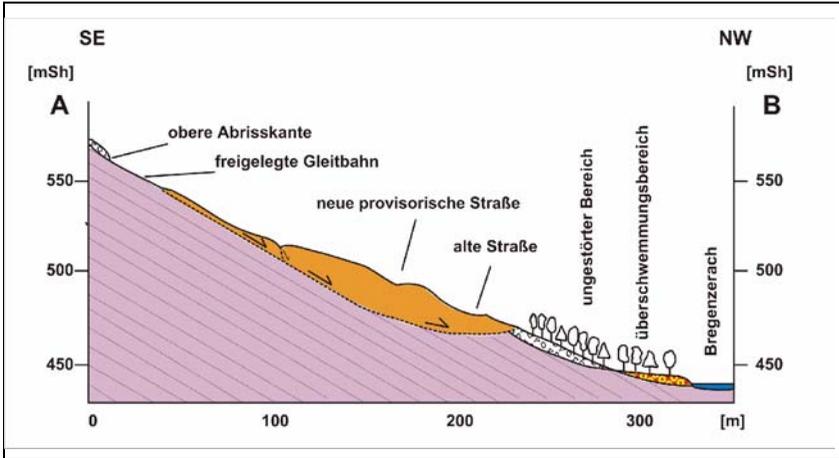


Abb. 51: Geotechnisches Längsprofil der kombinierten Rutschung vom Mai 1999 an der Bucher Straße (nach Gast, 2001). Unterhalb der Hauptabrissskante ist ein Teil der Gleitbahn freigelegt (31° , sandige Mergel). Im oberen Bereich handelt es sich um eine Translationsbewegung. Im unteren Bereich läuft die Rutschung vermutlich mit einer listrischen Gleitfläche aus (Lage des Profils s. Abb. 52).

Als Ursache für die Rutschungen im Bereich des Ippacher Waldes ist in erster Linie das fast hangparallele Einfallen der Schichtung ($30\text{-}36^\circ$) mit dem durch Gletscherschurf versteilten Hang ($20\text{-}30^\circ$) zu sehen.

Schwarzachtobel

Im Schwarzachtobel zwischen Farnach und Schwarzach wurden für den intensiven Bausteinabbau früh erste Wege gebaut. So kommt es, dass in diesem Bereich schon lange Berichte über Massenbewegungen nach Starkregenereignissen bekannt sind (1752, 1780, 1841, 1934, 1957). Die heutige Straße ist durch Berufs- und Tourismusverkehr dermaßen ausgelastet, dass mit dem Bau eines Umgehungstunnels (Achraintunnel) zwischen Farnach und Schwarzach begonnen wurde.

Die Schwarzach wird im Bereich zwischen Schwarzach und Farnach-Zoll von zahlreichen Wildbächen gespeist, welche die Region Bödele – Ammenegg entwässern. Da die Region Bödele der niederschlagsreich-

ste Geländeabschnitt des Bregenzerwaldes ist (Kap. 3.5), speisen diese Bäche beträchtliche Wassermengen in die Bregenzerach ein, wodurch diese eine extrem hohe Erosionskraft entwickeln kann. So hat sie sich in diesem Bereich tief in die mit 30-50° nach Südosten einfallenden Tonmergel-, Baustein- und Weißachschiefern eingeschnitten, wobei es durch das ständige Vertiefen des Vorflutniveaus immer wieder zu Nachbrüchen der Hänge kommt.

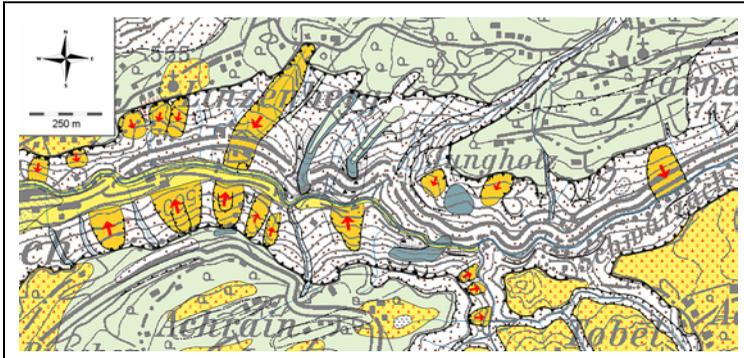


Abb. 52: Geotechnische Situation im Schwarzachtobel

Aufgrund des Schichteinfallens ist die Ausbildung der beiden Talseiten deutlich asymmetrisch (Norden 30-45°, Süden 40-70°). An den südlichen, steileren Hängen kommt es in der westlichen Hälfte des Tobels teilweise zu kleinen Felssturzereignissen. Am nördlichen Hang kommt es zu flachgründigen Translationsrutschungen und Felsgleitungen innerhalb der Sandstein-Mergel-Wechsellagerung der Weißachschiefern, wobei die Mergel als Bewegungsbahnen dienen. Im östlichen Bereich des Tobels, kurz vor Schwarzach treten auch am südlichen Hang in den Tonmergeln flachgründige Rutschungen sowie zahlreiche Muschelanbrüche auf.

Analog zur Granitischen Molasse, entstehen in den Weissachschiefern an der Schwarzach Rutschungen dann, wenn Schichtung und Hang Parallelität aufweisen und die Hangneigung ausreichend steil ist. In den tektonisch stark beanspruchten, erosionsanfälligen Tonmergeln kann es bei entsprechender Hangneigung, unabhängig vom Schichteinfallen, zu flachgründigen Hangbewegungen kommen. Die Häufung von Rutschungen im Bereich der Störungszone östlich von Schwarzach lässt vermuten, dass Zerrüftungszonen einen zusätzlichen Beitrag zur Gefähr-

dung liefern.

3.4.5.3 Sturzbewegungen

Steinschlag und Felssturz sind im Bereich der Molasse selten, da massive, steile Felsformationen kaum auftreten. Nur stellenweise sind kleinere Felssturzmassen unterhalb der Felswände oder Steilstufen angehäuft, welche die Eggschichten und die Bausteinschichten bilden. So kommt es im Bereich des Westportals des Kreuzfelsentunnels zu kleineren Ereignissen, welche jedoch bereits seit langen durch eine Galerie entschärft wurden. Ein weitere Ursache für Sturzereignisse sind die übersteilten Ufer der Bäche (z.B. Bregenzerach östlich Reute, südlicher Hang des Schwarzachtobels).

3.4.5.4 Zusammenfassende Bewertung

Mit Abstand die Hauptverursacher von Massenbewegungen im Bereich der Molasse sind die vielen parallel zum Streichen fließenden Bäche (Schwarzach und Rickenbach im Westen, Subersach, Bommerngraben, Weißach und Rotach im Osten). Die Bregenzerach fließt im Osten und Nordosten zwar in vielen Schlingen mit einem Gefälle von ca. $0,4^\circ$ ungefähr senkrecht zum Streichen, im Nordwesten folgt ihr Lauf jedoch ebenfalls dem Streichen. Sie besitzt in diesem Bereich ein Gefälle von ca. $0,2^\circ$.

Um das niedrige Vorflutniveau des Rheintales zu erreichen, haben sich die Bäche im Westen von Blatt Alberschwende besonders tief eingeschnitten. Der Rickenbach weist dabei ein Gefälle von ca. 6° auf, das der Schwarzach beträgt 3 bis $3,5^\circ$.

Aber auch Weissach und Rotach weisen am Zusammenfluss mit der Bregenzerach über 100 m hohe Hänge auf. An diesen steilen Hängen der tiefen Bacheinschnitte kommt es bei ungünstigem Schichteinfallen immer wieder zu Massenbewegungen verschiedenen Ausmaßes, so dass mehr oder weniger durchgehende Abrisskanten entlang der Bäche entstanden sind.

3.5 Klima und Niederschlagsdaten

Aufgrund der Tatsache, dass Regen die Untergrundverhältnisse eines Hanges stark beeinflusst, spielt er eine wichtige Rolle bei der Auslösung von Rutschungen. Erhöhter Niederschlag begünstigt auf mehrere Weisen das Entstehen von Rutschungen. Die Erhöhung des Hangwasserspiegels verändert die physikalischen Parameter des Hanges. Dabei werden die Eigenschaften von tonhaltigen Lockergesteinen und wechselfesten Gesteinen dahingehend beeinflusst, dass die Scherwiderstände herabgesetzt werden. Kommt es zur Sättigung des Hanges wirkt außerdem der Auftrieb der stabilisierenden Gewichtskraft entgegen. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die verstärkte Erosionswirkung der Gewässer. Durch den erhöhten Abtrag am Hangfuß verlieren die Hänge ihre Widerlager, der gravitative Ausgleich führt zur Rutschung. Die Komplexität der Beziehung zwischen Klima und Hangbewegungen machen es jedoch schwer, universal gültige Gesetze auch nur für Europa herzuleiten. Bis heute gibt es nach DIKAU et al. (1999) keine Einigung darüber, welche Niederschlagsgrenzwerte zu einem Auslösen von Rutschungen führen. Überwiegend einig sind sich die Klimaforscher über die Vermutung, dass in Zukunft stärkere jährliche Schwankungen das Wettergeschehen beeinflussen werden. SCHÖNWIESE & BIRRONG (1990) gehen davon aus, dass der Niederschlag in Nord und Mitteleuropa im Winter zunehmen wird. Die Vergangenheit zeigt jedoch, dass Klimaveränderungen häufig nur regional auftreten. Nur in den kalten Phasen wie der jüngeren Dryas und der kleinen Eiszeit kam es zu einer europaweiten Zunahme von Rutschungsereignissen (DIKAU et al., 1999). Die feucht-warmen Abschnitte der Klimageschichte hingegen haben sich in Europa nicht überall gleich ausgewirkt. Trotz aller Unsicherheiten kann die Aussage getroffen werden, dass nicht nur der durchschnittliche jährliche Niederschlag eine Rolle spielt, sondern vor allem der kummulative Effekt langanhaltender Niederschlagsereignisse sowie die Wirkung von Regenfällen, welche über einen Zeitraum von mehreren Tagen ständig zunehmen. Die im folgenden verwendeten Niederschlagsdaten wurden freundlicherweise vom Hydrographischen Dienst Vorarlberg zur Verfügung gestellt.

3.5.1 Klima

Durch die Lage des Bregenzerwaldes am Nordrand der Alpen ist das Gebiet feuchtmildem Klima mit westeuropäischen und ozeanischen Klimaeinflüssen ausgesetzt, wobei die Winter relativ mild sind. Westliche Wetterlagen sind für bis zu 70 % des Niederschlags verantwortlich. Im zentralen Bereich des Gebietes bei Bezaus liegt der Jahresdurchschnitt der Temperatur bei ca. 7° C. Der kälteste Monat ist der Januar (- 2,5° C bis -3° C), der wärmste der Juli (ca. 17° C).

Das Gebiet ist insgesamt sehr niederschlagsreich. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsverteilung für vier Messstationen im Arbeitsgebiet (Alberschwende, Bödele, Au und Schopperrau) ist in Abb. 53 dargestellt.

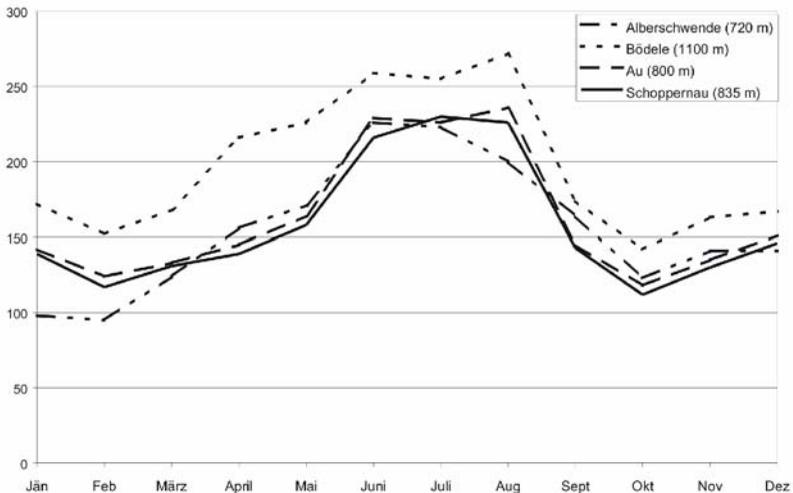


Abb. 53: Jahresverlauf des Niederschlages anhand Durchschnittlicher 30 jähriger Werte für vier Stationen im Arbeitsgebiet.

Die niederschlagsreichsten Monate sind Juni bis August. In diesen drei Monaten fallen durchschnittlich ca. 35 % des jährlichen Gesamtniederschlages, was in Alberschwende 649 mm und in Bödele 786 mm entspricht. Der regenreichste Monat in Alberschwende der Juni (226 mm), in Bödele und Au der August (272 mm bzw. 236 mm) und in Schop-

3.5 Klima und Niederschlagsdaten

pernau der Juli (230 mm). Ein Nebenmaximum in Dezember fällt mit durchschnittlich 151 mm für alle vier Stationen wesentlich geringer aus. Die Tageswerte bei Starkregenereignissen können über 180 mm betragen. In Abb. 54 sind die Tageswerte der vier Stationen für das Starkregenereignis vom 21.05.99 dargestellt.

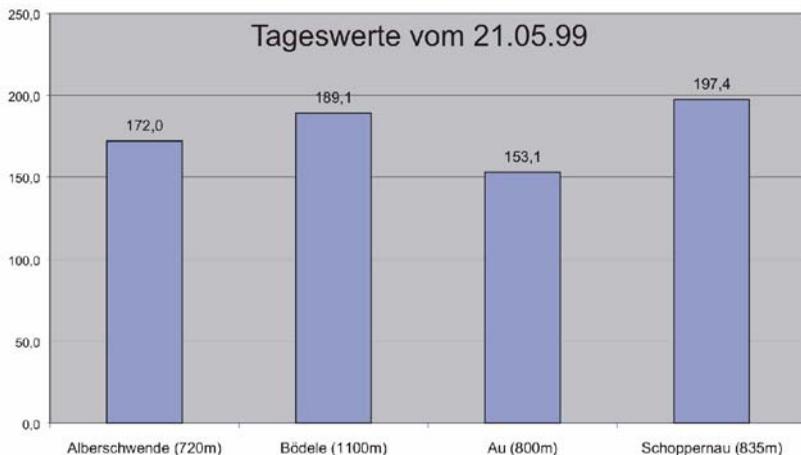


Abb. 54: Tageswerte vom 21.05.99 für vier Stationen im Arbeitsgebiet.

Die niederschlagsärmsten Monate sind Februar mit durchschnittlich 122 mm und Oktober mit durchschnittlich 124 mm.

Unter Verwendung des [Topogrid]-Befehls von ArcInfo™ wurde aus den punktuellen Daten von dreizehn Stationen eine einfache räumliche Darstellung der jährlichen Summe (Abb. 55) erzeugt. Im Bereich des Arbeitsgebietes fällt dabei vor allem der Bereich um Bödele mit besonders hohen Niederschlägen auf.

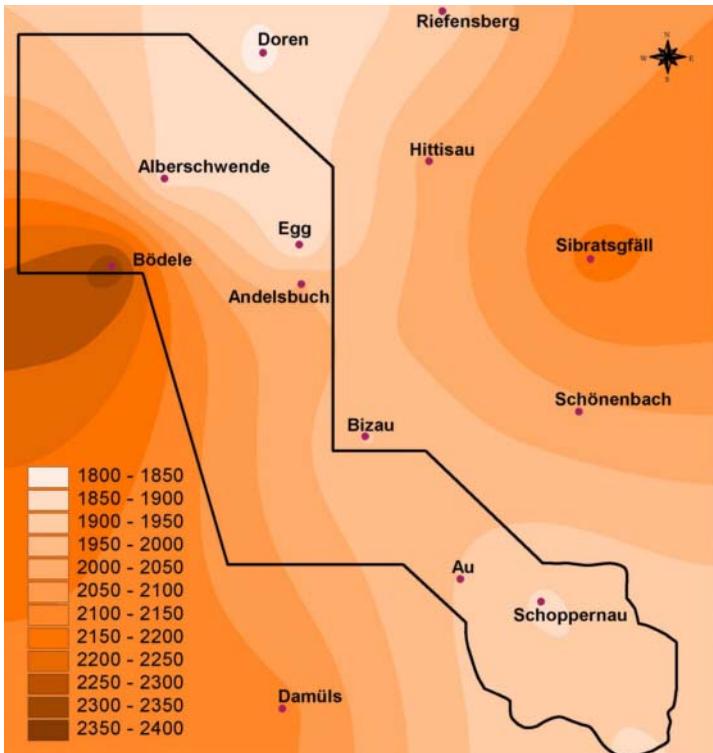


Abb. 55: Flächenhafte Darstellung der Jahresniederschlagssumme anhand der Werte von dreizehn Stationen.

3.5.2 Mai '99

Im Bearbeitungszeitraum von 1999 bis 2001 kam es zu zwei herausragenden Starkregenereignissen (Mai 1999 und August 2000) in deren Verlauf es in ganz Vorarlberg zu einer Vielzahl von Hangbewegungen kam. Anhand von durchschnittlichen Jahres- und Tagesniederschlagswerten soll versucht werden, das Ereignis vom Mai'99 auch räumlich zu rekonstruieren. Eine Inventarisierung der wichtigsten Rutschungen, welche um den 21.-22.05.99 stattfanden, findet sich bei CZURDA et al. (2000). Fünf der beschriebenen Lokalitäten fallen in den Bereich, welcher von den vorliegenden Niederschlagsdaten abgedeckt wird: Buch (590 mSh), Sibratsgfall (940 m-1290 mSh.), Schwarzenberg

3.5 Klima und Niederschlagsdaten

(700 mSh.), Mellau (ca. 800 m Sh.) und der Bereich der Üntschen- spitze (bei ca.1700 mSh.). Das Ereignis vom Mai 1999 fiel zusammen mit der Schneeschmelze eines schneereichen Winters sowie einem vorangegangenen niederschlagsreichen Herbstes. Die Hänge waren zum Zeitpunkt des Starkregens also teilweise bereits wassergesättigt. Vergleicht man die durchschnittlichen 30jährigen Niederschlagswerte für den Mai mit denen von Mai '99 (Abb. 56) wird deutlich, wie sehr sich dieses Ereignis heraushebt: Am Bödele und in Schoppernau war die Niederschlagsmenge im Mai '99 mehr als doppelt so hoch wie der 30jährige Durchschnitt für denselben Monat. Bei einem Vergleich aller Stationen kommt man auf eine Überschreitung des Durchschnitts um mehr als 80 % für diesen Zeitraum.

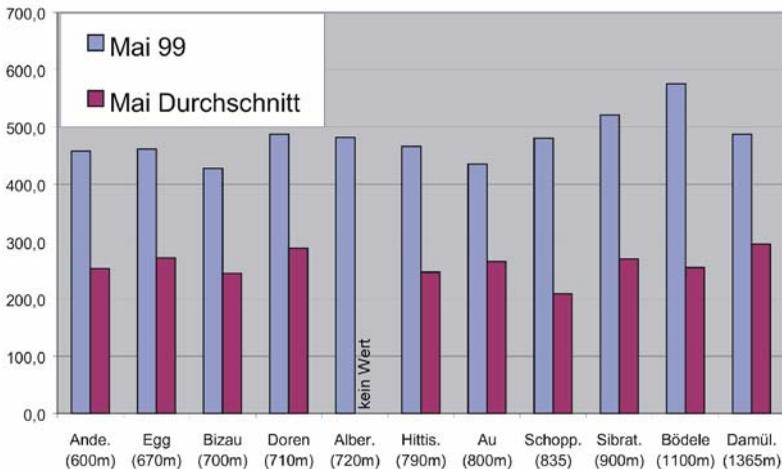


Abb. 56: Vergleich der Niederschlagswerte von Mai '99 mit den durchschnittlichen Werten für den Monat Mai in mm.

Vergleicht man die räumliche Niederschlagsverteilung vom Mai '99 (Abb. 54) mit der räumlichen Verteilung der Jahressumme (Abb. 53), stellt man fest, dass beide ähnlich sind: In beiden Verteilungen treten Maxima bei Bödele und Sibratsgfäll auf. Egg, Andelsbuch, Bizau und Au liegen eher im Bereich geringerer Niederschläge. Das Ereignis hebt sich, was die räumliche Verteilung angeht, also kaum vom durchschnittlichen Niederschlagsgeschehen ab.

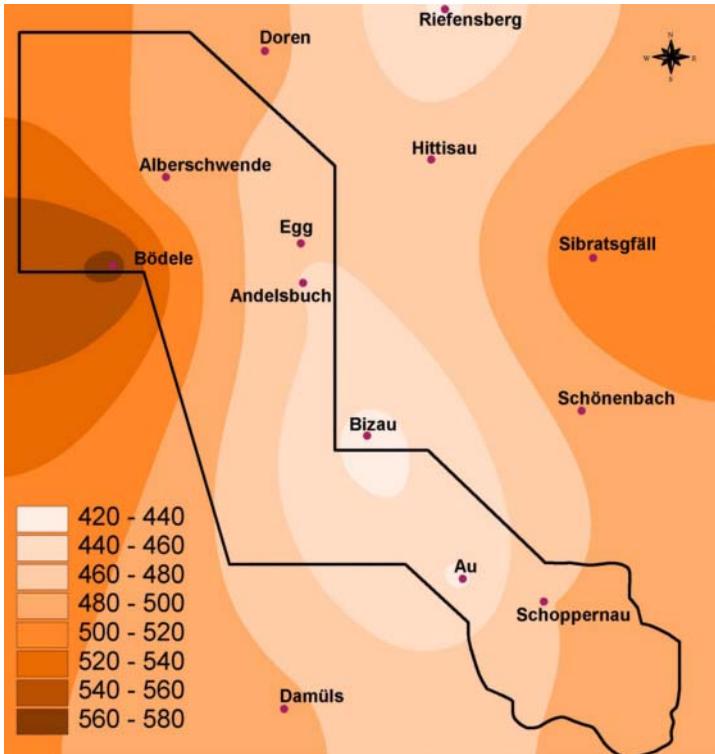


Abb. 57: Flächenhafte Darstellung der Niederschlagssumme vom Mai '99 in mm.

Betrachtet man den zeitlichen Niederschlagsverlauf aller Stationen im Mai '99 (Abb. 58), sieht man deutlich wie die Niederschlagsintensität zwischen dem 7. und dem 21. Mai im Verlauf mehrerer Ereignisse stetig zugenommen haben, wobei das deutliche Maximum am 21. erreicht wurde.

Zusammenfassend entsteht der Eindruck, dass die vielen Massenbewegungen im Mai '99 durch die überdurchschnittlich hohen Niederschläge und die stetig über den Monat ansteigende Intensität ausgelöst wurden. Möglicherweise könnten genauere Aussagen zur Auswirkung des Niederschlags auf die Hangbewegungen des Arbeitsgebietes anhand langjähriger Untersuchungen getroffen werden. Für die Entwicklung von Frühwarnsystemen wäre eine zentrale Inventarisierung von

3.5 Klima und Niederschlagsdaten

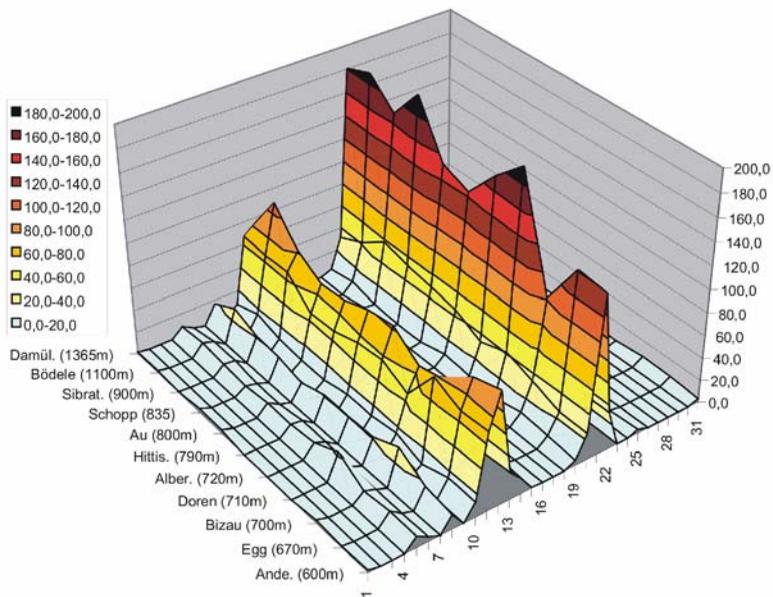


Abb. 58: Zeitlicher Niederschlagsverlauf für den Mai 99. Die einzelnen Stationen sind nach der Höhe geordnet.

Massenbewegungen über einen längeren Zeitraum nötig, damit Mechanismus und Zeitpunkt der Aktivierung mit den Niederschlagsdaten korreliert werden können.

4 ERSTELLUNG DER GEFÄHRDUNGSKARTEN

Bevor mit der Zusammenstellung der einzelnen Informationsebenen zu Gefährdungskarten begonnen werden kann, müssen die einzelnen Datenebenen zu flächenhaften gerasterten Faktorebenen weiterverarbeitet werden. Wie bereits in Kapitel 2.1 besprochen, war früh klar, dass die Berechnungen unter Verwendung von Rasterdaten durchgeführt werden sollten. Als Zellengröße wurde 25 m gewählt, was der Rasterweite des Höhenmodells entspricht, dem einzigen Datensatz, welcher zu Projektbeginn bereits als Raster vorlag. Um dies zu ermöglichen, wurden die teilweise komplexen Vektordatensätze der geologischen und geotechnischen Kartierung zuerst in einzelne Informationsebenen zerlegt und anschließend gerastert. Die als Raster vorliegenden Daten der topographischen Karte und der Orthophotos dienten der Erstellung völlig neuer Datenebenen, welche wiederum zu gerasterten Faktorebenen verarbeitet wurden.

4.1 Beschreibung der Digitalen Datensätze und ihre Verarbeitung

4.1.1 Digitales Geländehöhenmodell (DGM)

4.1.1.1 Beschreibung

Das **Digitale Geländehöhenmodell (DGM)** beschreibt die Erdoberfläche (natürlicher Boden, ohne Bewuchs) in Form eines Höhenrasters. Im Rahmen des Projektes wurden die als ASCII-Grid vorliegenden Daten des **Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)** verwendet (Abb. 59). Als Ausgangsmaterial für die Erstellung des DGM dienen dem BEV Luftbilder. Ältere Messungen erfolgten aus schwarzweiß Bildern mit einem mittleren Maßstab von 1 : 30 000. Seit dem Jahre 1990 werden die Messungen in einem fixen Raster von 50 m aus Falschfarbbildern mit einem mittleren Maßstab von 1 : 15 000 durchgeführt (Homepage des BEV, 2001). Als Grundlage für die photogrammetrische Datenerfassung werden Punkte aus dem bestehenden Festpunktfeld luft-sichtbar gemacht oder Naturpunkte nach der Befliegung terrestrisch eingemessen. Kunstbauten (z.B.: Brücken) sind im DGM nicht enthalten. Zur Zeit werden die Höhendaten durch das BEV durch markante Geländestrukturen (markante Höhenpunkte sog. "spot heights", Kamm-

linien, Steilkanten) verdichtet. Für den Bregenzerwald lag dieses verdichtete DGM bereits vor, so dass keine weitere diesbezügliche Optimierung an den Daten durchgeführt wurde.

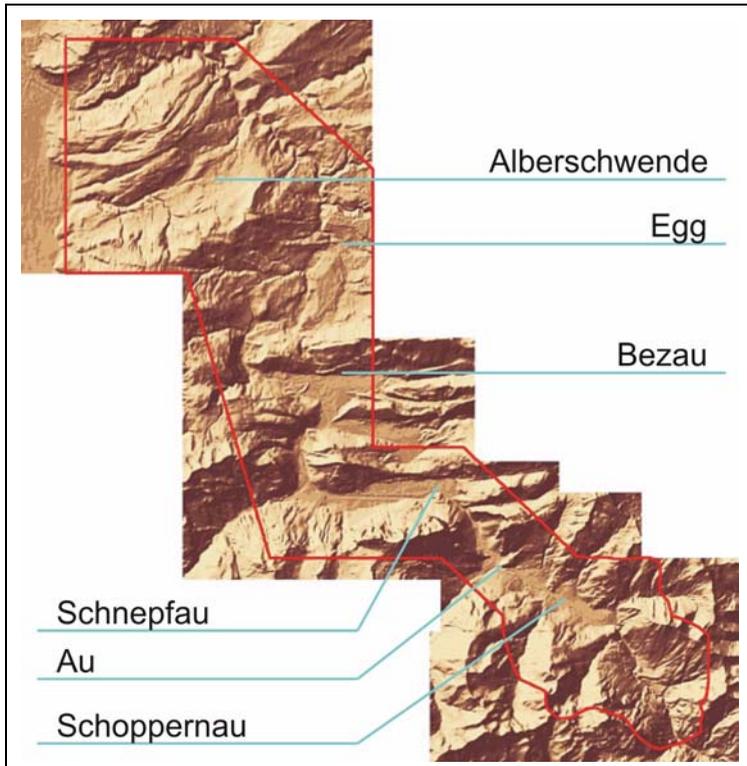


Abb. 59: Digitales Geländemodell dargestellt für den Bereich des Arbeitsgebietes unter Verwendung des [Hillshade]-Befehls von ArcInfo™.

Die Höhengenaugigkeit richtet sich beim DGM stark nach der Topographie, der Bodenbedeckung und der Erfassungsmethode. Für unterschiedliche Geländeformen ist der mittlere Fehler der Datenerfassung der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

4.1.1.2 Verarbeitung

Zur Erstellung von Gefährdungskarten können aus dem DGM mehrere

Tab. 13: Durchschnittlicher Fehler des DGM (Quelle: Homepage des BEV, 2001)

Geländeform	Rastermessung mit Strukturinformationen
Offen und flach	$\pm 1 \text{ m} - \pm 3 \text{ m}$
Offen und hügelig	$\pm 3 \text{ m} - \pm 5 \text{ m}$
Wald und Hochgebirge	$\pm 5 \text{ m} - \pm 20 \text{ m}$

Faktorenebenen gewonnen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Hangneigung, Exposition und Hangform generiert. Da Höhendaten in vielen Disziplinen Verwendung finden, stellt ArcInfo™ von Haus aus eine Menge Möglichkeiten zur Verfügung diese zu erzeugen und zu bearbeiten. Da bereits gerasterte Höhendaten vorlagen erfolgte die Bearbeitung des DGM ausschließlich im Grid-Modul von ArcInfo™.

Im Grid-Modul von ArcInfo™ stehen dem Bearbeiter eine Vielzahl von Funktionen zur Verfügung, mit denen Raster, welche als „Grid“ (proprietäres Rasterdatenformat von ArcInfo™) abgespeichert wurden, manipuliert werden können. Folgende Ausdrücke sind gültige Grid-Befehlsstrukturen:

Ergebnis-Grid = Funktion (Eingangs-Grid, Bedingung1, Bedingung2)

oder

Ergebnis-Grid = (Eingangs-Grid1 + Eingangs-Grid2) / 5

Die Befehle zur Berechnung der Hangneigung und der Exposition werden z.B. wie folgt formuliert:

Hangneigungs-grid = slope(DGM, degree)

Expositions-grid = aspect (DGM)

Hangform-grid = curvature(DGM)

Um in die Gefährdungskartierung einfließen lassen zu können, wurden die Datensätze noch bezüglich ihres Beitrages zur Gefährdung klassifi-

4.1 Beschreibung der Digitalen Datensätze und ihre Verarbeitung

ziert. Bei der Klassifizierung werden Datenbereiche isoliert und neuen Werte zugeteilt. ArcInfo™ stellt zu diesem Zweck den Grid-Befehl [*reclass*] zur Verfügung, welcher die einzelnen Wertebereiche und die entsprechenden neuen Werte aus einer Text-Datei ausliest und die Ergebnisse in einem frischen Raster ablegt. Da die Bewertung der einzelnen Faktorebenen und die daraus resultierende Klassenbildung der erste Schritt bei der Berechnung der Gefährdungskarten ist, soll die Vorgehensweise an dieser Stelle lediglich schematisch anhand Abb. 60 dargestellt werden. In Kapitel 3.4 werden die Klassifizierungen tabellarisch wiedergegeben.

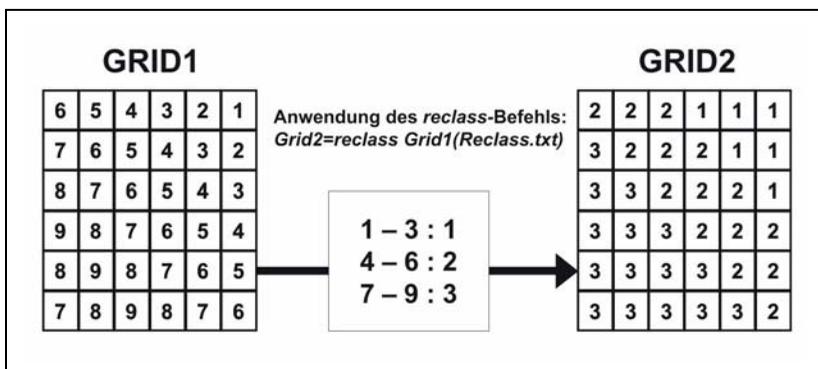


Abb. 60: Klassifizierung mit ArcInfo™

4.1.2 Geologische Karte

4.1.2.1 Beschreibung

Die im Gelände gewonnenen Informationen wurden anschließend an die Geländearbeit von den Bearbeitern im Vektorformat abgelegt. Dabei wurden stratigraphische Einheiten als Polygone, Störungen und Deckengrenzen als Linien und Streich-/Fall-Werte als Punkte gespeichert.

Die Genauigkeit des Datensatzes entspricht der Kartiergenauigkeit. Bei einem Kartierungsmaßstab von 1 : 10 000 zeigt die Erfahrung, dass die Lage von einzelnen Elementen im Gelände auf ca. 10 - 20 m festgelegt werden kann.

4.1.2.2 Verarbeitung

Nur die **Stratigraphie** entsprach dem Kriterium ein flächenhafter Datensatz zu sein und konnte direkt unter Verwendung des `[polygrid]`-Befehls in ein Raster umgewandelt werden (Abb. 61).

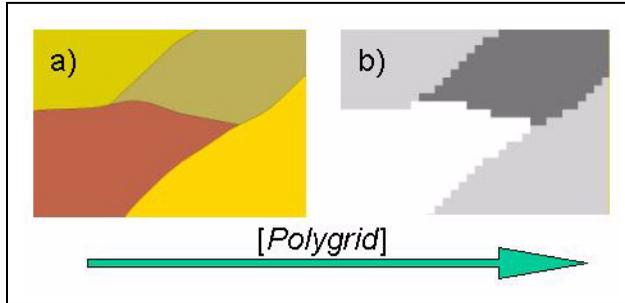


Abb. 61: Die vektorisierte geologische Information (a) wird mit dem `[polygrid]`-Behehl in flächenhafte Raster (b) verwandelt.

Die Informationsebenen mit der Lage der linienförmigen **Deckengrenzen** und **Störungen** mussten erst in eine flächendeckende Information verwandelt werden. Da in Bezug auf Massenbewegungen der Abstand zu Störungszonen das eigentlich interessante Kriterium darstellt, musste ein Raster mit der Information „Abstand zu Störungen“ erstellt werden. Um dies zu erreichen, wurde im Arc-Startermodul mit dem Befehl `[buffer]` äquidistante Linienzüge um die vektorisierten Deckengrenzen und Störungen gezogen. Ein Abspeichern dieser Linienzüge als geschlossene Polygone ermöglicht das flächenhafte Zuordnen von Eigenschaften, die Umwandlung in ein Grid mit dem `[polygrid]`-Befehl macht die resultierenden Daten kompatibel für die Berechnung der Gefährungskarten (Abb. 62).

Am komplexesten gestaltet sich die Auswertung der **Steich- und Fallwerte**. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei diesen Daten um punktförmige Informationen handelt, ist die Abgrenzung von Homogenitätsbereichen erforderlich, um einen flächenhaften Datensatz zu erhalten. Grundsätzlich bietet ArcInfo™ mehrere Software-Lösungen an, mit der die Interpolation automatisch durchgeführt werden kann (`[Topogrid]`, `[Krigging]`). In der Praxis erwies sich allerdings eine manuelle Abgrenzung einzelner Wertefacetten auf Grundlage der angetroffenen

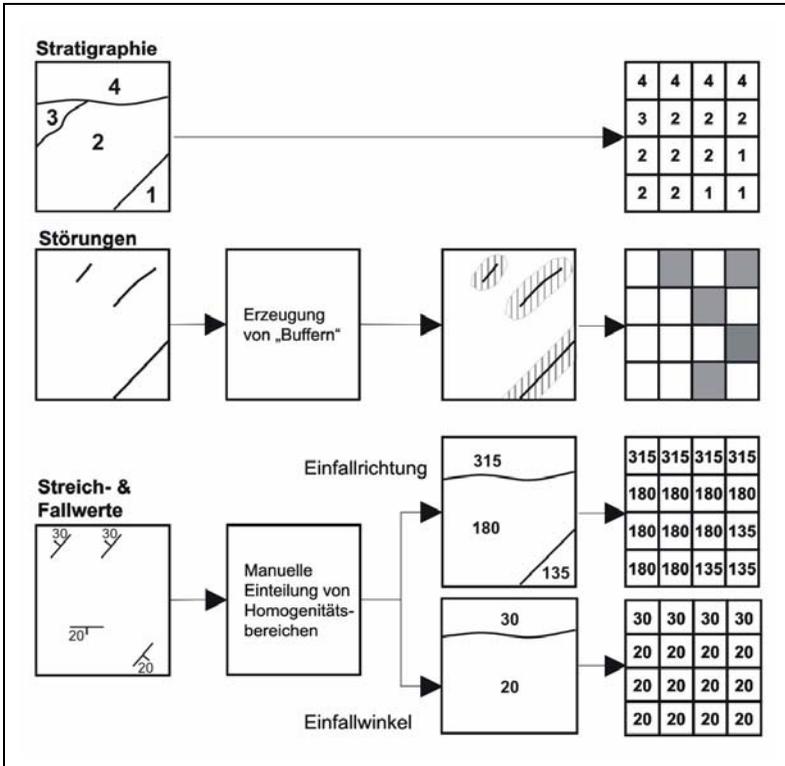


Abb. 62: Umwandlung der vektoriellem geologischen Daten zu flächenhaften Raster-Daten

tektonischen Lagerungsverhältnisse als realistischer. Für gute Ergebnisse mit den automatischen Interpolationsalgorithmen ist eine wesentlich dichtere Wertaufnahme nötig, als gemeinhin aufgenommen werden kann.

Da die Schichtlagerung an sich noch keinen Beitrag zur Gefährdung liefert, sondern erst ihre Verschneidung mit der Hangmorphologie, muss anschließend an die Facettenbildung im Grid-Modul ein Verschnitt mit dem DGM durchgeführt werden. Dabei wird in einem ersten Schritt das Streichen von der Exposition und das Einfallen von der Hangneigung subtrahiert. Durch die anschließende Klassifizierung der Ergebnisse entstehen zwei neue Datenebenen, in denen Zellen ähnlicher Orientierung bzw. Neigung höhere Werte als Zellen unterschiedlicher Orientie-

rung bzw. Neigung erhalten (Anhang 3). Durch eine Addition dieser beiden Raster wird abschließend eine Ebene generiert, in der die hohen Werte ein hohes Maß an Parallelität von Hang und Schichtung ausweisen.

4.1.3 Geotechnische Karte

4.1.3.1 Beschreibung

In der geotechnischen Karte wird die Lage der Rutschungen, der Abrisskanten sowie andere rutschungsspezifische Geländemerkmale (z.B. Nackentäler, Zerr-Risse) dargestellt. Erosionsrinnen, Geländerücken, Terrassenkanten und Felswände werden ebenfalls dargestellt. Die Lithologie wird flächenhaft ausgewiesen. Ähnlich wie die geologische Karte besteht die geotechnische Karte somit aus mehreren verschiedenen Datentypen.

Während die Abrisskanten, Bachanschnitte und Nackengräben als Linien dargestellt werden, sind die Lage der Rutschungen sowie die Lithologie flächenhafte Daten.

4.1.3.2 Verarbeitung

Die geotechnische Kartierung lieferte weniger Faktorebenen, sondern vor allem wichtige Grundlagen für die statistischen Auswertungen. Der wichtigste Datensatz in dieser Hinsicht ist die „**Ereigniskarte**“. In der „Ereigniskarte“ werden von Massenbewegungen betroffene Bereiche flächenhaft abgegrenzt. Da die Lage der Massenbewegungen bereits durch die einzelnen Bearbeiter als Vektordaten abgelegt waren, musste lediglich ein entsprechendes Raster generiert werden. Durch einen Verschnitt der Ereigniskarte mit anderen Datenebenen konnten somit rutschungsspezifische Eigenschaften auf statistischen Wege ermittelt werden (Kapitel 0.1).

Interessant für statistische Auswertungen ist außerdem die Lage der Abrisskanten, da diese häufig mit stratigraphischen Einheiten oder Hangneigungsbereichen korreliert. Ähnlich wie bei den Störungen wurden „Buffer“ erzeugt, die es anschließend ermöglichten, durch den Verschnitt mit dem DGM, Statistiken zu dominanten Hangneigungen im Bereich der Abrisskanten zu erzeugen.

Ein Datensatz, welcher nach einer Umwandlung in ein Raster direkt als Faktor übernommen werden konnte, war die von RUFF (2000) geson-

dert kartierte Mächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung für das Teilgebiet Blatt Schoppernau.

4.1.4 Topographische Karte

4.1.4.1 Beschreibung

In der Papierform stehen in Vorarlberg die Österreichische Karte 1 : 50 000 (ÖK50) und die (lediglich daraus vergrößerte) Österreichische Karte 1 : 25 000 (ÖK25) flächendeckend zur Verfügung. Digital wird der hohe Informationsgehalt der amtlichen topographischen Karte in Form von kartographischen Modellen angeboten. Demnach entspricht das **Kartographische Modell 1 : 50 000 - Raster (KM50-R)** dem Pixelbild der Österreichischen Karte 1 : 50 000 (ÖK50). Das KM50-R ist entsprechend dem Farbaufbau der ÖK50 strukturiert. Bis zum Jahre 1993 erfolgte die Fortführung der amtlichen topographischen Karten in Österreich ausschließlich mittels analoger Technik. Nach der Fertigstellung eines Kartenblattes lag für jede Druckfarbe eine Originalfolie vor, von der die entsprechende Druckplatte hergestellt werden konnte. Diese Originalfolien wurden nach 1993 mit einer Auflösung von 400 L/cm (1016 dpi) eingescannt, wobei die Zuordnung der Pixel nur zur Druckfarbe (grau = Situation [Häuser, Straßen etc.], blau = Gewässer, braun = Höhenlinien, grün = Waldflächen, grau2 = Felswände) nicht zu Objekten durchgeführt wurde. Seit 1996 wird das KM50-R laufend und periodisch fortgeführt und stellt die Basis für alle gedruckten Versionen der topographischen Karte.

Der Inhalt des KM50-R ist für den Maßstab 1 : 50 000 generalisiert, das heißt, die Originaldaten, die bei der Ersterfassung (Neuaufnahme) durch photogrammetrische Auswertung im Maßstab 1 : 10 000 lagerichtig erfasst wurden, erfuhren durch die kartographische Darstellung bewusst Veränderungen. Die Zeichengenauigkeit beträgt nach Information des Vermessungsamtes 0,1 mm, das entspricht 5 m in der Natur. Minimalabstand zwischen zwei Signaturen beträgt 0,2 mm, was in der Natur 10 m entspricht (Homepage des BEV, 2001).

4.1.5 Verarbeitung

Im Verlauf des Projektes erfüllte die topographische Karte vier wichtige Funktionen (s. auch Abb. 63):

- Im Maßstab 1 : 10 000 ausgedruckt als Grundlage für die Geländearbeit.
- Als Hintergrund bei der Digitalisierarbeit am Bildschirm.
- Als Hintergrund für die gedruckten Karten.
- Als Ausgangsdatensatz für die Datenebene „Nähe zu Gewässern“.

Die Funktion als **Kartiergrundlage** sowie als **Digitalisierhintergrund** für die Bildschirmarbeit erfüllte das KM50 ohne weitere Veränderungen.

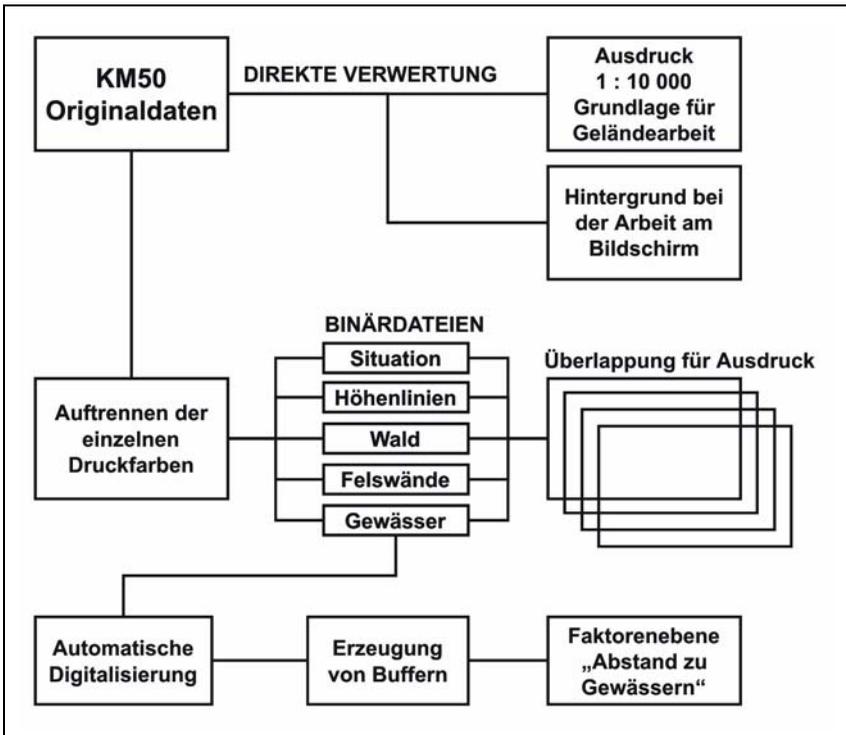


Abb. 63: Verarbeitung des KM50-R.

4.1 Beschreibung der Digitalen Datensätze und ihre Verarbeitung

Schwieriger gestaltete sich die Verwendung des KM50-R als **topographischer Hintergrund** beim Druck. Dies liegt jedoch nicht an den Daten des KM50, sondern an der Tatsache, dass das vom Rechenzentrum der Universität Karlsruhe verwendete Druck-Format EPS keine flächendeckenden transparenten Polygone darstellen kann. Die aus Polygonen aufgebaute Geologie kann somit nicht über die topographischen Daten gedruckt werden, da selbige sonst überdeckt wären. Da das Format jedoch den Ausdruck „transparenter“ Raster erlaubt, und zwar als Binäre (= zwei „Farben“: schwarz, durchsichtig)

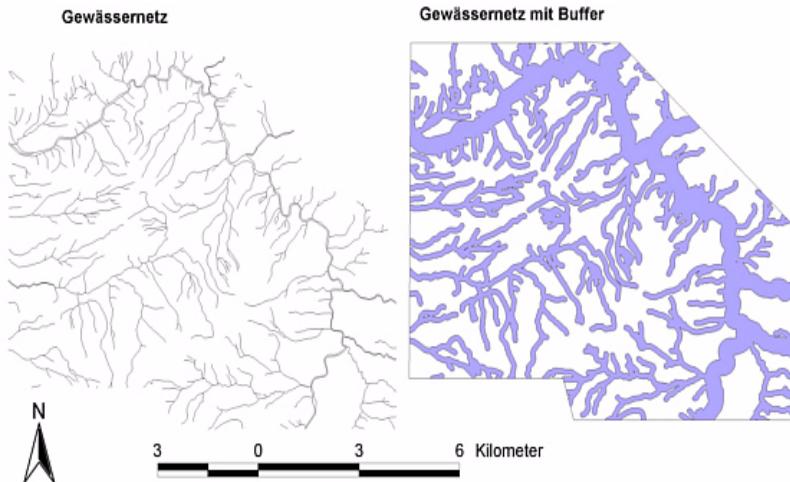


Abb. 64: a. Das Gewässernetz, b. Gewässernetz mit „Buffer“. Vor dem Erstellen der Buffer wurden die Bäche in zwei Kategorien (Hauptbäche und Nebenbäche) eingeteilt um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass der Einfluss den Bäche auf ihre Umwelt haben mit der geführten Wassermenge steigt.

Graphikdateien bzw. Grids, musste das KM50 erst in einen solchen binären Datensatz umgewandelt werden. Dabei wurde für jede Druckfarbe ein entsprechendes binäres Grid erzeugt, so dass wenn gewünscht, auch nur Teile der Topographie (z.B. nur Höhenlinien) verwendet werden konnten. Für den Druck wird die Topographie vor die Polygone gelegt, so dass die durchsichtigen Bereiche der Topographie die Farbe der Polygone sichtbar werden lassen. Um für den Betrachter

den Eindruck zu erzeugen, die Topographie läge hinter der Geologischen Ebene, wird das Schwarz der Topographie in einen Grauton verwandelt und die Grenzen sowie andere Lineare über die Topographie gelegt.

Zur Erstellung der Faktorenebene „**Nähe zu Gewässern**“ wurde die Druckfarbe „blau“, welche die Gewässer des Gebietes darstellt, isoliert und weiterverarbeitet. Dabei wurden mit dem ArcInfo™-Befehl [*Grid-line*] die gerasterten Linien automatisch vektorisiert und anschließend mit „Buffern“ versehen um gefährliche Abstandsbereiche festzulegen (Abb. 64). Die Ergebnisse wurden anschließend wieder in ein Raster umgewandelt.

4.1.6 Orthophotos (Vegetation, Siedlungsbereiche)

4.1.6.1 Beschreibung

Ein Orthophoto (OP) ist im Gegensatz zum Luftbild ein verzerrungsfreies Abbild der Erdoberfläche. Die Verzerrungen und Verschiebungen, welche bei der Aufnahme eines Bildes durch die Zentralprojektion und die unterschiedlichen Entfernungen der Objekte zur Kamera entstehen, werden rechnerisch ausgeglichen. In Gebieten mit starken Höhenunterschieden können bedingt durch die extreme Lage des Bildinhaltes zum Projektionszentrum Bildstörungen auftreten. Verursacht werden diese bei der rechnerischen Entzerrung der digitalen Bilder durch Mangel an Bildinformation. Dies bewirkt, dass Teile der Orthophotos, speziell in den Bildecken und -rändern, unscharf oder verzerrt dargestellt werden. Im Zuge der Digitalisierung und Entzerrung wird das ursprüngliche Bild in einzelne Bildelemente zerlegt, wodurch die Erkennbarkeit von Kleinststrukturen beeinträchtigt wird (Homepage des BEV, 2001). Die Bilder selbst lagen georeferenziert im TIFF-Format mit einer Farbtiefe von 8 Bit und einer Auflösung von 0,5 m vor. Die Metainformationen zu den Bildern (z.B. Datum der Befliegung) wurden in einer Text-file (.txt) mitgeliefert.

4.1.6.2 Verarbeitung

Im Zuge der Geländearbeit waren die Orthophotos extrem hilfreich bei der Kartierung von Terrassenkanten und anderen Geländeformen. Außerdem wurden aus den Orthophotos zwei Datensätze gewonnen, wovon einer als Faktoren-Ebene in die Gefährdungskarte eingegangen ist,

während der zweite nur zu statistischen Zwecken erhoben wurde. In die Gefährdungskarte eingeflossen ist die aus den Orthophotos erstellte „Vegetationskarte“. Um diesen Datensatz zu erstellen, wurden Bereiche mit Baumbewuchs von Bereichen mit Wiesen, Feldern oder keinem Bewuchs getrennt, wobei die Grenzen am Bildschirm vor dem Hintergrund der Orthophotos digitalisiert wurden. Auf diese Weise erhält man eine Informationsebene über das Vorhandensein, bzw. Fehlen von Bäumen.

Bei dem zweiten Datensatz handelt es sich um eine Karte der „besiedelten“ Bereiche. Um diese Datenebene zu erzeugen, wurden alle Gebäude (auch Industrieanlagen, Almen und Berghütten) von den Orthophotos am Bildschirm abdigitalisiert. Über die ortstreue Darstellung „bewohnter Pixel“ konnten so Statistiken zu Siedlungsverhalten in Kombination mit Gefährdung erstellt werden.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung (Blätter Schoppernau und Alberschwende)

Als Methode zur Erstellung der Gefährdungskarten wurde eine qualitative Indexmethode ausgewählt. Bei Indexmethoden werden die Inhalte der einzelnen Informationsebenen bezüglich ihres Beitrags zur Gefährdung bewertet und anschließend miteinander kombiniert. Nachdem feststeht, welche Informationsebenen verwendet werden sollen, muss ein Schema für die Kombination gefunden werden.

Nach JUANG et al. (1992) und REITERER (2001) wurde ein dreiteiliger Entscheidungsbaum verwendet, um die „Formel“ zu finden, mit der die Ebenen kombiniert wurden. Bei diesem Verfahren werden die einzelnen Faktoren zu Kategorien zusammengestellt. Die Bewertung erfolgt anschließend in drei Schritten: Relative Bedeutung der Inhalte der einzelnen Informationsebenen, Bedeutung des einzelnen Faktors innerhalb seiner Gruppe und Bedeutung der Gruppe als ganzes (Abb. 65).

Bei der Bewertung der einzelnen Ebenen wurden Werte zwischen 0 und 1 vergeben, wobei 1 die maximale Gefährdung darstellt. In den folgenden Schritten muss die Summe der Bewertungen der einzelnen Gruppen und die Summe der Gruppenbewertungen 1 ergeben. So er-

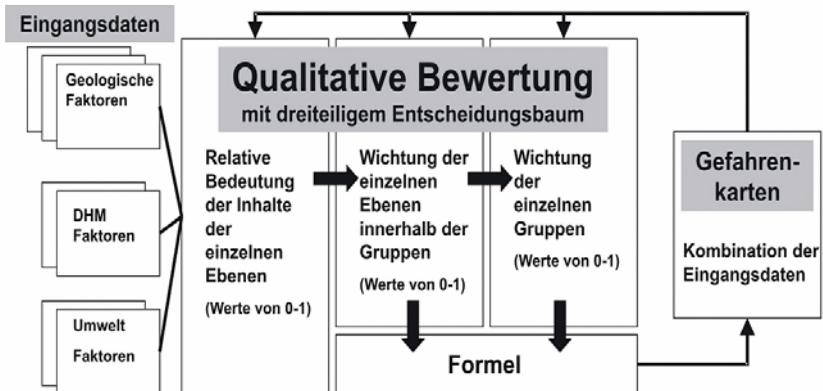


Abb. 65: Flussdiagramm der verwendeten Index-Methode. In einem dreistufigen Entscheidungsverfahren nach Juang et al. (1992) wird die empirische „Formel“ ermittelt, mit der die Faktoren-Ebenen zu den Gefährdungskarten kombiniert werden.

hält man letztendlich auch für die endgültige Bewertung Werte zwischen 0 und 1, welche sich direkt mit den Ergebnissen der einzelnen Ebenen vergleichen lassen. Vor allem bei der Bewertung der Inhalte der einzelnen Ebenen sollte, wenn möglich auf Erkenntnissen aus dem zu untersuchenden Gebiet zurückgegriffen werden. Es ist selten möglich die Bewertung von anderen Autoren zu übernehmen. Angaben aus anderen Gebieten können lediglich als Anhaltspunkt dienen.

Wie in Abb. 65 angedeutet, kann die „Formel“ bei diesem Verfahren in einem iterativen Prozess an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden. Ein wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang ist, dass die kartierten Rutschungen in den als gefährdet markierten Bereichen liegen sollten.

4.2.1 Bewertung der Ebenen

4.2.1.1 Hangneigung

Als einer der wichtigsten Faktoren bei der Entstehung von Hangbewegungen ist die Hangneigung zu bewerten. Tatsächlich ist die Hangneigung der einzige Faktor, welcher tatsächlich auch als Ausschlusskriterium für Hangbewegungen dienen kann und zwar bei Werten nahe Null: In Geländeabschnitten mit Hangneigungen um die 0° werden keine Hangbewegungen stattfinden, egal wie günstig die sonstigen Bedingungen sind. Die gefährlichen Hangneigungsbereiche wurden anhand statistischer Vergleiche die Verteilung der Hangneigung der Rutschungen mit der Verteilung der Hangneigung im gesamten Gebiet ermittelt. Insgesamt sind auf Blatt Schoppernau ca. 1,8 % der gesamtfläche von Rutschungen betroffen. Auf Blatt Alberschwende sind es ca. 1 %.

In Abb. 66 wird die prozentuale Verteilung der Hangneigungsbereiche von Rutschungen mit der Gesamtverteilung der Hangneigung für den Bereich von **Blatt Schoppernau** verglichen. Der rutschende Bereich weist eine negativ schiefe Verteilung mit einem Maximum bei 20-30° auf, welches insgesamt 58 % der rutschenden Fläche ausmacht. In der Verteilung der Hangneigung im gesamten Gebiet macht dieser Bereich jedoch nur 27 % der Gesamtfläche aus. Diese Verteilung der Rutschungen liegt an der Tatsache, dass ein überwiegender Teil der Rutschungen auf Blatt Schoppernau in den Lockergesteinen stattfinden, welche sich an steilen Hängen nicht mit hohen Mächtigkeiten akkumulieren können. Ein weiterer signifikanter Bereich für das Auftreten von

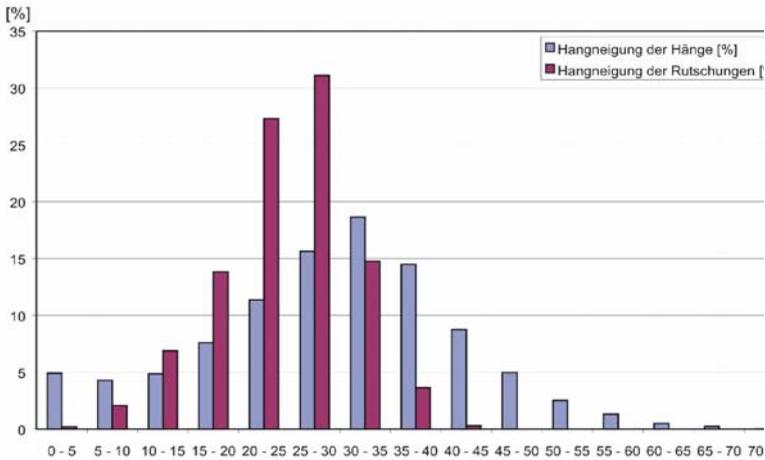


Abb. 66: Prozentuale Verteilung der Hangneigung insgesamt im Vergleich zur prozentualen Verteilung der Hangneigung in allen Rutschungen auf Blatt Schoppernau.

Rutschungen liegt im Bereich zwischen 15-20° Hangneigung. 21 % der Rutschungen liegt in diesem Bereich, wobei nur 13 % der Gesamtfläche des Gebietes in diesem Bereich liegt. Der Bereich zwischen 30-40° ist mit 19 % ebenfalls stark von Rutschungen betroffen. In diesem Bereich liegt mit 33 % auch einen bedeutender Anteil der Fläche des gesamten Gebietes. In Abb. 67 wird der prozentuale flächenhafte Anteil der Rutschungen an den einzelnen Hangneigungsbereichen dargestellt. Die eingipfelige negativ schiefe Verteilung weist analog zu den Beobachtungen in Abb. 66 ein Maximum bei 20-30° auf. Zur Bewertung der Hangneigung wurde anhand der Verteilung in Abb. 67 dem 10°-Bereich mit dem höchsten prozentualen Anteil die höchste Bewertung zugeteilt. Den jeweils nächsthöheren 10°-Bereichen wurde die Bewertungen dann nach dem Prozentualen Anteil in der Einheit zugeordnet. Die vollständige Bewertung wird in Tab. 14 aufgeführt.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

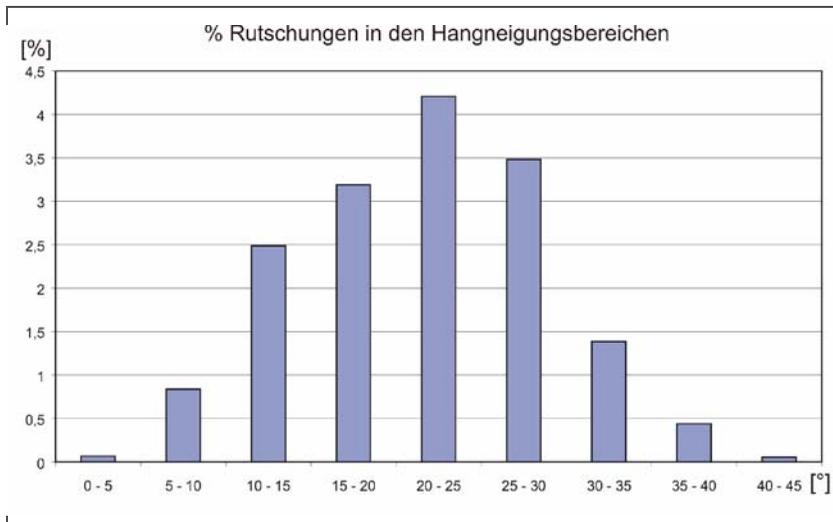


Abb. 67: Prozentualer Anteil der von Rutschungen betroffenen Hangneigungsbereiche am Gesamtanteil der Hangneigungsbereiche für Blatt Schoppernau.

Ganz anders als auf Blatt Schoppernau sieht der Vergleich auf **Blatt Alberschwende** aus (Abb. 69). Die Verteilung der Hangneigung des gesamten Blattes weist eine positiv schiefe Verteilung mit einem Maximum bei 5-15° mit 42 % der Fläche auf, was an der allgemein abgerundeten Geländeform dieser Landschaft liegt. Die Verteilung der Hangneigung der kartierten Rutschungen weist eine fast symmetrische Verteilung mit einem Maximum bei 25-35° mit 53 % der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche auf. Der nächsthöhere 10°-Bereich der Rutschungsfläche liegt zwischen 15-25°. In diesem Bereich treten 30 % der Rutschungen auf. In diesem Bereich liegt jedoch auch 31 % der Gesamtfläche des Gebietes. Der Bereich zwischen 35-45° ist mit 14 % der Rutschungsfläche und nur 3 % der Gesamtfläche auch stark von Rutschungen betroffen.

Insgesamt treten die kartierten Rutschungen auf Blatt Alberschwende in Steileren Hangneigungsbereichen auf als auf Blatt Schoppernau. In Abb. 69 wird der prozentuale flächenhafte Anteil der Rutschungen an den einzelnen Hangneigungsbereichen für Blatt Alberschwende dargestellt. Es ergibt sich eine mehrgipfelige Verteilung mit negativer Schiefe. Das erste Maximum liegt zwischen 30-35° das zweite bei 40-.

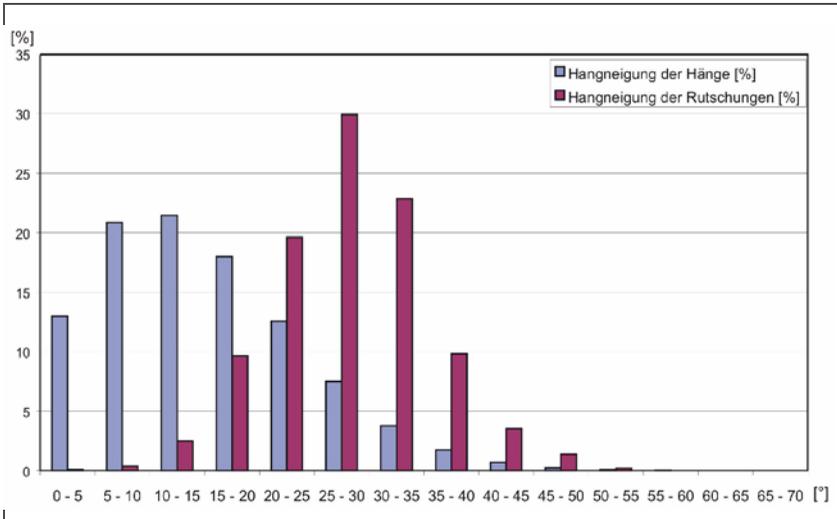


Abb. 68: Prozentuale Verteilung der Hangneigung insgesamt im Vergleich zur prozentualen Verteilung der Hangneigung in allen Rutschungen auf Blatt Alberschwende

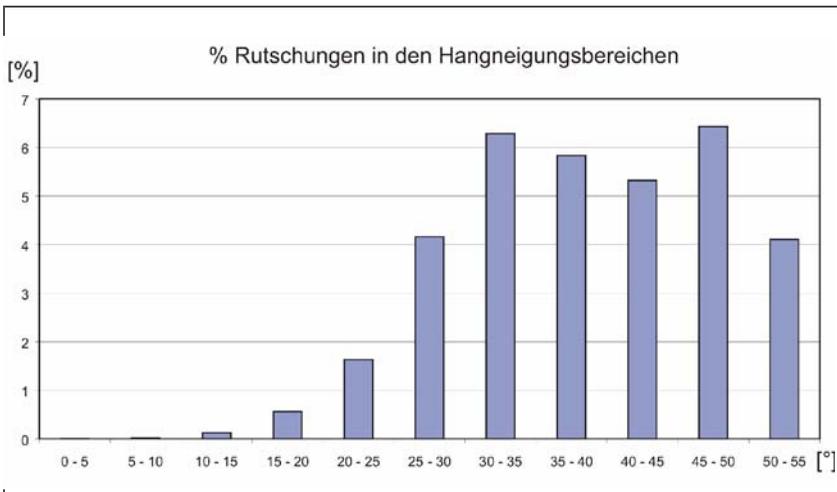


Abb. 69: Prozentualer Anteil der von Rutschungen betroffenen Hangneigungsbereiche am Gesamtanteil der Hangneigungsbereiche für Blatt Alberschwende.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

50°. Diese Verteilung beruht auf der Tatsache, dass zwei verschiedene Typen von Rutschungen auf Blatt Alberschwende kartiert wurden: Kombinierte Translations- und Rotationsrutschungen und Felsgleitungen. Dies Felsgleitungen treten auf Blatt Alberschwende bis in Hangneigungsbereiche von 55° auf. Die höchste Bewertung erhielt der Bereich zwischen 30-40°, der Bereich 40-50° die zweithöchste (Tab. 14).

Alle Statistiken, die hier wiedergegeben werden wurden mit allen kartierten Rutschungen berechnet. Im Verlauf der Bearbeitung wurde jedoch die Erfahrung gemacht, dass sich Hangneigungsbereiche mit vielen kleinen Rutschungen stärker einengen lassen als mit wenigen großen. Dies liegt an der Tatsache, dass sich große Rutschungssysteme teilweise über ganze Hangprofile ziehen. Bei der zukünftigen Bearbeitung von größeren Gebieten (und somit auch mehr Rutschungen) bietet es sich aus diesem Grund an, ausgewählte Rutschungen aus der Bewertung herauszunehmen. Vor allem überdurchschnittlich große Rutschungssysteme kommen dafür in Frage da sie, allein aufgrund ihrer Fläche, die gesammte Statistik dominieren können.

Tab. 14: Bewertung der Hangneigungsbereiche

Molasse:		Flysch:	
Hangneigungsbereich [°]	Bewertung	Hangneigungsbereich [°]	Bewertung
0 - 10, 55 - 90	0	0 - 10	0,1
10 - 20	0,1	10 - 20	0,6
20 - 30	0,7	20 - 30	0,9
30 - 40	0,9	30 - 40	0,5
40 - 50	0,8	40 - 50	0,2
50 - 55	0,6	50 - 90	0

Weitere aus dem Höhenmodell erstellte Ebenen wurden nicht direkt bewertet und verwendet. Ein Zusammenhang zwischen Exposition und Rutschungshäufigkeit konnte für den Projektbereich nur im Zusammenhang mit dem Schichteinfallen festgestellt werden. Auch die Verwendung der Hangform brachte keine sichtliche Verbesserung der

Ergebnisse, weshalb diese Datenebene, obwohl generiert, letztendlich nicht verwendet wurde.

4.2.1.2 Geologische Faktoren

Stratigraphie

Die Beurteilung des Beitrages, welcher von der Beschaffenheit der stratigraphischen Formationen ausgeht, wurde durch die Erfahrungen im Gelände, die lithologische Ausbildung und durch die Lage der Rutschungen festgelegt. Die Bewertung erfolgte dabei nicht nur anhand der größeren auskartierten Rutschungen, sondern auch anhand des Gesamteindruckes, den die Einheiten im Gelände gemacht haben. Die dargestellten Verteilungen berücksichtigen nur die auskartierten Rutschungen. Grundsätzlich bleibt die Bewertung der stratigraphischen Einheiten stark subjektiv. Eine echte statistische Beurteilung kann nur anhand eines deutlich größeren Untersuchungsgebietes erfolgen. In den folgenden Abbildungen werden nur die von Rutschungen betroffenen Einheiten aufgeführt, bei der Berechnung der Flächenanteile wurde jedoch die Gesamtfläche der Blätter berücksichtigt.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

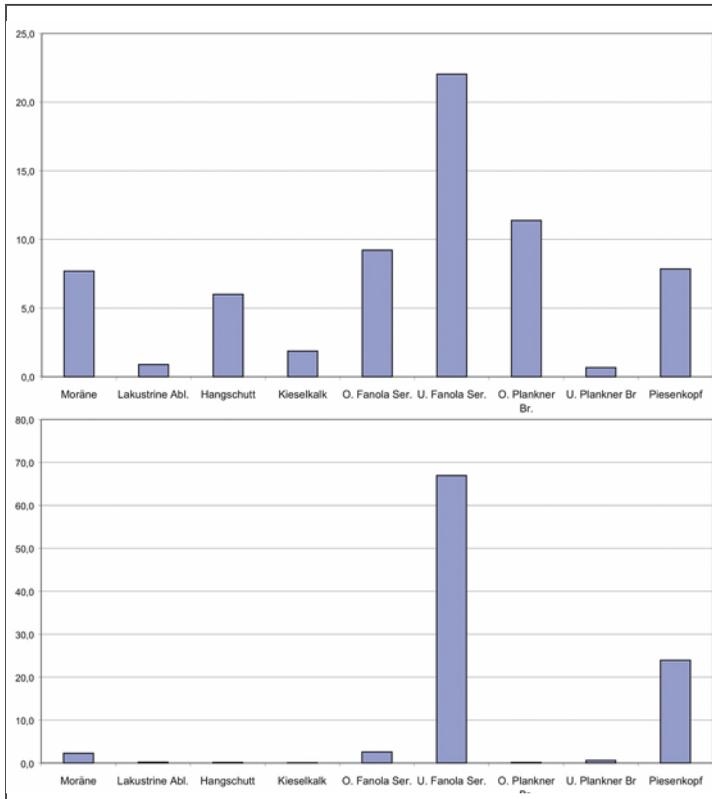


Abb. 70: Verteilung Rutschungen und Einheiten auf Blatt Schoppernau. Oben: Prozentualer Anteil der Einheiten welche von Rutschungen betroffen sind an der Gesamtfläche des Gebietes. Unten: Prozentualer Anteil der Einheiten an der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche.

Vergleicht man den prozentuale flächenhaften Anteil der einzelnen Einheiten, welche von Rutschungen betroffen sind, mit der Gesamtfläche des Arbeitsgebietes für den Bereich von **Blatt Schoppernau** (Abb. 70), wird der hohe Anteil an Unterer Fanola Serie (22 %) deutlich. Obere Fanola Serie (9 %) und Obere Plankner Brücke Serie (11 %) sowie Piesenkopf Serie (8 %), Moräne (8 %) und mächtige Hangschutt decken (6 %) sind ebenfalls weit verbreitet. Der Anteil der rutschenden Fläche an den einzelnen Einheiten macht deutlich, dass ein großer Anteil (67 %) der kartierten Rutschungsfläche im Bereich der Unterer Fanola

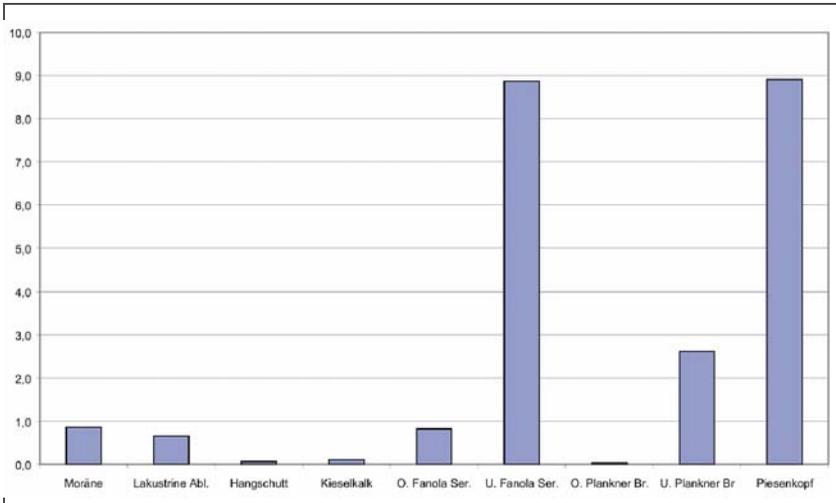


Abb. 71: Prozentualer Anteil der Einheiten an der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche für Blatt Schoppernau.

Serie liegt. Die Piesenkopf Serie stellt mit 24 % ebenfalls einen bedeutenden Anteil. Alle anderen Einheiten liegen mit unter 4 % deutlich darunter.

Der prozentuale Anteil der Fläche der Einheiten, in welchen Rutschungen auftreten, an der Gesamtfläche der entsprechenden Einheiten (Abb. 71) vermittelt ein ähnliches Bild. Deutlich bleibt, dass die Untere Fanola Serie und die Piesenkopf Serie massiv von Rutschungen betroffen sind. Ihrer Gesamtfläche auf Blatt Schoppernau ist mit ca. 9 % an Rutschungen beteiligt. Der hohe Anteil der Unteren Fanola Serie liegt daran, dass sowohl die großflächige Ütschen-Rutschungen als auch die Hangbewegungen an der Hochalpe in dieser Einheit liegen. In der Piesenkopf Serie hat sich die Dürrenbach-Rutschung gebildet.

Untere Fanola Serie, Piesenkopf Serie und Untere Plankner Brücke Serie erhielten schon allein aufgrund ihres Anteils an der rutschenden Fläche hohe Bewertungen. Ofterschwanger Serie, Arosa Zone und die Melange Zone aus Ultrahelvetikum und Feuerstätter Zone sowie die Moränen Ablagerungen erhielten aufgrund der Ergebnisse der Geländeuntersuchung eine hohe Bewertung.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

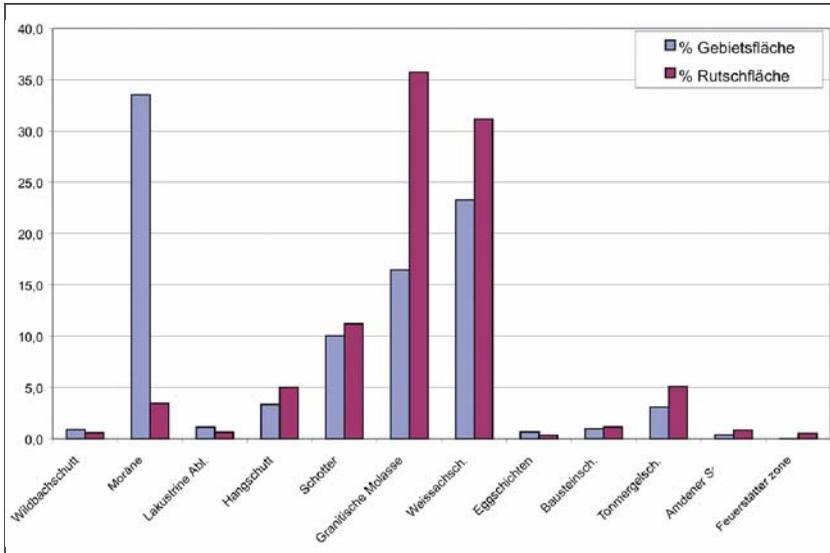


Abb. 72: Prozentualer Anteil der Einheiten, welche von Rutschungen betroffen sind an der gesamtfläche des Gebietes und Prozentualer Anteil der Einheiten an der gesamten von Rutschungen betroffenen Fläche für Blatt Alberschwende.

Die Verteilung der Rutschungen auf **Blatt Alberschwende** in den einzelnen Einheiten ist gleichmäßiger (Abb. 72). Moräne bedeckt auf Blatt Alberschwende mit 33 % einen bedeutenden Teil der Gebietsfläche, ist jedoch vergleichsweise wenig von Rutschungen betroffen. Dies liegt unter anderem daran, dass die aufgenommenen Rutschungen vor allem im Bereich der Bäche lagen. Aus diesem Grund sind im statistischen Vergleich auch post- und periglaziale Schotter mit über 10 % der rutschenden Fläche stark betroffen. Aufgrund der Tatsache, dass Moräne oft von Kriechen betroffen ist, wurde der Moräne trotz der Ergebnisse des statistischen Vergleichs eine hohe Wertung zugeteilt.

Bei den Festgesteinen treten vor allem die Granitische Molasse und die Weissachschichten hervor. Nach der Statistik machen sie zusammen ca. 40% der Gebietsfläche aus. Tatsächlich ist der Anteil der Weissachschichten wesentlich größer, da sie in weiten Bereichen von Moräne überdeckt sind, welche ebenfalls in den statistischen Vergleich aufgenommen wurde. In Abb. 72 wird außerdem deutlich, dass alle anderen weiteren Festgesteinseinheiten weniger als 5 % der Gebietsfläche aus-

machen.

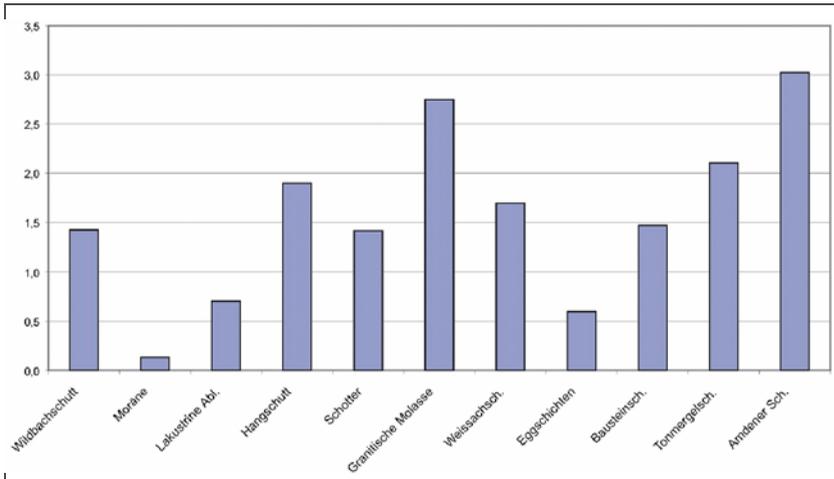


Abb. 73: Der prozentuale Anteil der rutschenden Fläche an der Gesamtfläche der Einheiten für Blatt Alberschwende.

In Abb. 73 wird der prozentuale Anteil der von Rutschungen betroffenen Fläche an den Einheiten für Blatt Alberschwende dargestellt. Der hohe Anteil an rutschender Fläche im Bereich der ansonsten standfesten Eggschichten und Bausteinschichten hängt mit ihrer Nähe zu den Tonmergelschichten und den Weissachsichten zusammen, in deren Hangbewegungen sie mit einbezogen werden. Der mit 3 % höchste Anteil weisen die Amdener Schichten auf. Sie treten aufgeschlossen jedoch nur auf 0,3 % der Gebietsfläche, überwiegend südwestlich von Egg entlang der Bregenzerach, auf. Dieser Bereich ist gleichzeitig von Rutschungen betroffen, wodurch sich der hohe Anteil ergibt. Die relative gleichmäßige Verteilung der Rutschungen in den einzelnen Einheiten liefert allein keine Grundlage für die Bewertung der stratigraphischen Einheiten, so dass vor allem die Beobachtungen im Gelände herangezogen wurden (Tab. 15).

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

Tab. 15: Bewertung der Schichtglieder von Blatt Schoppernau und Blatt Alberschwende.

Festgestein	Bewertung	Festgestein	Bewertung
Obere Fanola Serie	0,6	St. Galler Schichten	0,3
Untere Fanola Serie	0,9	Luzerner Schichten	0,2
Obere Plankner Brücke Serie	0,4	Granitische Molasse	0,8
Untere Plankner Brücke Serie	0,7	Weißachschiefer	0,8
Piesenkopf Serie	0,9	Bausteinschichten	0,2
Reiselsberger Sandstein	0,7	Eggschichten	0,2
Ofterschwanger Serie	0,8	Tonmergelschichten	0,9
Melange Zone	0,9	Feuerstätter Zone	0,9
Arosa-Zone	0,9	Ultrahelvetikum	0,9
Ostalpin	0	Lockergestein	
Lockergestein		Hangschutt	0,5
Sturzmaterial	0,5	Grund- und Seitenmoräne	0,7
Grund- und Seitenmoräne	0,8	Peri- und Postglaziale Schotter	0,6
Periglaziale Ablagerungen (teilw. mit Seeton)	0,8	Periglaziale Ablagerungen (teilw. mit Seeton)	0,8
Erosive Schuttfächer	0,2	Bachschuttfächer	0,4
Talfüllung	0	Talfüllung	0

Schichteinfällen

Als besonders wichtig für die Entstehung von Hangbewegungen, im Arbeitsgebiet vor allem auch im Bereich der Molasse, ist das Verhältnis von Schichtung und Hangneigung. Die Erstellung der Ebenen wurde in

Kapitel 2.5 erläutert. In der untenstehenden Tabelle wird die Bewertungsgrundlage für diese Ebenen aufgeführt.

Tab. 16: Bewertung der Winkeldifferenz von Exposition und Einfallrichtung sowie Hangneigung und Einfallen. Für die endgültige Bewertung werden die beiden Werte addiert.

Exposition und Einfallrichtung		Hangneigung und Einfallen	
Differenz	Bewertung	Differenz	Bewertung
0-15°	0,5	0-15°	0,5
15-25°	0,3	15-30°	0,3
25-50°	0,1	30-50°	0,1
>50°	0	>50°	0

Nicht in der Tabelle aufgeführt sind die Bereiche mit stark wechselnder Schichtlagerung (z.B. Ebene von Andelsbuch). Diese Bereiche erhielten immer den Wert 0,5.

Nähe zu Störungen

Größere Störungszonen führen nicht nur zu einer Auflockerung des Gesteins, sondern häufig auch zu einer erhöhten Wasserwegsamkeit des Untergrundes. Deshalb sind Störungen oft an der Bildung von Rut-

Tab. 17: Bewertung des Faktors Abstand zu Störungen nach REITERER (2001).

Abstand von Störungen	Bewertung
< 500	1
500-1000	0.8
1000-1500	0.6
1500-2000	0.4
2000-2500	0.2
> 2500	0

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

schungen beteiligt. RUFF (2000) hat im Bereich der Ütschenrutschung z.B. eine Störungszone kartiert, welche möglicherweise einen Anteil an der Anlage dieser Rutschung hat. Auch die Rutschungen an der Schwarzach befinden sich teilweise in direkter Nachbarschaft von bedeutenden Störungssystemen. Da der Einfluss von Störungen mit erhöhtem Abstand abnimmt, wurden nach REITERER (2001) mehrere Abstandsbereiche mit unterschiedlichen Einfluss festgelegt (Tab. 16).

Lockergesteinsauflage (Blatt Schoppernau)

Im Bereich des Flysch liefert die Teilweise sehr mächtige Auflage aus mergeligem Hang- und Verwitterungsschutt einen erheblichen Beitrag zur Rutschungsgefährdung. RUFF (2000) fertigte im Rahmen seiner

Tab. 18: Einfluss der Mächtigkeit von Deckschichten auf Blatt Schoppernau.

Keine Lockergesteinsbedeckung (0 m)	0
Geringe Lockergesteinsbedeckung (<2 m)	0,2
Mittlere Lockergesteinsbedeckung (2-3 m)	0,4
Hohe Lockergesteinsbedeckung (> 3 m)	1,0
Moräne (allg.)	0,8
Schuttfächer (allg.)	0,2

geotechnischen Kartierung aus diesem Grund eine „Karte der Lockergesteinsmächtigkeiten“, welche bei der Erstellung der Gefahrenkarten als Faktorenebene eingeflossen ist. Die Einteilung in Bereiche wurde dabei durch die ausgehaltenen Mächtigkeiten vordefiniert, die Gewichtung der Bereiche zeigt Tab. 17. Aufgrund der deutlich andersartigen Beschaffenheit von Moränen- und Schuttfächermaterial im Vergleich zum üblichen Hangschutt und Verwitterungsmaterial wurde die beiden Ablagerungen auch in der „Karte der Lockergesteine“ getrennt ausgehalten. Auf diese Weise war eine vom Hangschutt getrennte Bewertung dieser beiden Ablagerungen möglich

4.2.1.3 Umwelt-Faktoren

Abstand zu Bächen

Die Bäche des Arbeitsgebietes liefern durch ihre Erosionswirkung einen erheblichen Beitrag zur Gefährdung. Dieser Beitrag lässt sich durch den Abstand zu Gewässern ausdrücken. Welcher Abstand als bedenklich einzuschätzen ist, wurde anhand der Lage der Bachabbrisskanten festgelegt. Dabei wurden sowohl die Orthophotos als auch die geotechnische Karte konsultiert. Zwei Abstandsbereiche wurden festgelegt: einer für Hauptbäche (200 m) und einer für kleine Nebenbäche (70 m). Da an dieser Stelle kein skalierter Abstand vorlag sondern nur eine von zwei Möglichkeiten, wurde „Bach in der Nähe“ 1 und „kein Bach“ 0 zugeordnet.

Bewaldung

Tief wurzelnde Bäume stabilisieren den Hang, da sie die Scherfestigkeit des Untergrundes erhöhen, außerdem verhindern sie ein starkes Einwirken der Erosion, da sie den Boden mit ihren Wurzeln „festhalten“. Zusätzliche positive Auswirkungen entstehen durch den Einfluss des Waldes auf den lokalen Wasserhaushalt (REITERER, 2001). Andererseits kann man oft beobachten, dass in Rutschungsbereichen alle Bäume, vor allem die flach wurzelnden Nadelgewächse, entfernt werden, um das Gewicht der Rutschmasse zu reduzieren. In dieser Arbeit wird von einer stabilisierenden Wirkung der Bäume ausgegangen. Da bei der Vegetation, wie schon bei den Bächen, nur zwei Bereiche ausgewiesen wurden, und zwar „Bäume“ oder „keine Bäume“ war auch hier nur eine Einteilung in 0 („Bäume“) und 1 („keine Bäume“) nötig.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

4.2.1.4 Bewertung der Faktoren und Gruppen

Tab. 19: Tabellarische Darstellung des Entscheidungsbaums für Blatt Schopernau

Gruppe	Bewertung der Gruppe	Faktorenebenen	Bewertung der Ebenen	Gesamt-bewertung
DGM	0,3	Hangneigung	1	0,3
Geologische Faktoren	0,5	Lithologie	0,3	0,15
		Schichtlagerung	0,3	0,15
		Störungen	0,1	0,05
		Deckschichten	0,3	0,15
Umwelt Faktoren	0,2	Bäche	0,6	0,12
		Bewaldung	0,4	0,08

Nach der Bewertung der Inhalte der einzelnen Ebenen musste der Einfluss der Ebene innerhalb ihrer Gruppe festgelegt werden. Die Summe für die einzelnen Gruppen muss dabei 1 ergeben. Das AML mit dem die einzelnen Faktorenebenen zur den Gefährdungskarten kombiniert wurden befinden sich in Anhang 4.

Tab. 20: Entscheidungsbaum für Blatt Alberschwende

Gruppe	Bewertung der Gruppe	Faktorenebenen	Bewertung der Ebenen	Gesamt-bewertung
DGM	0,4	Hangneigung	1	0,4
Geologische Faktoren	0,4	Lithologie	0,3	0,12
		Schichtlagerung	0,5	0,2
		Störungen	0,2	0,04
Umwelt Faktoren	0,2	Bäche	0,6	0,12
		Bewaldung	0,4	0,08

Beitrag der einzelnen Faktoren in der Gruppe

Auf **Blatt Schoppernau** hatte sich vor allem die Mächtigkeit der Deckschichten bei einer mittleren Hangneigung als gefährlicher Faktor herausgestellt. Innerhalb der Gruppe „Geologische Faktoren“ erhielt diese Faktoren Ebene somit die gleiche Bedeutung wie die Lithologie und Schichtlagerung, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Mächtigkeit der Deckschichten haben. Der Einfluss von Störungen auf das Rutschungsgeschehen wurde als gering bewertet, da ein Großteil der Rutschungen in den Lockergesteinen auftraten.

Auf **Blatt Alberschwende** wurde in der Gruppe „Geologische Faktoren“ der Schichtlagerung mit 0,5 die höchste Bedeutung beigemessen. Da es sich bei den Rutschungen auf Blatt Alberschwende überwiegend um Hangbewegungen in Festgesteinen handelt, wurde den Störungen mehr Bedeutung beigemessen als auf Blatt Schoppernau.

Die Gefährdung durch die Bäche wird in beiden Teilgebieten gleich behandelt. In beiden Gebieten leisten die Gewässer durch ihre Erosionswirkung einen wichtigen Beitrag zu den Hangbewegungen

Beitrag der Gruppen

Da auf **Blatt Schoppernau** vor allem die Mächtigkeit der Lockergesteinsauflage wichtig für die Entstehung von Hangbewegungen ist, spielen außer der angenommenen Mächtigkeit vor allem auch die lithologischen Eigenschaften der Gesteine eine Rolle. Aus diesem Grund erhielten die „Geologischen Faktoren“ eine höhere Bewertung als die Hangneigung.

Auf **Blatt Alberschwende** wurde die Hangneigung in ihrem Einfluss wie die Gruppe „Geologischen Faktoren“ behandelt, da Rutschungen in diesem Bereich bei entsprechender Lithologie vor allem in steilen Lagen auftreten.

Die Gruppe „Umwelt Faktoren“ wurde in beiden Gebieten mit 0,2 gleich beurteilt.

Die Bewertung nach dem Entscheidungsbaum sollte beim Ausdruck der Gefährdungskarten mit dargestellt werden, damit dem Betrachter schnell klar wird, welcher Faktor zu einer gefährlichen Situation beiträgt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die summierten Ergebnisse der einzelnen Gruppen als kleine Zusatzkarten dargestellt.

4.2 Karten der Rutschungsgefährdung

Endgültige Bewertung

Aus den oben beschriebenen Bewertungen sowohl der einzelnen Ebenen als auch der Gruppen ergeben sich die empirischen „Formeln“, anhand der die einzelnen Informationsebenen miteinander kombiniert werden um die Gefährdung (G) zu ermitteln:

Blatt Schoppernau:

$$G = 0,3 h + 0,5 (0,3 l + 0,3 s + 0,1 f + 0,3 d) + 0,2 (0,6 w + 0,4 v)$$

Blatt Alberschwende:

$$G = 0,4 h + 0,4 (0,3 l + 0,5 s + 0,2 f) + 0,2 (0,6 w + 0,4 v)$$

G - Gefährdung

h - Hangneigung

l - Lithologie

s - Verschnitt von Schichtung und Hangmorphologie

f - Nähe zu Störungen

d - Deckschichten Mächtigkeit

w - Nähe zu Gewässern

v - Bewaldung

Um eine verständliche Darstellung der Ergebnisse zu erreichen wurde die Gefährdung in vier Bereiche eingeteilt (Tab. 21). Auf den Gefährdungskarten werden die Bereiche „gefährdet“ und „stark gefährdet“ in Rottönen dargestellt, während „gering gefährdet“ in gelb und „kaum gefährdet“ in grün dargestellt wird.

Tab. 21: Einteilung der Gefährdungskarten in Bereiche unterschiedlicher Gefährdung anhand der ermittelten Wertung.

Bereich	Wertung	Gefährdung
I	< 0,4	kaum gefährdet
II	0,4 - 0,6	gering gefährdet
III	0,6 - 0,8	gefährdet
IV	0,8 - 1,0	stark gefährdet

4.3 Karte der Steinschlaggefährdung (Blatt Bezau)

Die Gefahr, welche von Sturzbewegungen ausgeht ist eine grundlegend andere als die, welche von Rutschungen ausgeht. Bei Rutschungen liegen Ausgangsbereich und Ablagerungsraum der bewegten Massen meist nah beieinander, bzw. überschneiden sich. Bei Sturzerignissen liegen Abbruchbereich und Ablagerungsraum meist weit voneinander entfernt und werden durch eine Sturzbahn miteinander Verbunden. Auf dieser Grundlage lässt sich die Analyse von Sturzbewegungen in drei Teilbereiche einteilen:

- Ermittlung des Abbruchbereiches
- Ermittlung der Sturzbahn und
- Ermittlung der Reichweite.

Die Festlegung des **Abbruchbereiches** lässt sich auf verschiedene Weise lösen. Eine Möglichkeit ist, alle potentiellen Abbruchbereiche direkt im Gelände zu kartieren. Auch wenn dies sicherlich die genaueste Bestimmungsmethode ist, kann sie bei Bewertungen im regionalen Maßstab sehr zeitintensiv sein. Eine weitere Möglichkeit ist die Ermittlung eines Grenzwertes für die Hangneigung. Damit kann die Ausscheidung der gefährlichen Bereiche unter Verwendung des Höhenmodells erfolgen. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass sie schnell durchzuführen ist und im regionalen Maßstab homogene Ergebnisse liefert, welche nicht von der subjektiven Einschätzung verschiedener Kartierer abhängen. Nachteil dieses Ansatzes ist seine Abhängigkeit von der Genauigkeit des Höhenmodells. Da im Rahmen der Diplomarbeit von LEIBING (2000) die Abbruchbereiche im Gelände kartiert wurden, war eine solide Grundlage zur Kalibrierung eines solchen Ansatzes gegeben. Im Verlauf eines manuellen Iterationsprozesses wurden so lange Hangneigungsbereiche isoliert, bis sich eine möglichst genau Übereinstimmung mit den kartierten Abbruchbereichen ergeben hatte. Das Ergebnis dieses Vorgangs war, das im Höhenmodell, wie im Gelände, Bereiche mit einer Hangneigung ab 50° als Sturzgefährdet angenommen werden können.

Ausgehend von den ermittelten Abbruchbereichen, konnten anschließend die **Sturzbahnen** berechnet werden. Hierzu wurde ein oft als d8-Methode (deterministic eight-neighbors) bezeichnetes Verfahren verwendet, welches von JENSON & DOMINIQUE (1988) stammt. ArcInfo™

4.3 Karte der Steinschlaggefährdung (Blatt Bezau)

bietet dem Anwender die Möglichkeit dieses Verfahren mit bereits implementierten Befehlen durchzuführen. Dabei wird anhand der Hangneigung im Grid-Modul von ArcInfo™ mit dem Befehl [*flowdirection*] für jede Zelle die Richtung des niedrigsten Nachbarn berechnet (Abb. 74).

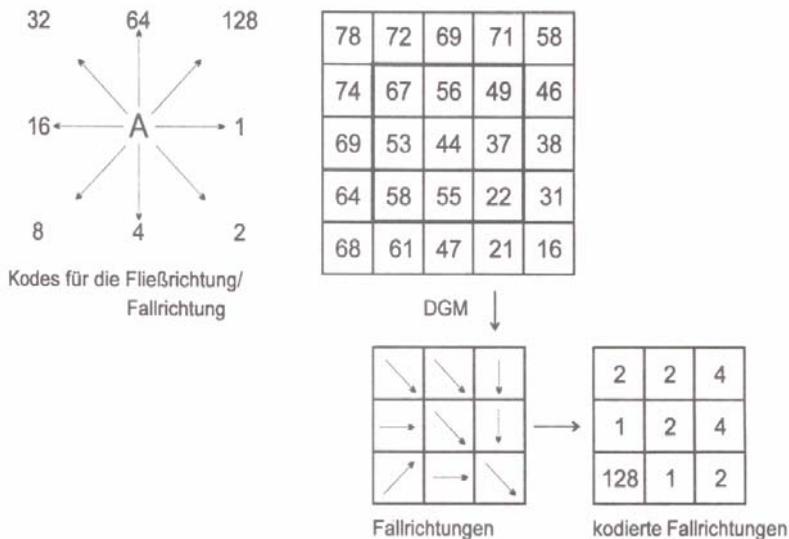


Abb. 74: Bestimmung der Fließrichtung mit ArcInfo™ und Kodierung der Ergebnisse unter Verwendung der D8-Methode (MEIßL, 1998)

Anschließend wird nach BERCEANU (in Vorb.) auf dieser Grundlage mit dem Befehl [*costpath*] der „günstigste“ Weg von den Ausgangszellen zu den tieferen Zellen dargestellt (Anhang 5). Dabei wird die Sturzbahn so lange weitergezeichnet, bis nur noch gleich tiefe Zellen als Nachbarn der letzten Ausgangszelle vorliegen, was wiederum bedeutet, solange auch nur das geringste Gefälle vorliegt wird die Sturzbahn weiterberechnet. Dies führt im Arbeitsgebiet teilweise dazu, das sich manche Sturzbahnen Kilometer weit im Bett der Bregenzerach fortsetzen. Um dieses Phänomen zu vermeiden muss noch eine Grenzbedingung festgelegt werden, welche die Reichweite der Sturzbewegungen begrenzt.

Die **Reichweite** wird nach SPANG (1994) von der kinetischen Energie, der Hangneigung und der Oberflächenbeschaffenheit des Hanges,

aber auch von der Größe, Form und Dichte des stürzenden Körpers bestimmt. Die von ihm entwickelte zweidimensionale Software zur Reichweitenanalyse und Bemessung von Auffangbauwerken, Rockfall 6.0™, bewertet die Oberflächenbeschaffenheit des Hanges mit folgenden Variablen, welche bei der Berechnungen einzelner Läufe statistisch variiert werden können:

- Gleitreibungswinkel in Grad
- Haftreibungswinkel in Grad
- Dämpfung, normal zur Geländeoberfläche
- Dämpfung, parallel zur Geländeoberfläche
- Rollwiderstand
- Oberflächen Amplitude (Maximale Auslenkung der Geländeoberfläche normal zur vorgegebenen Profilineigung in Meter)
- Oberflächen Frequenz (Abstand der Auslenkpunkte in Meter)

Auf der Basis dieser Eingangsdaten berechnet das Programm die Übergänge der einzelnen Bewegungsarten freier Fall, rollen und gleiten. Es berechnet außerdem die kinetische Energie, die der Sturzkörper an jedem Punkt seiner Bewegung hat und es berechnet anhand einer einstellbaren Grenzggeschwindigkeit, wann der Körper zum Stillstand kommt. Rockfall 6.0™ kann jedoch immer nur ein vorgegebenes Profil bei einem bekannten Abbruchbereich berechnen.

Eine weitere Schwierigkeit ist die Ermittlung des Hangprofils. Aufgrund der vielfältigen und detailliert einstellbaren Variablen muss das Profil extrem genau sein. Es kann somit weder der topographischen Karte noch dem DGM entnommen werden, da beide Datensätze zu stark generalisiert sind um die natürlichen Hangverhältnisse wiederzugeben. Vor allem extrem steile Bereiche werden im DGM meist nicht korrekt wiedergegeben. Berechnungen mit Rockfall 6.0™ sollten demnach mit eingemessenen Profilen durchgeführt werden, eine Voraussetzung, welche auf die Gesamtfläche gesehen, schwierig zu erfüllen ist. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Rockfall 6.0™ durch seine vielfältigen Manipulationsmöglichkeiten und die berechneten Energiewerte sicherlich das ideale Werkzeug zur Bemessung von Auffangbauwerken ist. Eine flächenhaft durchgeführte Reichweitenanalyse im regionalen Maßstab ist mit diesem oder anderen ähnlichen zweidimensionalen Programmen zu aufwendig.

Um die Reichweite im regionalen Maßstab zu ermitteln, kommt nur ein vollständig flächenhafter Ansatz in Frage. Eine Möglichkeit dieses Ziel zu erreichen, ist die genannten Untergrundparameter flächenhaft zu kartieren, um sie anschließend mit dem oben aufgeführten Berechnung der Sturzbahn zu kombinieren. Dadurch bekommt dann jedes Pixel nicht nur eine Neigung, sondern auch die entsprechenden bodenphysikalischen Parameter zugeordnet. Ein solcher Ansatz, bei einer gleichzeitigen Vergrößerung des Berechnungsradius von acht auf sechzehn Pixel, wird zur Zeit an der AGK von BERCEANU (in Vorb.) erarbeitet.

Im Rahmen dieses Projektes kam ein empirischer Ansatz zur Anwendung, welcher sich wie schon bei der Ermittlung der Abbruchbereiche auf die Ergebnisse der Geländeuntersuchung stützt. Dabei wurde ermittelt, in welchem Hangneigungsbereich die Sturzmassen im Gelände auftreten. Dabei ergab sich ein Grenzbereich von 20° - 40° für die Lage der Schuttmassen. Um dieses Kriterium im Modell umzusetzen, wurden im DGM alle Bereiche mit einer Hangneigung von weniger als 20° mit „no data“ belegt, was ein Abbruch der Bahnberechnung zur Folge hat. Die Karte, die sich aus dieser Vorgehensweise ergibt, weist somit außer den Sturzbahnen vier Bereiche aus:

- Abbruchbereich: Ursprung der Sturzbewegungen
- „kinematischer“ Bereich: Bereich in dem die Sturzkörper nicht zum Stillstand kommen
- Ausrollbereich: Hangneigungsbereich der Schuttablagerungen
- Bereiche die von Sturzbewegungen nicht betroffen sind

5 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

5.1 Zusammenfassung

Nach Festlegung der Gebietsgrenze wurde das Gelände vorerkundet und die Datenlage erhoben. Gleichzeitig wurde zur Festlegung der Bearbeitungsmethode die Literatur zum Thema Gefahrenkartierung aufgearbeitet.

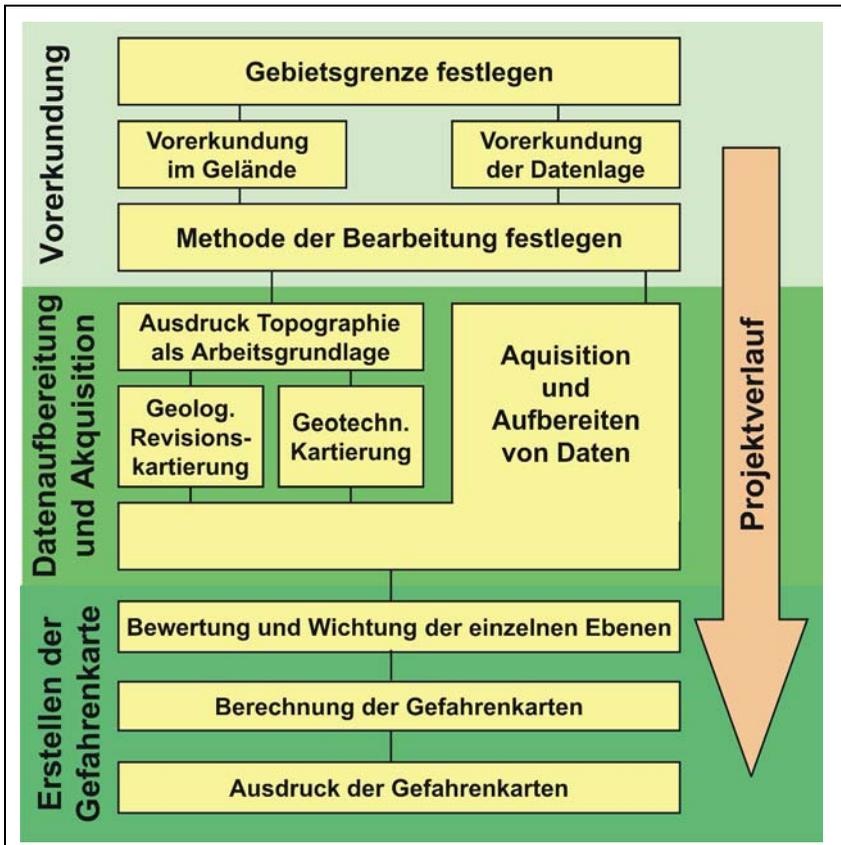


Abb. 75: Flussdiagramm der Arbeitsschritte zur Erstellung von Gefahrenkarten.

Die Arbeit beginnt mit einer Einführung in das Thema Gefahrenkartierung und einen Überblick über die zur Verfügung stehenden Methoden zur Gefährdungskartierung sowie entsprechende praktische Beispiele aus der Literatur. Obwohl GIS-Daten theoretisch maßstabslos sind, ist nicht jede Methode für jeden Bearbeitungsmaßstab geeignet. Die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Karten wurden für einen Ausgabemaßstab von 1 : 25 000 erstellt.

Kapitel 1 behandelt die Grundlagen zu den Themen Software, Datenakquisition und Standardisierung. Zu diesem Thema gibt es einige Entscheidungen, die in einer frühen Projektphase getroffen werden müssen. Es wird erläutert, weshalb im Rahmen dieses Projektes ArcInfo™ als Software-Basis gewählt wurde. Außerdem wird erläutert, welche digitalen Daten am Anfang dieser Arbeit zur Verfügung standen, welche noch erhoben werden mussten und welche Arbeitsschritte für die Integration ins GIS nötig waren.

Im Rahmen geowissenschaftlicher Arbeiten sind in diesem Zusammenhang vor allem geologische und geotechnische Kartierungen wichtig, da diese in der Regel nur analog vorliegen.

Kapitel 3 liefert eine Beschreibung des Arbeitsgebietes unter besonderer Berücksichtigung geowissenschaftlicher Aspekte. Dieser Teil der Arbeit dient gleichzeitig als Erläuterung zu den beiliegenden geologischen Karten.

Der Schwerpunkt der Geländearbeit lag auf der Lokalisierung und Bewertung von Massenbewegungen. Während in der Molasse und im Penninikum gehäuft Rutschungen auftreten, stellt im Helvetikum Steinschlag und Felssturz die größte Gefährdung dar. Aufgrund der angelegten Hangbewegungen wurde das Arbeitsgebiet in drei Teilblätter eingeteilt: Blatt Alberschwende im Norden, Blatt Bezau im zentralen Bereich und Blatt Schoppernau im Süden.

Unter Verwendung der erhobenen Daten wurde anschließend an die Geländearbeit eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt. Kapitel 4 liefert eine Beschreibung der verwendeten Datensätze, sowie deren Aufbereitung zu Faktorebenen. Weiterhin wird die Vorgehensweise bei der Erstellung der Gefährdungskarten erläutert.

Als Methode zur Beurteilung der Gefährdung durch Rutschungen auf den Blättern Alberschwende und Schoppernau kam eine qualitative Index-Methode zum Einsatz. Auf Blatt Bezau wurde die Gefährdung durch Steinschlag und Felssturz in zwei Schritten ermittelt. Abbruch- und Ablagerungsbereich wurden im Digitalen Geländemodell (DGM) ermittelt. Zur Darstellung der möglichen Sturzbahnen erfolgte eine Ana-

lyse des DGM mit dem „D8“-Verfahren.

5.2 Fazit

Grundsätzlich haben sich die verwendeten Methoden als geeignet erwiesen einen Überblick über die Gefährdung in den einzelnen Teilgebieten zu vermitteln. Betrachtet man den prozentualen Anteil der einzelnen Gefährdungsbereiche an der bebauten Fläche für die Blätter Schoppernau und Alberschwende (Abb. 76), kann der Schluss gezogen werden, die Gefährdungseinschätzung in den Gefährdungskarten deckt sich mit der Gefährdungseinschätzung der Anwohner.

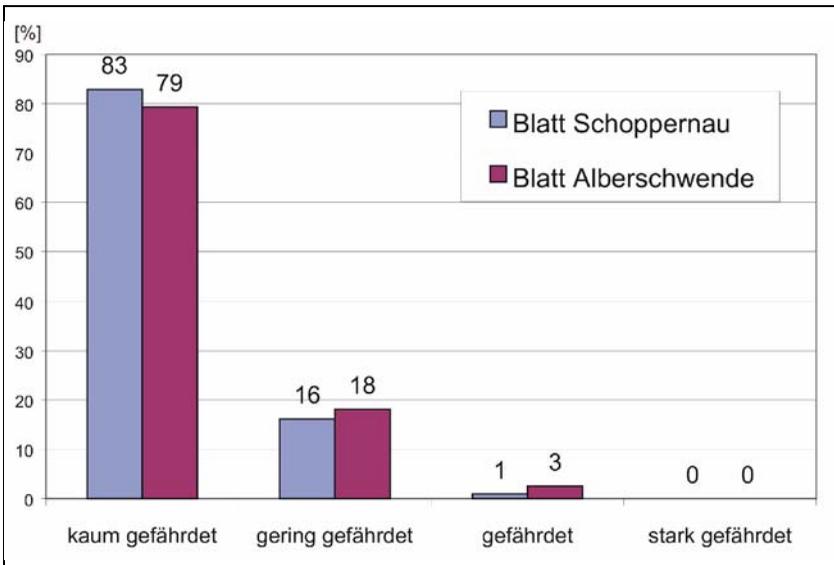


Abb. 76: Prozentualer Anteil der einzelnen Gefährdungsbereiche an der bebauten Fläche für die Blätter Schoppernau und Alberschwende. Bei dieser Betrachtung darf nicht vergessen werden, dass sowohl die Hangneigung als auch das ein Kriterium „Bebaubarkeit“, stark in die Bewertung der Gefährdung eingeht.

Es muß jedoch betont werden, das die verwendeten qualitativen Methoden fast ausschließlich auf sogenannten „Expertenwissen“ basieren. Im Ansatz quantitativen Charakter besitzt nur die Verwendung von Sta-

tistik bei der Bewertung der Hangneigung und die Wegfindung bei der Ermittlung der Steinschlagbahnen. Vorteil der verwendeten Index-Methode ist ihre einfache Erweiterbarkeit durch zusätzliche Datenebenen. Um die Gefährdung vollständig anhand quantitativer statistischer Methoden zu ermitteln, müssen die untersuchten Bereiche (vor allem der Blatt Schoppernau) deutlich vergrößert werden um plausible Ergebnisse zu erhalten.

Um in Zukunft die Bearbeitung ähnlicher Projekte bei gleichzeitiger Vergrößerung der Fläche zu erleichtern wäre es sinnvoll, wenn in Vorarlberg alle bekannten Massenbewegungen zentral inventarisiert würden. Vor allem sollten auch die vielen kleinen Ereignisse, deren Spuren meist schnell beseitigt werden, lagerichtig mit Mechanismus und Datum in einem GIS festgehalten werden. Die Lage von wichtigen Schutzbauten und Verbauungen sollten ebenfalls zentral archiviert werden. Unter Verwendung von Geoinformationssystemen könnte so eine Datenbank erstellt werden, welche auf lange Sicht die Auswertung von Zeitreihen ermöglicht, was wiederum zur Entwicklung von Frühwarnsystemen nötig wäre.

Durch die Verknüpfung von Datenbanken mit den einzelnen Informationsebenen könnte, unter Verwendung von ArcView™ oder einem anderen Desktop-GIS sowie einem mobilen Computer, außerdem ein umfangreiches „Geländeinformationssystem“ aufgebaut werden.

6 LITERATUR

ALEOTTI, P. & CHOWDHURY, R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. - Bull Eng Geol Env, **58**: 21-44; Springer Verlag.

ANBALAGAN, R., Bhawani Singh (1996): Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrain - a case study from Kumaun Himalaya, India. - Engineering Geology, **34**: 237-246; Elsevier.

BAEZA, C. & COROMINAS, J. (1996): Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques. - Landslides: 147-152; Senneset (ed.); Balkema, Rotterdam.

BARTELME, N. (1995): Geoinformatik.- 414 S.; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg.

BERCEANNU, V. (in Bearb.): GIS-Rockfall modelling in the Eastern Alps.- Diss. Uni. Karlsruhe; Karlsruhe.

BERTLE, H. (1995): Bregenzerwald Straße B 200, Baulos: Dornbirn Nord – Schwarzachtobel, km 0,1+58,504 – km 5,5+28,000, Achraintunnel, Detailprojekt - unveröff. Baugeologische Beurteilung. Auftraggeber: AMT D. VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, Bregenz.

BILL, R. (1999a): Grundlagen der Geo-Informationssysteme.- : Hardware, Software und Daten, **Bd. 1**: 454 S.; Wichmann Verlag, Heidelberg.

CARRARA, A., CARDINALLI, M., GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P. (1995): GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. – A. Carrara and F. Guzzetti (eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards: S. 135-175; Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

COLINS, E., NIEDERBACHER, P. UND SAUER, R. (1989): Kohlenwasserstoffexploration in Vorarlberg – Ergebnisse der Bohrung Vorarlberg-Au 1. –Mitt. österr. Geol. Ges., **82**: S. 91-104; Wien.

CRUDEN, D.M., VARNES, D. J. (1996): Landslide Investigation and Mitigation.- Transp. Res. Board, Nat. Acad. Sci. Special Report **247**; Washington, D.C.

CZURDA, K. & GINTHER, G. (1983): Quellverhalten der Molassemergel im Pfänderstock bei Bregenz, Österreich.- Mitt. österr. geol. Ges., **76**: 141-160; Wien.

CZURDA, K., SCHNEIDER, U., VIGL, E. (2000): Zusammenstellung und Aufnahme der Rutsch- und Murereignisse in Vorarlberg der Jahre 1999 und 2000.- Jahrbuch Vorarlberger Landesmuseumsverein 2000; Vorarlberger Landesmuseumsverein, Bregenz.

DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L., IBSEN, M.L. (1996): Landslide recognition. Identifikation, movement and causes. – S. 251; Wiley, Sussex.

DIKAU, R., SCHROTT, L. (1999): The temporal stability and activity of Landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC): main objectives and results.- Geomorphology **30**: S. 1-12; Elsevier, Amsterdam.

EINSTEIN, H. H. (1997): Landslide risk – Systematic approaches to assessment and management; in Landslide Risk Assessment. - Cruden & Fell (eds.), S. 25-51; Balkema, Rotterdam.

FERNANDEZ-STEEGER, T. (1998): Bericht zur geologischen Kartierung an der Weißach bei Doren (Vorarlberg, Österreich). - Unveröff. Dipl.-Arb. Universität Karlsruhe,;46 S.; Karlsruhe.

FERNANDEZ-STEEGER, T. (in Bearb.): Objektivierung von Risikoanalysen mit Neuronalen Netzen.- Diss. Uni. Karlsruhe; Karlsruhe.

FESSLER, U., KIESSLING, TH., RISCH, H. & ZACHER, W. (1992): Die vorquartäre Geologie im Andelsbacher Becken (Vorarlberg). – Jb. Geol. B.-A., **135/4**: S. 825-843; Wien.

FÜCHTBAUER, H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine. - 1141 S., 660 Abb., 113 Tab.; Schweizerbart, Stuttgart.

GÖKCEOGLU, C. & AKSOY, H.. (1996): Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. – Engineering Geology, **44**: S. 147-161; Elsevier Science B.V.

GUPTA, P. & ANBALAGAN, R. (1997): Slope stability of Tehri Dam Reservoir Area, India, using landslide hazard zonation (LHZ) mapping. – Quarterly Journal of Engineering Geology, **30**: 27-36; The Geological Society.

HANTKE, R. (1980): Eiszeitalter. – **Band 2**: 703 S.; Ott Verlag, Thun.

HEIM, A., Baumberger, E., Stehlin, H. (1928): Die subalpine Molasse des westlichen Vorarlberg. – Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. Zürich, **73**: 1-64; Zürich.

HOEXTER, D. F., HOLZHAUSEN, G., SOTO, A. E. (1978): A Method of Evaluating the Relative Stability of ground for Hillside development.- Engineering Geology **12**: S.319-336;K Elsevier, Amsterdam.

HOMEPAGE DES BEV (2001) : <http://www.bev.gv.at>.

HOMEPAGE DES GBA (2002) : <http://www.geolba.ac.at>.

JÄGER, S., WIECZOREK, G. F. (1994): Landslide Susceptibility in the Tully Valley Area, Finger Lakes Region, New York.- USGS Open-File-Report **94-615** (On-line-version); http://www.usgs.gov/reports/open_file_reports/94-615/index.htm.

JENSON, S. K., DOMINIGUE, J. O. (1988): Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data from Digital Elevation Data for Geographic Information Systems Analysis.- Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, **Vol. 54**: No. 11, S. 1593-1600.

JUANG, C. H., LEE, D. H. & SCHEU, C. (1992): Mapping slope failure potential using fuzzy sets.- Journal of Geotechnical Engineering, **118**: S. 475-494; American Society of Civil Engineers, New York.

KALLIES, H. B. (1961): Geologie des Bregenzerwaldes beiderseits der Bregenzerach in der Umgebung von Schoppenuau. – Geol. Jb., **78**: S. 257-298, 9 Abb., 4 Taf.; Hannover.

Kienholz, H. (1978): Maps of Geomorphology and natural Hazard of Griendelwald, Switzerland, scale 1 : 10 000. - Arctic and Alpine Research, **10**: S. 169-184.

KIENHOLZ, H. (1996): Gefahrenkarten: Massgebliche Parameter und Kriterien zur Festlegung von Intensitätsstufen. – Intern. Symposium Interpraevent 1996 – Garmisch-Partenkirchen, Tagungspublikation, **3**: 47-58.

KIENZLE, A. (1998): Geologische Kartierung an der Bregenzer Ach im Bereich der Weißach- und Rotach-Mündung (Vorarlberg, Österreich). - Unveröff. Dipl.-Arb. Teil 1, Universität Karlsruhe: 45 S.; Karlsruhe.

KIENZLE, A. (1998): Geologische und geotechnische Kartierung in Bregenz und Umgebung (östliches Stadtgebiet und Pfänder). Unveröff. Dipl.-Arb. Teil 2, Universität Karlsruhe: 86 S.; Karlsruhe.

KRAUS, E. (1942): Neue Wege der nordalpinen Flyschforschung. – Neues Jb. Min., Abt. B. **87**.

LEIBING, M. (2000): Geotechnische Kartierung beiderseits der Bregenzerach (Bregenzerwald) im Helvetikum Vorarlbergs.- Unveröff. Dipl.-Arb. Universität Karlsruhe; Karlsruhe.

LEMKE, K. (1984): Geologische Vorgänge in den Alpen ab Obereozän im Spiegel vor allem der deutschen Molasse.- Geol. Rdsch. **73/1**: S. 371-397; Stuttgart.

MATTERN, F. (1999): Mid-Cetaceous basin development, paleogeography, and paleogeodynamics of the western Rhenodanubian Flysch (Alps). – Z. dt. Geol. Ges., **150/1**: 89-132, 15 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

MEIßL, G. (1998): Modellierung der Reichweite von Felsstürzen - Fallbeispiel zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Bayerischen und Tiroler Alpenraum.- Innsbrucker Geographische Studien **28**; Selbstverlag des Instituts für Geographie der Universität Innsbruck.

MOSER, M. & ÜBLAGGER, G. (1984): Vorschläge zur Erstellung von geotechnischen Karten und Erhebungen im Rahmen von Gefahrenzonenplänen in Hangbereichen. – Int. Symp. Interpraevent II; Villach 1984.

MUHEIM, F. (1934): Die subalpine Molasse im östlichen Vorarlberg. – *Ecolgae geol. Helv.*, **27**: S. 181-296; Basel.

MÜLLER, M., NIEBERDING, F., WANNINGER, A. (1988): Tectonic style and pressure distribution at the northern margin of the alps between Lake Constance and the River Inn. – *Geol. Rdsch.*, **77/3**: S. 797-814, Stuttgart.

NARANJO, L.N., VAN WESTEN, C.J., SOETERS, R. (1994): Evaluating the use of training areas in bivariate statistical landslide hazard analysis – a case study in Colombia.- *ITC Journal* **3**: S. 292-300.

NEUER, B. S. (2000): Expedition ins Datenreich- Geographische Informationssysteme verknüpfen Daten mit Karten.- *c't-Magazin für Computertechnik*, **Heft 4**: Verlag Heinz Heise.

NEUKUM, C. (2001): Tektonik und Karstentwässerung im Gebirgsmassiv der Winterstaude (Marktgemeinde Bezau, Vorarlberg, Österreich). – unveröff. Dipl. Arb. Univ. Karlsruhe: 104 S.; Karlsruhe.

OBERHAUSER, R. (1951): Zur Geologie des Gebietes zwischen Canisfluh und Hohem Ifen (Bregenzerwald). – unveröff. Diss. Universität Innsbruck.

OBERHAUSER, R. (Red.) (1980): Der geologische Aufbau Österreichs – hrsg. v. d. Geol. B.-A.; Wien-New York (Springer).

OBERHAUSER, R. (1995): Zur Geologie von Bezau. – In: MEUSBURGER, W.: Bezau, Geschichte, Gesellschaft, Kultur. - Bezau: S. 11-23.

OBERHAUSER, R. (1994): Geologische Karte der Republik Österreich-Blatt 110 St. Gallen Nord, 111 Dornbirn Nord.- Geologische Bundesanstalt, Wien.

OBERHAUSER, R. (1998): Geologisch-Tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg 1 : 2 000 000.- Geologische Bundesanstalt; Wien.

OBERHAUSER, R. (1998): Erläuterungen zur Geologisch-Tektonischen Übersichtskarte von Vorarlberg, 1 : 200.000. – Geol. B.-A.: 42 S.; Wien.

POSCHINGER, A.V. (1992): GEORISK, Erfassung und Untersuchung von Massenbewegungen im Bayrischen Alpenraum, GLA-Fachberichte 8: 33 S., 6 Abb.; München

RAD, U., VON (1972): Zur Sedimentologie und Fazies des Allgäuer Flysch. – Geol. Bavarica, **66**: 92-147, 14 Abb., 8 Taf., 1 Tab.; München.

REITERER, I. (2001): Gefahrenbeurteilung von Rutschungsbereichen - Versuch der Ausweisung rutschungsgefährdeter Bereiche im südlichen Salskammergut mittels Geographischer Informationssysteme (GIS).- Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII - Beiträge zum AGIT-Symposium 2001: S. 387-399; Wichmann Verlag, Heidelberg.

RICHTER, M. (1978): Vorarlberger Alpen. –Samml. Geol. Führer, **49**: 171 S.; Berlin - Borntraeger, Stuttgart.

RICHTER, D. (1984): Allgäuer Alpen. – Sammlung geol. Führer, **77**: 253 S., 84 Abb., 6 Tab., 1 Karte; Borntraeger, Berlin.

RUFF, M (2000): Geologische und Geotechnische Kartierung in der südlichen Vorarlberger Flyschzone (Bregenzer Ach / Schoppernau). - Unveröff. Dipl.-Arb., Universität Karlsruhe: 96 S.; Karlsruhe.

RUPKE, J.,CAMMERAAT, E., SEIJMONSBERGEN, A.C., VAN WESTEN, C.J. (1988): Engeneering geomorphology of Widentobel Catchment, Appenzell and Sankt Gallen, Switzerland: a geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability. - Engineering Geology, **26**:33-68; Elsevier, Amsterdam

SCHAAD, W., KELLER, B. & MATTER, A. (1992): Die Obere Meeresmolasse (OMM) am Pfänder: Beispiel eines Gilbert-Deltakomplexes. – Eclogae Geol. Helv., **85**: S. 145-168; Basel.

SCHIEMENZ, S. (1960): Fazies und Paläogeographie der Subalpinen Molasse zwischen Bodensee und Isar. –Beih. Geol. Jb., **38**: 119 S.; Hannover.

SCHILCHER, M., KALTENBACH, H. & ROSCHLAUB, R. (1996): Geoinformationssysteme- Zwischenbilanz einer stürmischen Entwicklung. - Zeitschrift für Vermessungswesen 121. Jahrgang, Heft 8; Deutscher Verein für Vermessungswesen (DVW) e.V.

SCHMID, M. & WASSERBURGER, W. W. (1999): Datenbank-GIS-Integration zur Bestandverwaltung von Museumsfundort- und -verwaltungsdaten in der Vorarlberger Naturschau. – Salzburger Geographische Materialien, **21**: 7 S.; Univ. Salzburg.

SCHNABEL, W. (1980): Permomesozoikum, Paläozän und Eozän in den zentralen Ostalpen: Penninikum und Unterostalpin, westlicher Teil: West-Ostalpengrenze und Unterengadiner Fenster. – in: OBERHAUSER, R. (Red.): Der Geologische Aufbau Österreichs: S. 298-299; Springer, Wien.

SCHÖNWIESE, C.-D., BIRRONG, W. (1990): European precipitation trend statistics 1851-1980 including multivariate assessments of the anthropogenic CO₂ signal.- Z. Meteorol. **40**: S. 92-98.

SCHWARZ, M. (2001): Geologie der Nördlichen Kalkalpen im Gebiet Mittelberg, Schröcken, Vorarlberg (Österreich). - Diplomarbeit Univ. Karlsruhe (TH); Karlsruhe (unver.).

SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN (1978): Geomorphical-, geotechnical-, and natural Hazard maps of the „Hintere Bregenzerwald“ Area (Vorarlberg/Austria). – 176 + 132 S.; Amsterdam.

SEIJMONSBERGEN, A. C. & WESTEN VAN, C. J. (1987): Geomorphological-, Geotechnical-, and Natural Hazard maps of the „Hintere Bregenzerwald“ AREA (Vorarlberg, Austria). - Alpine Geomorphology Research Group, Laboratory for Physical Geography and Soil Science; University of Amsterdam.

SISSINGH, W. (1997): Tectonostratigraphy of the North Alpine Foreland Basin: correlation of Tertiary depositional cycles and orogenic phases. –Tectonophysics, **282**: S. 223-256; Amsterdam.

SPANG, R. M. (1994): Geologisch-Geotechnische Grundlage des Steinschlagschutzes. – Vortr. 11. Bodensee. Tag. Ing. – Geol. Naturgefah-

ren, Risikoanalysen, Schutzkonzepte, 21.10. 1994.

STAHL, R. (1995): Moderne Landkarten- Grundlagen geographische Informationssysteme; iX-Magazin für professionelle Informationstechnik **9/1995**; Verlag Heinz Heise.

TRÜMPY, R. (1998): Die Entwicklung der Alpen: Eine kurze Übersicht. – Z. dt. geol. Ges., **149/ 2**: S. 165-182; Stuttgart.

TURRINI, M. C. & VISINTAINER, P. (1998): Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. – Engineering Geology, **50**: S. 255-265; Elsevier Science B.V..

UROMEIHY, A. & MAHDAVIFAR, M. R. (2000): Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran. - Bull Eng Geol Env, **58**: S. 207-213; Springer Verlag.

VAN WESTEN, C. J. & TERLIEN, M. T. J. (1996): Deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia). – Earth Surface Processes and Landforms, **21**: 853-868.

VAN WESTEN, C.J. (1996): Statistical landslide hazard analysis.- in: ILWIS 2.1 for Windows application Guide; ILWIS Department, Enschede, Niederlande.

VAN WESTEN, K. (1986): Stability-Analysis of the Gopfberg rock-slide (Mellau, Voralberg, Austria). – Bijvakschriftje Ingenieurs Geologie, Universiteit Amsterdam: 80 S.; Amsterdam.

VARNES, D. J. (1984): Landslide hazard Zonation: a review of principles and practice. – UNESCO, Natural Hazards, **3**: S. 61 ff.

VOLLMAYR, T. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8426 Oberstaufen.- 55 S.; Bayer. Geol. L.-Amt, München.

WAGNER, G. (1950): Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. – 115 S.; Öhrdingen (Rau).

WERZ, H. (2001): Kartierung der Geologie, Hydrogeologie und Vulneeri-

bilität im alpine Karst als Grundlage eines Konzeptes zum Trinkwasserschutz der Gemeinde Bezau (Bregnzeralp, Österreich). – unveröff. Dipl. Arb. Univ. Karlsruhe: 121 S. ; Karlsruhe.

WINKLER, W. (1988): Mid- to Early Late Cretaceous Flysch and Melange Formations in the Western Part of the Eastern Alps. Paleotectonic Implications. – Jb. Geol. B.-A., **131/2**: S. 341-389; Wien.

ZACHER, W. (1973): Das Helvetikum zwischen Rhein und Iller (Allgäu – Vorarlberg): Tektonische, paläogeographische und sedimentologische Untersuchungen. - Geotektonische Forschungen. Heft **44**: S. 1-74; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

ZACHER, W. (1972): Geologische Karte von Bayern 1 : 100 000, Blatt 670 Obersdorf; München.



ANHANG



ANHANG 1: ZUORDNUNG DER GEOLOGISCHEN KARTE

Schichtglieder	Strati. Code	Lithologie	Litho. code	Schichtung	Schicht. code
Molasse					
Obere Süßwassermolasse	22	Sandstein, Mergel, Nagelfluh	12	m-10m	8
St. Gallener Schichten	30	Sanstein, Mergel	11	cm-m	10
Luzerner Schichten	31	Konglomerat-, Sandstein-, Mergelabfolge	8	cm-m	10
Granitische Molasse	34	Sandstein-Mergel Wechsellagerung	12	m	7
Weißbachschichten	35	Kalmergel, Sandmergel, Tonmergel, Nagelfluh	12	mm-cm	2
Eggschichten	37	Konglomerat, Sandsteine	8	m	7
Bausteinschichten	36	Kalksandsteine	8	cm-m	10
Tonmergelschichten	38	Tonmergel	7	mm-cm	2
Helvetikum					
Wang Schichten	41	Kalk-Mergel Wechselfolge	9	m	7
Amdener Schichten	42	Schiefermergel	7	mm-cm	2
Seewerkalk	43	Kalkstein	6	cm-dm	4
Garschella Formation	44	Sandstein	11	cm-m	10
Schrattenkalk	45	Kalkstein	6	m	7
Drusbergsschichten	46	Kalk-Mergel Wechselfolge	10	cm-dm	4
Kieselkalk	47	Kalk-Sanstein Wechselfolge	8	cm-dm	4
Diphoideskalk	48	Kalkstein	6	cm-dm	4
Oolithkalk/Oerfla Formation	49	Kalkstein	6	1-2m	7
Valdensmergel/Palfries Formation	50	Mergel	7	cm-dm	4
Zementsteinschichten	51	Kalk-Mergel Wechselfolge, mehr Kalk	9	10-50cm	4
Quintener Kalk	52	Kalkstein	6	10ner m	9
Schiltschichten	53	Kalk-Mergel Wechselfolge, schiefrig	10	1-30cm	4
Ultrahelvetikum					
Ultrahelvetikum	61	Kalk-Mergel Wechselfolge	9	dünn	2
Penninikum					
Feuerstätter Zone	62	Ton-Mergel Melange	13		11
obere Fanola Serie	71	Kalk-mergel-tonstein Wechselfolge	9	cm-m	10
untere Fanola Serie	72	Sandstein-Kalk-Mergel Wechselfolge	11	cm-m	10
obere Plankner Brücke Serie	73	Kalk-Mergel-Tonschiefer	9	cm-dm	4
untere Plankner Brücke Serie	74	Sandstein-Mergel Wechselfolge	12	cm-dm	4
Piesenkopf Serie	75	Kalkstein-Tonstein Wechselfolge	9	cm	3
Reiselsberger Sandstein	76	Sandstein-Mergel-Tonstein	11	cm-m	10
Otterschwanger Serie	77	Kalk-Mergel Wechselfolge	10	cm-dm	4
Arosa Zone	81	tektonische Melange	13	dünn	11
Ostalpin					
Kalkalpin ungesgliedert	83		14	>10m	9
Quartär					
Wildbachschutt	13				
Talfüllung	12				
Grund-/Seitenmoräne	24				
Lakustrine Ablagerungen	25				
Seeton	23				
Hangschutt Allq.	26				
Torfmoor	27				
post- und periglaziale Schotter	29				
Sturzmaterial	28				
Vernässungszone	15				



**ANHANG 2: LINIENSIGNATUREN IN DEN GEOTECHNISCHEN
KARTENAUSSCHNITTEN.**

Felswand	
Abrißkante übergeordnet	
Abrißkante untergeordnet	
Abrißkante vermutet	
Tiefer Rotationsanbruch	
flacher Rotationsanbruch	
Erosionsrinne	
Nackental	
Zerr-Risse	
Bewegungsrichtung	



ANHANG 3: AML ZUR ERZEUGUNG DES VERSCHNITTS VON EINFALLEN UND HANGNEIGUNG SOWIE STREICHEN UND EXPOSITION.

```

/* -----
/* AML zur Erzeugung des Verschnitts von Einfallen und Hangneigung
/* sowie Streichen und Exposition, anschliessend Normierung auf 1
/* -----
dip_tmp      =      d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\original\slope      -
d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\original\dip_g

slope_dip_tmp = reclass (dip_tmp,dip_remap.txt,nodata)

strike_tmp   =      d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\original\aspect   -
d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\original\strike_g

asp_str_tmp  = reclass (strike_tmp,str_remap.txt,nodata)
schi_hang_tmp = slope_dip_tmp + asp_str_tmp
schicht_hang = schi_hang_tmp * 0.1

kill dip_tmp
kill slope_dip_tmp
kill strike_tmp
kill asp_str_tmp
kill schi_hang_tmp

&return

```

Inhalt von <i>dip_remap.txt</i> :	Inhalt von <i>str_remap.txt</i> :
-999 -90 : 0	-999 -360 : 1
-90 -50 : 0	-360 -345 : 5
-50 -30 : 1	-345 -335 : 3
-30 -15 : 3	-335 -25 : 1
-15 0 : 5-25	-15 : 3
0 15 : 5	-15 0 : 5
15 30 : 30	15 : 5
30 50 : 1	15 25 : 3
50 90 : 0	25 335 : 1
	335 345 : 3
	345 360 : 5



ANHANG 4: AML ZUR BERECHNUNG DER GEFÄHRDUNGSKARTEN FÜR DIE BLÄTTER SCHOPPERNAU UND ALBERSCHWENDE IM GRID-MODUL VON ARCINFO

```

/* -----
/* AML zur Berechnung der Gefaehrdungskarten fuer die Blaetter
/* Schoppernau und Alberschwende im Grid-Modul von Arcinfo
/* -----

/* -----
/* Berechnung der Gefaehrdungskarte Blatt Schoppernau
/* -----
&workspace d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse
/* loeschen der Ergebnisdateien des letzten Durchgangs
kill topo
kill geol
kill umwelt
kill gefaehrdung_fly

/* -----
/* Berechnung der Faktoren Gruppen

/* DGM Faktoren

topo = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\slope_re
topo_tmp = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\slope_re * 0.3

/* Geologische Faktoren

strati = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\stratigraphie * 0.3
schicht = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\schicht_hang *
0.3
stoer = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\stoerungen * 0.1
deckschicht = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\lockerge-
stein * 0.3

geol = (strati + stoer + schicht + deckschicht)
geol_tmp = geol * 0.5

```

```
/* Umwelt Faktoren
wa = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\wald * 0.4
ba = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch\klassifiziert\baeche * 0.6
```

```
Umwelt = (wa + ba)
umwelt_tmp = umwelt * 0.2
```

```
/* Berechnung der Gefaehrdung
```

```
Gefaehrdung_fly = topo_tmp + geol_tmp + umwelt_tmp
```

```
/* -----
/* Loeschen der temporaeren Dateien
```

```
kill topo_tmp
kill strati
kill schicht
kill stoer
kill deckschicht
kill geol_tmp
kill wa
kill ba
kill umwelt_tmp
```

```
/* -----
/* Berechnung der Gefaehrdungskarte Blatt Alberschwende
/* -----
```

```
/* loeschen der Ergebnisdateien des letzten Durchgangs
```

```
kill topo
kill geol
kill umwelt
kill gefaehrdung_mol
```

```
/* -----
/* Berechnung der Faktoren Gruppen
```

/* DGM Faktoren

topo = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\slope_stat
topo_tmp = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\slope_stat *
0.4

/* Geologische Faktoren

strati = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\stratigraphie *
0.3
schicht = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\schicht_hang *
0.5
stoer = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\stoerungen * 0.2

geol = (strati + stoer + schicht)
geol_tmp = geol * 0.4

/* Umwelt Faktoren

wa = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\wald * 0.4
ba = d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\molasse\klassifiziert\baeche * 0.6

Umwelt = (wa + ba)
umwelt_tmp = umwelt * 0.2

/* Addition der einzelnen Gruppen zur Gefaehrdungskarte

Gefaehrdung_mol = topo_tmp + geol_tmp + umwelt_tmp

/* -----

/* Löschen der temporaeren Dateien

kill topo_tmp
kill strati
kill schicht
kill stoer
kill geol_tmp

kill wa
kill ba
kill umwelt_tmp

&workspace d:\vo\ppbw\vulnerabilitaet\flysch

&return

ANHANG 5: AML ZUR DURCHFUEHRUNG EINER FALLSPUREN ANALYSE.

```

/* -----
/* AML zur Durchfuehrung einer Fallspuren Analyse nach der D8-Me-
thode
/* verändert nach V. Berceanu, 2000
/* -----

/*-----
/* Hangneigung und zu flache Bereich berechnen

&sv gr = d:\vo\ppbw\datenebenen\dhm-grids\dhm_hei
hang_int = slope (%gr%, degree)
zu_flach = setnull (slop_int < 15, 1)
&sv si = hang_int

/*-----
/* Abbruchbereiche errechnen

ursprung = select (%si%, 'value > 50')
&sv m = ursprung

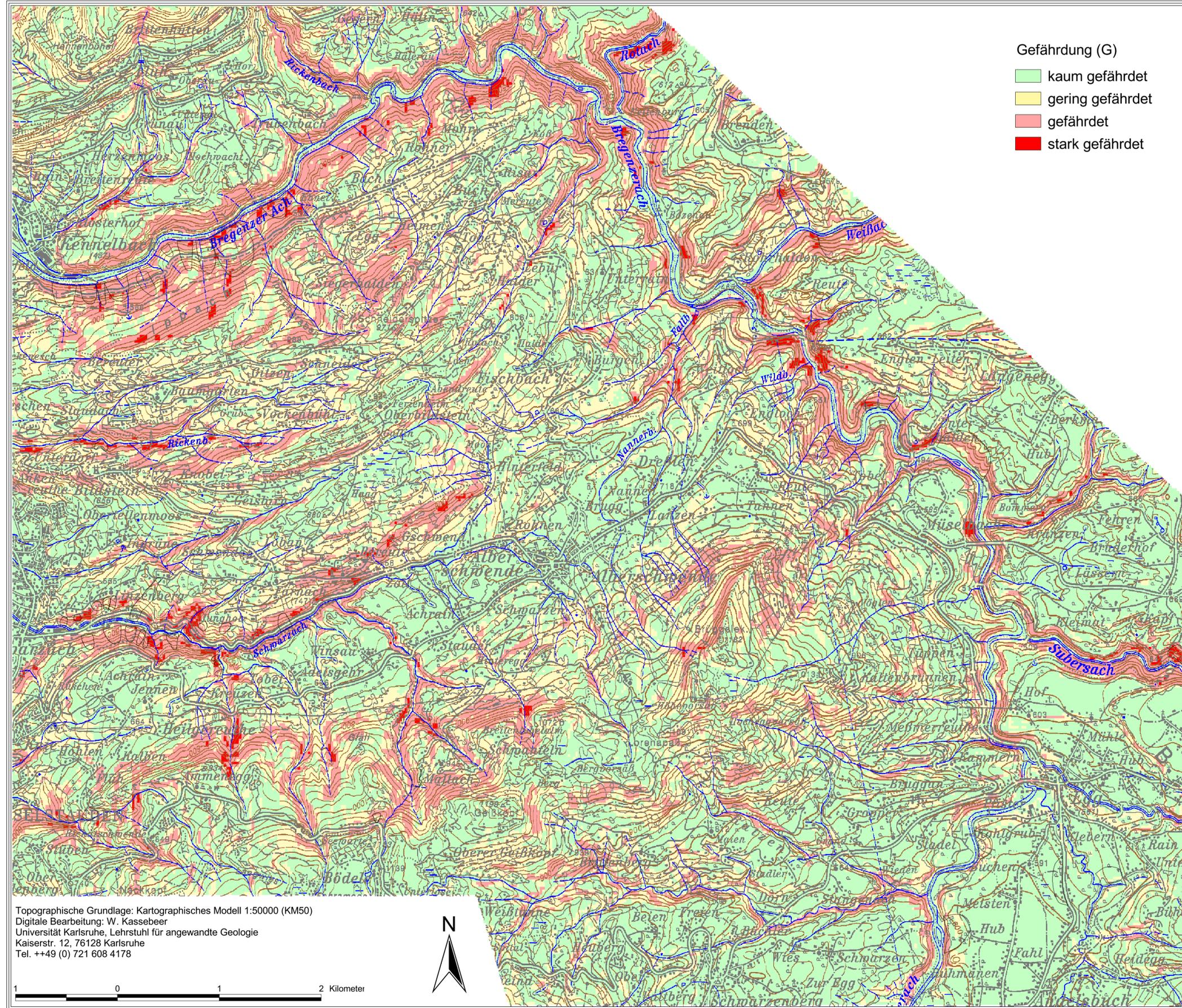
/*-----
/* Spuren berechnen und zu flache Bereiche wieder entfernen

mape %m%
surface lattice %m%
surfacecontour 10 1

dir_all = flowdirection ( %gr%, drop_all, normal )
mape %gr%
surface lattice %gr%
surfacecontour 10 1
$$display = costpath (%m%, %gr%, dir_all)
way_all = costpath (%m%, %gr%, dir_all)
Fallspuren = way_all * zu_flach

&return

```

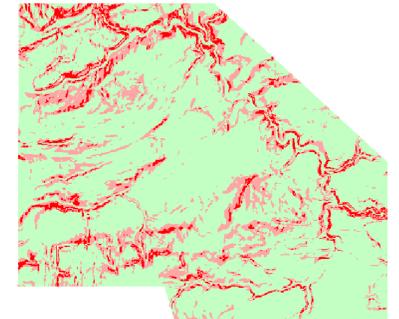


- Gefährdung (G)
- kaum gefährdet
 - gering gefährdet
 - gefährdet
 - stark gefährdet

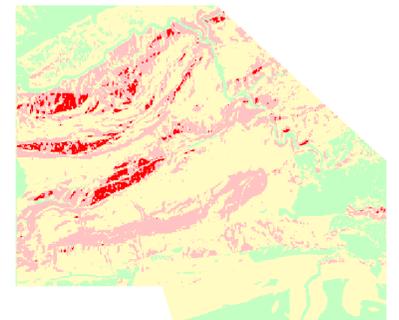
Einfluss der Faktoren-Gruppen auf die Gefährdung (G)

$$G = 0.4H + 0.4L + 0.2U$$

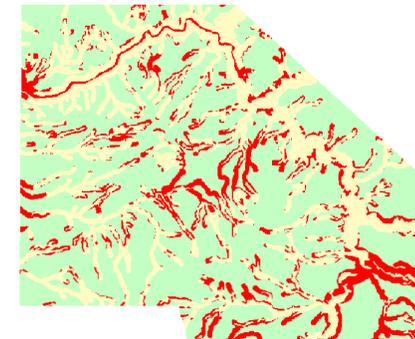
Hangneigung (H):



Geologische Faktoren (L):
(0.3 Lithologie + 0.5 Schichtung + 0.2 Störungen)

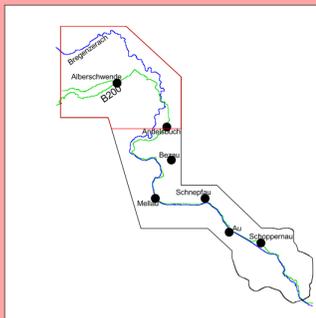


Umweltfaktoren (U):
(0.6 Bäche + 0.4 Bewaldung)



Georisikokarte Vorarlberg

Pilotprojekt
Bregenzerwald



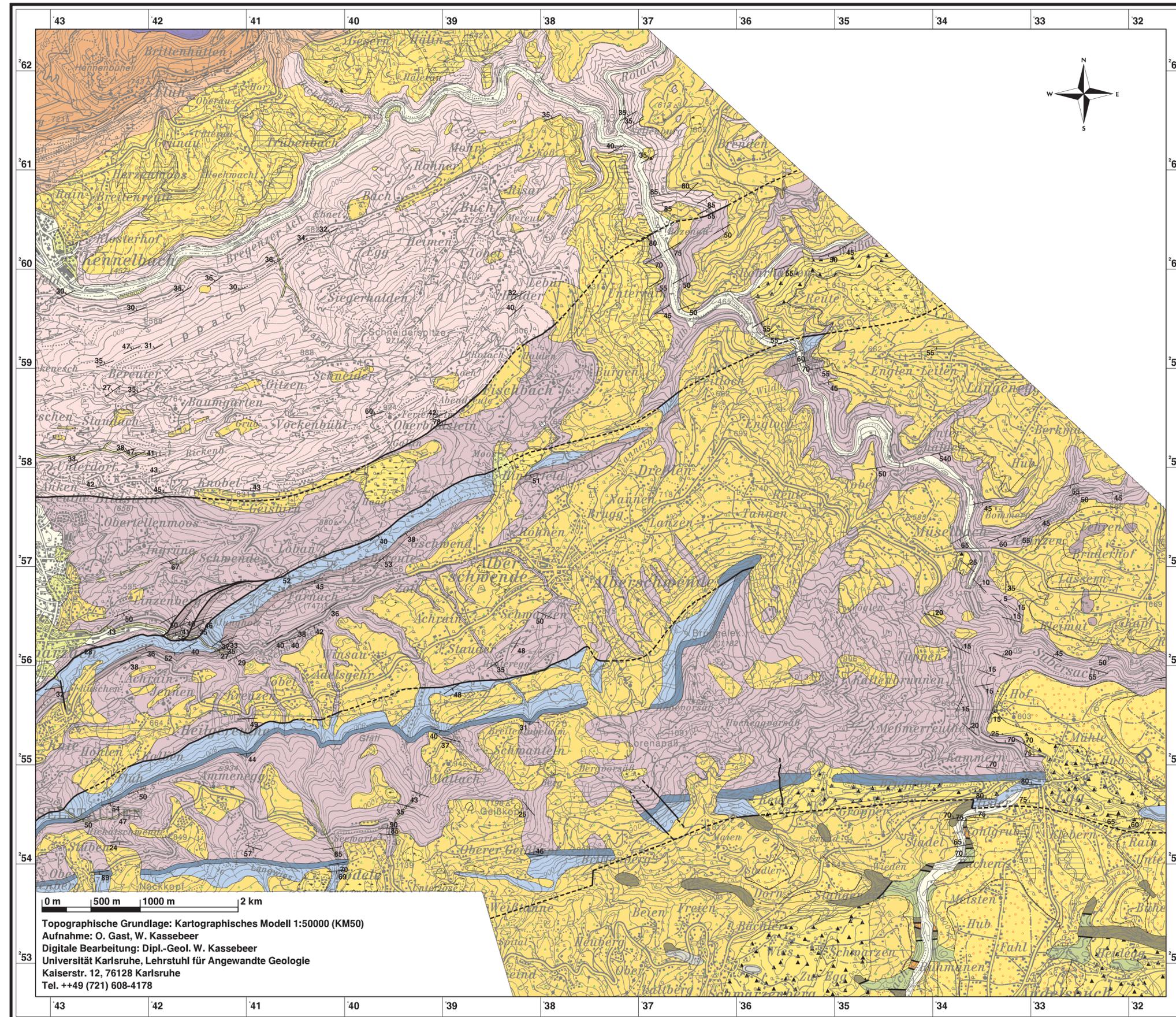
1:25 000

Rutschungsgefährdung
Blatt Alberschwende
(Molasse)

Topographische Grundlage: Kartographisches Modell 1:50000 (KM50)
Digitale Bearbeitung: W. Kassebeer
Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für angewandte Geologie
Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe
Tel. ++49 (0) 721 608 4178

1 0 1 2 Kilometer





Legende

Quartär

- Talfüllung
- Bachschuttfächer
- Hangschutt
- Felssturzmassen
- Vernässungszone
- Postglaziale Schotter
- Lakustrine Ablagerungen (teilweise mit Seetonen)
- Grund- / Seitenmoräne

Molasse

- Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse (oberes Burdigal - Torton)
- St. Galler Schichten (oberes Burdigal)
- Luzerner Schichten (mittleres Burdigal)
- Granitische Molasse (Chatt - unteres Burdigal)
- Weißfachschiefer (Chatt)
- Bausteinschichten (Grenze Rupel - unteres Chatt)
- Eggschichten (Grenze Rupel - unteres Chatt)
- Tonmergelschichten (Rupel)

Ultrahelvetikum & Feuerstätter Zone

- Ultrahelvetikum (Schmiedebach Serie, Leimern Schichten, Nummulitenkalk, Alb - mittleres Eozän)
- Feuerstätter Zone (Junghansen-FM, Schelpen-Serie, obere Kreide - Paläozän)

Helvetikum

- Amdener Schichten (Leistenmergel, Bregenzerach-Schichten, Leibodenmergel, unteres Coniac - oberes Campan)
- Seewerkalk (oberes Cenoman - unteres Coniac)

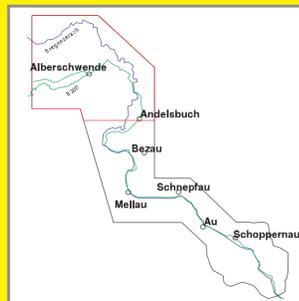
Flysch

- Reiselsberger Sandstein (oberes Cenoman - unteres Turon)

- Störung
- Störung vermutet
- Terrassenkante
- Streich- und Fallzeichen

Georisikokarte Vorarlberg

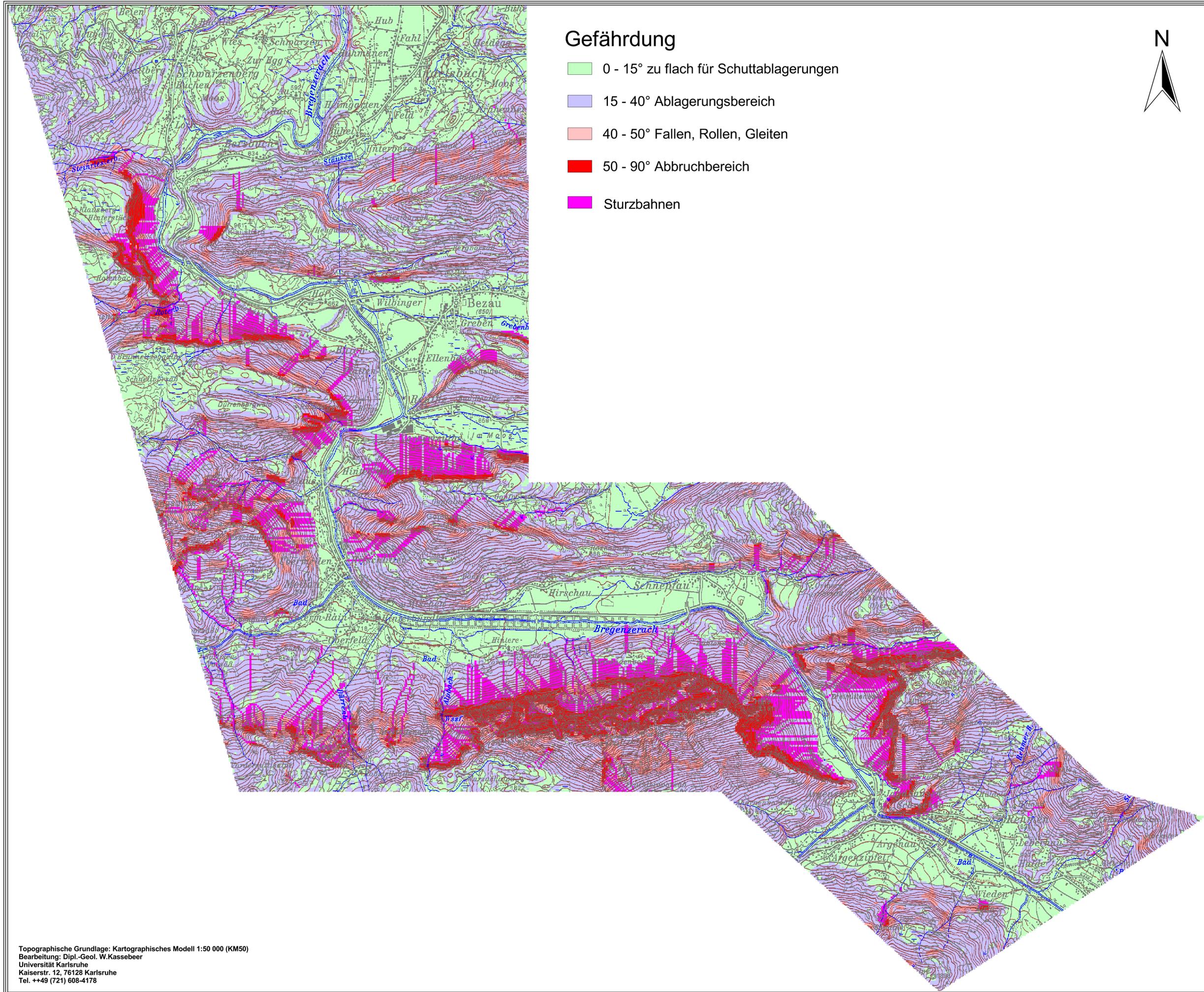
Pilotprojekt Bregenzerwald



Geologische Karte Blatt Alberschwende (Molasse)

1 : 25 000

Topographische Grundlage: Kartographisches Modell 1:50000 (KM50)
 Aufnahme: O. Gast, W. Kassebeer
 Digitale Bearbeitung: Dipl.-Geol. W. Kassebeer
 Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Angewandte Geologie
 Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe
 Tel. ++49 (721) 608-4178



Gefährdung

- 0 - 15° zu flach für Schuttablagerungen
- 15 - 40° Ablagerungsbereich
- 40 - 50° Fallen, Rollen, Gleiten
- 50 - 90° Abbruchbereich
- Sturzbahnen



**Georisikokarte
Vorarlberg**

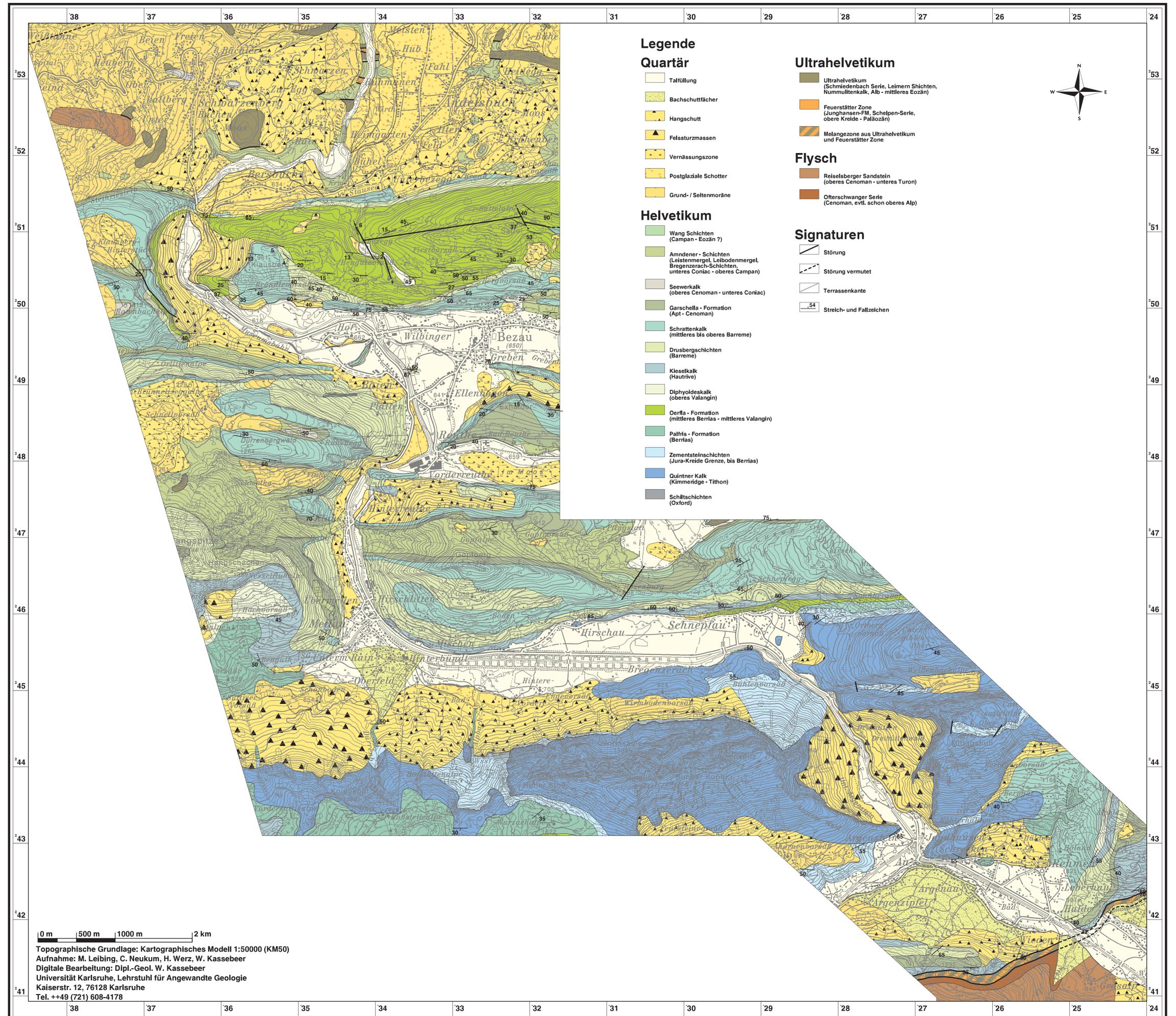
Pilotprojekt
Bregenzerwald



1 : 25 000

Steinschlaggefährdung

Helvetikum



Legende

Quartär

- Talfüllung
- Bachschuttfächer
- Hangschutt
- Felssturzmassen
- Vernässungszone
- Postglaziale Schotter
- Grund- / Seitenmoräne

Helvetikum

- Wang Schichten (Campan - Eozän ?)
- Amndener - Schichten (Lüstermergel, Leibdenmergel, Bregenzerschichten, unteres Coniac - oberes Campan)
- Seewerkalk (oberes Cenoman - unteres Coniac)
- Garschella - Formation (Apt - Cenoman)
- Schrattekalk (mittleres bis oberes Barreme)
- Drusbergsschichten (Barreme)
- Kieselkalk (Hautrive)
- Diphoideskalk (oberes Valangin)
- Oerfla - Formation (mittleres Berrias - mittleres Valangin)
- Palfris - Formation (Berrias)
- Zementsteinschichten (Jura-Kreide Grenze, bis Berrias)
- Quintner Kalk (Kimmeridge - Tithon)
- Schiltschichten (Oxford)

Ultrahelvetikum

- Ultrahelvetikum (Schmiedebach Serie, Leimern Schichten, Nummulitenkalk, Alb - mittleres Eozän)
- Feuerstätter Zone (Jungjanssen-FM, Schelpen-Serie, obere Kreide - Paläozän)
- Melangezone aus Ultrahelvetikum und Feuerstätter Zone

Flysch

- Reisselberger Sandstein (oberes Cenoman - unteres Turon)
- Oferschwanger Serie (Cenoman, evtl. schon oberes Alp)

Signaturen

- Störung
- Störung vermutet
- Terrassenkante
- Streich- und Fallzeichen



Georisikokarte Vorarlberg

Pilotprojekt Bregenzwald



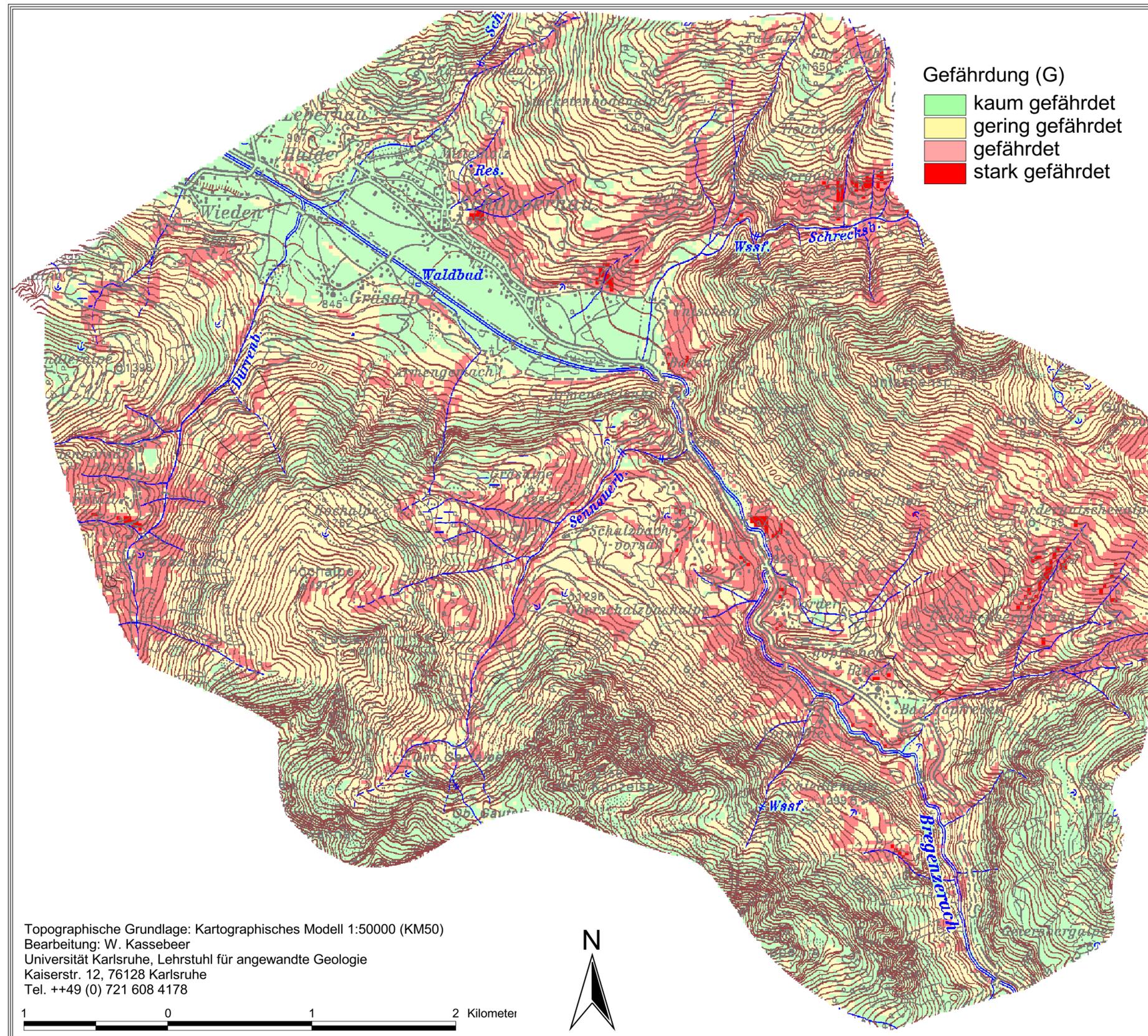
Geologische Karte Blatt Bezau (Helvetikum)

1 : 25 000



Topographische Grundlage: Kartographisches Modell 1:50000 (KM50)
 Aufnahme: M. Leibing, C. Neukum, H. Werz, W. Kassebeer
 Digitale Bearbeitung: Dipl.-Geol. W. Kassebeer
 Universität Karlsruhe, Lehrstuhl für Angewandte Geologie
 Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe
 Tel. ++49 (721) 608-4178

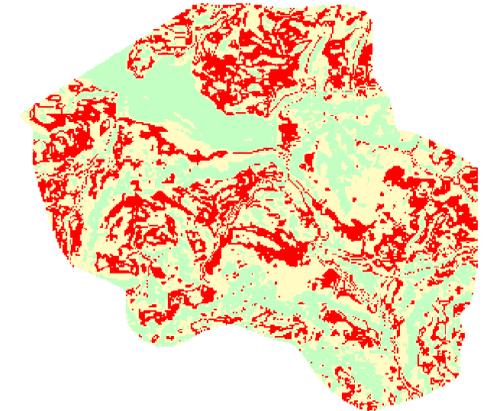
Rutschungsgefährdung Blatt Schoppernau (Flysch) 1 : 25 000



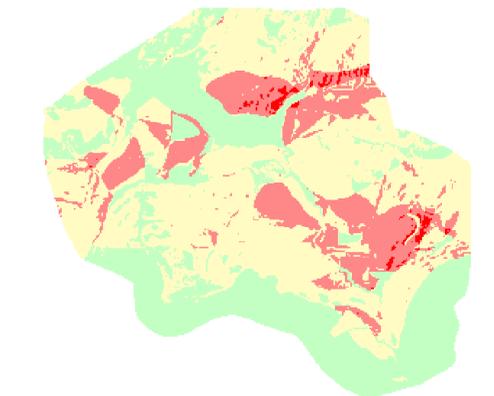
Einfluss der Faktoren-Gruppen auf die Gefährdung (G)

$$G = 0.3H + 0.5L + 0.2U$$

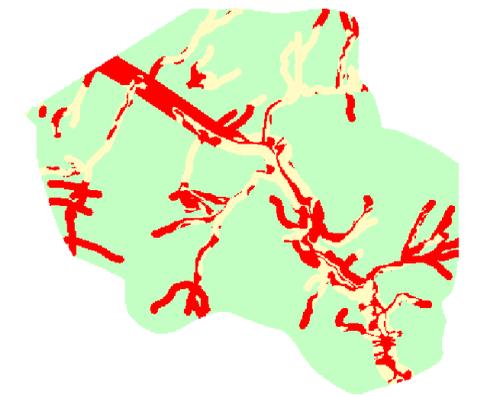
Hangneigung (H):



Geologische Faktoren (L):
 (0.3 Lithologie + 0.3 Schichtung +
 0.1 Störungen + 0.3 Deckschichten)

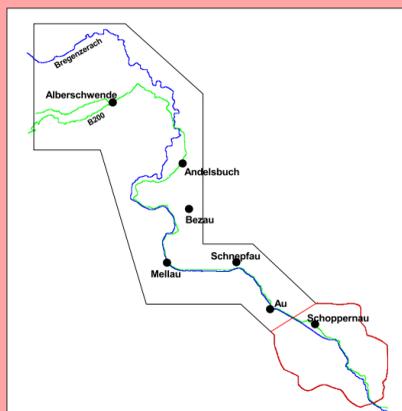


Umweltfaktoren (U):
 (0.6 Bäche + 0.4 Bewaldung)



Georisikokarte Vorarlberg

Pilotprojekt
 Bregenzerwald



1: 25 000

Rutschungsgefährdung
 Blatt Schoppernau
 (Flysch)

Geologische Karte Blatt Schoppernau (Flysch)

1 : 25 000

Legende

Quartär

- Talfüllung
- Vernässungszone
- Bachschuttfächer
- erosive Schuttfächer
- Grund- und Seitenmoräne
- Lakustrine Ablagerungen

Helvetikum

- Garschella Formation (Apt - Cenoman)
- Schratenkalk (mittleres bis oberes Barreme)
- Drusbergschichten (Barreme)
- Kieselkalk (Hautrive)
- Diphyoideskalk (oberes Valangin)
- Palfris - Formation (Berrias)
- Quintner Kalk (Kimmeridge - Tithon)

Ultrahelvetikum & Feuerstätter Zone

- Melange Zone aus Gesteinen der Feuerstätter Zone und Ultrahelvetikum

Rhenobanubischer Flysch

- Obere Fanola Serie (oberes Maastrich)
- Untere Fanola Serie (oberes Maastrich)
- Obere Plankner Brücke Serie (Maastrich)
- Untere Plankner Brücke Serie (Campan)
- Piesenkopf Serie (Wende zum Coniac)
- Reiselsberger Sandstein (oberes Cenoman - unteres Turon)
- Oferschwanger Serie (Cenoman, evtl. schon oberes Apt)

Arosa-Zone

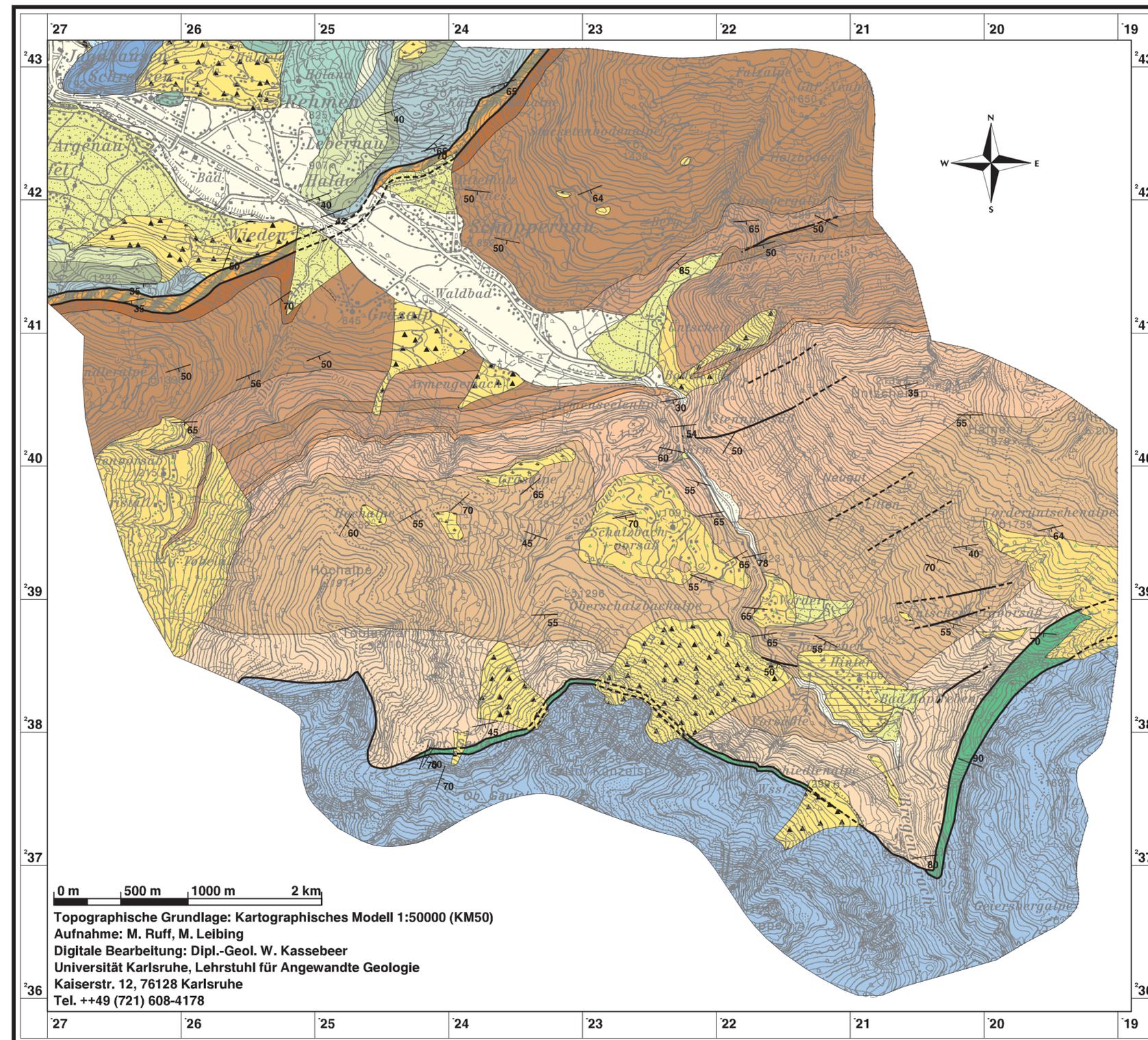
- Arosa-Zone (ungegliedert) (mittleres Alb - unteres Turon)

Ostalpin

- Kalkalpin (ungegliedert)

Signaturen

- Störung
- Störung vermutet
- Terrassenkante
- Streich- und Fallzeichen



Georisikokarte Vorarlberg

Pilotprojekt Bregenzerwald



Geologische Karte Blatt Schoppernau (Flysch)

1 : 25 000