

# Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

## „Naturgefahren Kärnten“ Laserscanning, geogene Risiken und Geologisches Informationssystem GInS

vorgelegt von

**Harald Oswald**  
U1285, UNIGIS MSc Jahrgang 2006

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Klagenfurt, 10.07.2008

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.

10.07.2008,

.....

Harald Oswalder

## **Kurzfassung**

Laserscanningaufnahmen werden immer öfter dazu verwendet, um genaue Informationen der Geländeoberfläche zu erhalten. Diese Technologie stellt ein Verfahren zur Erfassung von hochgenauen Oberflächenmodellen (Digitales Präzisionshöhenmodell) dar und bietet einerseits die Möglichkeit ein Oberflächenmodell (DOM), in dem die gesamte Vegetation, Bauwerke und infrastrukturelle Einrichtungen nachgezeichnet werden und andererseits ein Digitales Geländehöhenmodell (DGM), in dem nur der Untergrund ohne Vegetation und anthropogene Bauwerke dargestellt werden, zu errechnen.

Im Rahmen von geologischen und geotechnischen Erkundungen sind besonders kleinräumigere Phänomene, wie Internstrukturen von Massenbewegungen in der Hangoberfläche auch unter Vegetationsbedeckung (Laub- oder Nadelwald) genauer zu studieren. Die bisherigen Möglichkeiten der Auswertung des Digitalen Geländehöhenmodells des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen beschränken sich mit einer räumlichen Auflösung von 10m auf die Erkennung von großräumigen Massenbewegungen. Für Auswertungen im kleinräumigeren Bereich sind die Grenzen dieser Daten offenkundig. Durch die Zunahme der Genauigkeit, die mittels Laserscan erzielt wird, kommt es zu einer besseren Kenntnis der Morphologie.

Das Ziel der Arbeit ist, die Einsetzbarkeit von Laserscanningdaten für ingenieurgeologische Fragestellungen in zwei Testgebieten zu evaluieren. Besonderes Augenmerk wird auf die Erkennung und flächenmäßige Auswertung von Hanginstabilitäten und deren Internstrukturen gelegt.

## **Abstract**

Airborne laserscanning is recently more often used to get exact information of the terrain's surface. This modern technology produces a high resolution surface-model; on one hand it offers a digital elevation model (DEM) in which the entire vegetation and infrastructure are shown and on the other hand a digital surface-model (DSM), in whom only the underground becomes represented without vegetation and anthropogene infrastructure.

In the field of geological and geotechnical working it is particularly usefull to detect small scaled phenomenons like internal-structures of mass-movements under vegetation-cover. With the DTM of the Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen the possibilities of evaluation were limited, by its spatial resolution of 10m, to the recognition of large scaled mass-movements. For evaluating a small scaled area, the drawbacks of these data are obvious. The increase of precision that is achieved by using laserscanning causes a better knowledge of the geomorphology.

The goal of the work is, to evaluate the usefullness of laserscanning-data for engineering geological questions in the two test-areas. Particular attention is put at the recognition and aerial distribution of mass-movements and their internal structures.

## Inhaltsverzeichnis

|  |            |
|--|------------|
| <b>1. Einführung</b> .....   | <b>1</b>   |
| 1.1. Motivation .....  | 2          |
| 1.2. Hypothese .....   | 3          |
| 1.3. Erwartete Ergebnisse .....  | 4          |
| 1.4. Themen, die nicht behandelt werden .....  | 4          |
| 1.4.1. Gefahrenkarte .....   | 4          |
| 1.4.2. Suszeptibilitätskarte - Gefährdungskarte .....                                    | 4          |
| 1.4.3. Neuklassifizierung von Massenbewegungstypen .....                                 | 5          |
| 1.4.4. Bewegungsmessungen und automatische Rutschungserkennung .....                     | 5          |
| 1.5. Beabsichtigstes Publikum / Endnutzer .....  | 5          |
| 1.5.1. Diktion .....   | 6          |
| 1.6. Struktur dieser Thesis .....  | 6          |
| <b>2. Literaturüberblick</b> .....   | <b>8</b>   |
| 2.1. State of the Art zu den für Thesis relevanten Themenbereich in der Literatur .....  | 8          |
| 2.2. Anführen warum eine Quelle für die Thesis wichtig ist .....                         | 8          |
| <b>3. Lösungsansatz</b> .....  | <b>9</b>   |
| 3.1. Grundlagendaten und Theorieansatz .....   | 9          |
| 3.1.1. Sammlung der Datengrundlagen .....  | 9          |
| 3.1.2. Raumbezug .....   | 10         |
| 3.1.3. Maßstab .....   | 10         |
| 3.1.4. Grundlagendaten .....   | 10         |
| 3.1.5. Fachdatenbanken .....   | 13         |
| 3.1.6. Laserscanning .....   | 13         |
| 3.1.7. Geologie .....  | 23         |
| 3.1.8. Massenbewegungen .....  | 41         |
| 3.1.9. Wildbachtypen (nach ETALP) .....  | 54         |
| 3.1.10. Prozessbereiche in Wildbacheinzugsgebieten (gem. ETALP-Handbücher) .....         | 59         |
| 3.1.11. Massenbewegungen im Fachgutachten .....  | 62         |
| 3.1.12. Ereigniskataster geogener Naturgefahren .....                                    | 71         |
| 3.1.13. Massenbewegungen im Internet .....   | 73         |
| 3.1.14. Massenbewegungen im Intranet .....   | 74         |
| 3.1.15. Geomorphologie .....   | 75         |
| <b>4. Methodenbeschreibung</b> .....   | <b>90</b>  |
| 4.1. Konzept .....   | 90         |
| 4.1.1. Eignung digitaler Höhenmodelle zur Modellierung von Massenbewegungen .....        | 91         |
| 4.1.2. Gebirge/Fels - Trennflächengefüge - Strukturgeologie .....                        | 93         |
| 4.1.3. Suszeptibilitätskarte - Gefährdungskarte 1:50.000 .....                           | 99         |
| 4.2. Implementierung .....   | 101        |
| 4.2.1. Wahl des Lösungsansatzes .....  | 101        |
| 4.2.2. Umsetzung des Lösungsansatzes .....   | 104        |
| 4.2.3. Vorhandene Datensätze, die zur Lösung der Aufgaben herangezogen wurden: .....     | 105        |
| 4.3. Werkzeuge .....   | 108        |
| 4.3.1. Kartenerstellung am Computer .....  | 108        |
| 4.3.2. Allgemeines zur Methodik der Interpretation von Massenbewegungen .....            | 110        |
| 4.3.3. Digitales Geländehöhenmodell (DGM) .....  | 110        |
| 4.3.4. Die Bearbeitung mittels GIS ist in folgenden Schritten durchgeführt worden: ..... | 114        |
| <b>5. Ergebnisse</b> .....   | <b>118</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>6. Analyse der Ergebnisse .....</b>                       | <b>120</b> |
| <b>7. Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick .....</b>        | <b>121</b> |
| 7.1. Zusammenfassung .....                                   | 123        |
| 7.2. Diskussion .....  | 123        |
| 7.3. Persönlicher und fachlicher Rückblick .....             | 124        |
| 7.4. Ausblick .....  | 124        |
| 7.4.1. Mögliche Schritte der Fortsetzung dieser Arbeit ..... | 125        |
| <b>Anhang .....</b>  | <b>126</b> |
| <b>Literatur / Bibliographie .....</b>                       | <b>127</b> |
| <b>Karten .....</b>  | <b>135</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Abbildung 1  | Lage von Kärnten in Österreich   | 1  |
| Abbildung 2  | Geographische Einheiten  | 2  |
| Abbildung 3  | Laserscan Testgebiete Kärnten  | 3  |
| Abbildung 4  | Mindmap der Struktur der Thesis  | 7  |
| Abbildung 5  | Bundesmeldenetz Quelle BEV   | 10 |
| Abbildung 6  | ÖK 200.000 - Testgebiete Fraganterbach und Auenbach  | 11 |
| Abbildung 7  | DOM und DGM  | 15 |
| Abbildung 8  | Gebietsübersicht Fraganter- und Auenbach   | 16 |
| Abbildung 9  | Leica ALS 50/83  | 16 |
| Abbildung 10 | Riegl QMS-560i   | 17 |
| Abbildung 11 | Theorie ALS  | 18 |
| Abbildung 12 | Flugstreifenübersicht mit den Flugbahnen   | 19 |
| Abbildung 13 | ALS und Photo Zufahrtstraße zum Oschenigspeicher   | 21 |
| Abbildung 14 | Speicher Hochwurten und Großsee  | 22 |
| Abbildung 15 | Autobahn A2 südlich von Gräbern mit den Hangbrunnen  | 22 |
| Abbildung 16 | Tektonische Übersichtskarte der Alpen  | 23 |
| Abbildung 17 | Tertiäre Störungssysteme im Mittel- und Ostabschnitt der Ostalpen  | 27 |
| Abbildung 18 | Erkenntnisse über den Tiefbau der Ostalpen   | 27 |
| Abbildung 19 | Geologische Übersichtskarte nach Krainer   | 28 |
| Abbildung 20 | Nord – Südprofil durch die Alpen   | 28 |
| Abbildung 21 | Das östliche Tauernfenster   | 29 |
| Abbildung 22 | Geologische Übersicht des östlichen Tauernfensters   | 29 |
| Abbildung 23 | Niedere Scharte Schareck Kartenausschnitt digitale geologische Karte   | 32 |
| Abbildung 24 | Profil vom Fraganter- ins Mallnitztal  | 32 |
| Abbildung 25 | Tektonische Übersicht der Sadnig-Gruppe  | 34 |
| Abbildung 26 | Geologische Übersichtskarte der Saualpe  | 35 |
| Abbildung 27 | Schichtenprofil durch das Hochkristallin der Saualpe   | 36 |
| Abbildung 28 | Miozäne laterale Auspressung   | 37 |
| Abbildung 29 | Schematisches Ost-West Profil durch den Rand des steirischen Beckens von Hüttenberg (Kärnten) nach Gleichenberg (Steiermark) | 37 |
| Abbildung 30 | Geologische Karte des Auenbachgebietes   | 38 |
| Abbildung 31 | Profil durch das Saualmgebiet von Görttschitz nach St. Leonhard  | 39 |
| Abbildung 32 | Bereich Sau- und Koralpe in der Würmeiszeit  | 40 |
| Abbildung 33 | Massenbewegungen – Darstellung der Ereignisphänomene   | 43 |
| Abbildung 34 | Rotationsrutschung   | 44 |
| Abbildung 35 | Grundriss einer Rotationsrutschung   | 44 |
| Abbildung 36 | Rotationsrutschung   | 45 |
| Abbildung 37 | Translationsrutschung  | 45 |
| Abbildung 38 | Blockgleiten   | 46 |
| Abbildung 39 | Photodokumentation Auenbachgebiet  | 46 |
| Abbildung 40 | Prinzipskizze Talzus Schub   | 47 |
| Abbildung 41 | Doppelgrat bzw. hangparallele Mulde im Fraganterbachgebiet   | 47 |
| Abbildung 42 | Übersichtslageplan Talzus Schub Gradenbach   | 47 |
| Abbildung 43 | Profil durch den Talzus Schub Gradenbach   | 48 |
| Abbildung 44 | Hangschutt- und Felssturzgebiet Zufahrt Oschenigsee  | 48 |
| Abbildung 45 | Steinschlag  | 49 |
| Abbildung 46 | Fraganterbach, Felssturzhalde östlich des Wurtenspeichers  | 49 |
| Abbildung 47 | Felssturz  | 49 |

## Naturgefahren Kärnten – Laserscanning, geogene Risiken und Geologisches Informations-System GInS

---

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Abbildung 48 | Fraganterbach, Felssturzhalde westlich des Oschenigsee                 | 50 |
| Abbildung 49 | Bretterichgrat, Steilabfall nach Nordosten                             | 50 |
| Abbildung 50 | Steinschlagmaterial, Berechnung der Steinschlaggefährdung              | 50 |
| Abbildung 51 | Bergsturz  | 51 |
| Abbildung 52 | Longarone Photos   | 51 |
| Abbildung 53 | Erdfall  | 52 |
| Abbildung 54 | Schuttstrom  | 52 |
| Abbildung 55 | Erdstrom   | 53 |
| Abbildung 56 | Mure und Längsschnitt durch einen Murschub                             | 53 |
| Abbildung 57 | Elemente des Einzugsgebietes   | 54 |
| Abbildung 58 | Wildbäche in Talverfüllungen   | 55 |
| Abbildung 59 | Wildbäche in Restschuttkörpern   | 55 |
| Abbildung 60 | Wildbäche in harten Kristallingesteinen                                | 56 |
| Abbildung 61 | Wildbäche in harten Sedimentgesteinen                                  | 56 |
| Abbildung 62 | Wildbäche in veränderlich festen Gesteinen                             | 56 |
| Abbildung 63 | Wildbäche in rezenten Moränen  | 57 |
| Abbildung 64 | Wildbäche in Gebieten großer Massenbewegungen                          | 57 |
| Abbildung 65 | Wildbäche auf Ablagerungskegeln  | 58 |
| Abbildung 66 | Wildbäche auf Talalluvionen  | 58 |
| Abbildung 67 | Wildbäche aus Waldabbrüchen  | 58 |
| Abbildung 68 | Feilenbruch im Lockergestein   | 60 |
| Abbildung 69 | Keilanbruch im Lockergestein   | 60 |
| Abbildung 70 | Uferbruch  | 60 |
| Abbildung 71 | Schema Kraftwerksgruppe Fragant  | 62 |
| Abbildung 72 | Verfalteter Zentralgneis nahe des Hochwurtendamms                      | 63 |
| Abbildung 73 | Oschenikseestörung   | 63 |
| Abbildung 74 | Feldseekar mit Kammspitz im Westen                                     | 63 |
| Abbildung 75 | Garnitzenscharte der Melenwände  | 64 |
| Abbildung 76 | Mandlwald mit Oschenikkar  | 64 |
| Abbildung 77 | Profile durch die Massenbewegung südlich Mandlwald                     | 65 |
| Abbildung 78 | Geologische Karte der Kraftwerksgruppe Fragant                         | 65 |
| Abbildung 79 | Profillinien und Ausschnitt aus der geologischen Karte der KW Fragant  | 66 |
| Abbildung 80 | Schrägluftbild der Massenbewegung, 30.08.2005                          | 67 |
| Abbildung 81 | Abrisskanten beim Wirtschaftsgebäude, Zugrisse in der Wiese 31.08.2005 | 68 |
| Abbildung 82 | Altrutschung 02.09.2005  | 68 |
| Abbildung 83 | Erdstrom 31.08.2005  | 69 |
| Abbildung 84 | Zufahrtsweg 02.09.2005   | 69 |
| Abbildung 85 | Aufnahmeskizzen der beiden Rutschungen im Auenbach                     | 70 |
| Abbildung 86 | Photodokumentation Auenbach  | 70 |
| Abbildung 87 | Flussdiagramm zur Dokumentation von Naturereignissen                   | 71 |
| Abbildung 88 | Datenbankmaske Ereigniskataster, Rutschung beim Wirtschaftsgebäude     | 72 |
| Abbildung 89 | Darstellung der im Ereigniskataster archivierten Massenbewegungen      | 72 |
| Abbildung 90 | GBA Internetseite Massenbewegungen                                     | 73 |
| Abbildung 91 | Intranetseite Geologie und Naturgefahren                               | 74 |
| Abbildung 92 | Geomorphographisches Attribut der Wölbung                              | 76 |
| Abbildung 93 | Geometrische Bezeichnung der Formelementtypen bis zum Mesorelief       | 77 |
| Abbildung 94 | Hypothetisches alpines Hangprofil mit Massenbewegungstypen             | 77 |
| Abbildung 95 | Blick von Karnburg im Glantal nach Süden                               | 78 |
| Abbildung 96 | Kärnten in der Würmeiszeit (ca. 18.000 J.)                             | 79 |
| Abbildung 97 | Kärnten in einer Landsataufnahme aus dem Jahr 1990                     | 79 |

## Naturgefahren Kärnten – Laserscanning, geogene Risiken und Geologisches Informations-System GInS

---

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 98  | Rekonstruktion der Gletscherdynamik im Fragantertal und Gletschervorstoßphasen  | 80  |
| Abbildung 99  | Gletscherschrammen  | 81  |
| Abbildung 100 | Hochwurtendamm Rundhöcker – Glaziale Erosion durch Detraktion   | 81  |
| Abbildung 101 | Rundhöcker nahe des Hochwurtendamms   | 82  |
| Abbildung 102 | Karquerschnitt  | 82  |
| Abbildung 103 | Erosionsrinnen und Photo des Feldseeskar  | 82  |
| Abbildung 104 | Schematischer Querschnitt durch ein Trogtal   | 83  |
| Abbildung 105 | Seebachtal und Nordbereich des Wurtenspeichers mit Gletscherstand   | 83  |
| Abbildung 106 | Aufbau eines Gletschers   | 84  |
| Abbildung 107 | Seitenmoräne im Westen des Hochwurtendamms  | 84  |
| Abbildung 108 | Moränenlandschaft   | 85  |
| Abbildung 109 | Die glaziale Serie  | 86  |
| Abbildung 110 | Schematisierte vertikale und horizontale Sedimentabfolge am Gletscherende   | 86  |
| Abbildung 111 | Formen des Eisrückzugs  | 87  |
| Abbildung 112 | Blick von der Sattnitz nach Ferlach im SE   | 88  |
| Abbildung 113 | Echolottiefenkarte des Wörthersees  | 88  |
| Abbildung 114 | Darstellung des Wurten-Schareck Kees Gletschers im Jahre 1958   | 89  |
| Abbildung 115 | Gletscherstände in der Goldberggruppe 2005/2006   | 89  |
| Abbildung 116 | Rekonstruktion der Talgenese in den Hohen Tauern  | 89  |
| Abbildung 117 | Vergleich 10m DGM (BEV) zu 1m DGM (Laserscan)   | 90  |
| Abbildung 118 | Profillinien, Neigungswinkel und geomorphologische Prozesse in Picton   | 91  |
| Abbildung 119 | Geodätisch eingemessene Hangprofillinien  | 92  |
| Abbildung 120 | Nachbildung der Hangprofillinie Nr. 1   | 92  |
| Abbildung 121 | Gebirge bzw. Gebirgsverhalten   | 93  |
| Abbildung 122 | Kluftscharen und geschichtetes Gebirge  | 94  |
| Abbildung 123 | Hochwurtendamm, Störung – Trennflächen, Geologische Karte Exner (1964)  | 94  |
| Abbildung 124 | Gneisaufschluß mit 3 Trennflächen   | 94  |
| Abbildung 125 | Auswertungen von Trennflächenmessungen  | 96  |
| Abbildung 126 | Gefügeauswertung mit den am Bretterich möglichen Massenbewegungsphänomenen  | 96  |
| Abbildung 127 | Schematisches Raumbild mit tektonischem Gefügeinventar  | 96  |
| Abbildung 128 | Geological Strenght Index GSI   | 97  |
| Abbildung 129 | Geologische Karten mit darüberprojiziertem Flußsystem als rote Linien   | 98  |
| Abbildung 130 | Suszeptibilitätskarten für die Prozesse „Fallen/Stürzen“ (Blocksturz, Felssturz) und „Flachgründiges Rutschen im Lockergestein“ | 100 |
| Abbildung 131 | Arbeitsschritte zur geotechnischen Bearbeitung eines Gebietes   | 102 |
| Abbildung 132 | Mindmap zur Darstellung der Zusammenhänge der Bearbeitung (Karte)   | 104 |
| Abbildung 133 | Vergleich Datenqualität (ALS-Photogrammetrie)   | 105 |
| Abbildung 134 | Blattrandstörung  | 107 |
| Abbildung 135 | Informationsschichten der Karte   | 108 |
| Abbildung 136 | Mindmap zur Kartenerstellung mit GIS  | 109 |
| Abbildung 137 | Berechnung der Neigung in Grad und Prozent  | 111 |
| Abbildung 138 | Rotationsrutschung mit nach der Neigung eingefärbten Flächen  | 112 |
| Abbildung 139 | Darstellung der Großrutschung der Garnitzenscharte  | 112 |
| Abbildung 140 | Darstellung der Rutschungen im Talschluß des Auenbachs  | 113 |
| Abbildung 141 | Schwarzseekar Darstellung mittels Hangneigungskarte und Hillshade   | 113 |
| Abbildung 142 | Flowchart zur Kartenerstellung mit GIS  | 114 |
| Abbildung 143 | Auenbach Bearbeitungsschritte zur Erstellung der Massenbewegungskarte   | 115 |
| Abbildung 144 | Global Mapper - 3d Modell aus dem Laserscanning   | 116 |
| Abbildung 145 | Neigungskarte mit dem Umrißpolygon der Massenbewegung im Auenbach   | 116 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Abbildung 146 | Stadien einer Massenbewegung aus Miyagi (2004)                       | 117 |
| Abbildung 147 | Profil durch eine Massenbewegung, Darstellung der Oberflächenneigung | 118 |
| Abbildung 148 | GIS Werkzeug zur Bestimmung von Massenbewegungsrisiken               | 124 |

## **Tabellenverzeichnis**

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabelle 1  | Beschreibung und Qualität der Karten                             | 9   |
| Tabelle 2  | Maßstabsbereiche   | 10  |
| Tabelle 3  | Vergleich ALS mit konventioneller Vermessung                     | 14  |
| Tabelle 4  | Scanner-Setup Fraganterbach                                      | 17  |
| Tabelle 5  | Scanner-Setup Auenbach   | 17  |
| Tabelle 6  | Flugstreifenparameter Fraganterbach                              | 17  |
| Tabelle 7  | Flugstreifenparameter Auenbach                                   | 17  |
| Tabelle 8  | Analytische Systematik von Reliefeinheiten                       | 75  |
| Tabelle 9  | Einteilung der Hanglagen über die Neigung                        | 77  |
| Tabelle 10 | Reliefeinheiten  | 93  |
| Tabelle 11 | Verschiedene Auflösungen der DGM und DOM und Speicherplatzbedarf | 106 |

## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

|          |   |
|----------|---|
| ALS      | Airborne Laser Scanning   |
| APOS     | Austrian Positioning Service der GPS-Satelliten - Positionierungsdienst des BEV |
| ArcGIS®  | GIS-Produktfamilie der Firma ESRI   |
| ArcInfo® | GIS der Firma ESRI  |
| ArcView® | GIS der Firma ESRI  |
| BEV      | Österreichisches Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen                       |
| BMN M31  | Österreichisches Bundesmeldenetz Meridian M31; Koordinatensystem                |
| BWV      | Österreichische Bundeswasserverwaltung  |
| DEM      | Digital Elevation Model   |
| DGM      | Digitales Geländehöhenmodell  |
| DHM      | Digitales Höhenmodell   |
| DOM      | Digitales Oberflächenmodell   |
| DSM      | Digital Surface Model   |
| DTM      | Digital Terrain Model   |
| GBA      | Österreichische Geologische Bundesanstalt in Wien                               |
| GDI      | Geodateninfrastruktur   |
| GeoRios  | Geogen bedingte Naturgefahrenenerhebung in Österreich der GBA                   |
| GIS      | Geographisches Informationssystem   |
| GInS     | Geologisches Informationssystem im Land Kärnten                                 |
| GPS      | Global Positioning System   |
| IMU      | Inertial Measurement Unit   |
| KAGIS    | Kärntner Geographisches Informationssystem                                      |
| KELAG    | Kärntner Elektrizitäts Aktien Gesellschaft                                      |
| LAWZ     | Landesalarm- und Warnzentrale in Kärnten  |
| LIDAR    | Light Detection And Ranging = Laser Scanning                                    |
| SDSS     | Spatial Decision Support System   |
| SRTM     | Shuttle Radar Topography Mission mit 90x90m Auflösung                           |
| UTM      | Universal Transverse Mercator   |
| WGS84    | World Geodetic System 1984  |
| WLV      | Wildbach- und Lawinenverbauung, staatliche Stelle in Österreich                 |
| vlg.     | vulgo – Hofname bei Bauern  |

*„Die Bevölkerung ist vor Gefährdungen durch Naturgewalten und Unglücksfälle außergewöhnlichen Umfanges sowie vor vermeidbaren Umweltbelastungen durch eine entsprechende Standortplanung bei dauergenutzten Einrichtungen zu schützen.“*

*§ 1 Abs. 2 Z 4 Kärntner Raumordnungsgesetz (1969 i.d.g.F.)*

## 1. Einführung

Kärnten ist das südlichste Bundesland Österreichs, es grenzt im Nordwesten an Salzburg, im Osten und Nordosten an die Steiermark, im Südosten an Slowenien, im Südwesten an Italien und im Westen an Tirol. Die Landesfläche beträgt 9.535,83 km<sup>2</sup> und mit Stand 01.01.2006 gab es 560.335 Einwohner.

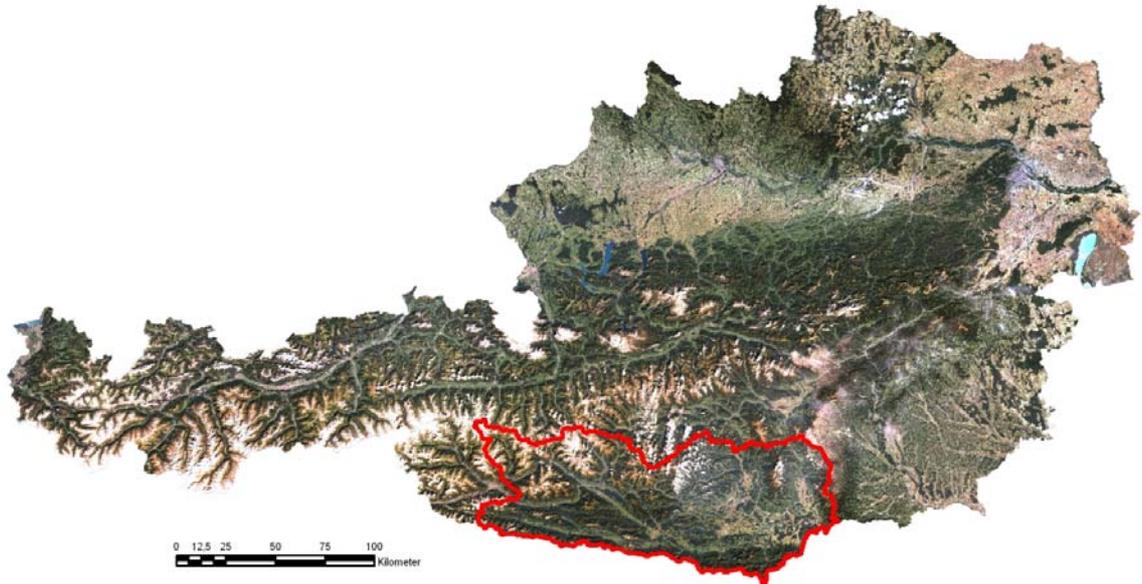


Abb. 1: Lage von Kärnten in Österreich (rot umrahmt)

Das gebirgige Oberkärnten wird von dem oberem Drau-, Möll-, Lieser- und Gailtal begrenzt. Das untere Drautal, das Klagenfurter Becken, das Flussgebiet der Gurk und das Lavanttal sind eine geschlossene Landschaft die ringsum von Gebirgszügen begrenzt werden. Im Norden durch die Hohen Tauern und die Gurktaler Alpen, im Osten durch die Pack- und Koralpe, im Süden durch die Karnischen Alpen und die Karawanken, im Westen von den Lienzer Dolomiten und der Schobergruppe.

Ganz Kärnten gehört nach dem Abflußregime zum Flussgebiet der Drau mit den Nebenflüssen Möll, Gail, Lieser, Gurk und Lavant. In Kärnten gibt es mit dem Wörther-, Ossiacher-, Millstätter- und Weißensee vier große und über 1.000 kleinere Seen (mit einer Gesamtfläche von ca. 60 km<sup>2</sup>).

Über die Hälfte des Landesfläche (57 %) liegen höher als 1.000 m, weiters gibt es 38 Gletscher mit 80 km<sup>2</sup> Oberfläche.

Im Landesgebiet sind 3 sehr gegensätzliche Klimazonen zu finden: Im Nordwesten das ozeanisch beeinflusste alpine Klima, im Klagenfurter Becken extremes Beckenklima

mit Inversion im Winter, im Drau- und unteren Gailtal ist der Einfluss des Mittelmeerklimas und des Föhns spürbar.



Abb. 2: Geographische Einheiten

## 1.1. Motivation

Im Bundesland Kärnten sind unterschiedliche Institutionen auf Bundes- und Landesebene mit der Dokumentation von Naturereignissen beschäftigt. Es sind dies Hochwasser im Wildbach- und Flussbereichen, Murgänge, Rutschungen, Steinschlag und Lawinen. In jeder Dienststelle wurden Daten nach verschiedenen Erfordernissen mit unterschiedlichen Methoden gesammelt und dokumentiert. Auf Grund dessen war die gemeinsame, interdisziplinäre Betrachtung, Analyse und Interpretation der Naturereignisse bis dato nicht durchführbar.

Im Juni 2003 wurde das Projekt „NATURGEFAHREN KÄRNTEN“ als interdisziplinäre Plattform gegründet. Es soll eine Hilfestellung für Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der durch Naturkatastrophen verursachten Schäden sein. Die Arbeitsgruppe besteht aus Experten der Landesabteilungen für Raumplanung, Wasserwirtschaft, Geologie und Bodenschutz, sowie Forstwesen des Amtes der Kärntner Landesregierung, sowie des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung – Sektion Kärnten und des Studiengangs Geoinformation der FH Technikum Kärnten.

Projektziel war die Erfassung und Darstellung alpiner Naturgefahren wie Lawinen, Wildbäche, Steinschlag, Rutschung und Überflutungen sowie die Schaffung einer Datengrundlage für die optimale Entscheidungsfindung zur Bewertung des Naturgefahrenpotenziales. Als Kernpunkt dabei ist der konzeptionelle Entwurf und Aufbau einer Naturgefahren – Geodateninfrastruktur zu nennen. Dies führte zu einer Effizienzsteigerung, Transparenz und Beschleunigung bei Verwaltungsabläufen, Experten-Gutachten und fachlichen Auskünften.

In der Projektstufe 2 (2006 bis 2008) erfolgt die Verdichtung der erforderlichen Basisdaten und die Weiterentwicklung von Methoden zur Gefahrenabschätzung, zur Schutzgüterbewertung und Risikoanalyse.

Das Verständnis von Naturgefahren, im speziellen Fall der Massenbewegungen, wird durch hochgenaue Vermessung gefördert. Laserscanning bietet die Möglichkeit geomorphologische Strukturen von Massenbewegungen in einer nie gekannten Genauigkeit darzustellen. Im Zuge des Projektes Naturgefahren Kärnten wurden verschiedene Testgebiete im gesamten Bundesland befliegen. Die Aufgabe der Master Thesis ist es, diese Strukturen anhand von zwei alpinen Testgebieten zu erkennen und einen geologischen geomorphologischen Bearbeitungsschlüssel für ganz Kärnten zu erstellen. Es sind dies die schon befliegenen und prozessierten Bereiche des Fragnerterbachs im Bezirk Spittal (Hochgebirge) und des Auenbachs im Bezirk Wolfsberg (Mittelgebirge). Der Fragnerterbach hat 70 km<sup>2</sup> und der Auenbach 36 km<sup>2</sup> Fläche.

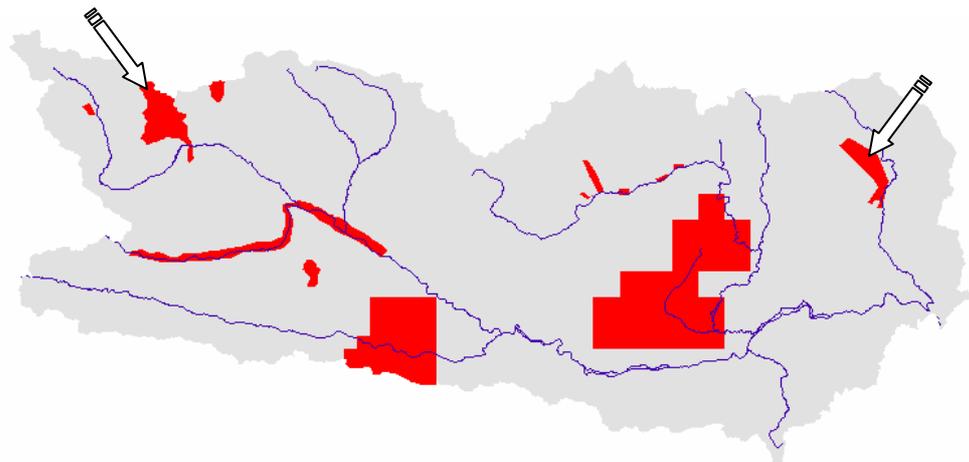


Abb. 3: Laserscan Testgebiete in Kärnten (Fraganterbach im Westen, Auenbach im Osten)

Neben der Auswertung der ALS Befliegungsdaten sind auch Feldbegehungen durchgeführt worden. Diese Daten wurden mit den vorhandenen geologischen Unterlagen und den im Archiv der Landesgeologie aufgezeichneten Altereignissen verglichen. Es soll versucht werden, Daten aus verschiedenen Quellen zu erheben, neu zu interpretieren um damit die Genauigkeit zu erhöhen.

## 1.2. Hypothese

Die Laserscanningaufnahmen werden immer öfter dazu verwendet, um genaue Informationen der Geländeoberfläche zu erhalten. Diese Technologie stellt ein Verfahren zur Erfassung von hochgenauen Oberflächenmodellen (Digitales Präzisionshöhenmodell) dar und bietet einerseits die Möglichkeit ein Oberflächenmodell (DOM), in dem die gesamte Vegetation, Bauwerke und infrastrukturelle Einrichtungen nachgezeichnet werden und andererseits ein Digitales Geländehöhenmodell (DGM), in dem nur der Untergrund ohne Vegetation und anthropogene Bauwerke dargestellt wird, zu errechnen.

Im Rahmen von geologischen und geotechnischen Erkundungen sind besonders kleinräumigere Phänomene, wie Internstrukturen von Massenbewegungen in der Hangoberfläche auch unter Vegetationsbedeckung (Laub- oder Nadelwald) genauer zu studieren. Die bisherigen Möglichkeiten der Auswertung des Digitalen Geländehöhenmodells des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen beschränken sich mit einer räumlichen Auflösung von 10 m auf die Erkennung von großräumigen Massenbewegungen. Für

Auswertungen im kleinräumigeren Bereich sind die Grenzen dieser Daten offenkundig. Durch die Zunahme der Genauigkeit, die mittels Laserscan erzielt wird, kommt es zu einer besseren Kenntnis der Morphologie.

### **1.3. Erwartete Ergebnisse**

Das Ziel der Arbeit ist, die Einsetzbarkeit von Laserscanningdaten für ingenieurgeologische Fragestellungen in den beiden Testgebieten zu evaluieren. Besonderes Augenmerk wird auf die Erkennung und flächenmäßige Auswertung von Hanginstabilitäten und deren Internstrukturen gelegt. Diese Arbeit konzentriert sich auf den Detail- bzw. Lokalmaßstab.

### **1.4. Themen, die nicht behandelt werden**

Die folgenden Themen wurden in der gegenständlichen Arbeit nicht behandelt:

#### **1.4.1. Gefahrenkarte**

Es ist auf Grund der Datenlage zur Zeit noch nicht möglich, eine Gefahrenkarte für Massenbewegungen im Lokal- bzw. Detailmaßstab zu erstellen. Diese Karten sollen Entscheidungsträger bei Planungsprozessen mit komplexen Fragestellungen unterstützen. Diese Aufgabe erfordert die Kombination von Methoden der Entscheidungsunterstützung mit dem Werkzeug GIS (Spatial Decision Support Systems, SDSS). In einer Gefahrenkarte (1:10.000 bis 1:2.000) sollen nach streng objektiven, wissenschaftlichen Kriterien innerhalb eines Gebietes flächendeckend folgende Aussagen gemacht werden können:

- Gefährdung bzw. Nichtgefährdung,
- Art der gefährlichen Prozesse,
- zu erwartete Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit der Prozesse.

Bei Gefahrenkartierungen werden folgende gefährliche Prozesse erfasst: Felsstürze, Rutschungen, Muren, Lawinen und weitere Erosionserscheinungen. In dieser Karte wird der Ist-Zustand der vorhandenen Gefährdungen, nach der GIS Auswertung und der abschließenden Evaluierung durch die beteiligten Fachleute, abgebildet. Bei einer Änderung der Rahmenbedingungen müssen die neuen Sachverhalte erneut in die Gefahrenbeurteilung einfließen. Dies kann unter Umständen zu einer Veränderung in Bezug auf die Gefahrenstufen führen.

#### **1.4.2. Suszeptibilitätskarte - Gefährdungskarte**

Im Zuge des Projektpaketes „Georisikopotenzial Kärnten“ (Naturgefahren Kärnten, Projekt KC-29 der Bund-/Bundesländerkooperation) wurde 2006 von der Geologischen Bundesanstalt in Wien eine kärntenweite Suszeptibilitätskarte (Gefährdungskarte), im Maßstab 1:50.000 mit einem 100m Raster, für verschiedene Massenbewegungsphänomene erstellt. Diese Karte liegt vor, ist jedoch als „Hinweiskarte“ für Gefährdungen zu interpretieren. Laut Definition der GBA sind Suszeptibilitätskarten Prozessstyp-

spezifische Karten mit Hilfe derer Bereiche unterschiedlicher Prozessanfälligkeit flächendifferenziert ausgewiesen werden. Eine Gefährdungskarte versucht eine Vorhersage für Bereiche zu treffen, in denen noch keine Massenbewegungen stattgefunden haben.

#### **1.4.3. Neuklassifizierung von Massenbewegungstypen**

Eine Neuklassifizierung von Massenbewegungstypen wurde nicht unternommen. Es wurden in der Literatur beschriebene Klassifizierungen von Massenbewegungen (bzw. schon umgesetzte Modifizierungen) und geomorphologische Strukturen für diese Arbeit verwendet (nach Varnes und ETALP).

#### **1.4.4. Bewegungsmessungen und automatische Rutschungserkennung**

Die Erfassung und Quantifizierung zeitabhängiger Deformationsvorgänge über lange Zeiträume, die einer der Auslöser für schnelle Massenumlagerungen sein können, ist nicht Ziel dieser Arbeit. Eine räumliche und zeitliche Analyse der Verformungsmechanismen kann nur unter großen Einsatz von Messtechnik und ingeniergeologischen, boden- und felsmechanischen Bearbeitungen gemacht werden. Als Institutionen die in diesen Fachbereichen arbeiten sind z.B. das Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme der TU GRAZ, das Institut für Geodäsie und Geoinformation der TU Wien und die Institute für Informatik, Mustererkennung und Geologie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg zu nennen. Dort wird im Rahmen des Projekts „Rutschungserkennung mit unterschiedlichen Klassifikationssystemen“ speziell an diesen Fragestellungen geforscht.

### **1.5. Beabsichtigstes Publikum / Endnutzer**

Diese Arbeit ist als Teil im Projekt Naturgefahren Kärnten zu sehen. Auf Grund der erzielten Ergebnisse werden das Publikum bzw. die Endnutzer nach Sereinig in drei Gruppen aufgeteilt (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Bundeswasserbauverwaltung, Jahresbericht 2006):

#### **Die Projektnutzer sind vor allem:**

- **Experten** aus den verschiedenen Fachdisziplinen wird eine Effizienzsteigerung durch die interdisziplinäre Betrachtung und den Zugriff auf eine integrierte Datenbasis mit dezentraler, sektoraler Datenverantwortlichkeit ermöglicht.
- **Entscheidungsträger** denen eine gut dokumentierte und transparent aufbereitete Datengrundlage die Argumentation und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen erleichtert, z.B.: im Bereich der Raumplanung.
- **Öffentlichkeit** durch Information und Bewusstseinsbildung wird in der Bevölkerung die Akzeptanz von vorbeugenden Maßnahmen im Zusammenhang mit Naturgefahren verbessert. Mittels einer an die Zielgruppen (z.B. Schüler, Gemeinden) an-

gepasste Informationsaufbereitung wird eine verbesserte Risikokommunikation erreicht.

Getrennte Datenhaltung und -wartung ermöglicht die einfache Verfügbarkeit und Darstellung der Informationen für die jeweilige Benutzergruppe. Experten in der Verwaltung haben Zugriff auf alle Fachdaten, die öffentlichen Nutzer hingegen auf die wesentlichen, für sie interpretierbaren Daten.

### **1.5.1. Diktion**

Diese Arbeit soll dazu dienen die Möglichkeiten der Laserscantechnologie im Umfeld der Geologie im speziellen von Massenbewegungen aufzuzeigen. Dafür wird Fach- oder Expertenwissen benötigt bzw. es muss angeeignet werden. Die Darstellung der verschiedenen Massenbewegungs- und Wildbachtypen und der glazialmorphologischen Erscheinungen sollen standardisiert werden. Aus dem Verständnis der Geologie Kärntens, im Speziellen der regionalen Geologie und der Quartärgeologie der Testgebiete, soll versucht werden neue Erkenntnisse zum Massenbewegungsphänomen zu erlangen.

## **1.6. Struktur dieser Thesis**

Zu Beginn der Thesis gab es die Idee mittels einiger Parameter, die vor allem aus der Geologie kommen, eine geoinformatische Auswertung von Massenbewegungen zu machen.

Diese Parameter waren:

- Tektonik und Lagerung
- Gesteinskennwerte
- Vorhandene Kartenwerke
- Bewuchs etc.

Nach einem eingehenden Studium der Literatur wurde diese Idee auf Grund von fehlenden und/oder unüberprüften Datensätzen verworfen. Im Zuge der Thesis wurde versucht, ein Handbuch und eine geologisch geomorphologische Formensammlung für die weiteren Bearbeitungsschritte der Massenbewegungsthematik durch die Miteinbeziehung von Laserscan im Projekt Naturgefahren Kärnten zu erstellen.

Dabei wurden für folgende Teilbereiche weiterführende Erkenntnisse erlangt bzw. der Stand der Technik dokumentiert:

- Laserscanning
- Geologie
- Massenbewegungen
- Wildbachtypen (nach ETALP)
- Geomorphologie

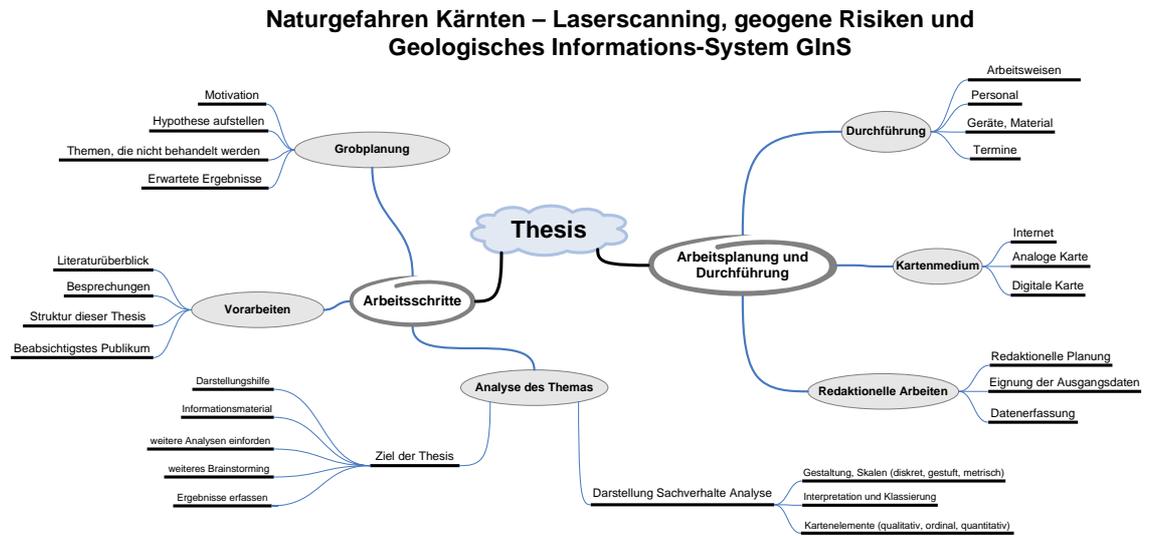


Abb. 4: Mindmap der Struktur der Thesis

Die oben angeführte Grafik gibt einen Überblick der Module, die die gegenständliche Arbeit aufbauen. Teile davon wurden nur gestreift, andere sind verstärkt behandelt worden. Auf Grund der Komplexität ist angedacht worden, diese weiter zu bearbeiten bzw. es wird versucht werden die ungelösten Fragen zu beantworten.

## **2. Literaturüberblick**

### **2.1. State of the Art zu den für Thesis relevanten Themenbereich in der Literatur**

Hübl, J., Bunza, G., Hafner, K., Klaus, W. (2003): ETALP – Erosion, Transport in Alpinen Systemen „Stummer Zeugen Katalog“ Herausgeber: Projektteam ETALP, 49 S.

Koçiu, A., Letouzé-Zezula, G., Tilch, N., Grösel, K. (2006): Endbericht - Gefährdungskarte Ausweisung von Bereichen unterschiedlicher Suszeptibilität für verschiedene Typengruppen der Massenbewegung, GBA Wien, 88 S.

Dikau, R. (1988): Entwurf einer Geomorphographisch - Analytischen Systematik von Reliefeinheiten, Arbeitsbericht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Digitale Geowissenschaftliche Kartenwerke", Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg, 50 S.

U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey (2004): Landslide Types and Processes, Fact Sheet 2004-3072, 4 pp.

### **2.2. Anführen warum eine Quelle für die Thesis wichtig ist**

Im Zuge der durch die GBA geleisteten Vorarbeiten vgl. KOCIU (2006) wurde erkannt, dass die geomatische Auswertung bei zunehmender Genauigkeit des Maßstabs sehr rasch an ihre Grenzen stößt.

Die Bearbeitung von Massenbewegungsphänomenen im Lokal- bzw. Detailmaßstab unter zu Hilfenahme von ALS und GIS ist in der Literatur nicht beschrieben worden. Es gibt Bearbeitungen von kleinräumigen Rutschungen und auch Regionalstudien, aber eine hochgenaue Analyse eines großen Areals mit komplizierter Geologie ist in der Literatur nicht gefunden worden. Daher ist hiermit eine Möglichkeit entstanden diese Thematik aufzugreifen und zu versuchen zu einer Lösung zu kommen.

### 3. Lösungsansatz

#### 3.1. Grundlagendaten und Theorieansatz

Als Einführung in die Geologie und Geomorphologie wurde versucht einen Überblick über das ganze Bundesland Kärnten zu erlangen. Bedingt durch den vielschichtigen geologischen Aufbau resultierte nachfolgend diese umfangreiche Darstellung des Untergrundes.

Ausgehend von Basisdaten, ist die Eignung der Laserscanvermessung für geologische und geomorphologische Fragestellungen im Umfeld von Massenbewegungen zu evaluieren. Auf Grund von nicht zur Verfügung stehenden Unterlagen konnten die Gesteinsansprache und gefügekundliche Auswertung der Trennflächen nicht miteinbezogen werden. Dennoch ist im Zuge der Arbeit versucht worden diese Parameter zu bestimmen und auch zu evaluieren, um deren Gewichtung für nachfolgende Bearbeitungen anzudenken.

##### 3.1.1. Sammlung der Datengrundlagen

Die analog oder digital vorhandenen Publikationen, relevante Gutachten bzw. Kartenwerke der Geologie, Geomorphologie, Wildbachverbauung (kurz WLV) wurden erhoben.

Beschreibung und Qualität der einzelnen Kartenwerke

| Thema                       | Inhalt  | Datenqualität<br>Erfassungsbasis |
|-----------------------------|---|----------------------------------|
| Plan-/Karten-<br>grundlagen | Digitale Orthofotos   | Befliegung BEV bzw. Land Kärnten |
|                             | ÖK 50   | BEV Wien                         |
|                             | ÖK 200  | BEV Wien                         |
|                             | digitale Lage-Höhenplan (10x10m)  | Luftbildauswertung 1:10.000      |
|                             | digitale Lage-Höhenplan aus dem ALS (1x1m)  | 1:1.000                          |
| Topographie /<br>Kataster   | DKM inkl. Nutzungslayer   | BEV Wien                         |
|                             | Gewässernetz  | ÖK 50 (BEV)                      |
| Raumordnung                 | Naturgefahren (GZP, Raumrelevanter Bereich GZP, Lawinenverbauungen, Lawenstriche, Schipisten / Lifte / Schigebiete) | ÖK 50 bis Kataster               |
| Geologie                    | Festgesteinskarte   | ÖK 50                            |
|                             | Lockergesteinskarte   | ÖK 50                            |
|                             | Tektonikkarte   | ÖK 50                            |
|                             | Hydrogeologische Karte  | ÖK 50                            |
| Kartierungen                | Terrestrisch erhobene Datensätze  | ÖK 50 bis Kataster               |

Tabelle 1: Beschreibung und Qualität der Karten

### 3.1.2. Raumbezug

Das österreichische Bundesmeldenetz (BMN) ist eine Gauß Krüger Projektion mit transversaler Mercatorprojektion. Ein Zylinder wird im entsprechenden Längengrad um die Erde, die als Bessel-1841-Sphaeroid angenommen wird, gelegt. Auf diesen Zylinder werden die Naturinhalte projiziert.

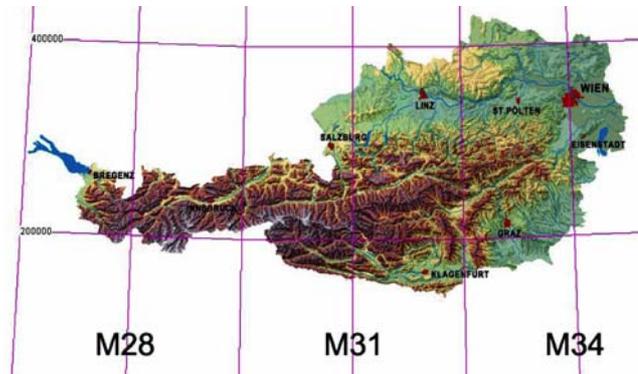


Abb. 5: Bundesmeldenetz Quelle BEV

In Kärnten wird nach der gültigen KAGIS Spezifikation als Koordinatensystem das österreichische Bundesmeldenetz mit dem Meridian M31 genutzt. Zugekaufte GIS Daten müssen mit genau definierten Koordinatensystemen geliefert werden. Das gesamte Bundesland Kärnten wird vom BMN M31 abgedeckt. Im Zuge des INTERREG III B Projektes CADSES wurde ein Projektionsfile im BMN M31 für ArcGIS geschaffen, der auch frei downgeloadet werden kann (<http://www.isamap.info/BMNM31.prj>).

### 3.1.3. Maßstab

Digitale Datensätze sind in jedem Maßstab darstellbar, daher ist es wichtig, über Metadaten Aussagen zur Genauigkeit der Erfassung der Daten, Projektion, Kartierdatum etc. zu bekommen. Der Kartierungsmaßstab hängt vom Genauigkeitsanspruch an das Ergebnis hinsichtlich des Prozesses, der betrachtet wird, ab. Diese Arbeit konzentriert sich auf Auswertungen im Detail- bzw. Lokalmaßstab.

|                       | Regional            | Lokal              | Detail                                   |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--|
| <b>Maßstab</b>        | <b>1:25.000</b>     | <b>1:10.000</b>    | <b>1:2.000</b>                           |
| <b>Bereich</b>        | (1:20.000-1:50.000) | (1:5.000-1:10.000) | (1:100-1:5.000)                          |
| <b>Einsatzbereich</b> | Regionalstudie      | Gefahrenkarte      | Gefahrenzonenkarte<br>Detailkartierungen |

Tabelle 2: Maßstabsbereiche

### 3.1.4. Grundlegendaten

Digitale Daten, die ein definiertes Bezugssystem und einen gleichen oder ähnlichen Maßstab haben, können übereinander projiziert werden. Dies wurde in der gegenständlichen Arbeit mit den GIS Programmen der Firma ESRI (ArcGIS® und ArcView®) bzw. mit Global Mapper® der Firma Global Mapper durchgeführt. Andere GIS bzw. CAD Programme sind, da sie nicht im Lande bzw. der Dienststelle zur Verfügung stehen, auch nicht verwendet worden.

### 3.1.4.1. ÖK50 und 200 im Rasterformat

Die Österreich Karte (kurz ÖK) im Maßstab 1:50.000 bzw. 1:200.000 liefert die digitale topographische Grundlage zur Orientierung in den beiden Testgebieten.

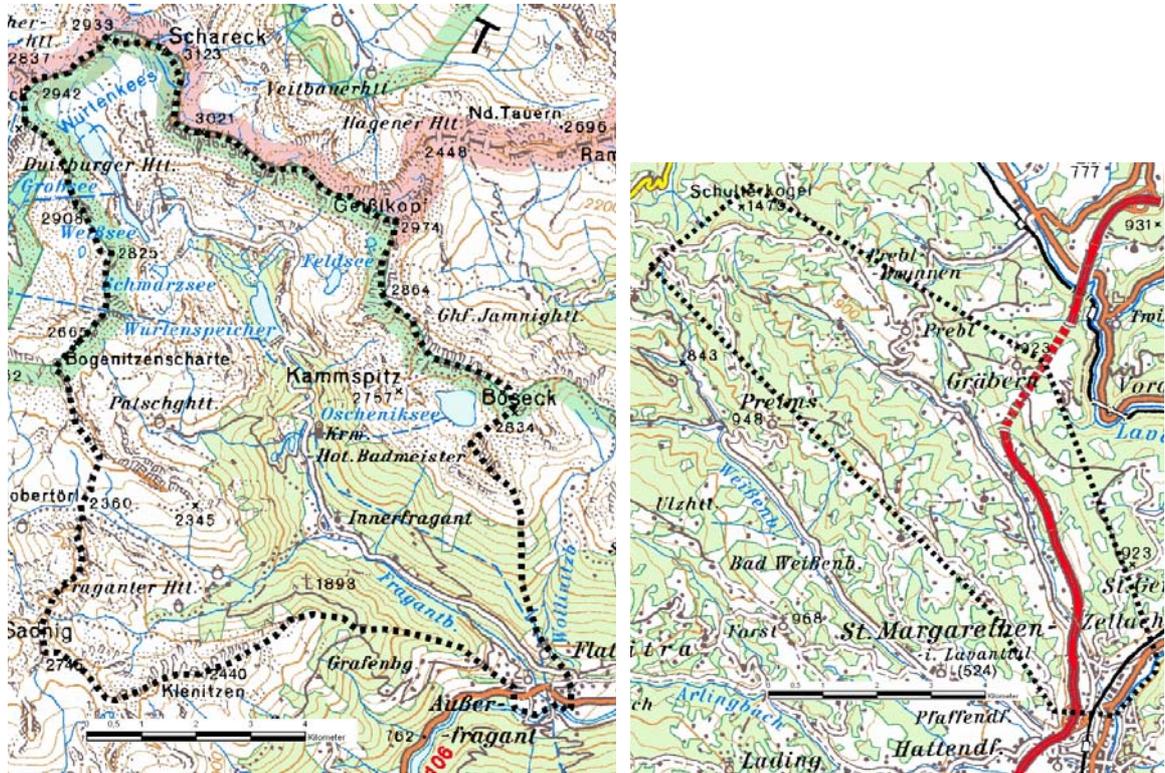


Abb. 6: ÖK 200.000 - Testgebiet Fragner- und Auenbach

### 3.1.4.2. Vektordaten

Folgende Elemente sind mittels GIS oder CAD georeferenziert im Koordinatensystem BMN M31 verankert worden:

- Punkte: die Koordinaten sind bekannt
- Linien: Verbindung zwischen koordinativ bekannten Punkten
- Flächen od. Polygone: werden durch Linien begrenzt

### 3.1.4.3. Digitaler Kataster

Das gesamte österreichische Staatsgebiet ist in der Katastralmappe abgebildet. Festpunkte der Vermessung, Grundstücksgrenzen, Grundstücksnummern und die Nutzungsart (landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wald, Gärten etc.) werden dargestellt.



### 3.1.5. Fachdatenbanken

Stellungnahmen bzw. Bearbeitungen der UAbt. 15 Geologie und Bodenschutz des Amtes der Kärntner Landesregierung, wurden und werden nach Sachbereichen (wie Abfall, Rohstoff, Wasser, usw.) und nach Gemeinden in einer oracle<sup>®</sup> Datenbank eingetragen und verortet. Diese Datenbanken werden allen öffentlichen Dienststellen im Intranet zur Verfügung gestellt. Im Internet gibt es die Möglichkeit einen Teil dieser Daten, unter Wahrung des Datenschutzes und der Urheberrechte, zu visualisieren ([www.kagis.ktn.gv.at](http://www.kagis.ktn.gv.at)).

#### **GeoArchiv**

Bei ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Studien werden lokal geologische Daten erfasst oder neue Kenntnisse durch Untersuchungen (Schürfe, Monitoring) gewonnen. Die Informationen werden archiviert und können bei neuen Fragestellungen herangezogen werden. Für die Verwaltung dieser Informationen eignen sich relationale Datenbanken, wodurch ein Zugriff auf die Informationen über geographische Informationssysteme erleichtert wird und diese über Intranet oder Internet für die Allgemeinheit verfügbar gemacht werden können. In der Geologischen Archivdatenbank werden die Inhalte themen- und lagebezogen verwaltet.

#### **Ereigniskataster**

Im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung und im Flussbau existieren seit vielen Jahrzehnten Aufzeichnungen und Dokumentationen von Naturereignissen wie Hochwasser, Muren und Lawinen. Steinschläge, Felsstürze, Rutschungen und Erdströme wurden von verschiedenen Stellen (Landesgeologie, WLV und Strassenverwaltung) wahrgenommen und archiviert. Mit dem Ereigniskataster für Massenbewegungen werden diese Informationen für eine Beurteilung des Gefahrenpotentials zusammengeführt. Der Ereigniskataster ist Teil des Projektes „Naturgefahren Kärnten“, das zwischen dem Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) sowie den Landesabteilungen 10F, 15GB, 18 und 20 durchgeführt wird. Im Ereigniskataster sollen alle Naturgefahren-Ereignisse registriert, archiviert und für Auswertungen zugänglich gemacht werden.

### 3.1.6. Laserscanning

Airborne Laser Scanning (ALS), flugzeuggetragener Laserscan, auch LIDAR (Light Detection And Ranging) genannt, wird zur hochgenauen (> 1 Mio. Messpunkte pro km<sup>2</sup>) und hoch auflösenden (Höhengenauigkeit im Dezimeterbereich) Erfassung von Geländeoberflächen durch X, Y und Z Koordinaten verwendet.

Die Aufnahme digitaler Geländemodelle wurde durch die Lasertechnologie verändert. Es ist nunmehr möglich, zu vertretbaren Kosten Höhenmodelle mit einer Bodenauflösung von einem Meter und einer Höhengengenauigkeit von wenigen dm zu erstellen. Durch ALS kann die Vegetation, mit gewissen Einschränkungen, durchdrungen und ein digitales Oberflächen- (DOM) und Geländemodell (DGM) angefertigt werden. Im DOM werden die Geländeform und die drauf befindlichen natürlichen und anthropogenen Objekte abgebildet. Das DGM enthält nur mehr die reine Geländeoberfläche und kann

somit direkt zur geomorphologischen Charakterisierung des Geländes herangezogen werden.

Die Kärntner Landesregierung hat in Zusammenarbeit mit dem Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung für das Projekt Naturgefahren Kärnten, Phase 2 einige ausgewählte ALS Testgebiete befliegen lassen. In weiterer Folge soll es zu einer landesweiten Laserscannerfassung kommen.

Die Anwendungsgebiete der ALS Daten sind:

- Gefahrenanalyse und -prävention (Projekt NGK, Lawinen, etc.)
- Einblick in die Geomorphologie (spez. bewaldeter Gebiete)
- Hydrologische/hydraulische Untersuchungen, Gefahrenzonenplan (GFZ)
- Planung von Bauwerken und Verkehrsflächen sowie Analyse ihrer Auswirkungen, Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)
- Momentaufnahme des Istzustandes, Beweissicherung
- Analyse vergangener Ereignisse (Erdgeschichte, Archäologie, Zerstörung der Umwelt)
- Forstwirtschaftliche Analysen (Holzvorrat, Forstweg- und Seilkranplanung, etc.)
- Visualisierungen (2D, 3D).

In gebirgigen zum Teil bewaldeten Bereichen soll durch die vorliegende Arbeit der Einsatz von ALS in Geologie und Geomorphologie, im speziellen die Eignung zur Erkennung von Massenbewegungsstrukturen bis in den Detailmaßstab, getestet werden.

| Kriterium                  | Laserscanning                                 | Konventionelles Verfahren   |
|----------------------------|---|-----------------------------|
| <b>Datenerfassung</b>      | automatisch                                   | manuell                     |
| <b>Gebietsabdeckung</b>    | komplette Aufnahme                            | nur interessante Punkte     |
| <b>Aufnahmepunktdichte</b> | hohe Dichte                                   | so wenig Punkte wie möglich |
| <b>Punktverteilung</b>     | homogen                                       | nicht homogen               |
| <b>Modellbildung</b>       | Auswerteprozess                               | während der Datenerfassung  |
| <b>Klassifizierung</b>     | Auswerteprozess automatisch, semi-automatisch | während der Datenerfassung  |
| <b>Datennutzung</b>        | versch. Anwendungen aus einer Aufnahme        | oft nur einmalig            |

Tab. 3: Vergleich ALS mit konventioneller Vermessung aus Wever (2002)

Die Durchdringungsrate des Laserstrahles durch Vegetation lässt eine für geologische Fragestellungen hinreichend genaue Darstellung des Untergrundes (Digitales Geländehöhenmodell) zu. In einem vegetationsreichen Gebiet wie Österreich ist dies ein wichtiges Kriterium zur Einsetzbarkeit dieser Technologie.

Am Ende der ALS Bearbeitung kommt es zur Darstellung des Erkennens von Mehrfachreflektionen und der Prozessierung in ein digitales Oberflächen- (DOM – **erste empfangene Reflektion** – first pulse) und in ein digitales Geländemodell (DGM - **letzte empfangene Reflektion** – last pulse).

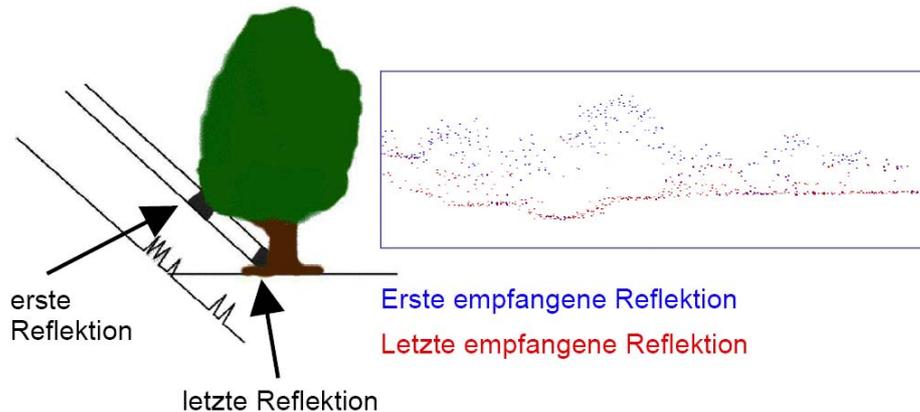


Abb. 7: DOM und DGM aus Wever (2002)

### 3.1.6.1. Bericht mit den technischen Beschreibungen und Abläufen der Befliegung und Prozessierung

Nachfolgend wird aus den Berichten der ARGE ALS Kärnten 2006 zitiert, diese bestand aus: **Vermessung AVT – ZT GmbH** (Federführung), Eichenweg 42, A-6460 Imst und **DI Wenger-Oehn ZT GmbH**, Ziviltechniker GmbH für Vermessungswesen, Franz-Josef-Str. 33, A-5020 Salzburg.

Es waren zwei getrennte Aufträge, der Erste war „**ALS Kärnten 2006, Los Fragnerbach mit Lawinen Mallnitz und Lawine Tuschentaler**, Technischer Bericht, GZ / AVT: 31414/06“ und der Zweite war „**ALS Kärnten 2006, Los Auenbach**, Technischer Bericht GZ / AVT: 31413/06“. Die technischen Beschreibungen und die Abläufe der Befliegung und Prozessierung sind daraus entnommen worden.

Die Auftraggeber (AG) waren das **Amt der Kärntner Landesregierung**, Abteilung 18 Wasserwirtschaft, Mießtaler Straße 1, A-9020 Klagenfurt, und der **Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung**, Gebietsbauleitung Oberes Drautal und Mölltal, Meister-Friedrich-Strasse 2, A-9500 Villach.

### 3.1.6.2. Gebietsübersicht und Blattschnitt

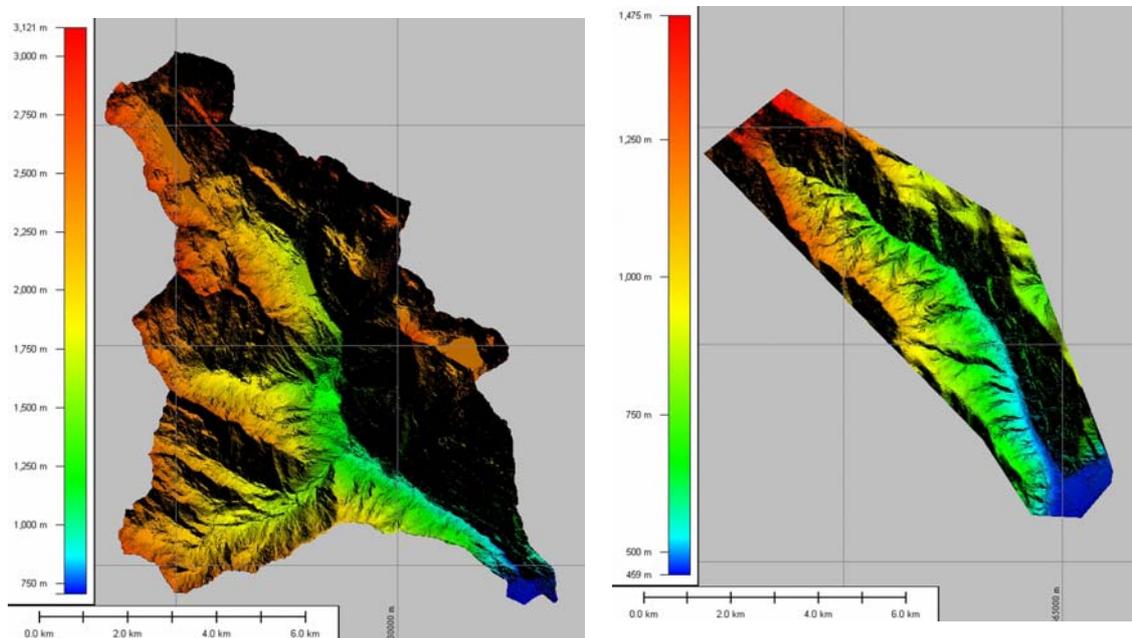


Abb. 8: Gebietsübersicht Fraganterbach (links) und Auenbach (rechts)

Diese Abbildungen zeigen die Gebiete Fraganterbach und Auenbach. Die ALS Gebiete sind mit dem Blattschnitt der (ÖBK10 Österreichische Basiskarte 1:10.000) überlagert worden, in dem die Daten geliefert worden sind.

### 3.1.6.3. Technische Vorgaben

Die Befliegungen sollten laut Ausschreibung mit einer mittleren Punktdichte von mindestens 1 pro m<sup>2</sup> und einem maximalen Punktabstand von 1,5 m in Längs- und Quer- richtung erfolgen. Die Streifenüberlappung sollte 20% nicht unterschreiten. Der Puls- durchmesser am Boden sollte 60 cm nicht überschreiten.

### 3.1.6.4. Befliegungen

#### Fraganterbach

Die Befliegung erfolgte durch die **Firma ASTEC GmbH**. in Kreba/Neudorf, Deutschland, mit einem Laserscanner ALS-50/83 der Firma Leica Geosystems AG. Dieses Gerät ist ein Schwingspiegel-Scanner, der mit einer Taktrate von bis zu 83 kHz und variabler Scanbreite und Scanrate (Anzahl Scanzeilen je Sekunde, daraus ergibt sich die Anzahl Pulse je Scanzeile) betrieben werden kann. Die Befliegung erfolgte mit einem Flächenflugzeug. Dieser Scanner zeichnet sich durch eine sehr hohe maximale Reichweite von bis zu 4.000 m über Grund aus.



Abb. 9: Leica ALS 50/83

### Auenbach

Auf Grund von zeitlichen Schwierigkeiten bei der Durchführung der Befliegung wurde die Firma **BEWAG Geoservices GmbH**, Eisenstadt, beauftragt, die Aufnahmen vorzunehmen. Zum Einsatz gelangte ein Laserscanner QMS-560i der Firma Riegl GmbH. Es handelt sich bei diesem Gerät um einen Scanner mit rotierendem Spiegel und einer Taktrate bis zu 100 kHz. Die Befliegung erfolgte mit einem Hubschrauber.



Abb. 10: Riegl QMS-560i

Nebel verursachte Lücken in den Daten, insbesondere am Westrand. Diese wurden durch die Firma ASTEC GmbH am 20.04.2007 erfolgreich aufgenommen. Beim Flug durch die ASTEC GmbH wurde ein Laserscanner ALS-50/83 der Firma Leica Geosystems AG eingesetzt.

### 3.1.6.5. Flugparameter

Bei der Durchführung der Befliegung sind folgende Einstellungen des Laserscanners verwendet worden:

#### Fraganterbach

| Parameter                 | Einstellung ASTEC |
|---------------------------|-------------------|
| Öffnungswinkel (FOV)      | 17°               |
| Flughöhe über Grund min   | 2.100 m           |
| Fluggeschwindigkeit (TAS) | ca. 72 m/s        |
| Laser Pulse Rate          | 50.500 Hz         |
| Scan Rate                 | 37 Hz             |

Tab. 4: Scanner-Setup Fraganterbach

#### Auenbach

| Parameter                 | Einstellung BEWAG | Einstellung ASTEC |
|---------------------------|-------------------|-------------------|
| Öffnungswinkel (FOV)      | 35°               | 22°               |
| Flughöhe über Grund min   | ca. 400 m         | ca. 1.700 m       |
| Fluggeschwindigkeit (TAS) | ca. 17 m/s        | ca. 80 m/s        |
| Laser Pulse Rate          | 33.333 Hz         | 58.000 Hz         |
| Scan Rate                 | 48 Hz             | 40 Hz             |

Tab. 5: Scanner-Setup Auenbach

Die Scanstreifen sind mit folgenden Parametern aufgenommen worden:

#### Fraganterbach

| Parameter                          | Wert ASTEC                 |
|------------------------------------|----------------------------|
| Anzahl der Flugstreifen            | 52 (plus 2 Quer)           |
| Distanz zwischen den Flugachsen    | ca. 350 m                  |
| Breite eines Scanstreifens         | ca. 420 m, geländeabhängig |
| Resultierende mittlere Punktdichte | ca. 1 pro m <sup>2</sup>   |

Tab. 6: Flugstreifenparameter Fraganterbach

#### Auenbach

| Parameter                          | Wert BEWAG                 | Wert ASTEC                 |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Anzahl der Flugstreifen            | 16 (plus 1 quer)           | 6                          |
| Distanz zwischen den Flugachsen    | ca. 400 m                  | unterschiedlich            |
| Breite eines Scanstreifens         | ca. 320 m, geländeabhängig | ca. 500 m, geländeabhängig |
| Resultierende mittlere Punktdichte | ca. 2 pro m <sup>2</sup>   | ca. 1 pro m <sup>2</sup>   |

Tab. 7: Flugstreifenparameter Auenbach

Die Gebiete wurden zu folgenden Zeiten befliegen:

Der Bereich Fraganterbach wurde am 08. November 2006 von 08:50 bis 15:30 mit Unterbrechung komplett befliegen. Im Auenbach wurden die Streifen 1 – 17 durch die BEWAG am 22. Dezember 2006 von 11:40 bis 13:15 befliegen, die fehlenden Streifen 20 – 25 sind am 20. April 2007 von 16:05 bis 16:55 durch die ASTEC aufgenommen worden.

### 3.1.6.6. GPS-/IMU-Prozessierung

Zur Bestimmung der Position und Ausrichtung des Lasersensors wurden im Flugzeug kontinuierlich GPS-Daten mit einer Rate von 2 Hz und IMU-Daten mit 200 Hz aufgezeichnet. Als GPS-Referenzstationen dienten an allen Flugtagen die Daten von jeweils 2 **APOS-Stationen** mit einer Aufzeichnungsrate von jeweils 1 Hz, die vom BEV bezogen wurden. Die GPS-Daten wurden für die beiden Referenzstationen prozessiert um eine optimale GPS-Lösung aus beiden Stationsdaten zu bekommen.

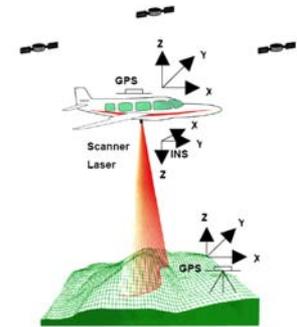


Abb. 11: ALS aus Wever 2002

Neben der Position die das GPS aufnimmt, ist für die direkte Georeferenzierung auch die Orientierung des Sensors nötig. Dies wird mittels der drei Winkel **Roll** (Querneigung der Plattform), **Pitch** (Längsneigung) und **Heading** (oder Azimut, Flugrichtung) beschrieben. Durch ein Inertiales Messsystem (engl: Inertial Measuring Unit, IMU) oder Inertiales Neigungssystem (INS) können diese Winkel nach einer Initialisierung in der Flugplattform gemessen werden. Danach wurde aus den GPS und IMU-Daten die Flugbahn rekonstruiert um die Positionen und Orientierungen des Sensors zu ermitteln.

### 3.1.6.7. Flugübersicht

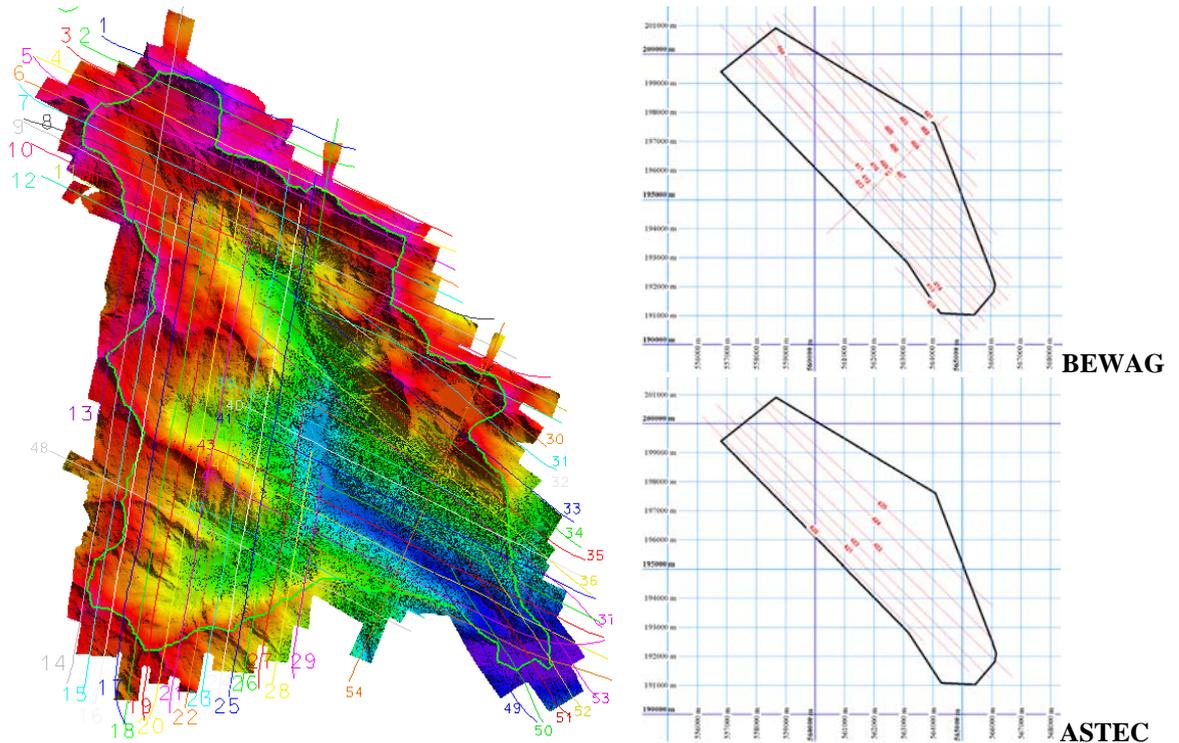


Abb. 12: Flugstreifenübersicht mit den Flugbahnen; Fraganterbach (links) mit Höhenkodierung des Gebietes (blau = tiefe Lagen, rot = hohe Lagen). Auenbach (rechts) mit den beiden Befliegungen durch die Firmen BEWAG und ASTEC

### 3.1.6.8. Passpunktmessung

Für die Georeferenzierung wurden im Gelände Passflächen terrestrisch eingemessen. Diese Flächen sollen möglichst um 45° geneigte Ebenen von mehreren Metern Ausdehnung und in zumindest drei Raumrichtungen angeordnet sein. Diese drei Ebenen und ein weiteres, horizontales Flächenelement stellen eine "Passpunktgruppe" dar. Es wurden, wenn möglich, zusätzliche Ebenen eingemessen ("Doppelpassflächen") um die Zuverlässigkeit der Messung noch zu erhöhen. Die Passflächenbereiche wurden auf Basis der ÖK-50 möglichst in den Blockecken ausgewählt und in diesen Bereichen die Passflächen vor Ort ausgewählt und eingemessen.

Für das Teilgebiet Fraganterbach ergab sich die Schwierigkeit, dass auf Grund der Begrenzung entlang der Bergkämme in den Randbereichen keine Passflächen gefunden werden konnten. Die Auswahl mußte daher auf die wenigen Gebäude im Talbereich eingeschränkt werden.

Für das Los "Fraganterbach" wurden 3 Passpunktgruppen mit insgesamt 25 Passebenen eingemessen.

Für das Los "Auenbach" wurden 4 Passpunktgruppen mit insgesamt 19 Passebenen eingemessen.

### 3.1.6.9. Transformationsparameter

Zusätzlich zu den Passpunkten wurden Netzpunkte terrestrisch eingemessen, die die Ermittlung der Transformationsparameter ermöglichten. Aus diesen Netzpunkten, deren Koordinaten im Landessystem bekannt sind (amtliche Festpunkte), wurden die Transformationsparameter für den Bereich Fraganterbach ermittelt.

Für das Los "Auenbach" wurde auf Grund der geringen Ausdehnung und der einheitlichen Hangausrichtung das Geoid des BEV nicht herangezogen (das Gebiet ist durch 6 Rasterpunkte des Geoids abgedeckt und weist ziemlich lineare Verhältnisse auf). Es wurde eine räumliche Ähnlichkeitstransformation zwischen den orthometrischen Höhen durchgeführt. Die vier amtlichen Festpunkte wurden auf geozentrische Koordinaten umgerechnet und die Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation, zu den mit GPS eingemessenen, ermittelt.

### 3.1.6.10. Georeferenzierung

Unter dem Begriff "Georeferenzierung" werden die Streifenanpassung mit Systemkalibrierung und absolute Positionierung der Daten zusammengefasst. Diese beiden Berechnungen erfolgen in einem gemeinsamen Schritt.

### 3.1.6.11. Filterung

Die Filterung der Daten erfolgte mittels des Programmsystems SCOP. Zunächst wurden die Daten in kleine Bearbeitungseinheiten mit Überlappung aufgeteilt. Aus den letzten Echos wurden die wahrscheinlichsten Bodenpunkte mittels des Verfahrens der hierarchischen robusten Filterung in SCOP.LIDAR ermittelt. Danach mussten die Daten manuell gesichtet und überarbeitet werden, da Filterverfahren dazu neigen, insbesondere bei dichtem Bewuchs auch Vegetationspunkte als Boden zu klassifizieren und Grate und scharfe konvexe Geländekanten abzuschneiden.

Für das **Bodenmodell (DGM)** wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Kellerabgänge, Garagenzufahrten und dgl. werden nicht in das Bodenmodell aufgenommen, wenn sie nicht eine gewisse Mindestgröße haben. Stattdessen wird das DHM auf gleichem Niveau wie die Umgebung dargestellt. Dies deshalb, weil derartige Abgänge häufig nur von wenigen Punkten getroffen werden und unschöne Senken im Gelände ergeben.
- Kleine Hügel, Aufschüttungen und dgl. werden nur dann in das DHM aufgenommen, wenn sie dauerhaften Charakter aufweisen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sie mit Bewuchs versehen sind.
- Baugruben werden größenabhängig wiedergegeben (große Baugruben) oder gar nicht (kleine Gruben).
- Brücken werden eliminiert, wenn sie eine gewisse Mindestgröße aufweisen. Für sehr kleine Brücken gilt als Richtwert, dass die Brücke mindestens halb so lang sein soll wie breit.

- Im Umfeld von Gebäuden kommt es häufig zu unruhigem Geländeverhalten. Dies kann von tatsächlichen Unebenheiten herrühren (Geländeformen um das Bauwerk), aber auch von Vegetation oder Echos, die relativ nahe dem Boden an der Gebäudewand reflektiert werden. Diese Effekte werden weitgehend eliminiert, dennoch bleiben im verbauten Gebiet, insbesondere in Hanglagen, etwas unruhige Oberflächenformen. Dies liegt letztlich auch daran, dass das Gelände unter Gebäuden nicht definiert ist. Es wird versucht, diese Rauigkeiten so weit wie sinnvoll zu glätten, um einen guten Gesamteindruck zu geben. Im Bereich von Gartensiedlungen ist aber davon auszugehen, dass es zu generalisierter Wiedergabe des Geländes kommen kann.
- Formen, die charakteristisch für ein Gebiet sind, werden so weit wie möglich erhalten.
- **Im Hochgebirge werden auch die sonst sehr unruhigen Oberflächen (Blockfelder, felsdurchsetzte Steilhänge, unebene Matten usw.) etwas geglättet. Kleinere bis mittelgroße Gesteinsblöcke (bis ein bis zwei Meter) werden weitgehend eliminiert.**

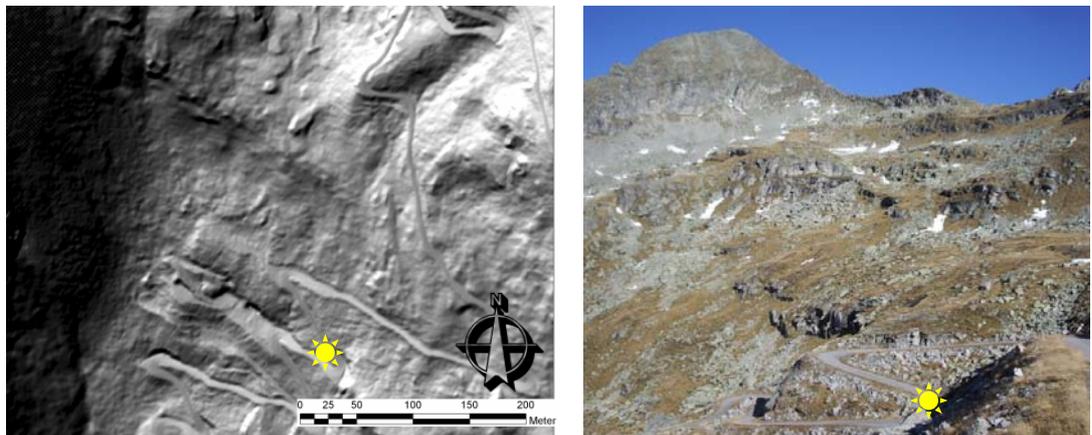


Abb. 13: Hillshade aus ALS und Photo Zufahrtstraße zum Oschenigspeicher - Blick nach Westen

Für das **Oberflächenmodell (DOM)** wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Vegetation, Gebäude und diverse, im Bodenmodell eliminierte Kleinformen werden beibehalten.
- Leitungen und Maste werden eliminiert, so weit sie als solche erkennbar sind.
- Brücken sind Teil des Oberflächenmodelles.

### **Fraganterbach**

Gewässer weisen eine sehr unruhige Oberfläche im Laserdatensatz auf, was mit den Reflexionseigenschaften des Wassers zu tun hat: Bei direkter Reflexion kommt es zu Überstrahlung, bei glatter Wasseroberfläche kann es sein, dass auf größeren Bereichen überhaupt keine Punkte reflektiert werden. Im Falle von Überstrahlungen werden Punkte mit fehlerhafter Höhe wiedergegeben, die je nach Intensität bis zu mehreren dm über und unter der Wasseroberfläche betragen kann. Daher werden größere und schlecht dargestellte Gewässer modelliert: Es wird aus den Laserdaten eine Uferlinie digitalisiert (unter Kontrolle mit den Luftbildern, was bei den Stauseen jedoch nicht zielführend war, da der Wasserstand der vorliegenden Luftbilder erheblich von dem der Laserdaten abweicht) und anhand der Gewässerpunkte eine mittlere Gewässerhöhe innerhalb dieser Bereiche gesetzt. Alle Punkte, die nicht mehr als  $\pm 10$  cm von der mittleren Wasserober-

fläche abweichen, als korrekte Bodenpunkte akzeptiert. Dadurch wird der etwas unruhige Charakter der Wasseroberflächen dort, wo Laserechos auftreten, einigermaßen erhalten. Vegetation wird generell bis zu einer Höhe von 1 m über dem Wasser eliminiert, um größeres Rauschen nicht als Vegetation im Oberflächenmodell erscheinen zu lassen.



Abb. 14: Speicher Hochwurten und Großsee

### **Auenbach**

Die großen Autobahnbrücken stellen ein Problem dar, da unterhalb der Boden teilweise nicht durch Punkte abgedeckt ist. Da die Brücken zum Teil allerdings sehr hoch über den Talbereichen verlaufen, sind viele Punkte auch unter den Brücken vorhanden. Im Nordbereich der Autobahn dienen Hangbrunnen (massive Betonzylinder) zur Hangstützung. Diese werden als Teil der Oberfläche betrachtet und sind im Bodenmodell wiedergegeben.



Abb. 15: Autobahn A2 südlich von Gräbern mit den Hangbrunnen

Die fertigen Boden- und Oberflächenmodelle wurden einer endgültigen Kontrolle unterzogen, kombiniert (Mosaikbildung) und im Ergebnisblattschnitt der ÖBK10 (5 x 5 km) ausgegeben.

### **3.1.6.12. [www.geoland.at](http://www.geoland.at)**

Geoland.at ist das Geodatenportal der österreichischen Länder. Darin wird dem Nutzer ein kostenloser und zentraler Zugang auf wichtige Geodatenbestände geboten. Geodaten aller 9 Bundesländer können über den GEOLAND-Viewer in Landkartenform dargestellt und ausgedruckt sowie nach Adressen, Ortsnamen und Koordinaten gesucht werden. Auf der Homepage von [geoland.at](http://www.geoland.at) ([www.geoland.at](http://www.geoland.at)) sind auch im öffentlichen Auftrag in Österreich geflogene Laserscangebiete dargestellt.

### 3.1.7. Geologie

#### 3.1.7.1. Geologischer Überblick

Kärnten als das südlichste Bundesland Österreichs beinhaltet den Übergang von den Ost- zu den Südalpen.

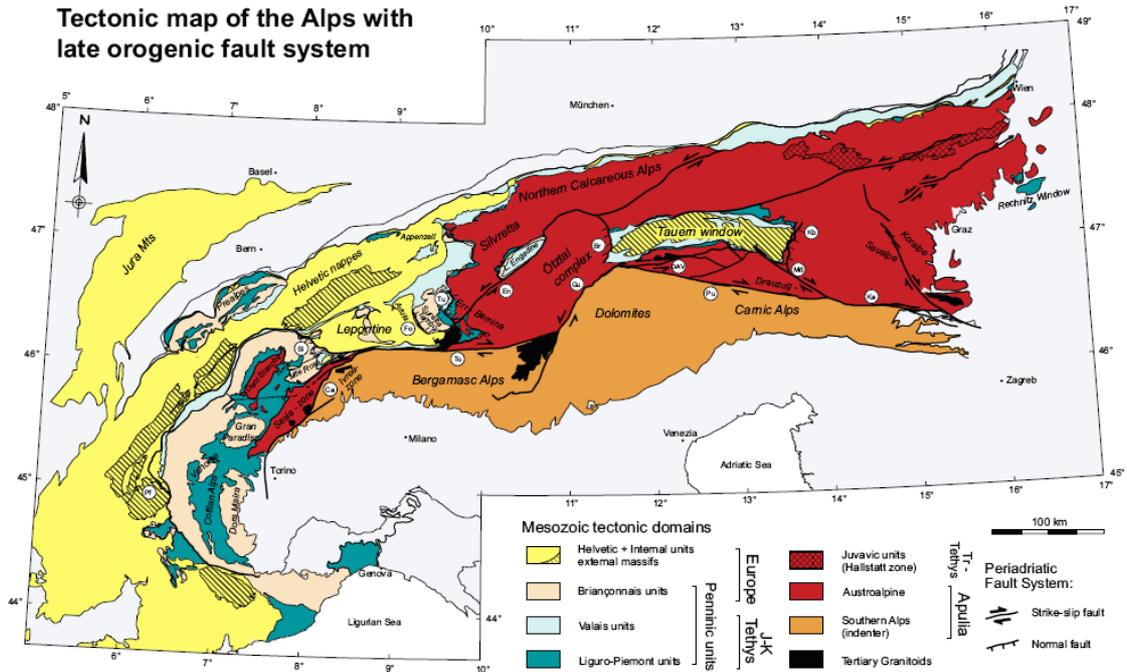


Abb. 16: Tektonische Übersichtskarte der Alpen aus Handy (2004)

Durch K. Krainer (1978) und Tollmann (1977 und 1985) sind die großtektonischen Einheiten in Kärnten folgend eingeteilt worden:

##### 3.1.7.1.1. Das Tauernfenster (Penninikum)

Kärntens Anteil am östlichen Tauernfenster oder Penninikum wird von ostalpinen Decken begrenzt. Das Tauernfenster reicht von der Glocknergruppe über die Sonnblickgruppe bis zur Ankogel-Hochalmspitz-Gruppe und Reißeckgruppe.

Das Tauernfenster wird aus Zentralgneis, der in mehreren Kernen hervortritt, aufgebaut. In Kärnten sind dies der Sonnblick- und Hochalmspitzkern. Die Entstehung der Zentralgneise erfolgte im Perm durch die Intrusion von Graniten bis Granodioriten in ein "Altkristallines Dach". Die Gesteine wurden während der alpidischen Orogenese verschiefert und metamorph überprägt. Heute liegen sie als Gneise vor.

Die Zentralgneiskerne werden von der Schieferhülle dem sogenannten "Alten Dach" umrahmt. Die alte oder innere Schieferhülle wird aus paläozoischen Gesteinen aufgebaut (Phyllite mit eingeschalteten basischen bis sauren Vulkaniten wie Porphyroide, Diabase, Metagabbros, Prasinite usw.). Die äußere oder junge Schieferhülle besteht aus metamorph überprägten Sedimenten mit vulkanischen Einschaltungen, die vom Perm bis in die Unterkreide reichen.

Das Tauernfenster wurde im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung stark tektonisch überprägt.

### **3.1.7.1.2. Ostalpin**

Das Ostalpin wird folgend untergliedert:

#### **Unteralpin:**

Im Süden wird das Tauernfenster von der Matreier Zone begrenzt. Diese Zone wird vereinzelt auch zum Tauernfenster gezählt und dort als Tauernflysch bezeichnet. Die Sedimentation erfolgte in der Kreide, später wurden die Gesteine metamorphisiert. Die Phyllite der Katschbergzone begrenzen das Tauernfenster im Osten.

#### **Oberostalpin:**

Die Gurktaler Decke und der Drauzug (Gailtaler Alpen und Nordkarawanken) überlagern das darunterliegende Altkristallin.

#### **Mittelostalpin:**

Kommt in der Schober-, der Kreuzeck- und in Teilen der Goldeckgruppe, in den Ossiacher Tauern, in den südlichen und westlichen Teilen der Nockberge sowie in der Sau- und Koralpe vor. Die Mehrzahl der Gesteine wird dem Altkristallin zugeschrieben, es sind vor allem Glimmerschiefer, Para- und Orthogneise, Amphibolite, Quarzite, Eklogite und Marmore. Im Nockalmgebiet treten mesozoische Sedimente auf, diese werden als Stangalm-Mesozoikum bezeichnet.

#### **Die Altkristallinkomplexe und die Gurktaler Decke:**

Die Kristallinkomplexe der Kreuzeckgruppe und des westlichen Nockgebietes liegen südlich und östlich des Tauernfensters. Das Altkristallin im östlichen Nockgebiet und im Mittelkärntner Raum wird von der oberostalpinen Gurktaler Decke überlagert. Im Nordosten des Landes in der Sau- und Koralpe kommen wieder altkristalline Gesteine vor.

#### **Altkristallin der Kreuzeckgruppe:**

Die nördlichen Teile der Goldeckgruppe sowie der Sadniggruppe bilden den Altkristallinzug, der von Spittal/Drau südlich des Tauernfensters nach Westen zieht und sich in der Schobergruppe fortsetzt. Der Nordteil (Polinik - Sadnig) wird von Paragneisen mit eingeschalteten Eklogitamphiboliten aufgebaut, im Südteil dominieren Granatglimmerschiefer mit Orthogneiseinschaltungen (Wildhorn). Jungalpidische Ganggesteine, saure Quarzporphyrite und basische Andesite intrudierten im Oligozän (Tertiär) an verschiedenen Stellen in das Altkristallin.

#### **Altkristallin östlich der Gurktaler Decke (Sausalpen-und Koralpenkristallin):**

Die Nord - Süd verlaufende Sausalpe und Koralpe werden von zwei voralpidisch entstandenen tektonischen Decken gebildet. Die tiefer liegende Koralpendecke wird aus mesozonalen Kristallingesteinen aufgebaut, die höhere Sausalpendecke zeigt eine intensivere katazonale Metamorphose.

Gesteine der **Stubalpendecke** treten im Wolfsberger Fenster und im Klieningfenster unter der Saualpendecke hervor. Es handelt sich vor allem um Granitgneise und Augengneise sowie Granatglimmerschiefer. Die wichtigsten Gesteinstypen der Saualpendecke sind Granat-, Disthen-, Staurolithglimmerschiefer, Platten- und Flasergneise, daneben treten Eklogite, Amphibolite, Eklogitamphibolite, Marmore und Pegmatite auf.

Die **Kristallinabfolge der Saualpendecke** wird folgend untergliedert: An der Basis sind Schiefergneise und eingelagerte Marmorzüge der **Stelzinger-Marmor-Serie**, darüber folgt die **Eklogitserie** als Wechsellagerung von Disthenflasergneishorizonten und drei Schiefergneiszügen mit Einschaltungen von linsenförmigen Eklogitkörpern und Kalksilikathorizonten. Granatglimmerschiefer mit Einsprenglingen von zahlreichen, bis dm-mächtigen Pegmatiten werden als **Injektionsglimmerschieferserie** bezeichnet. Darüber liegt die **Hüttenberger Serie** mit verschiedenen Glimmerschiefern und mächtigen, teilweise vererzten Marmor- und zahlreichen Pegmatiteinschaltungen. In der **Plankogelserie** treten Granatglimmerschiefer mit eingeschalteten Serpentiniten, Manganquarziten, Amphiboliten und Marmoren auf. Eine bis 800 m mächtige Abfolge aus Glimmerschiefern mit eingelagerten Marmorzügen wird als **Zosener-Marmor-Serie** bezeichnet. Granatglimmerschiefer und eingeschaltete Amphibolitzüge kennzeichnen die **Kräupinger Serie**. Granat- und Staurolithglimmerschiefer mit eingeschalteten Marmorzügen bilden die oberste **Waitschacher Serie**.

Zur komplexen Gesteinszusammensetzung des Sau- und Koralpenkristallins kommen eine komplizierte, mehrphasige tektonische Überprägung und mehrere Metamorphosen hinzu.

#### **Gurktaler Decke:**

Die oberostalpine Gurktaler Decke liegt auf den Altkristallin und erstreckt sich von der Linie Innerkrems - Oberwölz (Steiermark) - Hüttenberg bis ins Vorland der Ostkarawanken. Sie besteht aus der tieferen Murauer- und der höheren Stolzalpendecke.

#### **Gailtaler Alpen (Drauzug):**

Die Gailtaler Alpen und Lienzer Dolomiten im Westen bestehen aus kristallinem Grundgebirge "Gailtalkristallin" und darüberliegenden permomesozoischen Sedimenten. Karbon tritt nordwestlich von Nötsch auf. Im nördlichen Bereich des Drauzugs, bei Stockenboi, bilden schwach metamorphe altpaläozoische Phyllite die Basis.

#### **3.1.7.1.3. Südalpin**

##### **Karnische Alpen:**

Die Karnischen Alpen bestehen aus stark differenzierten, fossilreichen und diagenetisch bzw. metamorph kaum überprägten paläozoischen Gesteinen. Mesozoische Gesteine kommen im Gebiet des Gartnerkofels auf dem Paläozoikum vor.

### **Karawanken:**

Mesozoische Gesteine überwiegend aus der Trias, bauen die Karawanken auf. Das Periadriatische Lineament verläuft Ost - West durch die Karawanken, es trennt die Süd- von den Ostalpen.

#### **3.1.7.1.4. Tertiärfüllungen des Lavanttaler und Klagenfurter Beckens sowie des Karawankenvorlandes**

Die Erosion der Alpen setzte mit der Gebirgsbildung im Jungtertiär ein, inneralpine Becken und das Alpenvorland wurden synorogen mit dem Abtragungsschutt verfüllt. Zwischen Sau- und Koralpe wurde an Nord-Süd streichenden Brüchen das **Lavanttal** als eine bis zu 1.000 m tiefe Einsenkung gebildet, die mit Tertiärsedimenten aus dem Miozän verfüllt worden ist.

Im **Klagenfurter Becken** und im Karawankenvorland setzt die tertiäre Sedimentation im Sarmat ein (vor rund 12 bis 14 Millionen Jahren), marine Sedimente fehlen.

#### **3.1.7.2. Tektonik**

In den 70er Jahren kam es zur Übernahme des Paradigmas Plattentektonik in die Erdwissenschaften. Auf Grund der Erkenntnisse der Plattentektonik konnten nunmehr die Bildung von Gebirgszügen (Orogenesen) und auch viele tektonische Strukturen erklärt werden. Alle Gebirge der Welt sind durch **Subduktion** (Bsp.: Anden, nordamerikanische Kordilleren) oder **Kontinent-Kontinent-** oder **Kontinent-Inselbogen-Kollisionen** (Bsp.: Alpen oder Himalaya) entstanden. Der Motor der Plattentektonik sind Konvektionsbewegungen im Erdmantel.

Im Miozän wurden Teile der Ostalpen durch die Kollision der Platten zu einer ostgerichteten Ausweichbewegung in den pannonischen Raum gezwungen. Die von Süden nach Norden gerichtete Konvergenz des südalpinen (adriatischen) Blocks gegen das stabile europäische Vorland im Norden wird durch das Ausweichen großer keilförmiger Fluchtschollen nach Osten in den Pannonischen Raum ermöglicht. Die Hauptbewegungsbahnen der zentralalpinen Einheiten waren das Periadriatische Lineament und die Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Linie (SEMP). In den Kalkalpen wird ein Teil der Bewegungsenergie aus der SEMP in sekundäre Verschiebungen aufgesplittet. Viele Störungssysteme im Kärntner Raum lassen sich anhand dieser Bewegung tektonisch erklären.

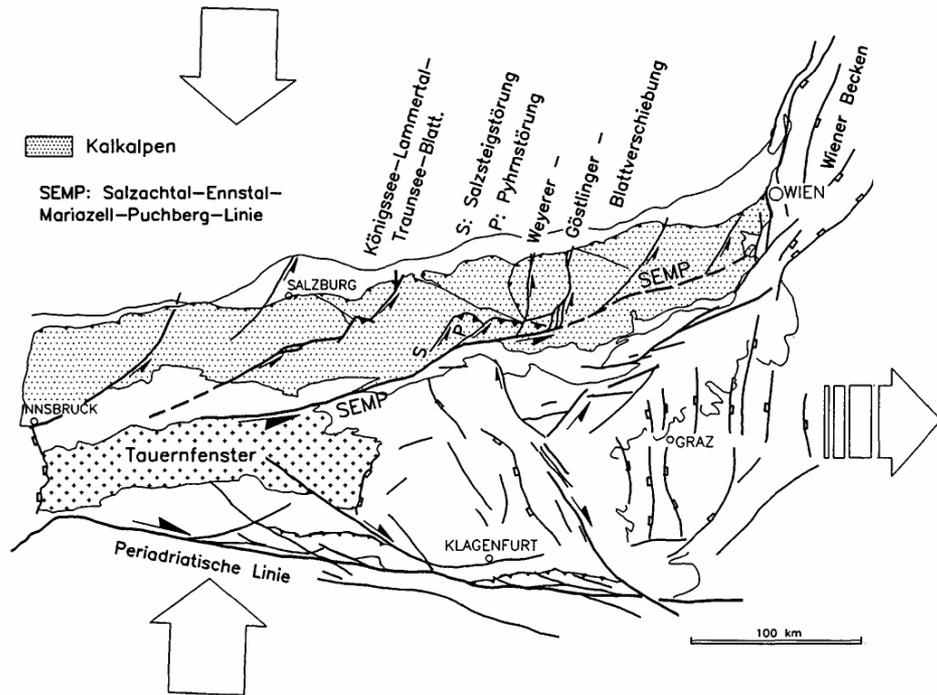


Abb. 17: Tertiäre Störungssysteme im Mittel- und Ostabschnitt der Ostalpen aus Decker (1994)

Diese Bewegungen sind von Behm 2006 durch neueste geophysikalische Erkenntnisse bestätigt worden.

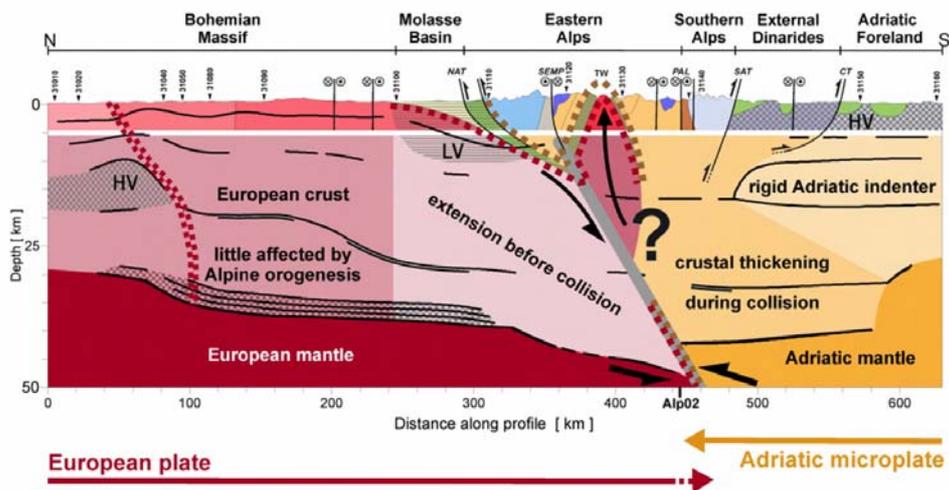


Abb. 18: Erkenntnisse über den Tiefbau der Ostalpen aus neuen seismischen Großexperimenten aus Behm (2006)

Vereinfachte geologische Karte Kärntens:

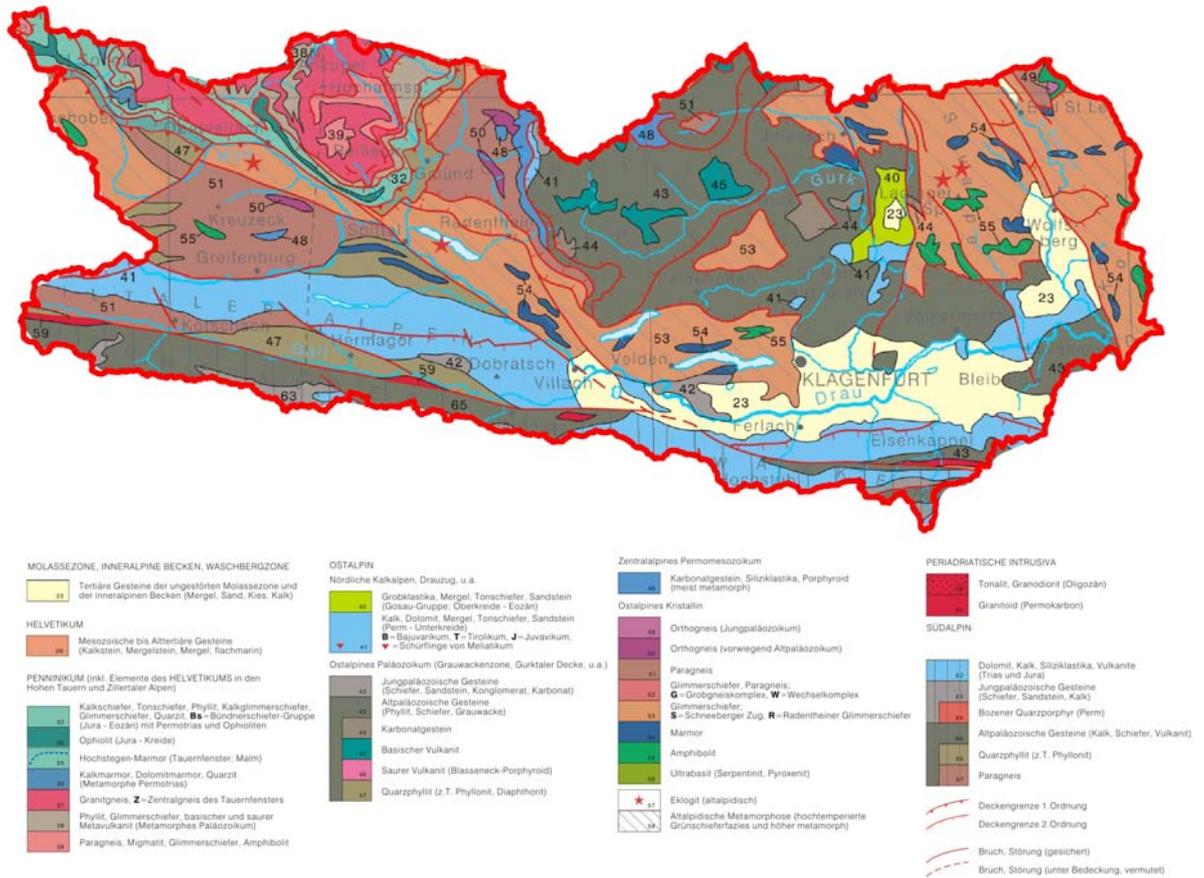


Abb. 19: Geologische Übersichtskarte nach Krainer (1978)

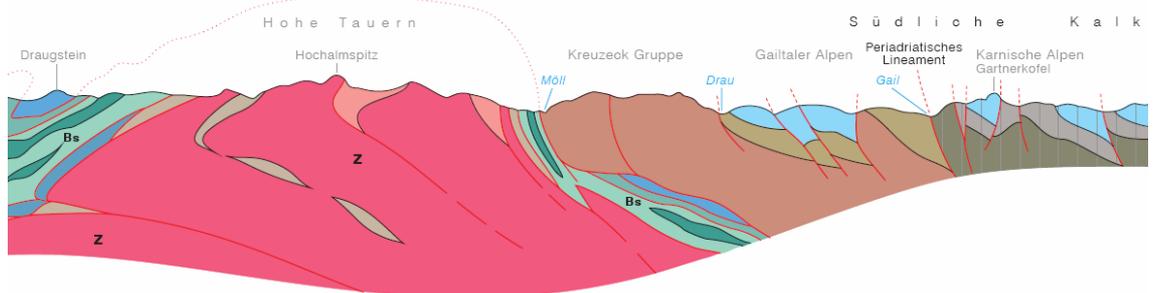


Abb. 20: Nord – Südprofil durch die Alpen, Ausschnitt aus der geologischen Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1.500.000 (ohne Quartär); Egger et. al.(1999)

### 3.1.7.3. Regionale Geologie

In diesem Abschnitt wird auf die regionale Geologie, Lithologie und Tektonik in den beiden Untersuchungsgebieten eingegangen.

#### 3.1.7.3.1. Fragnerbach

Die Sonnblick- oder Goldberggruppe ist Teil der Hohen Tauern, die eine Untergruppe der Zentralalpen in den Ostalpen darstellen. Sie befindet sich in den Bundesländern Salzburg und Kärnten. Der höchste Gipfel ist der Hocharn mit 3.254 m. Weitere Gipfel sind der Hohe Sonnblick mit dem Observatorium in 3.106 m Höhe und das Schareck mit 3.123 m.

Tollmann gliederte das östliche Tauernfenster 1977 in folgende Einheiten:

Der **Zentralgneis** bildet die Hauptgesteinsmasse im östlichen Tauernfenster (Gastein, Reißbeck und Hochalm). Diese Einheit ist als nordvergente Decke über die paläozoische tiefere Einheit im Südosten (Gößgraben) überschoben und verfault worden. Die Gasteiner Decke hat nach Tollmann alpidisches Alter. Im Liegenden dieser Decke tritt in den zentralen Schiefen der Reißbeckmulde kein Mesozoikum auf. Nach radiometrischen Untersuchungen sind Teile des Zentralgranites der Tauern erst im Perm entstanden, als in den Ostalpen keine deckenbildende Orogenese mehr stattgefunden hatte. Der Bau der Gneisfaltendecken und auch ihre Vergenz stimmen mit dem regionalen Einfallen der Schieferhüldecken überein.

Die **Storzdecke** ist über das Gneisstockwerk geschoben. Sie ist das altkristalline Dach eines südlicheren Abschnittes des Zentralgneises und ist nordwärts deckenförmig abgeschert und verfrachtet worden. Sie überlagert die mesozoischen Silbereckmarmore und Zentralgneisrandspäne.

Die folgende **Rotewand-Decke** beginnt mit der Rotewand-(Modereck-)Gneislamelle und ist stratigraphisch als Brennkogel-Fazies der Nachtrias über der Seidlwinkltrias folgend beschrieben.

Die Seidlwinkltrias wird von Tollmann zur "**Oberen Schieferhüldecke**" gestellt. Die **Obere Schieferhüldecke** oder **Glocknerdecke** im engeren Sinn umrahmt den gesamten Tauernbereich mit Triasspänen oder eingeschuppten Heiligenbluter Serpentin (ehemaliger Ozeanboden) der sich sehr stark von der Kalkglimmerschiefer / Grünschiefer-Fazies der Glockner-Fazies unterscheidet.

Die **Matreier Schuppenzone** ist als hangendste tektonische Haupteinheit im Süden schmal entwickelt, gegen Norden nimmt die Mächtigkeit zu. Diese Nordrahmenzone wird aus kalkarmem Material (Schwarzphyllite, Hellphyllite und Quarzite) aufgebaut. Tektonisch kam es zu starker Beanspruchung und Einschuppungen von unterostalpinen Triasspänen und anderen Gesteinen.

Der **Klammkalkzug** im Nordosten des Tauernfensters wird als höchstes, faziell eigenes penninisches Element angesehen.

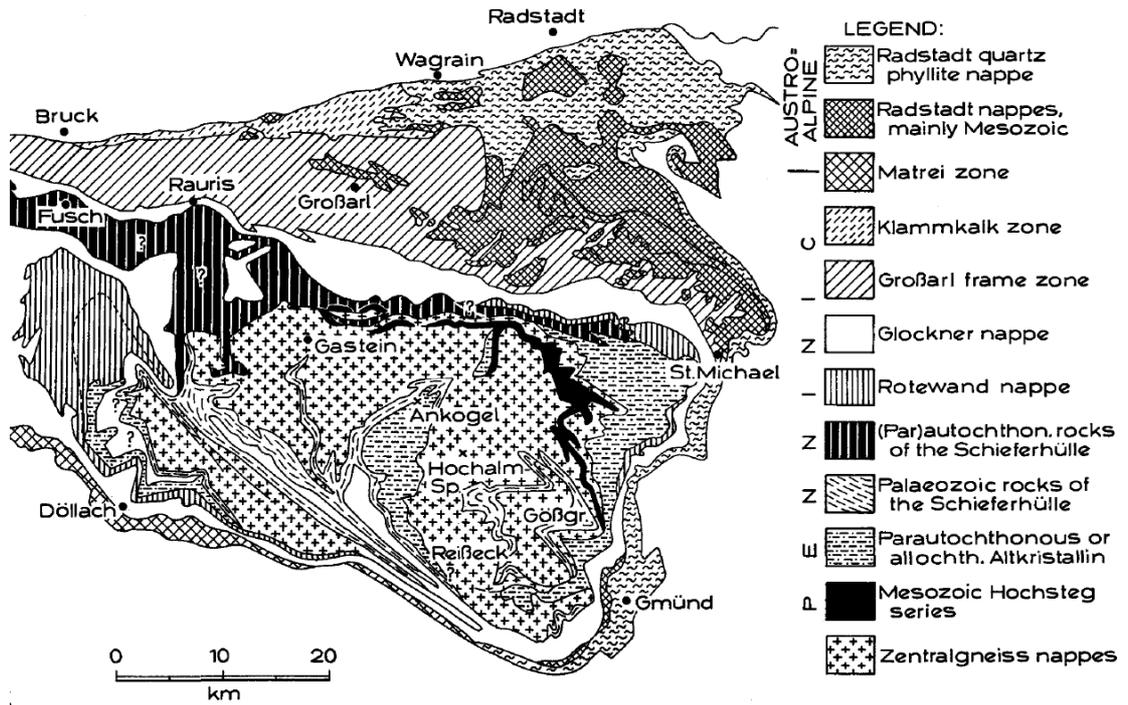


Abb. 21: Das östliche Tauernfenster aus Tollmann (1980)

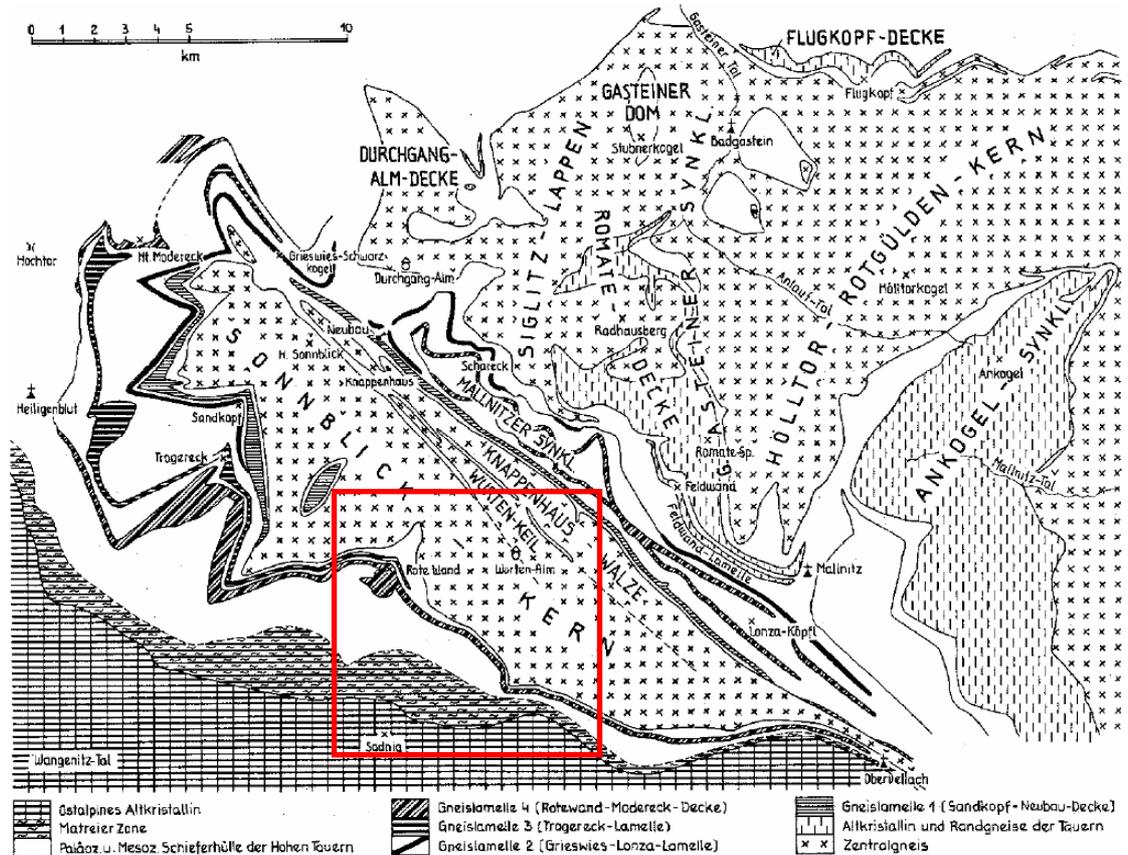


Abb. 22: Geologische Übersicht des östlichen Tauernfensters aus Tollmann (1977) rot = Bearbeitungsgebiet

Der Zentralgneis des Hohen Sonnblicks besteht aus einheitlich, mittel- bis grobkörnigem saurem I-Typ Biotit-Granit. Dieser ist im Zuge der variszischen Orogenese des Paläozoikums als granitisches Magma über einer Subduktionszone entstanden. Während der alpidischen Orogenese soll die metamorphe Überprägung unter niedrigeren Amphibolitfaziesbedingungen geschehen sein. Weiterführende Bearbeitungen zu den Themengebieten Petrologie und Tektonik sind unter anderem von Stüwe (1991) und von Dözl-müller (1988) publiziert worden.

Kurz beschrieb 1994 die tertiären Sprödstrukturen im östlichen Tauernfenster anhand von mesoskopischen Sprödstrukturen. Sein Untersuchungsgebiet schließt im Osten an den Fraganterbach an.

Aus den Messungen ergaben sich Indizien für eine großräumige sinistrale, Ost-West streichende Seitenverschiebung, die während des Aufstiegs des Tauernfensters innerhalb von zwei Blattverschiebungen entstanden ist.

Die Geologische Bundesanstalt führte von 1988 - 1990 ein Projekt in der Matreier Schuppenzone zur Untersuchung der Deckenkinematik des alpinen Orogens durch. Aus den Geländeaufnahmen 1988 - 1990 ist ein durchgehendes Profil des Ostalpinen Altkristallins (Sadnig) über die Matreier Zone (Makernigspitz) und die Schieferhülle der Glocknerdecke (Rote Wand und Sandfeldkopf) bis hin zum Zentralgneis des Sonnblick-Kerns (nordwestlich der Bogenitzenscharte und nördlich des Sandfeldkopfes) entstanden.

### **Zentralgneis des Sonnblick-Kerns und die parautochthone Umhüllung**

Das Liegende bilden die monotonen Augengneise des Sonnblick-Kerns, der von Amphibolitbändern durchtrennt wird. In Störungen, Schwächezonen oder Scherbahnen ist dieser Augengneis feinkörnig und stärker geschiefert. Sekundär, tektonisch gebildeter Quarzit tritt im Verband mit Gneisphylloniten, Quarzitschiefern und quarzitischen Gneisen auf. Am Grat von der Saustellscharte zum Saukopf sind ab 2.640 m im Hangenden des Zentralgneises die Schiefer des alten Dachs aufgeschlossen.

Der Zentralgneis innerhalb der Dachgesteine nordwestlich des Saukopfs ist durch tektonische Verschuppung und Hebung erklärbar. In der Umgebung des Saukopfs kommen fast alle Gesteine des alten Dachs vor, daher wird dieser Bereich zum Dach und nicht zum Zentralgneis gestellt.

Beschreibung der Geologie im Bereich der Zentralgneise aus T. Stadlmann, C. Stejskal & P. Neumayr; Bericht über geologische Aufnahmen auf Blatt 154, Rauris 1989.

### **Niedere Scharte– Schareck**

Als tektonisch tiefste Einheit baut der Zentralgneis des Sonnblick-Kerns den Alteck NE-Grat bis wenige 100 m SW der Niederen Scharte 2.695 m auf. Im Bereich der Niederen Scharte folgt gegen E eine Zone mit Einschaltungen praevariszischer Anteile des Alten Daches in stark deformierten Zentralgneis. Amphibolite und leukokrate, plattige Hellglimmer-Gneise und gebänderte Biotit-/Plagioklasgneise sind mit Zentralgneisan-teilen in einen NE-vergenten Faltenbau einbezogen

Weiter gegen NE folgt die "**Knappenhauswalze**" (Exner, 1964), die den Goldberg-Tauernkopf und den Bereich der Fraganter Scharte bis zum Fuß des Herzog-Ernst-SW-Grates einnimmt. Am Herzog Ernst-SW-Grat setzt eine etwa 100 m mächtige Abfolge von feinkörnigen, teils gebänderten Amphiboliten im Wechsel mit geschieferten Plagioklasgneisen und Chloritschiefern ein. Das Gesteinsmaterial und der Aufbau dieser Abfolge sind mit präpermischen Meta-vulkanitsequenzen der Habachformation vergleichbar und stellen den tektonisch tiefsten Anteil der Hüllgesteine des Sonnblickkernes dar.

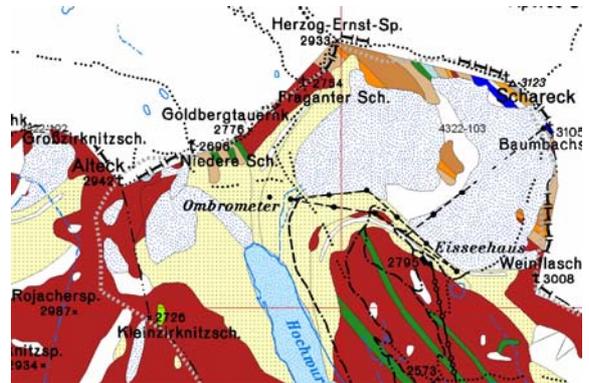


Abb. 23: Niedere Scharte und Schareck Kartenausschnitt aus der digitalen geologischen Karte

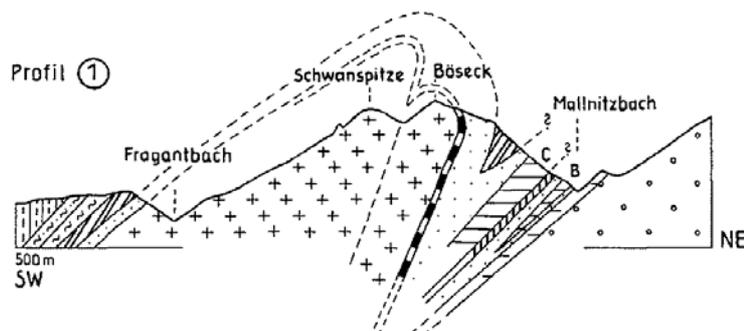
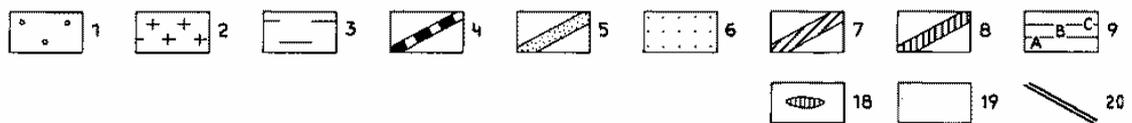


Abb. 24: Profil vom Fraganter- ins Mallnitztal der SE-Ecke des Tauernfensters, aus Exner (1984)

**Legende:**



1 = tektonisch tiefste Einheiten (ungegliedert) des Ankogel-Hochalm-Reißbeck-Gebietes; 2 = Granitgneis des Sonnblickkernes und der Sonnblicklamelle; 3 = Storzserie; 4 = Neubaudecke; 5 = Murtörlserie; 6 = Schiefer verschiedener Zusammensetzung, hauptsächlich Schwarzschiefer und Glimmerschiefer; 7 = Schrovinserie; 8 = Lonzalamelle und Basis der Kolmdecke; 9 = Kalkschiefer und Grünschiefer; 10 = Rote Wand-Modereckzone und Glocknerzone.

Rahmenzone (Matrei-Katschbergzone): 11 = progressiv metamorpher Quarzphyllit mit Schollen von Serpentin, Quarzit und Karbonatgesteinen; 12 = diaphthoritischer Quarzphyllit.

**Schieferhülle der Glocknerdecke**

Die Schiefer der Glocknerdecke beginnen mit granatführendem Schwarzphyllit, der auch mit Glimmerschiefer verschuppt vorkommt. Die flache Lage der Hauptfoliation mit ca. 30° nach Südwest einfallend bedingt eine großräumige Verbreitung der Glocknerdecke auf den Hängen. Kalkglimmerschiefer bilden auf Grund der Lage der Schieferung südwestlich des Sandfeldkopfs eine Hochfläche. Als Linsen kommen Serpentinite und auch Dolomimbrekzien vor.

### **Matreier Schuppenzone**

Der Übergang von Glocknerdecke - Matreier Schuppenzone ist nicht exakt; Scherbandfoliationen und die Bildung von duktilen Myloniten (Kataklasiten) nehmen zu. Duktile (Quarzite, Kalkmarmore) bis spröde Deformation (Dolomitmarmore) tritt auf.

Der Bretterich-Marmor zieht sich bis zur Nordflanke der Makernigspitze. Durch zwischengelagerte Chloritschiefer-Bänder ist er von den anderen Kalkmarmoren einfach zu unterscheiden. Auffällig ist auch die Mächtigkeitzunahme von weniger als 30 m am Makernig-Westgrat bis auf ca. 220 m am Bretterich.

### **Kristallin der Sadnig-Gruppe**

Der Übergang von der Matreier Schuppenzone zum Kristallin der Sadnig-Gruppe ist eine ca. 5-20 m mächtige Zone von extrem zerscherten Phylliten und Phylloniten. Zwischen Mülleter Sadnig, Sadnig und Melenboden liegt der relativ eintönige Komplex von Paragneisen und Granatglimmerschiefern des Altkristallins.

Die Hoferkopf- und Melenkopf-Serie sind Ostalpinen Kristallin, die Sadnig-Serie hingegen, die dem Kristallin zugeordnet worden ist, wird mit der Matreier Zone verknüpft. Fuchs und Linner (2005) konnten die von Exner und Prey (1964) beschriebene Großüberschiebung an der Basis des Ostalpinen Kristallins über der Matreier Zone im Gelände nicht erkennen. Aus diesen Erkenntnissen folgte für Fuchs und Linner, dass das Ostalpine Kristallin der Sadnig-Gruppe aus zwei Formationen besteht:

Die **Hoferkopf-Serie** besteht aus plattig-bankigen quarzitischen Paragneisen, Glimmerschiefer, Amphibolit, Eklogit und Augengranitgneis. Die **Melenkopf-Serie** besteht aus Glimmerschiefer, Schiefergneis, Augengranitgneis und untergeordnet Amphiboliten.

Die **Sadnig-Serie**, bisher „Altkristallin“, wird aus Glimmerschiefern und Quarziten aufgebaut, die durch ruhige, feinsandig-tonige Sedimentation entstanden sind. Sie wird als Paläozoikum der Matreier Zone gedeutet.

Die **Zaneberg-Serie** ist das Permo-Skyth der Matreier Zone und besteht aus Quarzphylliten, Quarziten und Brekzienschiefern. Diese Gesteine sind Indikatoren für Fazieswechsel zwischen tonig-sandigem und gröberklastischen Sedimentationsmilieu. Die Trias tritt als Dolomit- und Kalkmarmor auf, der Jura als Schwarzphyllit, Kalkglimmerschiefer (Bündner Schiefer) und Grünschiefer.

Die auskartierten Störungen passen in die Kinematik des Periadriatischen Lineaments. So gibt es zwischen Sadnig- und Melenkopf-Serie eine steile Transpressionszone als tektonische Grenze, an der sich die gegeneinander bewegenden Blöcke verkeilt haben.

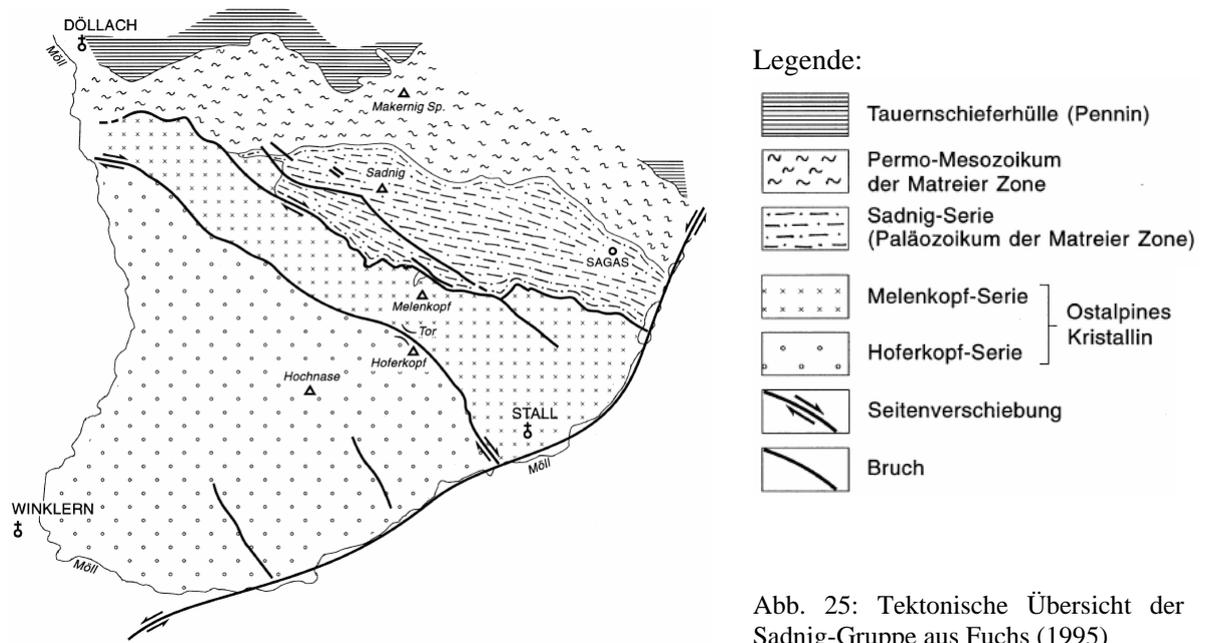


Abb. 25: Tektonische Übersicht der Sadnig-Gruppe aus Fuchs (1995)

## Quartär

Die Rutschungsanfälligkeit der Gesteinsserien ist in den parallel zur Foliation nach SW geneigten Hängen des Bretterich - Kamms erkennbar. Die Schieferhänge sind flächenhaft mit Hangschutt bedeckt. Bergzerreibungen und große gravitative Massenbewegungen treten am Grat zwischen Roter Wand und Sandfeldkopf auf. Auf Grund der Höhendifferenz zwischen dem Gipfel- und Talbereich sind die Talflanken meist sehr steil ausgebildet. Die Übertiefung durch eiszeitliche Gletscher verursachten instabile Hangverhältnisse. Moränenböden sind in den Melenböden, der Ebene westlich der Fraganter Hütte, in der Bogenitzen, im Hochtal zwischen Saustellscharte und Kometerhütte und nördlich der Krackköpfe zu finden. Gut erhaltene Seiten- und Endmoränen-Wallformen sind im Bereich W Rotwanddeck, N Kröllalm, W Schobertörl, zwischen Kabitzenbühel und Mulleter Sadnig zu finden. Auf den Melenböden sind drei verschiedene Rückzugsstadien des Gletschers zu finden.

### 3.1.7.3.2. Auenbach

Die Saualpe ist ein Nord-Süd verlaufender Gebirgszug im Osten Kärntens, der beidseitig von parallelen Tälern und Ebenen begrenzt wird. Der steile Abfall nach Westen wird von der Görtschitztaler Störung verursacht. Im Norden geht die Saualpe in die Seetaler Alpen über. Im Süden taucht die Saualpe unter das östliche Klagenfurter Becken ab. Dieser Gebirgszug besteht aus einem hochkristallinen Kern, der im Westen und Süden von immer schwächer metamorphen Serien ummantelt wird.

Der Auenbach liegt im nordöstlichen Teil des kristallinen Saualpenkomplexes, der Teil des Ostalpinen Deckensystems ist. Die hoch-gradig polymetamorphen Gesteine sind unter niedrigster Grünschiefer- zu höherer Amphibolit- bis zu Eklogitfazies gebildet worden. Eklogite und verwandte metabasitische Intrusionen sind in verschiedenen Niveaus der Sausalpe zu finden. Diese Gesteine sind in der Kreide im Zuge der frühalpiner Subduktion entstanden.

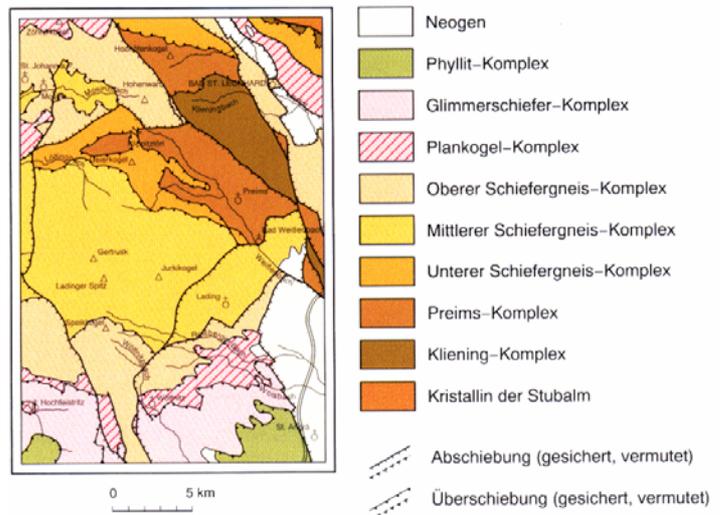


Abb. 26: Geologische Übersichtskarte der Sausalpe von Weissenbach (1978)

Ähnliche Gesteine befinden sich auch im benachbarten Korallengebiet, das eine vergleichbare Gebirgsbildung und Metamorphose durchgemacht hat.

Die Sausalpe und Umgebung ist im Zeitraum von 1957 bis 1975 durch eine Arbeitsgemeinschaft der Lagerstättenuntersuchung der Österreichischen Alpen Montangesellschaft (ÖAMG) mit den geologischen Instituten Clausthal, Tübingen und Wien geologisch kartiert worden.

Vom Hangenden zum Liegenden wurden folgende Gesteinsserien unterschieden:

Das **nichtmetamorphe Deckgebirge** besteht aus oberkarbonischen, permischen und triadischen Sedimenten. Diese wurden von der Gosaukreide transgressiv und diskordant überlagert. Darüber liegt terrestrisches, dann marines Eozän, das diskordant von terrestrischem Miozän überdeckt wird.

Das **obere Stockwerk** des kristallinen Saualpenkomplexes einschließlich der Magdalensberg-Serie (auch als "Bischofbergserie" bezeichnet) ist von der variszischen Faltung erfasst worden. Sie besteht aus einer oberen, nicht bis schwach metamorphen Gruppe und einer unteren Phyllitgruppe.

Das **mittlere Stockwerk** der Sausalpe, die Glimmerschiefergruppe, leitet sich ebenfalls von einer klastischen Geosynklinalfüllung mit eingeschalteten Vulkaniten und Kalken ab. Nach lithologischen, tektonischen und metamorph-faziellen Gesichtspunkten wird das mittlere Stockwerk in die obere Glimmerschiefergruppe, die untere Glimmerschiefergruppe und die Plankogelserie eingeteilt.

Die **obere Glimmerschiefergruppe** stellt eine synmetamorphe Decke mit wahrscheinlich größerer Überschiebungsweite dar, die an einer schräg durch die Schichtfolgen verlaufenden retromorphen Zone auf die darunter liegende untere Glimmerschiefergruppe aufgeschoben wurde.

Die **untere Glimmerschiefergruppe** wird von der oberen durch eine metamorphe Lücke getrennt, die durch eine Deckenüberschiebung bedingt ist.

Die **Plankogelserie** bildet den tiefsten Teil der Glimmerschiefergruppe. Sie wird durch Gesteinsvergesellschaftung von dunklen, knotigen Granat-Staurolith-Glimmerschiefern, Marmoren, Kalksilikatgesteinen, Quarziten, Granatamphiboliten, Biotit-Plagioklas-Schiefern und Granat-Glimmerschiefern gekennzeichnet.

Das **zentrale Kristallin** wird in stark rekristallisierte Schiefergneise und schwächer rekristallisierte, Disthenfasergneise untergliedert. In den tieferen Teilen stellen sich erneut Marmorzüge ein, die von feinlagigen Paragneisen unterlagert werden. Sie bilden die Basis des zentralen Stockwerks.

Das Basisstockwerk der Saualpe erscheint im **Fenster der Kliening**. Es besteht aus Schiefergneisen, groben Glimmerschiefern und Amphiboliten sowie geringmächtigen Marmoren, Kalksilikatschiefern und Quarziten. Das Basisstockwerk der Kliening hat eine eigene Kristallisationsgeschichte im Gegensatz zum Saualpenkristallin. Es gehört zum nördlich, an das Saualpen- und Korralpenkristallin, anschließende Stubalpenkristallin.

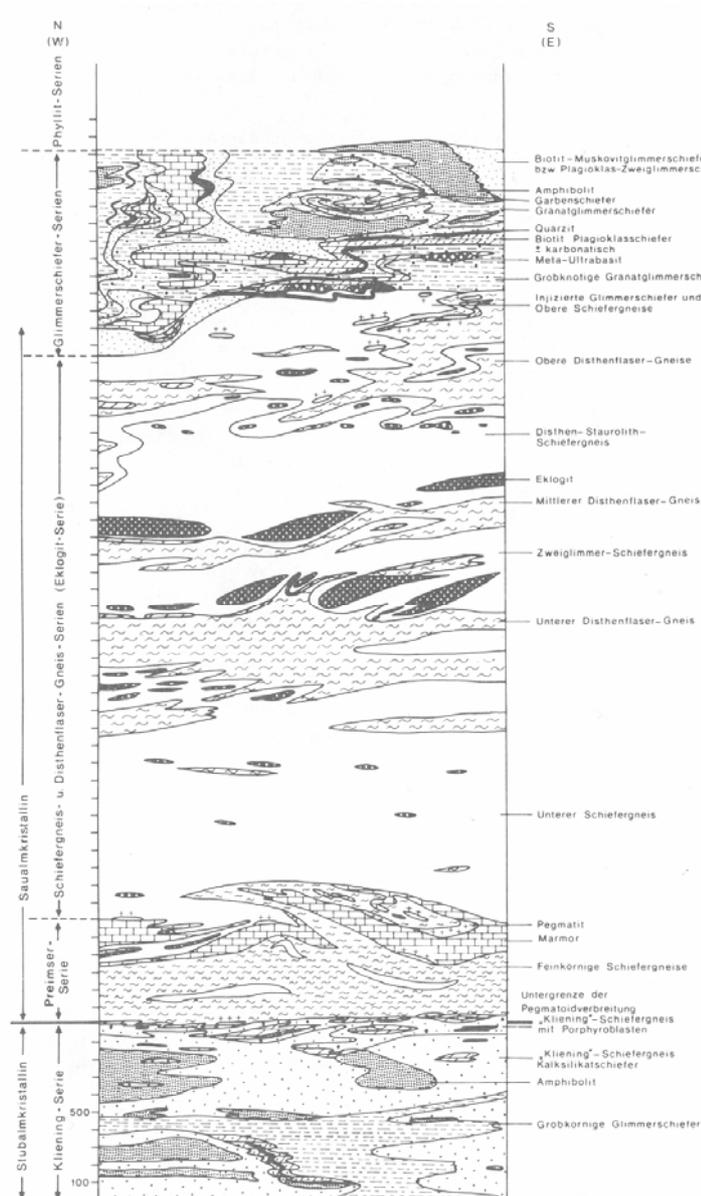


Abb. 27: Schichtenprofil durch das Hochkristallin der Saualpe aus Pilger (1975)

Ab der Oberkreide ist der Bereich der Saualpe Abtragungsgebiet. Seit dem Miozän wird das Gebirge an großen Störungen, meist Abschiebungen, emporgehoben.

Die mylonitisierten Störungen im Mittelabschnitt des Lavanttales, die in NNW-SSE Richtung streichen, sind von Metz 1978 beschrieben worden. Weitere ähnliche Störungen begrenzen das Klieningsfenster, diese Schwächezonen bilden auch die Auentalstörung die als Seitenverschiebung anzusehen ist. Das Störungsbild des Kalcherkogeltunnels der A2 Autobahn an der Grenze Steiermark - Kärnten zeichnet nach Brosch 1983 auch die Pölser- und Packer-Störungslinie nach. Diese Störungssysteme sind gut mit dem Störungssystem der Saualpe zu korellieren.

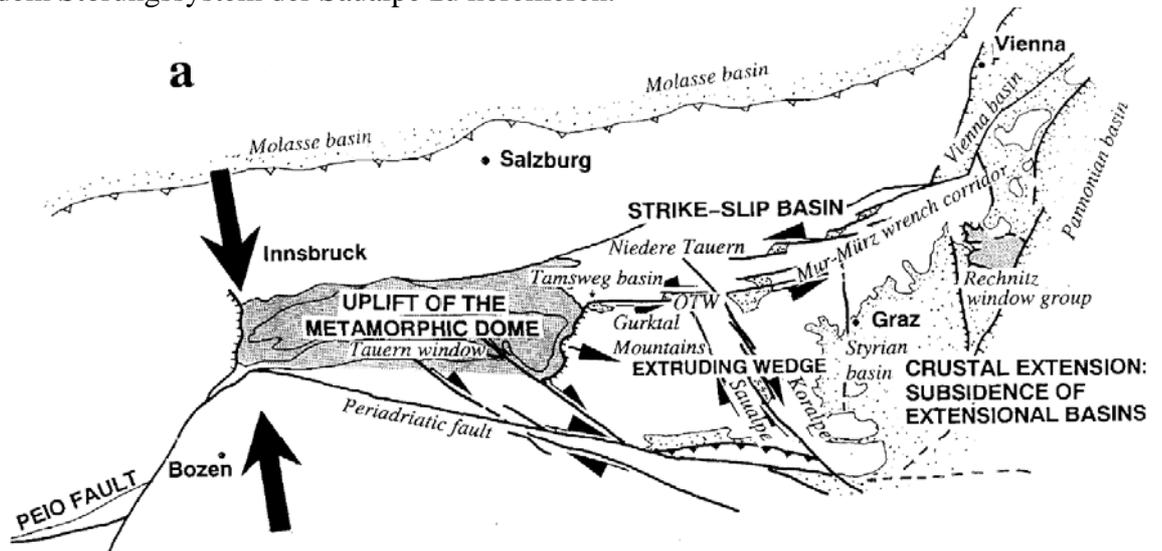


Abb. 28: Miozäne laterale Auspressung (OTW: Oberwölz-Tamsweg Seitenverschiebungsbahn) aus Neubauer (2000)

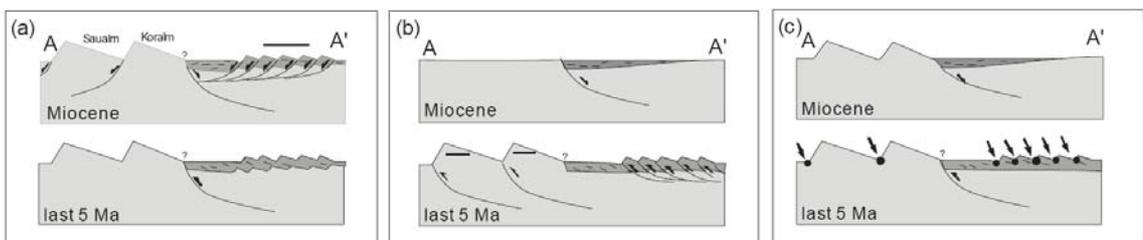


Abb. 29: Schematisches Ost-West Profil durch den Rand des steirischen Beckens von Hüttenberg (Kärnten) nach Gleichenberg (Steiermark) mit 3 verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten der Asymmetrie der Täler aus Stüwe (2006)

Im Bereich des Auenbachs treten die Preimser und Kliening Serie auf:

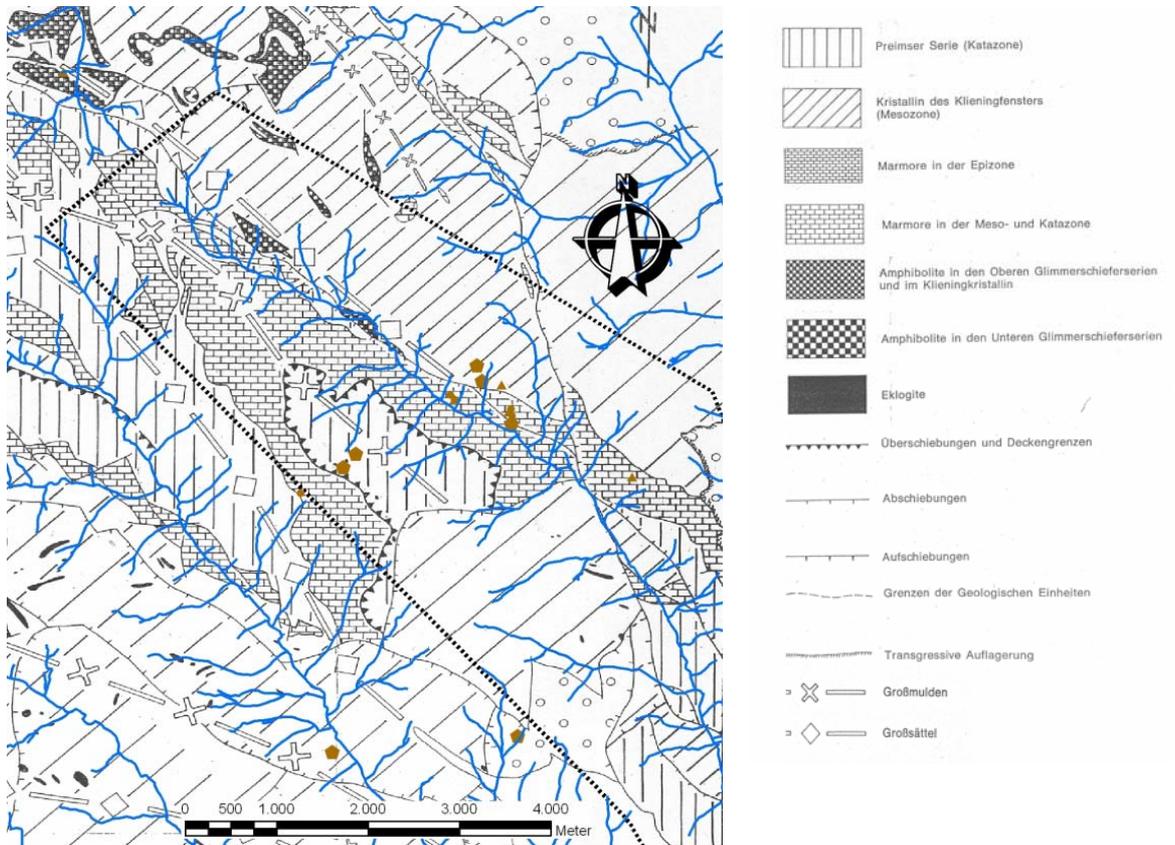


Abb. 30: Ausschnitt aus der Geologischen Karte der Sausalpe nach Pilger (1975) mit ALS Gebiet (schwarz gepunktete Linie), Ereigniskatasterpunkten und Gewässernetz

Der Gesteinsinhalt und die Seriengliederung der Preimser- und Klieningserie in der Sausalpe wurden von Weissenbach in Pilger (1975) folgend beschrieben:

### Die Preimser Serie

Im Gebiet um Preims liegen Marmore auf einer charakteristischen Folge von feinkörnigen, meist intensiv verfälteten, gebänderten Schiefergneisen, den Bändergneisen vom Typ Preims. Glimmerarmut und Feinkörnigkeit täuscht zum Teil Quarzit vor. Die darüber liegenden Marmore werden als Stelzing-Marmor-Serie abgetrennt. Die Gesteine des Liegenden kommen auch in hangender Position vor. Der Marmorzug wird in eine Vielzahl von Teilpaketen aufgesplittet. Die Marmore sind mit den Bändergneisen, Typ Preims, vergesellschaftet, so dass diese Abfolge als Preimser Serie angesprochen wird. Die Marmore des Stelzinggewölbes werden im Liegenden durch Glimmeranreicherungen begrenzt, darunter folgen im Kern grobkörnige Schiefergneise mit Amphiboliteinlagerungen. Im Hangenden wird der Marmor von Pegmatiten und auch von grobkörnigen Schiefergneisen mit Kalksilikaten begrenzt.

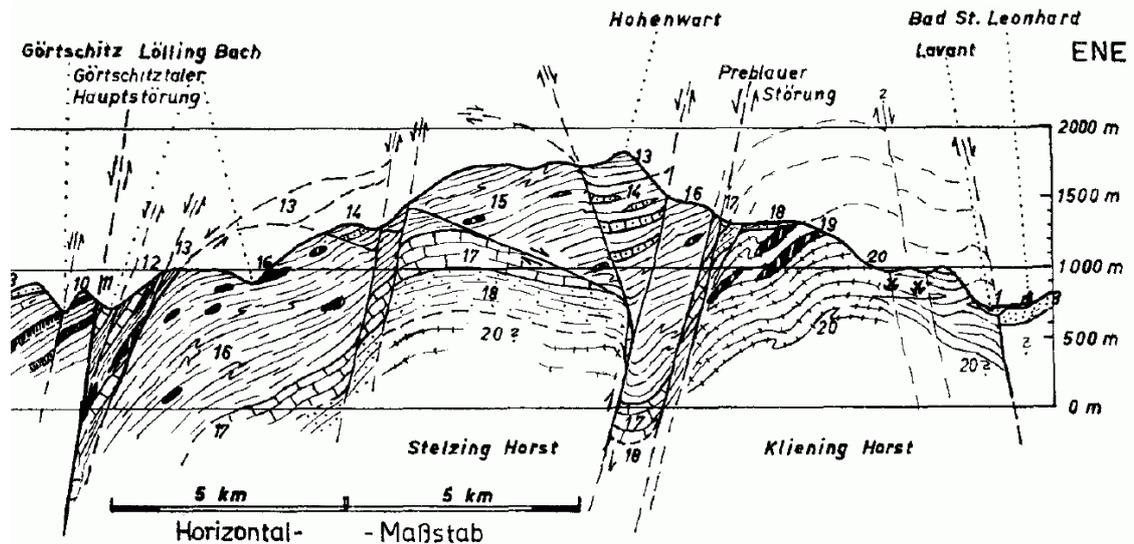
### Die Kliening-Serie

Als Kliening-Serie werden die tiefsten Einheiten der Sausalpe bezeichnet. Sie treten in der weiteren Umgebung der Ortschaft Kliening, westlich von Bad St. Leonhard, beider-

seits des Klieningbaches und nördlich des **Auengrabens** auf. Im SW und NE wird diese Scholle durch zwei gegen SE aufeinander zulaufende Bruchstörungen begrenzt. An diesen Störungen treten Seitenverschiebungen von mehreren km auf. Im N ist ein teilweise ungestörter Übergang zu den darüber liegenden Serien des Saualpenkristallins vorhanden.

Gesteinsabfolgen mit Einlagerungen von Quarziten, Marmoren und dunklen Schiefergneisen treten auch im oberen **Auengraben** als die tiefsten der aufgeschlossenen Schichtglieder der Kliening-Serie zutage.

Die Kliening-Serie ist durch den Amphibolitreichum und durch charakteristische Glimmerschiefer- und Schiefergneistypen mit keiner der Zonen des Saualpenkristallins direkt vergleichbar. Dazu kommen der geringere Metamorphosegrad, eine abweichende Kristallisationsabfolge, sowie der Umstand, dass die Pegmatoidverteilung an der oberen Grenze der Kliening-Serie aufhört und dass diese obere Grenze durch Tektonite besonders betont wird. Daher ist die Kliening-Serie nicht die tiefste Zone des Saualpenkristallins, sondern wird dem Stubalpen-Kristallin zugeschrieben.



**Legende:**

10 = Phyllite bis Quarzphyllite mit Grünschiefer der unteren Epizone (untere Kalkphyllitserie); 11 = Granatglimmerschiefer und Marmore der Zossener Marmorserie; 12 = Staurolithgranatglimmerschiefer, Serpentine, Amphibolite und Marmore der Plankogelserie; 13 = pegmatitisch injizierte Glimmerschiefer der untersten Mesozone; 14 = Disthenflasergneis mit Kalksilikateinlagerungen (Zone D I) der obersten Eklogitserie; 15 = Schiefergneise der mittleren Eklogitserie mit Eklogitamphiboliten (Zonen Sg I, DII, Sg II); 16 = Disthenflasergneis und Schiefergneis der unteren Eklogitserie mit Eklogitamphiboliten (Zonen D III und Sg III); 17 = Marmor der Stelzinger Marmorserie; 18 = Schiefergneise und Quarzite der Stelzinger Marmorserie; 19 = Amphibolite der unteren Amphibolitserie des Klieningkristallins; 20 = Paragneise der unteren Amphibolitserie und der Wolfsberger Serie des Klieningkristallins;

Abb. 31: Profil durch das Saualmgebiet von Görttschitz nach St. Leonhard aus Fritsch (1964)

## Quartär

Im Quartär drang der Drautalgletscher bis ins Krappfeld und südlich der Saualpe bis in die Nähe Griffens vor. Der Murtagletscher überwandt das hochgelegene Gebiet bei Neumarkt und drang bis in das obere Görtschitztal und weit in das Metnitztal vor.

Im Bereich der Saualpe gab es nur kleine Gletscher, die die tiefgelegenen Täler nicht erreichten. Schmelzwässer der Gletscher und die alte Gurk räumten im südlichen Vorland den Schutt weg.



Postglazial wurden viele Rutschungen und Felsgleitungen ausgelöst die durch die unterschneidende Erosion der Flüsse ausgelöst wurden, z.T. auch auf instabile Hänge nach dem Rückzug der Gletscher zurückgeführt werden müssen. Die wechselnden Gefrier- und Auftauvorgänge während der Eiszeit in dem periglazialen Bereich der Frostschuttzone lassen auch heute noch Unterschiede in der Bodenbedeckung und Erosion erkennen.

Abb. 32: Bereich Sau- und Koralpe in der Würmeiszeit (ca. 18.000 J.) Testgebiet Auenbach ist rot eingefärbt, nach van Husen (1987)

### **3.1.8. Massenbewegungen**

Massenbewegungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen in Locker- und/oder Festgesteinen. Die Gravitation ist der Motor dieser Bewegung, die durch verschiedene Kombinationen von Fallen, Gleiten und Fließen erfolgt. Diese Phänomene umfassen alle Maßstäbe von der kleinen, fast unmerklichen Bodenverschiebung auf einem leicht geneigten Hang bis hin zum Bergsturz. Alle diese Ereignisse verändern die Morphologie der Landschaft.

#### **3.1.8.1. Ursachen für Massenbewegungen**

Wasserübersättigung an Hängen ist der primäre Auslöser für Rutschungen. Intensive Niederschläge, Schneeschmelze und veränderte Grundwasserspiegelstände bedingen die Änderung des Boden-Wassergleichgewichts. Dies tritt an Küsten, Erddämmen und den Ufern von Seen, Reservoirien, Kanälen und Flüssen auf. Rutschungen und Überschwemmungen sind eng verbunden, weil beide durch den Niederschlag verursacht werden. Muren treten normalerweise in kleinen, steilen Fluß- bzw. Bachbetten auf, sie werden oft mit Überschwemmungen verwechselt. Tatsächlich geschehen diese zwei Ereignisse aber oftmals gleichzeitig im selben Bereichsraum. Erdbeben können Überschwemmung verursachen, indem sie durch Erdrutschdämme die Täler blockieren und Wasser aufstauen. Dies verursacht stromaufwärts Wasseraufstau und Überschwemmung und wenn der Damm bricht, stromabwärts eine Flutkatastrophe. Es kann durch die mittransportierten Feststoffe zu einer „Anreicherung“ des Volumen bzw. der Dichte des normalen Gewässers kommen, die zu Verklausungen, Umleitungen oder lokaler Erosion führen. Rutschungen können auch ein Überlaufen von Stauseen verursachen und/oder die Wasserspeicherkapazität der Reservoirie reduzieren (Bsp. Vajont).

Die drei unten genannten Ursachen sind als die am häufigsten zu nennen:

#### **Geologische Ursachen**

- schwache oder empfindliche Materialien,
- verwitterte Materialien,
- geschertes, geklüftetes oder zerriebenes Material,
- ungünstig orientierte Trennflächen (Schichtung, Schieferung, Faltung, Störung usw.),
- Durchlässigkeitsunterschiede und/oder Festigkeitsunterschiede der Materialien.

#### **Morphologische Ursachen**

- Tektonische oder vulkanische Hebung,
- Gletscherrückgang,
- fluviale, marine oder glaziale Erosion des Hangfußes oder der seitlichen Ränder,
- Unterirdische Erosion (Lösung, Karst),
- Vegetationsverlust (durch Feuer, Dürre, Sturm, etc.),
- Tauen,
- Frost-, Tauwechselverwitterung,
- Schrumpf- und Quellverwitterung,

### **Menschliche Ursachen**

- Abtrag am Hang,
- Auflast,
- Rasches Entleeren, Ablassen von Reservoirs,
- Entwaldung,
- Bewässerung,
- Bergbau,
- Künstliche Schwingungen,
- Wasserverlust aus Leitungen.

### **3.1.8.2. Erkennen von Rutschungen und Rutschhängen im Gelände**

Im Gelände können durch Beobachtung der Hang- bzw. Böschungsneigung und der Morphologie Rutschungen erkannt werden.

Rutschungen zeigen folgende Erscheinungsformen:

- Unruhige Geländeform, die nicht auf unterschiedliche Gesteinhärte oder Grabungen zurückzuführen sind;
- Auffallende, oft nur über einige Zehnermeter anhaltende, z.T. unbewachsene Steilböschungen, ovale Eindellungen oder abflusslose Senken, speziell in den oberen Hangpartien;
- An Steilhängen kommen kurze hangparallele Geländestufen oder spaltenartige Runsen vor;
- In den unteren Hangabschnitten treten flache, z.T. auch lang gestreckte Aufwölbungen oder zungenartige Körper auf.

Bei rezenten oder jüngeren Rutschungen sind die oben genannten Oberflächenformen noch frisch und unverkennbar. Ältere Rutschungen sind durch Nachbrüche, Erosion und Bewuchs oft so stark überprägt, dass sie häufig kaum noch zu erkennen sind. Fossile Rutschungen sind oft nur mit großer Erfahrung an einigen wenigen, manchmal nur undeutlichen Merkmalen zu erkennen, wie auffallender Verebnung, Dellen im Hangprofil, ungewöhnlichen Buckeln etc. (Abb. 146 Miyagi (2004)).

Nicht jede Schiefstellung von Bäumen ist als Folge von Rutsch- oder Kriechbewegungen zu deuten. Die Schiefstellung von Bäumen kann auch auf Grund von grundbrucharartigen Bewegungen des Bodens um die Wurzeln, Schneedruck und als Folge einer steilen Hangneigung entstehen.

Völlig fehlender Baumbestand kann ein Hinweis auf oberflächennahe kriechende Bodenbewegungen sein, die im Laufe von Jahren Baumwurzeln abscheren und so keinen Baumbestand aufkommen lassen. Auch Zerrungserscheinungen in der Grasdecke, die mit der Zeit zu Kahlstellen werden, oder Zerrung von Baumwurzeln o.ä. zeigen Bewegungen im Untergrund an.

Da Wasser eine der häufigsten Rutschungsauslöser ist, soll auch immer auf Vernässungen, ungewöhnliche Wasseraustritte, Quellen, Versickerungsstellen oder stehendes Wasser ohne Abfluß geachtet werden.

Auch Schäden oder sanierte Stellen an Verkehrswegen aller Art oder an Gebäuden geben Hinweise auf z.T. geringste Bodenbewegungen in der jüngeren Vergangenheit, die sonst im Gelände vielleicht nicht zu erkennen sind.

### 3.1.8.3. Massenbewegungstypen

Die Massenbewegungen werden in dieser Arbeit in folgende **Ereignisphänomene** eingeteilt:

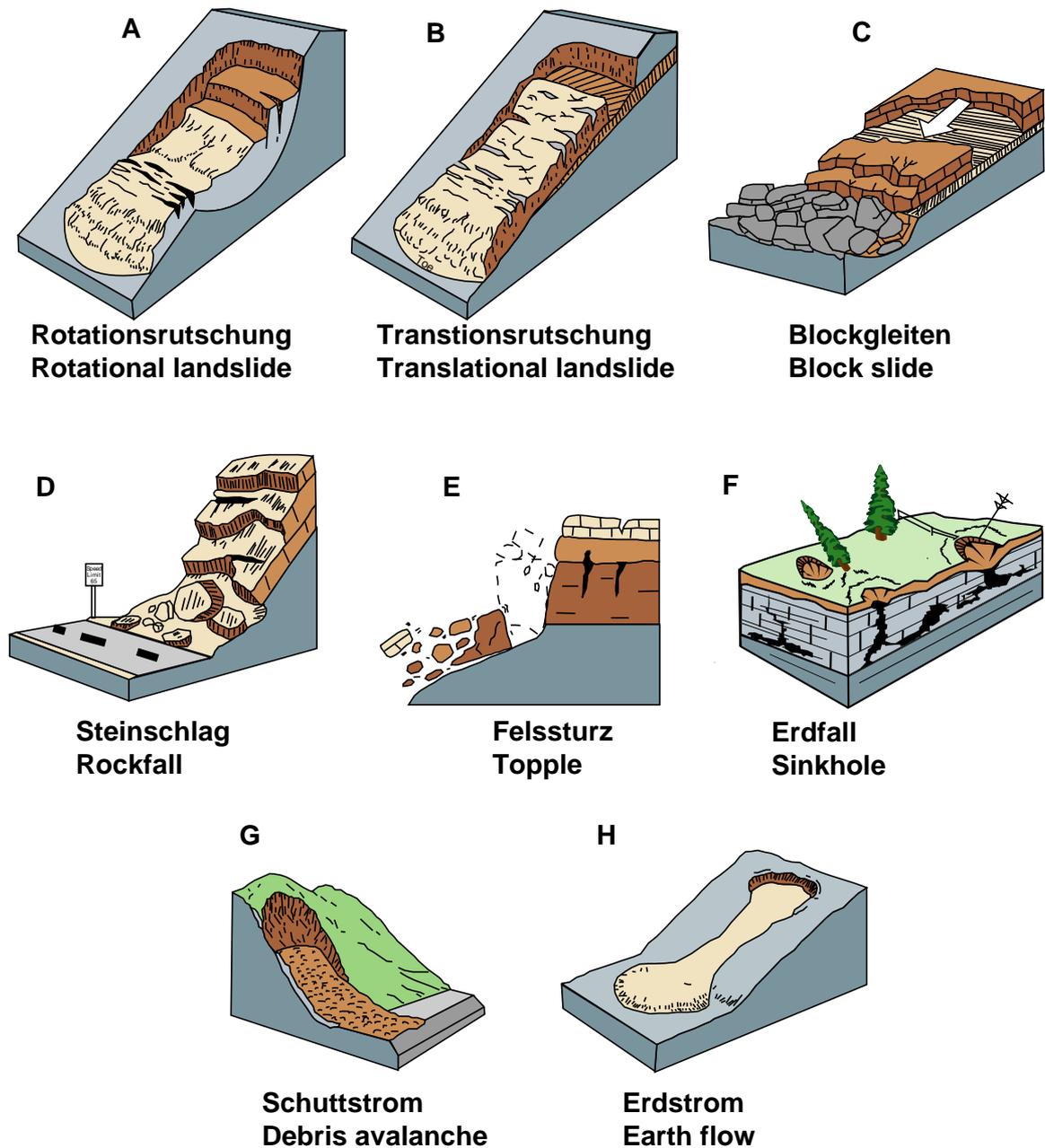


Abb. 33: Massenbewegungen – Darstellung der Ereignisphänomene nach USGS (2004)

Diese Klassifikation erfolgt in Anlehnung an die „Types of landslides“ nach Varnes, (1978) aus USGS Landslide Landslide Types and Processes (2004).

**Nomenklatur einer Rotationsrutschung:**

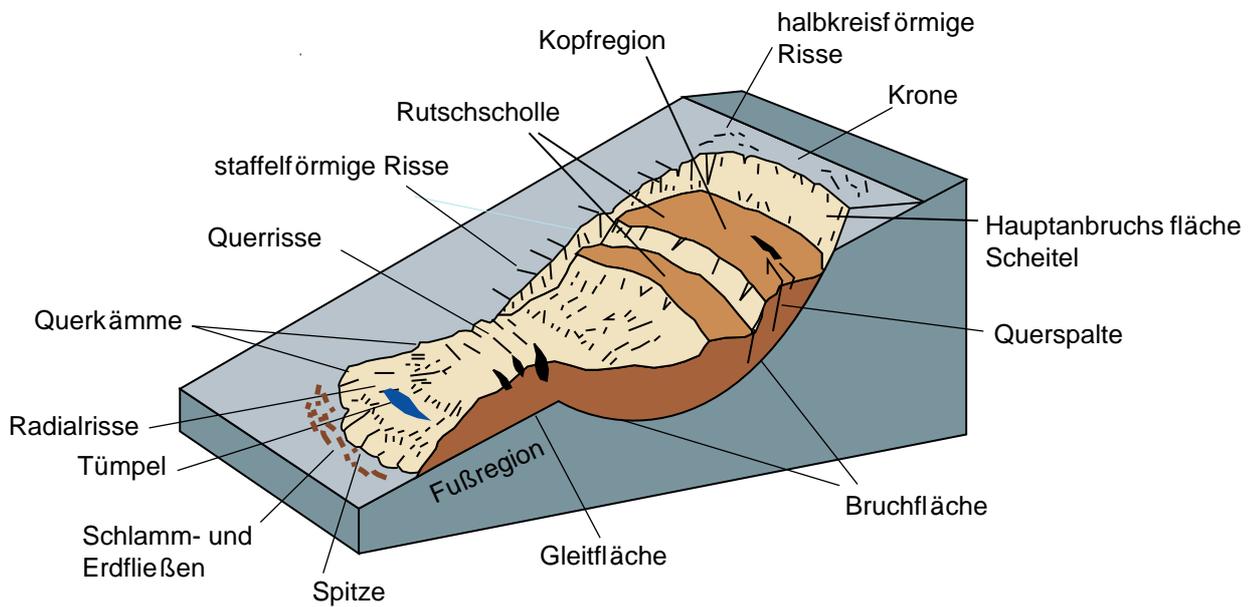


Abb. 34: Rotationsrutschung verändert nach USGS (2004) und Bunza (1992)

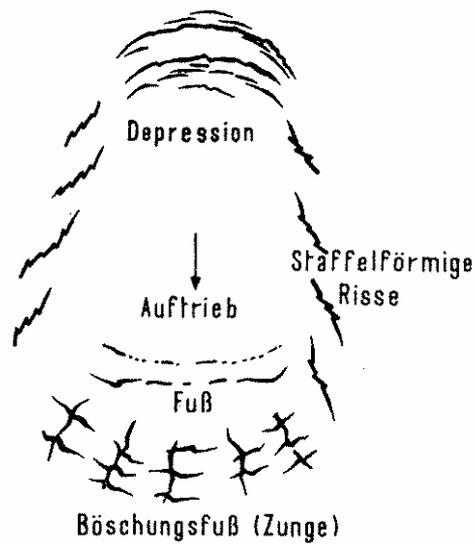


Abb. 35: Grundriss einer Rotationsrutschung aus Bunza (1992)

### 3.1.8.3.1. Rutschende/Gleitende Massenbewegungen: A, B, C

Hangabwärts gerichtete Bewegungen von Massen aus Fels- und/oder Lockergesteinen entlang von Gleitflächen. Die Einteilung erfolgt über die Größe der Oberfläche.

- **Rutschung klein** bis 250 m<sup>2</sup>
- **Rutschung mittel** bis 1.000 m<sup>2</sup>
- **Rutschung groß** > 1.000 m<sup>2</sup>

#### Rutschung

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete, gleitende (rutschende) Bewegungen von Fest- und/oder Lockergesteinen. Der Rutschkörper hat während der Bewegung Kontakt zur Gleitfläche. Die Geschwindigkeit variiert, von cm/Jahr bis zu mehreren m/min. Die laterale Ausdehnung einer Rutschung ist offen, der Tiefgang kann von wenigen Dezimetern bis über 100 m messen. Es gibt viele Bezeichnungen für Rutschungen, jedoch darf nicht jede Rutschung als Mure bezeichnet werden, da eine Mure per Definition immer an ein Fließgewässer gebunden ist. Rutschungen entstehen aus Scherbrüchen die vorhandene Schwächezonen ausnutzen. Bei Festgesteinen können dies alle Arten von Trennflächen sein. Der Übergang Lockergestein zu Festgestein kann auch als Gleithorizont wirken.

**Translationsrutschungen** entstehen an vorgezeichneten Bruch- und Gleitflächen. Im Alpenraum ist dies ein weit verbreiteter Typus.

Bei homogenen Gesteinen gibt es keine vorgezeichneten Schwächezonen. Es treten **Rotationsrutschungen** auf, die auch in mächtigeren Lockersedimenten auftreten.

Der Übergang zwischen den zwei Typen ist fließend, es kommen Kombinationen der beiden Typen vor.

Durch Wasser, speziell Niederschläge werden viele Rutschungen ausgelöst. Kurze Starkregen dringen nur an der Oberfläche ein und es kommt zu flachen Rutschungen. Tiefgreifende Rutschungen werden bei lang anhaltenden Niederschlagsperioden aktiviert. Die Erhöhung des Porenwasserdruckes im Untergrund bedingt eine Verminderung der Scherfestigkeit. Bei größeren Rutschungen gibt es Bewegungs- und Ruhephasen, dies kann sich über längere Zeiträume hinziehen.

Abb. 36: Rotationsrutschung

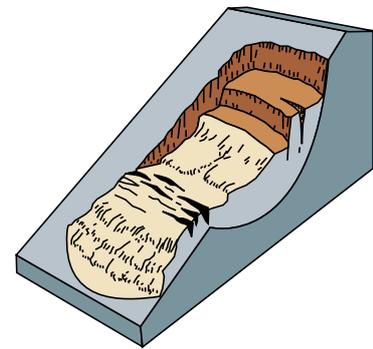
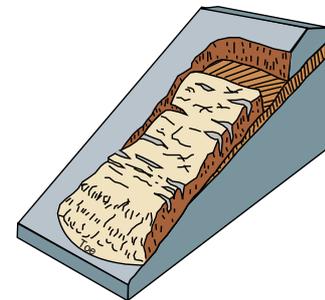


Abb. 37: Translationsrutschung



## Blockgleiten

Dieses Phänomen kann sowohl flach bis auch sehr tief in den Fels reichen. Durch lithologische Unterschiede und/oder Auflast kann es zu Plastifizierung der liegenden Schicht kommen.

Der härtere (kompetentere) Großkluftkörper gleitet auf/oder in weicheren (inkompetenteren) Schichten. Ein Beispiel dafür ist ein Teilbereich der Bergzerreißung der Tresdorfer Höhe in den Karnischen Alpen.

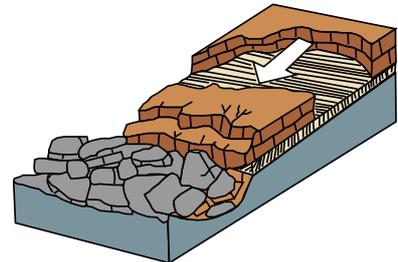


Abb. 38: Blockgleiten

## Auenbachgebiet:



Rutschscholle 02.09.2005



Hauptanbruchsfläche Scheitel 14.10.2007



Abrisskante beim Wirtschaftsgebäude 31.08.2005



Zugriss in der Wiese über dem Wirtschaftsgebäude  
30.08.2005

Abb. 39: Photodokumentation Auenbachgebiet

## Sackung und Talschub

Sind Synonyme für großräumige, langsame, tiefgreifend kriechende, gravitative Bewegungen von Festgesteinen. Diese Bewegungen entstehen in Gesteinen mit einer ausgeprägten vertikalen Bewegungskomponente entlang von vorgegebenen Trennflächen. Zum Typus der Rutschung gibt es einen fließenden Übergang, die Wirkungsweisen sind ähnlich, weshalb diese Prozesse ebenfalls unter die Kategorie Rutschende/Gleitende Massenbewegungen zusammengefasst werden. Dieses Phänomen kann ganze

Berghänge mit Quadratkilometern Fläche und einem Tiefgang von über hundert Metern erfassen. Da der Gesteinsverband während der Bewegung fast zur Gänze erhalten bleibt, wird in den vorhandenen Aufschlüssen anstehender Fels vorgetäuscht. Ein Anzeichen für eine solche Bewegung ist, wenn sich der Hangfuß vorwölbt und in den Kammregionen Zerrungen, Bergzerreissungen, Nackentälchen oder Doppelgrate auftreten. Es wird angenommen, dass durch Gletscher die Gesteine der Alpen während und nach den Eiszeiten, durch den Permafrost und die Auflast bzw. Entlastung tiefgründig aufgelockert wurden. Weiters werden hangparallel einfallende Trennflächen bei der Entstehung von Talzuschüben aktiviert. Dieses Phänomen ist in phyllit- und glimmerschieferreichen Gesteinen wie der Schieferhülle des Tauernfensters weit verbreitet. Auf Grund dieser tiefgründigen, langsamen und schwer zu erkennenden Sackungs- oder Kriechbewegung, können große Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen entstehen.

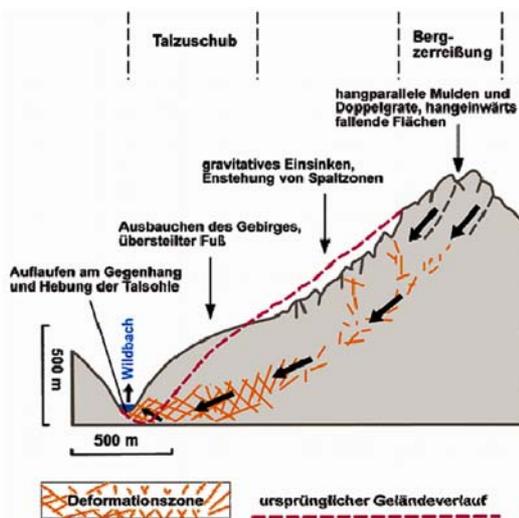


Abb. 41: Doppelgrat bzw. hangparallele Mulde im Fragnerbachgebiet: Blick nach Norden ins Wurtenbachtal (die hellgelb gestrichelte Linie zeigt den ursprünglichen Geländeverlauf an)

Abb. 40: Prinzipskizze Talzuschub aus [http://www.lfu.bayern.de/geologie/fachinformationen/hangbewegungen/was\\_sind\\_hangbewegungen/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/geologie/fachinformationen/hangbewegungen/was_sind_hangbewegungen/index.htm)

Ca. 20 km westlich der Ortschaft Innerfragant befindet sich der Talzuschub Gradenbach / Eggerwiesenkopf. Er ist neben der Reppwandgleitung in den Karnischen Alpen, die bekannteste und am meisten bearbeitete Massenbewegung Kärntens.

Auf Grund der Nähe ist die Geologie annähernd gleich wie im Fragnertertal.

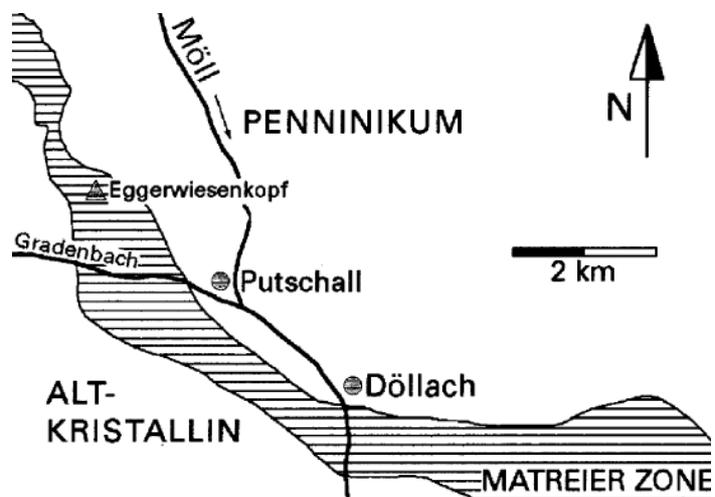


Abb. 42: Übersichtslageplan Talzuschub Gradenbach aus Gottschling (1999)

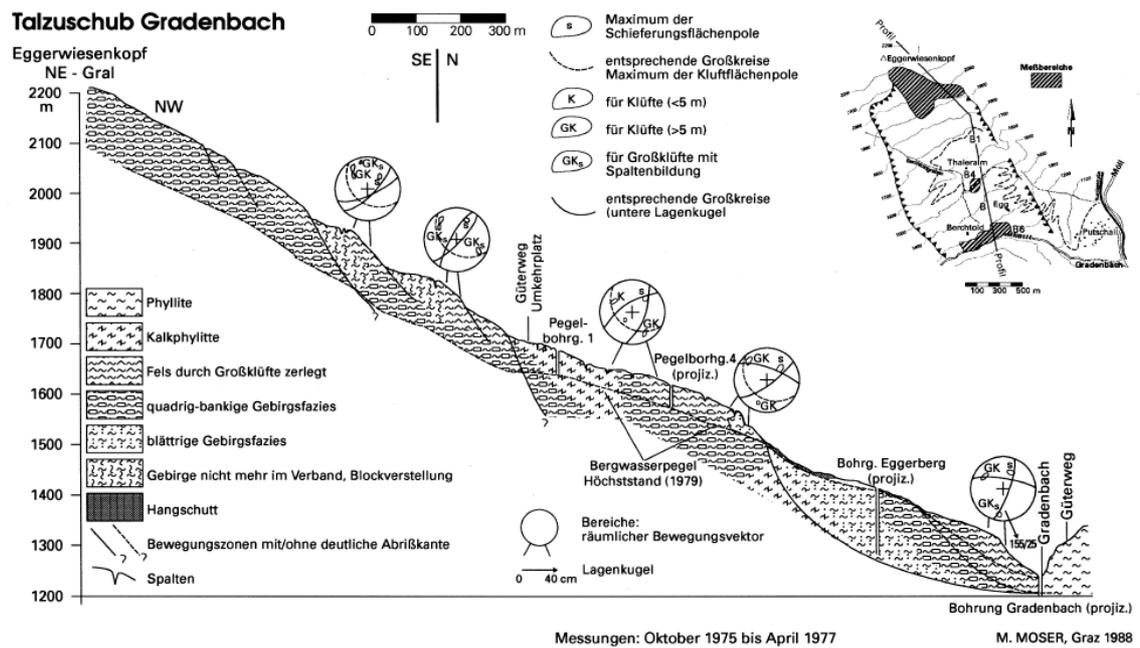


Abb. 43: Übersichtslageplan und Profil durch den Talzus Schub Gradenbach aus Gottschling (1999)

### 3.1.8.3.2. Stürzende Massenbewegungen: D,E

An steilen Böschungen und Felswänden brechen Gesteinskörper als mehr oder weniger isolierte Stürze entlang von Trennflächen, Spalten oder Klüften ab. Ursache ist vor allem die Verwitterung, Exposition und damit verbunden die Geologie, die Lösungen von Teilen aus dem Gesteinsverband bewirken. Fels- und Bergstürze entfestigen grössere Gesteinspakete. Diese Prozesse werden bei der Eingabe in den Ereigniskataster über das Volumen klassifiziert.

- **Blocksturz** einzelne Blöcke
- **Steinschlag** Sturzmasse < 100 m<sup>3</sup>
- **Felssturz** Volumen von 100 m<sup>3</sup> bis 100.000 m<sup>3</sup>
- **Felssturz groß** Volumen von 100.000 m<sup>3</sup> bis 1Mio. m<sup>3</sup>
- **Bergsturz** Volumen > 1.Mio m<sup>3</sup> oder Fläche > 0,1 km<sup>2</sup>



Abb. 44: Hangschutt und Felssturzgebiet Zufahrt Oschenigsee, Blick nach Westen

#### Blocksturz

Blocksturz wird durch das mehr oder weniger isolierte Stürzen von Blöcken ( $\phi > 50\text{cm}$ ) definiert. Diesen Prozess dokumentiert die Zerlegung einer Felswand. Die Bestimmung des Volumens der absturzgefährdeten Masse ist mittels detaillierter Untersuchungen möglich. Sturzgeschwindigkeiten von 5 bis 30m/s werden erreicht, dabei wird zwischen Fallen, Springen und Rollen unterschieden. Wenn die Hangneigung weniger als 30° erreicht, kommen bewegte Steine und Blöcke meist zum Stehen. Im Wald wird die kinetische Energie beim Aufprall auf Bäume stark reduziert. Dies kann auch durch künstliche Hindernisse wie z.B. Fangnetze, Dämme etc. geschehen.

## Steinschlag

Steinschlag ist ein wiederkehrendes Sturzereignis von Steinen bis Blockgröße. Materialentfestigung, Verwitterung an Trennflächen sind die Ursachen, die Auslöser sind Frosteinwirkung, Temperaturausdehnung und Wurzelsprengung. Auch bei Sturmereignissen kann dieses Phänomen durch die Belastung des Untergrundes oder durch die Freilegung von Steinen initiiert werden. Zur numerischen Simulation von Schutzmaßnahmen werden Parameter wie kinetische Energie der Blöcke, Sprunghöhe, Reichweite des Transports, Bestockung etc. benötigt. Steinschlag tritt unter nahezu jeder Felswand auf.

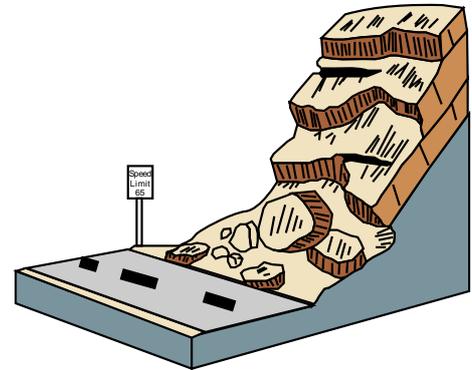


Abb. 45: Steinschlag



Abb. 46: Fragnerbach, Steinschlaghalde östlich des Wurtenspeichers

## Felssturz

Wenn sich grössere Gesteinspakete von ca. **100 m<sup>3</sup>** bis **1.000.000 m<sup>3</sup>** aus dem Gebirgsverband lösen, spricht man von einem Felssturz. Die Bestimmung eines potentiell absturzgefährdeten Gesteinsvolumens muß durch umfassende Untersuchungen, auch der Trennflächen, gemacht werden. Dieses Phänomen ist als sehr gefährlich einzustufen.

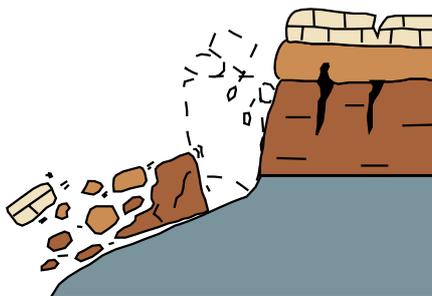


Abb. 47: Felssturz

Ganze Felspartien werden aus Wänden gelöst und stürzen ab. Hierbei erfolgt eine wechselseitige Beeinflussung der bewegten Blöcke, im Gegensatz zu den Einzelkomponenten die den Stein- oder Blockschlag definieren. Im Ereigniskataster wird in einen **Felssturz** mit dem Volumen von 100 m<sup>3</sup> bis 100.000 m<sup>3</sup> und in einen **Großen Felssturz** mit einem Volumen von 100.000 m<sup>3</sup> bis 1 Mio. m<sup>3</sup> Gestein unterschieden. Jedoch sind das Volumen und die Dynamik gegenüber dem Bergsturz viel geringer. Felsstürze werden durch Spannungsumlagerung, Materialermüdung und Verwitterung an Trennflächen ausgelöst.

Die Auslösemechanismen sind weniger eindeutig als bei anderen Massenbewegungen. Die Reichweite kann empirisch im Verhältnis zur Sturzhöhe durch den sog. „Fahrböschungswinkel“ charakterisiert werden. Bei Felsstürzen liegt er zwischen 28 bis 30° und kann zur ersten Abschätzung des Gefährdungsbereiches dienen. Einzelblöcke können die Hauptablagerung überspringen.



Abb. 48: Fraganterbach, Felssturzhalde südwestlich des Oschenigspeichers



Abb. 49: Fraganterbach: linkes Bild - Bretterichgrat, es sind NW-SE streichende Bergzerreissungen zu sehen (ca. 30cm breit und 50cm tief); rechtes Bild: Steilabfall nach Nordosten

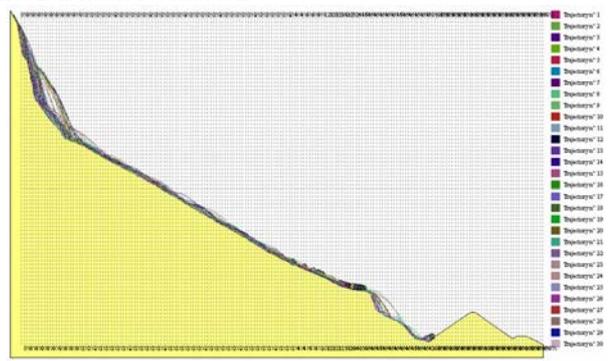


Abb. 50: linkes Bild – Steinschlagmaterial auf der Straße zum Oschenigspeicher; rechtes Bild: Berechnung der Steinschlaggefährdung eines Speichterteichs mit Georock 2D der Firma GeoStru, [www.geostru.it](http://www.geostru.it) (Berechnung wurde mit 30 Trajektorien oder Würfeln durchgeführt)

## Bergsturz

Man spricht von einem Bergsturz, wenn große Gesteinsmassen von meist weit über **1.000.000 m<sup>3</sup>** betroffen sind. An diese stürzenden Massen ist eine hohe Bewegungsenergie gebunden, die dafür sorgt, dass die Massen weit transportiert werden und/oder am Gegenhang hoch hinauf transportiert werden. Die Reichweite wird durch den **Fahrböschungswinkel** bestimmt, dies ist das Verhältnis von Fallhöhe zu horizontaler Reichweite, bezogen auf den Massenschwerpunkt.

Felsstürze haben Winkel steiler als 30°, bei Bergstürzen gibt es Winkel unter 20° bis unter 10°. Bergstürze kündigen sich im Vorfeld des Ereignisses meist durch vermehrten Steinschlag, das Öffnen von Spalten, etc. an.

Als Beispiel kann die Katastrophe vom Monte Toc in Vajonttal nahe der Ortschaft Longarone in Norditalien genannt werden. Hier wurde, bedingt durch den Aufstau des Stausees, eine Massenbewegung mit 250 Mio m<sup>3</sup> aktiviert, die am 9. Oktober 1963 in den Stausee stürzte und in Folge auf den Gegenhang auftraf. Die Staumauer hielt dem Wasserdruckstand stand. Jedoch verwüsteten die übergeschwappten Wassermassen das luftseitig gelegene Gebiet. 1900 Menschen kamen bei diesem Ereignis zu Tode.



Abb. 51: Bergsturz aus Bunza (1992)



Stausee mit Bergsturzmateriale verfüllt



Blick zur Staumauer 2003

Abb. 52: Longarone Photos aus Practical rock engineering - Hoek (2006)

### 3.1.8.3.3. Erdfall: F

#### Karst und Subrosion

In verkarstungsfähigen Gesteinen wie Kalk, Dolomit, Gips und Anhydrit kommt es durch Wassereinfluß zu unterirdischen Lösungerscheinungen der sog. Subrosion. Das mechanische Ausspülen von lockeren Sediment (Suffosion) und/oder die chemische Auflösung (Korrosion) bildet unterirdische Hohlräume. Die Lösungerscheinungen sind an der Oberfläche schwer zu erkennen.

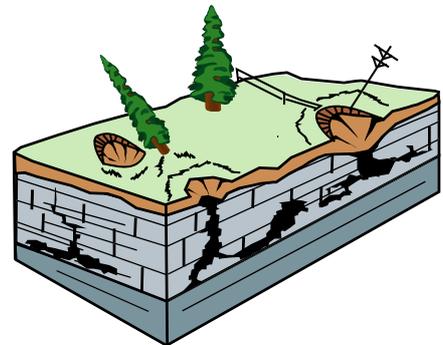


Abb. 53: Erdfall

Diese Phänomene können, bedingt durch Trennflächen, netzartig verbunden oder linear aufgereiht auftreten.

Karst umfasst folgende Formen:

**Erdfälle** entstehen durch Einsturz der Erdoberfläche. Es werden Trichter- oder Schlotformen, von geringer Tiefe und Durchmesser von Dezimetern bis zu Zehnermetern gebildet.

Als **Dolinen** werden landschaftsbildende kilometergroße trichter-, schlot- oder wannenförmige Senken an der Geländeoberfläche bezeichnet. Sie sind infolge von Lösungerscheinungen oder durch den Einsturz von Hohlräumen im Untergrund entstanden.

### 3.1.8.3.4. Fließende Massenbewegungen: G,H

#### Schuttströme

Schuttströme sind breiige, wassergesättigte Bodenmassen mit einem überwiegenden Anteil grobkörnigen Materials (vorwiegend Grobannteile wie Steine, Blöcke in einer untergeordneten Matrix aus tonig schluffigen Verwitterungsschutt). Die Bewegungsgeschwindigkeit ist vorwiegend kriechend, kann aber bis zu Zehnermetern pro Tag erreichen. Typisch ist die langgestreckte, schmale Form.

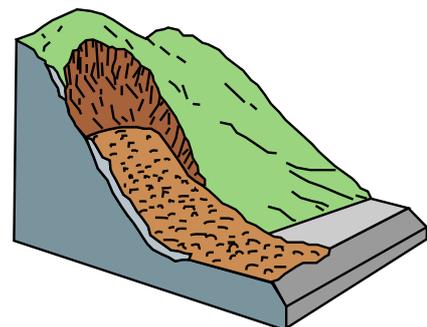


Abb. 54: Schuttstrom

#### Erdströme

Erdströme sind sehr schnelle, hangabwärtige Bewegungen von breiigen, wasserübersättigten feinkörnigen Bodenmassen über größere Distanzen. Diese Phänomene beginnen als kleine Rutschungen in Vernässungsbereichen.

Bestehende Rinnen im Hang werden als Transportkanäle genutzt. Einer Breite von 5-30 m können Längen von mehreren Kilometern gegenüberstehen. In einem langen Schuttstrom können gleichzeitig sehr unterschiedliche Aktivitätszonen auftreten. Es treten Stauchwülste, Risse, wassergefüllte Senken und seitliche Scherbahnen auf. Weitere Anzeichen sind Säbelwuchs von Bäumen, schwimmende Rasenpolster und gespannte Wurzeln.



Abb. 55: Erdstrom

Wenn diese Phänomene in ein Bachbett vordringen, kann das transportierte Material als Geschiebeherd für Muren dienen oder es kommt zu Aufstau im Bach.

## Mure

**Achtung: Muren** sind fließende Massenbewegungen, die an Gerinne gebunden sind!

Muren sind Hochwasserabflüsse in Wildbächen, sie sind Gemische aus Wasser und Feststoffen (Boden, Gesteinsschutt und Holz). Sie beginnen durch starke Feststoffeinträge, beim Durchbruch von Verkläuerungen oder bei Dammbriichen in Wildbäche. Die hohe Transportgeschwindigkeit durchmischt die verschiedenartigen Gemengteile. Der Vorfluter kann von einer Mure erreicht werden oder die Muren entmischen sich in flacheren Bereichen. Die mitgeführten Feststoffe werden in Umlagerungsstrecken, auf Schwemmkegeln oder in Talböden abgelagert.

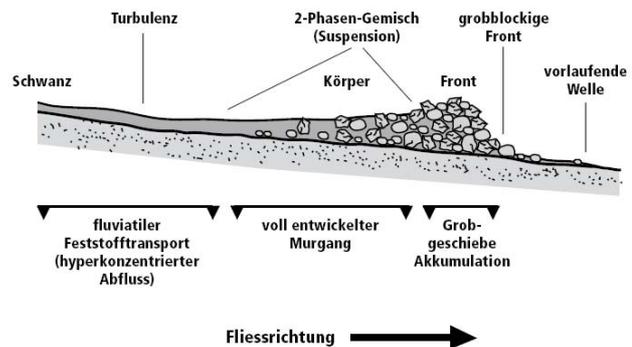


Abb. 56: Mure aus Bunza (1992) und Längsschnitt durch einen Murschub aus DOMODIS (2006)

### 3.1.9. Wildbachtypen (nach ETALP)

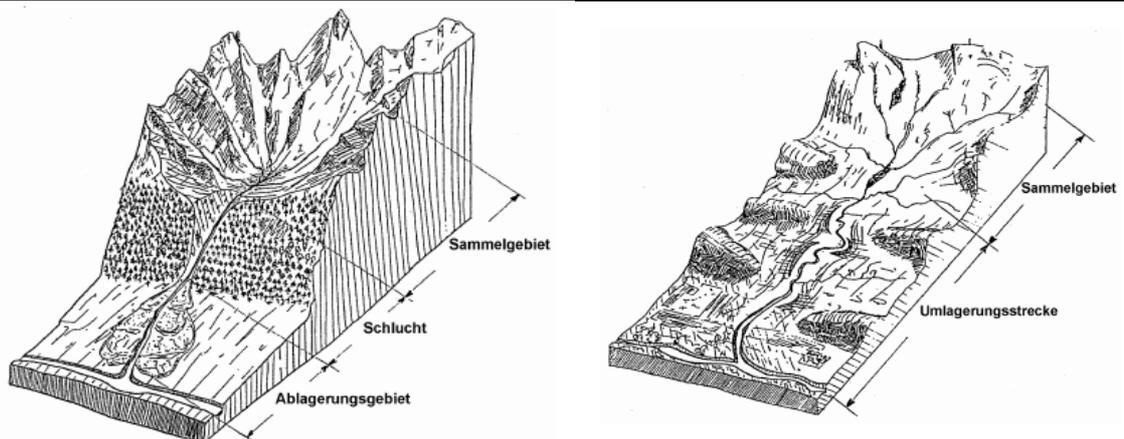
Durch Wildbäche werden jährlich erhebliche Schäden verursacht, daher ist die Gefahrenbeurteilung unverzichtbarer Bestandteil des Risikomanagements.

Das österreichische Forstgesetz 1975 definiert im §99 einen Wildbach als „ein dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur kurze Zeit dauernde Anschwellungen Feststoffe aus seinem Einzugsgebiet oder aus seinem Bachbett in gefahrdrohendem Ausmaße entnimmt, diese mit sich führt und innerhalb oder außerhalb seines Bettes ablagert oder einem anderen Gewässer zuführt“. Das Einzugsgebiet eines Wildbaches im Sinne dieses Bundesgesetzes ist die Fläche des von diesem und seinen Zuflüssen entwässerten Niederschlagsgebietes (**Sammelgebiet**) sowie der Ablagerungsbereich des Wildbaches (**Ablagerungsgebiet**).

Wildbäche sind Teil der Kärntner Landschaft, viele Siedlungen im alpinen Raum liegen auf alten Schwemmkegeln. Starke Regenfälle verursachen ein rasches und starkes Anschwellen der Hochwässer, die große Feststoffmengen mitführen können.

Eine weite Verbreitung findet die Einteilung der Wildbachtypen nach Bunza, G., Karl J. & Mangelsdorf, J. (1982). Sie ist auch in **ETALP – Erosion, Transport in Alpinen Systemen „Stummer Zeugen Katalog“** verwendet worden. Diese Einteilung wird als Ganzes in der Thesis übernommen, da Experten des Forsttechnischen Dienstes der österreichischen Wildbach- und Lawinenverbauung, also einer der Partner im Projekt „Naturgefahren Kärnten“ diese Klassifizierung anwenden. Der folgende Text mit Abbildungen und Definitionen wurden aus Gründen der Vollständigkeit mit in die Thesis aufgenommen. (Kapitel 3.1.9.1 -3.1.10.4)

#### Elemente des Einzugsgebietes (Abb. 57)



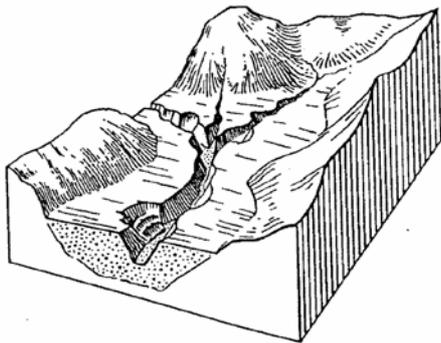
Die **Wildbäche des Hochgebirges** haben einen kurzen und steilen Verlauf. Eine Klamm oder Engstelle trennt das Sammel- vom Ablagerungsgebiet. Es gibt markante Schwemmkegel im Ablagerungsgebiet.

Die **Wildbäche des Berg- und Hügellandes** zeigen einen langen Verlauf mit geringem Gefälle. Der Übergang vom Sammel- zum Ablagerungsgebiet ist fließend. Ausgeprägte Schwemmkegel fehlen, es gibt Geschiebeumlagerungen.

Stiny teilte 1910 die Wildbäche nach dem geologischen Alter der Feststoffherde folgend ein:

- **Altschuttbäche**, die Ablagerung ist abgeschlossen, es gibt keinen großen Zuwachs (z.B. Eiszeitablagerungen, historische Bergsturzablagerungen)
- **Jungschuttbäche** wurden bzw. werden in jüngerer Zeit von Verwitterungsprodukten verfüllt.

### 3.1.9.1. Wildbäche in Talverfüllungen (Abb. 58)



**Feststoffherde:** Rutschungen in Lockergestein und Böden, Fließen im Lockergestein, Ufer- und Feilenanbrüche in den Einhängen der in die Stausedimente eingeschnittenen epigenetischen Täler.

**Ablagerungsgebiete:** Meist sehr mächtige Ablagerungskegel im Haupttal.

**Beeinflussbarkeit:** Durch Eingriffe in die Vegetation, insbesondere in den Wald, können Oberflächenabfluss und Hangvernässungen stark gefördert werden. Wildbäche in Talverfüllungen sind der Prototyp des menschlich verursachbaren bzw. beeinflussbaren Wildbaches.

**Verbreitung:** Am Alpennordrand seitlich der pleistozänen Vorlandgletscher. Im Alpeninneren in relativ kurzen Seitentälern großer pleistozäner Talgletscher des alpinen Eisstromnetzes. Voraussetzung ist hier das Fehlen oder geringerer Umfang der lokalen pleistozänen Vergletscherung ohne Anschluss an das Eisstromnetz des Haupttales.

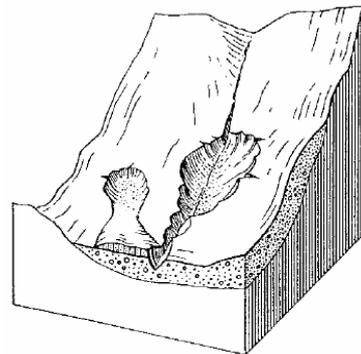
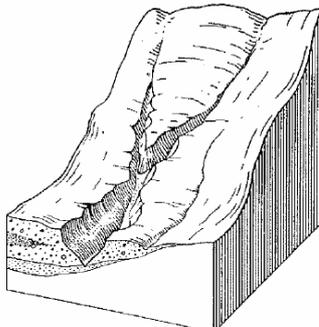
### 3.1.9.2. Wildbäche in Restschuttkörpern (Abb. 59)

**Feststoffherde:** Rutschungen in Lockergestein und Böden, Ufer- und Feilenanbrüche. Die Lockergesteine sind pleistozäner oder postglazialer Hangschutt, periglaziärer Wanderschutt und durch Solifluktion akkumulierte Lockermassen und veränderlich feste Gesteine.

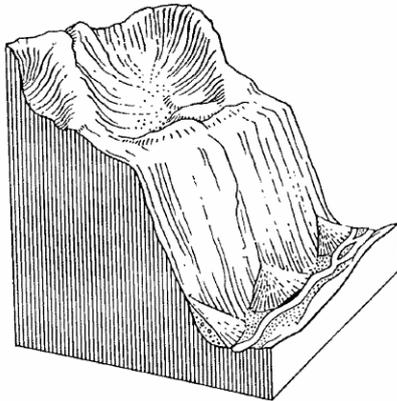
**Ablagerungsgebiet:** Meist Ablagerungskegel unterschiedlicher Größe im Haupttal.

**Beeinflussbarkeit:** Durch Eingriffe in die Vegetation, insbesondere in den Waldbestand können Oberflächenabfluss und Hangvernässung ähnlich gefördert werden wie bei den Wildbächen in Talverfüllungen.

**Verbreitung:** Gesamtes pleistozän vergletschertes Alpengebiet und periglaziale Räume in den Randalpen. Besonders häufig finden sich diese Bäche in Gebieten mit veränderlich festen Gesteinen.



**3.1.9.3. Wildbäche in harten Kristallingesteinen** (Abb. 60)

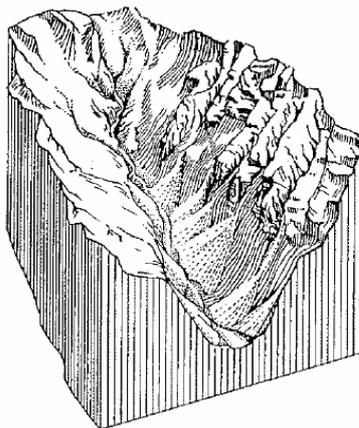


**Feststoffherde:** Steinschlag, Felssturz, Bergsturz direkt aus den Felsflanken und -wänden der Trogtäler. Ufer- und Feilenanbrüche in rezemem bis subrezemem Wandschutt auf primärer Lagerstätte.

**Ablagerungsgebiet:** Meist kleine Ablagerungskegel, nicht im Haupttal.

**Verbreitung:** Pleistozän und frühpostglazial stark ausgeräumte Täler der Zentralalpen.

**3.1.9.4. Wildbäche in harten Sedimentgesteinen** (Abb. 61)



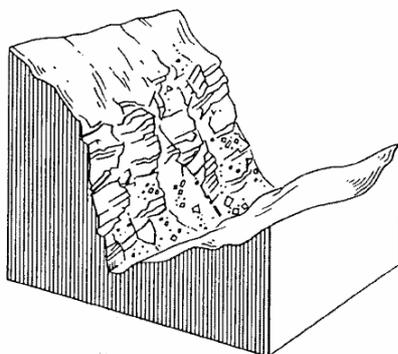
**Feststoffherde:** Steinschlag, Felssturz, Bergsturz aus Felsflanken und -wänden. Rutschungen, Ufer- und Feilenanbrüche in rezemem Verwitterungsschutt auf primärer Lagerstätte.

**Ablagerungsgebiet:** Meist sehr große Ablagerungskegel, häufig nicht im Haupttal.

**Verbreitung:** In den nördlichen Kalkalpen vor allem im Bereich kleinstückig verwitternder Dolomite in pleistozän oder frühpostglazial stark ausgeräumten Landschaften.

In den östlichen Südalpen ebenfalls im Bereich teils kleinstückig verwitternder, teils mylonitisierter Dolomite in pleistozän nicht oder nur schwach vergletscherten Gebieten.

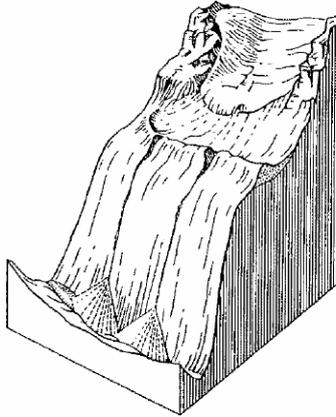
**3.1.9.5. Wildbäche in veränderlich festen Gesteinen** (Abb. 62)



**Feststoffherde:** Wandabgrusung, Steinschlag, Verwitterungsschutt auf primärer Lagerstätte.

**Verbreitung:** Allgemein verbreitet in tektonisch stark beanspruchten, erosiv oder durch Massenbewegung offen anstehenden veränderlichfesten Gesteinen.

**3.1.9.6. Wildbäche in rezenten Moränen** (Abb. 63)



**Feststoffherde:** Ufer- und Feilenanbrüche in sub-rezenten bis rezenten Moränen, insbesondere jüngster Rückzugsstadien und Blockgletscher.

**Ablagerungsgebiet:** Kleine Ablagerungskegel.

**Verbreitung:** Die rezent vergletscherten Gebiete der Ostalpen.

**3.1.9.7. Wildbäche in Gebieten großer Massenbewegungen** (Abb. 64)

**Feststoffherde:** Steinschlag, Felssturz, Bergsturz aus durch Massenbewegungen freigelegtem Gestein. Fließbewegungen und Rutschungen in Fels- und Lockergestein, Ufer- und Feilenanbrüche.

**Ablagerungsgebiet:** Schutt. Fehlt meist, das Material wird vom Vorfluter unmittelbar abtransportiert.



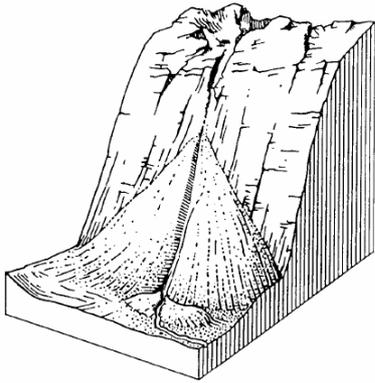
**Beeinflussbarkeit:** In Gebieten großer Massenbewegungen auf Grund entsprechend tektonischer, lithologischer, stratigraphischer, bodenmechanischer, hydrologischer und glazialgeschichtlicher Voraussetzungen können durch anthropogene Einflüsse auf die Vegetation, aber auch durch Baumaßnahmen Feststoffherde expansiv beeinflusst werden oder neue entstehen.

**Verbreitung:** In veränderlich festen und festen Gesteinen in den Grenzbereichen tektonischer Großeinheiten. In den Zentralalpen häufiger und großräumiger als in den Randalpen.

**3.1.9.8. Wildbäche auf Ablagerungskegeln** (Abb. 65)

**Feststoffherde:** Ufer- und Feilenanbrüche in subrezentem bis fossilen Ablagerungskegeln.

**Beeinflussbarkeit:** Die Einzugsgebiete der hier angesprochenen Ablagerungskegel liefern rezent nur wenig Schutt, die Ablagerungskegel werden deshalb meist in Form von Ufer- und Feilenanbrüchen, gelegentlich auch von Rutschungen abgetragen. Da die Einzugsgebiete meist Felsflanken sind oder über der Grenze der geschlossenen Vegetation liegen, ist der Abfluss der Niederschläge menschlich nicht beeinflusst. Die Ablagerungskegel sind meist bewaldet und hier sind menschliche Einflüsse durch Entwaldung möglich, die insbesondere bei flacheren Schuttkegeln seitliche Ausbrüche erleichtern.



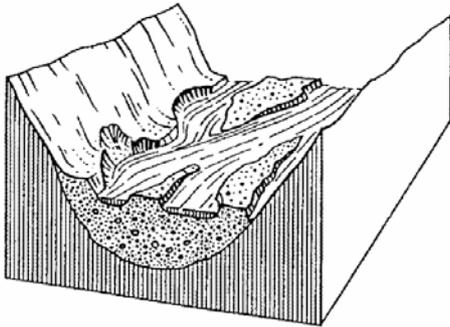
**Ablagerungsgebiet:** Selten sekundäre Ablagerungskegel, meist unmittelbarer Abtransport durch den Vorfluter.

**Verbreitung:** In den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen in Gebieten mit großen nacheiszeitlichen Ablagerungskegeln mit fehlender oder geringer rezenter Akkumulation. Hierher sind u.a. auch die Ablagerungskegel des Vinschgaues, des Oberntales und Engadins zu rechnen.

### 3.1.9.9. Wildbäche auf Talalluvionen (Abb. 66)

**Feststoffherde:** Uferanbrüche und Sohleneintiefungen in rezenten bis subrezentem Talalluvionen.

**Beeinflussbarkeit:** Die Schäden treten in Bächen auf, die oft über lange Zeit den Gebirgsbächen (Karl 1970) zuzuordnen sind. Der Wildbachcharakter tritt nur bei Niederschlagsexzessen auf, die extrem hohe Abflüsse erzeugen. Die menschlichen Einwirkungen auf solche Vorgänge über Eingriffe in die Vegetation sind gering, sie können jedoch nicht ganz vernachlässigt werden.



Eine weitere Rolle kann Überlastung des Baches mit von oben kommendem Geschiebe spielen, das den Bach zum Ausbruch und damit zur Schaffung neuer Feststoffherde zwingt. Ähnliche Wirkung kann ein Murgang haben. Der Unterschied zu den Gebirgsbächen (-flüssen) ist darin zu sehen, dass diese bei solchen Ereignissen keine eigenen Feststoffherde erzeugen.

**Verbreitung:** Zahlreiche Bäche der Alpentäler. Hochwasserkatastrophe 1965/1966 in Osttirol und Kärnten (z.B. Kalsertal, Defregental).

### 3.1.9.10. Wildbäche aus Waldabbrüchen (Abb. 67)



**Feststoffherde:** Translationsbodenrutsche im Wald, Uferanbrüche in rezenten bis subrezentem Talalluvionen.

**Beeinflussbarkeit:** In großflächig bewaldeten Alpentteilen mit verbreiteten harten Kristallin- oder Sedimentgesteinen und nur geringem Vorkommen von Lockergesteinen und veränderlich festen Gesteinen, häufig nur Gebirgsbäche (Gebirgsfluss).

Bei Niederschlagsexzessen treten an Steilhängen Waldabbrüche auf, die zu Verklausungen durch Wildholz und Uferanbrüchen führen. Der Gebirgsbach (-fluss) wird damit für die Zeit des Bestehens dieser Feststoffherde zum Wildbach.

Wildbacheinzugsgebiete können als offene Systeme angesehen werden. Den Systemeingang bilden Wasser (Niederschlag) und Feststoffe (Geschiebeherde, Vegetation), die im Rahmen des gravitativen Verlagerungsvorganges transformiert werden.

Als Systemantwort erhält man die Prozesse:

- Reinwasserabfluss
- fluviatilen Feststofftransport
- Murgang

### **3.1.10. Prozessbereiche in Wildbacheinzugsgebieten (gem. ETALP-Handbücher)**

#### **3.1.10.1. Feststoffeintrag durch Hangprozesse**

Hangprozesse werden durch Instabilitäten im Hang ausgelöst und stehen in keinem ursächlichen Zusammenhang mit dem Wildbachgerinne. Die durch die Hangprozesse dem Wildbach plötzlich bzw. kontinuierlich zur Verfügung gestellten Feststoffvolumina beeinflussen aber maßgeblich das Feststoffregime des Wildbaches. Werden große Feststoffmengen in kurzer Zeit im Gerinne deponiert, kann es zu einer Dammbildung mit dem bekannten Dammanbruch führen.

Großräumige Hangbewegungen führen in vielen Fällen am Rutschungsfuß zu einer Übersteilung der Bacheinhänge. Damit verbunden sind ein „Zuwachsen“ der Gerinne und ein Abdrängen des Baches in den Gegenhang, wodurch erneut Geschiebeherde entstehen können. Vorsicht ist bei der Situierung von technischen Maßnahmen in diesen Gerinnestrecken geboten.

Großräumige Massenbewegungen können an ihrem oberen Ende markante Indikatoren aufweisen. Mögliche Ausprägungsformen sind Doppelgrate, Rückfallkuppen sowie Nackentälchen. Sie verlaufen zumeist annähernd parallel der Schichtenlinie.

Hangbewegungen können zu einer lateralen Aufschiebung (Stirnwalst) führen, sofern die abgleitende Masse streckenweise hangparallel verschoben wird.

Bewegungen im Hang sind auch anhand der Vegetation ersichtlich. Neben der Interpretation des Baumhabitats (z.B. betrunkenen Wald) weisen Wurzeln, die sich über Zerrspalten spannen (gespannte Wurzeln) und Schaftspaltungen der noch stehenden Bäume auf Verlagerungsvorgänge im Hang hin.

Böschungssicherungen von Verkehrswegen können Aufschluss über die Lage und die zeitliche Entwicklung von Hangprozessen geben. In den Bildern ist die randliche Begrenzung einer Rutschmasse erkennbar. Dies äußert sich im Höhen- bzw. Lageversatz.

### 3.1.10.2. Gerinneerosion

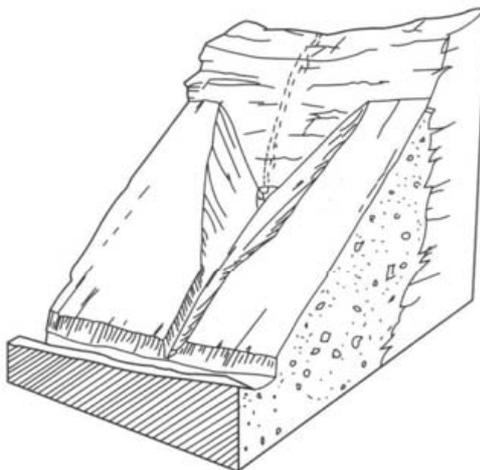
#### Feilenbruch im Lockergestein (Abb. 68)



Im Lockergestein entsteht durch Tiefenerosion entlang der Gerinnestrecke eine längere, einer Dreikantfeile ähnliche Hohlform.

Der Feilenbruch gilt als häufige Anbruchsform, der sich rasch entwickeln kann. Solche Feilen können innerhalb kurzer Zeit (eines Ereignisses) gewaltige Dimensionen erreichen.

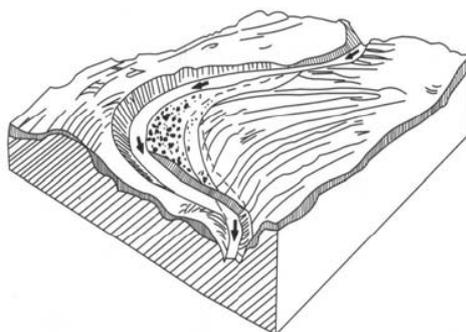
#### Keilanbruch im Lockergestein (Abb. 69)



Durch Kolkererosion im Lockergestein entstandene Hohlform, die einem auf die Spitze gestellten Keil ähnelt. Tritt eher selten auf, kann jedoch reichlich Feststoffe liefern. Einen Hinweis auf die zeitliche Entwicklung einer Tiefenerosion kann man mit Hilfe zerstörter Bauwerke erhalten. Im Bild sieht man Reste eines Querwerks und die nach Abtrag des Bauwerks bachabwärts entstandene Erosionsstrecke.

Verschiedene Bäume können, wenn sie eingeschüttet werden, ein neues Wurzelsystem in den Ablagerungen ausbilden.

Werden diese Horizonte in Folge erodiert, lässt sich damit auf die Erosionstiefe zurückschließen und bestenfalls ein zeitlicher Bezug ableiten. Murgängen wird unterstellt, dass sich ihre Erosion in einem U-förmigen Querprofil widerspiegelt. Die Ausmaße der dadurch hervorgerufenen Tiefenerosion sind derzeit noch nicht quantifizierbar, da sie von verschiedensten Parametern abhängt. In der Erosionsstrecke sind auf Grund der Steilheit der Böschungen keine Murfirste (Levees) zu erwarten. Nicht nur Gerinne, auch Sperrenbauwerke können nach Beaufschlagung durch einen Murgang ein U-förmiges Abflussprofil aufweisen.



#### Uferbruch (Abb. 70)

Häufig auftretender Geschiebeherd vor allem in Umlagerungsstrecken. Bei steileren Gerinnen Übergang zum Feilenbruch.

### **3.1.10.3. Gerinneablagerung**

Ablagerungen in Gerinnen weisen auf einen hohen Anteil an transportierten Feststoffen hin. Nach einem Ereignis finden sich zumeist nur mehr Reste von Ablagerungen, denn mit abklingender Hochwasserwelle tieft sich der Bach in seine Ablagerungen, häufig unter Ausbildung von Terrassen, ein. Diese Ablagerungen weisen zumeist eine Horizontalschichtung auf.

Es hat sich gezeigt, dass sich der Abfluss in solchen Gerinnestrecken nicht zurückrechnen lässt, da unbekannt ist, welcher Querschnitt dem Abfluss während dem Ereignis zur Verfügung stand. In solchen Strecken sind das Verlandungsgefälle, die abgelagerte Feststoffkubatur und die Kornverteilung von besonderem Interesse.

Die zeitliche Abfolge des Ereignisses kann aus der Interpretation der Sortierung der Korngrößen in horizontaler und vertikaler Richtung (Gradierung) und der Schichtstärke versucht werden.

### **3.1.10.4. Verklausung**

Abflusshemmende Verlegungen, wie sie aus der Böschung einrutschende Bäume darstellen, können aufbrechen und einen Abflussschwall initiieren, der den normalen Hochwasserabfluss übersteigt. Umgekehrt können diese querliegenden Baumstämme aber auch wie ein Querwerk wirken.

Aus der Böschung einrutschende Felsblöcke können ebenfalls eine Verklausungsstelle darstellen.

Problematisch ist vor allem die Gefahr der seitlichen Umgehung des Abflusshindernisses, wodurch eine laterale Erosion hervorgerufen wird.

Hinweise auf Verklausungen finden sich z.T. auch in der Literatur.

Auch Lawinenablagerungen in Gerinnen müssen als potentielle Verklausungen angesehen werden. Der Bruch der Schneeablagerung kann zu bedeutenden Schwallerscheinungen führen und zur Murenauslösung führen.

### 3.1.11. Massenbewegungen im Fachgutachten

Aus der Literatur und vorhandenen Stellungnahmen der Landesgeologie konnten die folgenden Bearbeitungen gefunden werden.

#### 3.1.11.1. Kraftwerksgruppe Fragant

In der Sonnblick- und Kreuzeckgruppe wurde von der Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft (KELAG) in den Jahren von 1963 bis 2008 ein zusammenhängendes System von Speicher- und Laufkraftwerken errichtet. Zu diesem Zweck sind Hochgebirgsseen als Speicherdämme ausgebaut worden.

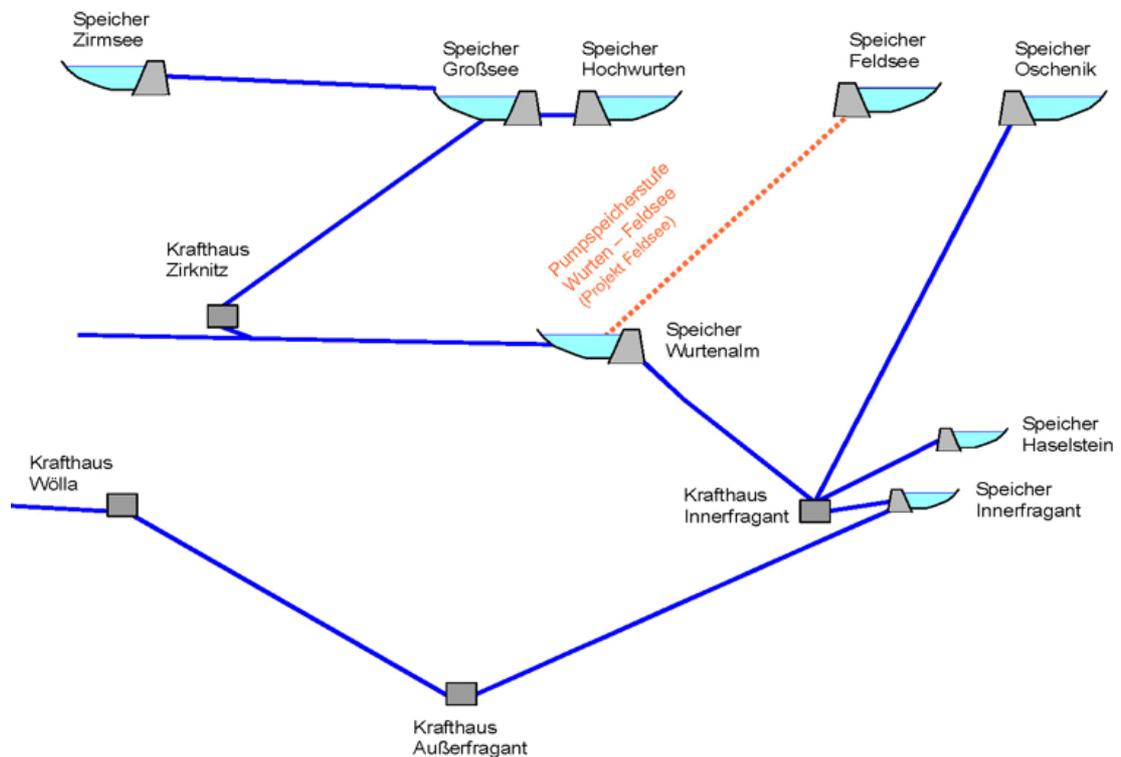


Abb. 71: Schema Kraftwerksgruppe Fragant, Quelle KELAG

Seit dem Jahre 1959 sind im Auftrag der KELAG Kartierungen und baugelogeische Untersuchungen zwischen Außerfragant, Weißsee und den Zirknitztälern mit Schwerpunkt im Abschnitt Fragantertal - Oscheniksee durchgeführt worden. Die Hauptaufgaben bestanden in der geologischen Vorhersage von Rohrleitungs-, Stollen- und auch Straßentrassen und in der Prüfung gründungsfähiger Aufstandsflächen für Krafthäuser, Speicherdämme und Wehrstellen. Ergänzende Informationen wurden über Aufschlußbohrungen, Seismik, Schurfröschchen und die geologische Betreuung der Stollenvortriebe, der Fundamentaufschließungen und der Speicheraushübe gewonnen.

#### Die Geologie im Raum der Kraftwerksgruppe Fragant nach E.H. Weiss (1969):

Der Zentralgneis des Sonnblickkerns zieht von Obervellach im Mölltal gegen NW über das Böseck-Wurtengebiet-Sonnblick bis zum Fleißkees durch. Er hat an seiner breites-

ten Stelle zwischen Zirknitztal und Wurtenkees eine Ausdehnung von 7 km. Die meisten Bauwerke und Hochgebirgsstraßen befinden sich im Gneiskomplex. Der „Sonnblickkern“ besteht aus verschiedenen Gneistypen, die von feinkörnigen Schiefergneisen über Glimmergneise bis zu sehr harten, grobkörnigen Augengneisen und porphyrischen Gneisgraniten reichen. Darin eingelagert sind Amphibolitzüge, Glimmerschiefer, Biotitglimmergneise bis reine Biotitschiefer. Der Gesteinskomplex wird von Aplitadern und Quarzgängen, mit Chlorit und Serizitlagen sowie Karbonataggregaten durchzogen.

Der Sonnblickkern baut die Nordwest-Südost streichende Antiklinale auf, deren Achse ungefähr durch den Oscheniksee zieht. Im Kern herrscht unruhige Lagerung vor. Die Serizitschieferlamellen und Serizit-anhäufungen sind neben Glimmerschieferlinsen und mylonitisierten Gneisen Beweis für die stattgefundenen Bewegungen. Der steile Nordost Schenkel fällt gegen das Tal des Mallnitzbaches und wird ab der Böseck-Nordostschulter vom Schieferkomplex der Tauernhülle überlagert.



Abb. 72: Verfalteter Zentralgneis nahe des Hochwurtendamms

Der Südwestschenkel fällt flach bis mittelsteil in das Fragner Tal ein. Die Grenze zwischen Zentralgneis und Schieferhülle verläuft in den tieferen Hanglagen der orographisch rechten Talflanke. Die Schieferhülle hat die größte Verbreitung zwischen Sandfeldkopf und Sadnighütte (Asten-Tal). Es ist eine sehr vielfältige Gesteinszusammensetzung mit einer Vormacht karbonatischer Schiefer.

Durch endogene Kräfte kam es zu den zahlreichen Störungen, Brüchen und Entspannungerscheinungen mit ausgeprägten Kluftsystemen. Die **Möll-Drautal-Störung** schneidet das Fragner Tal im Südosten ab, parallel zur Antiklinalachse des Sonnblickkerns zieht die **Oscheniksee-Störung** durch den Oscheniksee.



Abb. 73: Oschenikseestörung



Abb. 74: Feldsee kar mit Kammspitz im Westen

Die **Kalte-Wand-Störung**, ist von der Jamnigalpe quer über den Oscheniksee bis in den Hauptstollen nachzuweisen. Die stollenbautechnisch wichtigste tektonische Linie wurde im Hauptstollen spitzwinkelig angefahren und als **Fraganter Störung** bezeichnet. Im Bereich des **Zipferwaldes** (Abschnitt Waben) ist eine weitere markante Störung angetroffen worden, ebenso im **Wollnitzgraben**. In der Gneisabfolge treten pyramidenartige Gipfel, steile oft turmartig zerlegte Granitgrate und fast senkrechte, durch hohe Wandstufen unterbrochene Flanken von über 1.000 m Höhe, mit schluchtartigen Runsen durchzogen, auf.

Kare mit Seen und Moränenbedeckungen zeugen von der Gletscherdynamik und von den klimatischen Extrembedingungen im Pleistozän.

Durch exogene Kräfte werden die Granitkörper zerlegt, lösten Bergstürze und Großrutschungen aus und bewirkten einen blockigen Zerfall vieler, ursprünglich stabiler Flanken. Beispiele dafür sind die Blockmeere im Astromkar, im Oschenikseegebiet, Blockfelder und riesige Schutthalden im gesamten Granitareal, großflächige Bergzerreibungen am Schwanspitze-NW-Abbruch, bei den Oscheniktürmen und am Südsporn der Kammspitze. Talwärts gerichtete Kräfte lösten Felsteile aus dem Verband, die in das Fraganter Tal oder in das Bachbett des Oschenikbaches wirkten. Die Sackungsmasse der Garnitzenscharte der Melenwände ist vor der letzten großen Vergletscherung im Würm und der Talverfüllung des Innerfraganter Kessels in Richtung Haselstein und Innerfragant um etwa 400 Höhenmeter abgefahren.

Ein Teil der Sackungsmasse wurde vom Granitfels des Haselsteins gehalten und erst nach dem Rückzug des Gletschers, der als Stützkörper wirkte, glitt auch dieser zu Tal. Diese weitere Ausgleichsbewegung bewirkte Massenbewegungen. Aus den Teilanrissen der Schuttrinnen entstanden langgezogene Schuttrichter, muschelige Ausbrüche, und neue Abrißnischen.



Abb. 75: Garnitzenscharte der Melenwände

Die Gneisabbrüche des Haselsteins wurden durch postglaziale Deformationen aufgelockert. Das locker gelagerte Blockwerk verursachte Probleme bei der Fundierung der Druckrohrleitung. Auf der gegenüberliegenden Talseite wurden die kompakten Gneisgranite pfeiler- und schuppenartig zerlegt, an hangparallelen Fugen traten in der horizontalen und schrägen Strecke des Druckschachtes unter Druck stehende Kluftwässer auf.

Die flächenmäßig größten Hangbewegungen vor dem letzten Glazial fanden auf der orographisch linken Flanke des Fraganter Tales zwischen der Badmeisterrinne (südlich Mandlwald) und dem Zipferwald statt (vgl. Profile Abb. 77). Große Massenbewegungen mit nachfolgenden Bergstürzen kennzeichnen das Gebiet, dass der Hauptstollen durchörtert.



Abb. 76: Mandlwald mit Oschenikkar

Neben dem Talzusub prägen die Tal-, Kar-, und Hängegletscher die Morphologie des Gebietes. Auf pleistozänen Terrassen und mäßig geneigten Hangflächen lagern Moränenreste, aufgearbeiteter Hangschutt und Schmelzwasserablagerungen. Die gesamte linke Talflanke führt in einzelnen Muldenzonen auf Verebnungen und auch in den Steilhängen bis zu 30 m mächtige Moränen, welche zumeist auf dem Schutt der Gleitkörper aufliegen. Die Moränen beinhalten einen sehr hohen Schluff- und Feinsandgehalt und führen Grobblöcke. Im Bereich von Waben gibt es eine 25 m tiefe glaziale Umfließrinne, die mit grobblockigem Moränenmaterial verfüllt ist. Im Einzugsgebiet der Bäche vermengen sich Moränen, Hang- und Blockschutt mit älteren Bachablagerungen. Vielfach liegen junge Schuttfächer über den Moränen.

Die Ortschaft Innerfragant liegt auf einer großblockigen Endmoräne. Aus der großen Abschmelzperiode stammen die Terrassenablagerungen entlang der tieferen Talflanken, dagegen lagern im Streifen der heutigen Bachsohle junge Alluvionen.

Die letzten morphologischen Veränderungen wurden von Muren, Flächenabspülungen und geröllführenden Wassermassen verursacht, die große Schwemmkegel bildeten. Schluffe, Feinsande bis Kiese und mächtige Gerölleinströmungen verfüllten postglazial das Fragantertal.

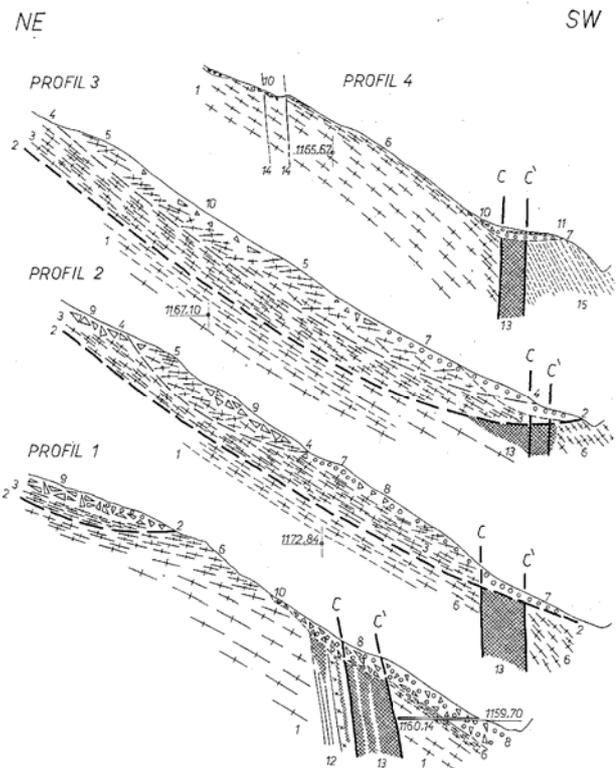
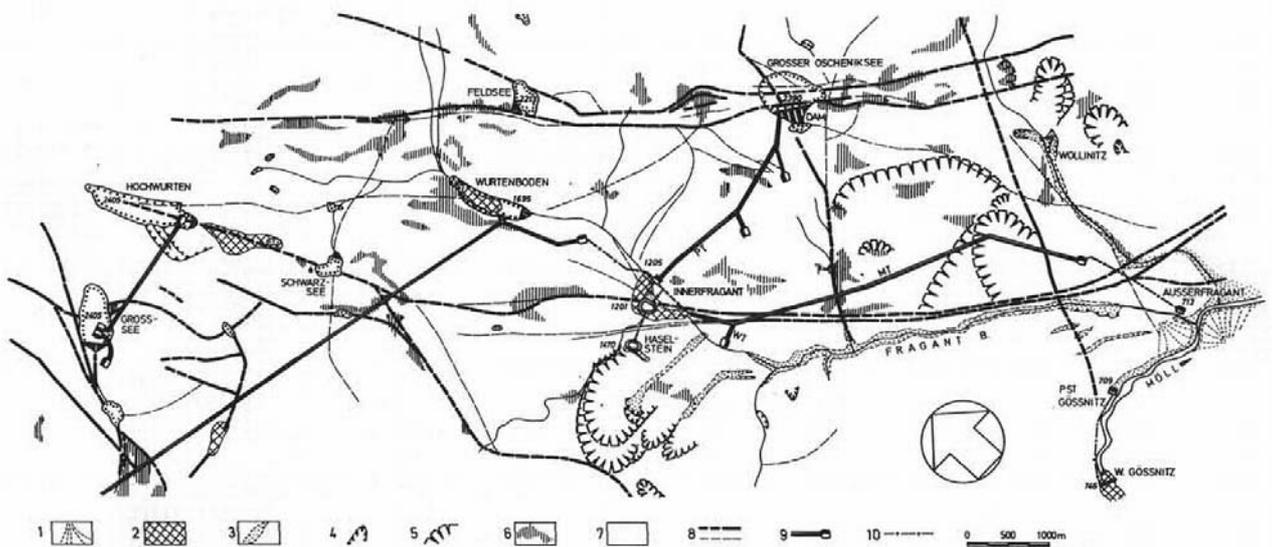


Abb. 77: Profile durch die Massenbewegung südlich Mandlwald aus Weiss (1969)



**Legende:**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Alluvial cone.</li> <li>2 Older lake deposits (lacustrine clay, mud, silt, partly peat)</li> <li>3 Mudflow deposits from the catastrophic landslides (1965, 1966)</li> <li>4 Young landslides (1965, 1966)</li> <li>5 Old major landslides (including Sackung - type slides) - Talzuschub after Stiny</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>6 Zentralgneis, showing a high degree of disintegration</li> <li>7 Zentralgneiscomplex (Hohe Tauern mountains), partly overlain by moraine, talus material and boulders.</li> <li>8 Main fault, seen and inferred, faults in general.</li> <li>9 Tunnels (headrace, tailrace)</li> <li>10 penstocks</li> <li>WT side drift, MT main tunnel, PT pressure tunnel.</li> </ul> |
|---|---|

Abb. 78: Geologische Karte der Kraftwerksgruppe Fragant aus Horninger (1980)

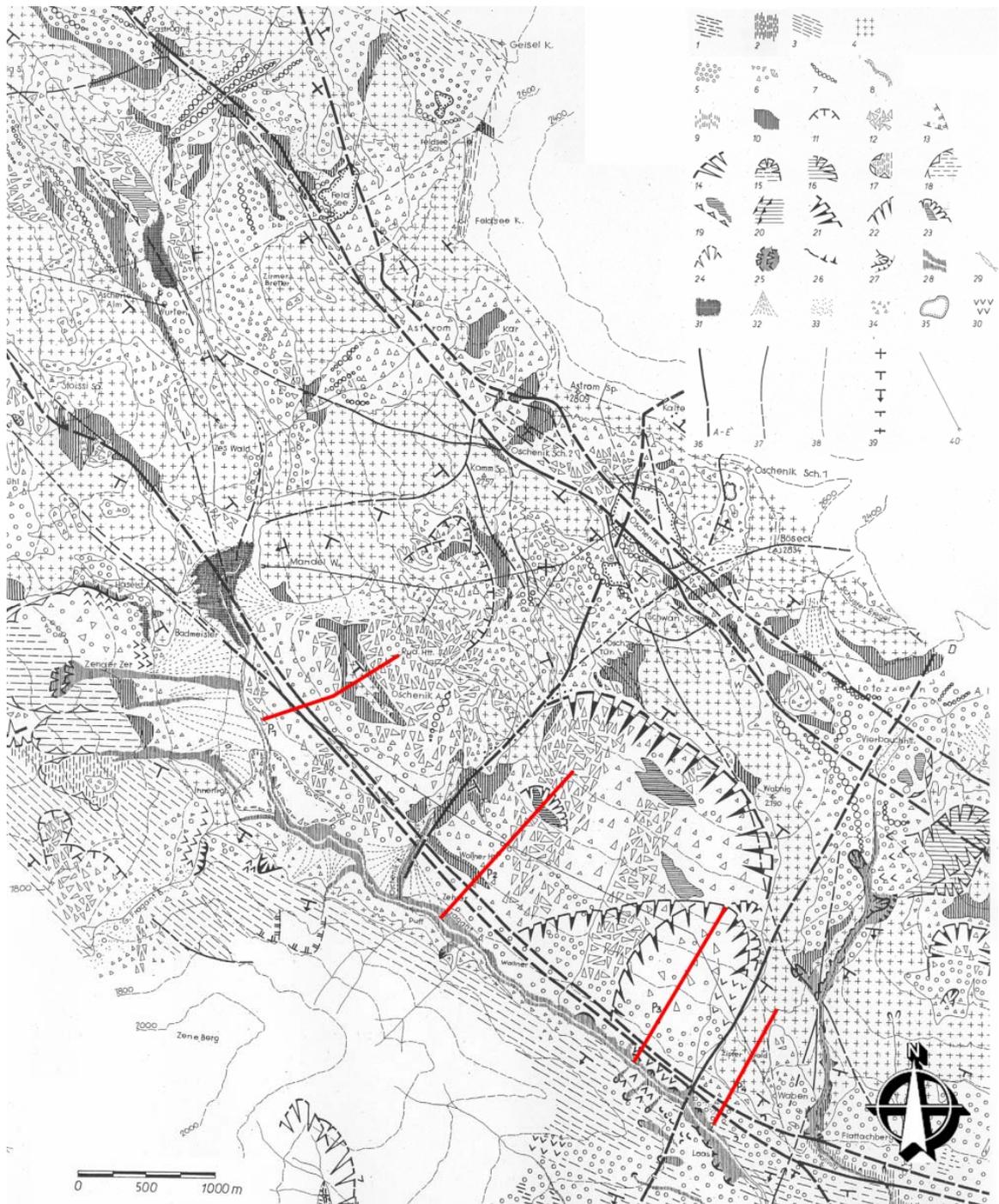


Abb. 79: Ausschnitt aus der geologischen Karte der Kraftwerksgruppe Fragant und Profillinien der Abb. 77 aus Weiss (1969)

### 3.1.11.2. Massenbewegung im Auenbach

Bei Aufnahme und Untersuchung einer der Abteilung 15 Umwelt - Unterabteilung Geologie und Bodenschutz - gemeldeten Massenbewegung wird immer versucht, alle nachstehend aufgelisteten Punkte zu klären:

- Zeitpunkt des Auftretens der Massenbewegung
- Typus der Massenbewegung
- Geologische Situation (Aufbau, Zusammensetzung und Beschaffenheit des Untergrundes)
- Geologische Voraussetzungen für das Auftreten der Massenbewegung
- Ursachen der Massenbewegung
- Auslösendes oder auslösende Ereignisse
- Witterungsverhältnisse vor und zum Zeitpunkt des Auftretens der Massenbewegung
- Entstandene Schäden
- Notwendige Sanierungsmaßnahmen

Nicht immer ist es möglich, alle Fragen gleichmäßig gründlich zu beantworten. Bei kleinen und mittleren Massenbewegungen sind weiterführende Erhebungen (Untergrundaufschließung durch Schürfe oder Bohrungen und bodenmechanische Untersuchungen) aus finanziellen Gründen oftmals nicht möglich. Die durch laufende Bearbeitungen angesammelte persönliche Praxis, vor allem gute Ortskenntnis und das Kennen der regionalen Gegebenheiten (Geologie, Geomorphologie, Wildbachkunde) kann diese nicht vorhandenen Untersuchungen zum Teil ersetzen.

Im Bereich des Auenbachs im Bezirk Wolfsberg kam es im August 2005 zu einer großen Massenbewegung. Es wird aus dem Gutachten vom 01.09.2005 der UAbt. 15 Geologie und Bodenschutz, Verfasser Dr. Bäk, zur Rutschung auf Pz. 375 im Bereich der KG Preims zitiert.



Am 27.08.2005 meldete die Landesalarm- und Warnzentrale (LAWZ) eine Rutschung in Wolfsberg in der KG Preims im Bereich des Wirtschaftsgebäudes vlg. Holsteiner. Am selben Tag wurden ein Ortsaugenschein und eine erste Beurteilung der dort beobachteten Rutschung durchgeführt.

Am 30.08.2005 kam es zu einer weiteren Alarmierung, da eine zweite Großrutschung unmittelbar nördlich des Anwesens vlg. Holsteiner aufgetreten war. Von dieser Rutschung war der nördlich gelegene Hanggraben betroffen.

Abb. 80: Schrägluftbild der Massenbewegung, 30.08.2005

Die Rutschung im Bereich des Wirtschaftsgebäudes vlg. Holsteiner ist nach Mitteilung des Grundeigentümers am 21.08.2005 aufgetreten. Dabei haben sich im Bereich des Gebäudes in der Wiese Zugrisse gebildet. Diese Zugrisse haben sowohl vom Verlauf als auch vom Höhenversatz her bis zum 27.08.2005 zugenommen.



Abb. 81: Abrisskanten beim Wirtschaftsgebäude und Zugrisse in der Wiese am 31.08.2005

Das Wirtschaftsgebäude liegt auf einer Verebnungsfläche, die als Wiese bzw. Weide genutzt wird. Bergseits davon ist ein steiler bewaldeter Hang, der ca. 50 m talseits des Hauses in einen etwa 30° geneigten bewaldeten Hang übergeht. Gegen Norden fällt der Hang zu einem Hanggraben ab.

Beim Ortsaugenschein wurden im Bereich des unterliegenden Hanggrabens keine Anzeichen für eine aktive Verformung beobachtet. Der Säbelwuchs südlich des Gerinnes zeigte an, dass in diesem Bereich die Stirn der Rutschung zu vermuten war. In diesem Bereich war eine breite vernässte Verebnungsfläche zu beobachten. Auf Grund dieses Ortsbefundes wurde am 27.08.2005 die Meinung vertreten, dass der Rutschkörper in diesem Bereich aufgleiten und damit zum Stillstand kommen müsste.



Abb. 82: Altrutschung 02.09.2005

Bei der Begehung wurde festgestellt, dass in dem Hanggraben bergseits des Anwesens vlg. Holsteiner (Wirtschaftsgebäude) etwa westlich des Wirtschaftsgebäudes im Gelände Verebnungsflächen zu beobachten waren. Diese Verebnungsflächen wiesen darauf hin, dass eine Altrutschung im Hanggraben vorlag.

Die am 27.08.2005 erhobene Rutschung umfasste eine Fläche von ca. 60.000 m<sup>2</sup>. Auf Grund eines möglichen Tiefganges der Gleitung mit etwa 5 m im Mittel (max. Tiefgang > 15 m) wurde eine Kubatur von 300.000 m<sup>3</sup> geschätzt.

Nach dem Schadensereignis vom 30.08.2005 konnte festgestellt werden, dass zwar der Setzungsbetrag im Bereich der Zugrisse zugenommen hat, aber dieser Gleitkörper im Wesentlichen unverändert liegen geblieben ist. Im Bereich der nördlich im Hanggraben gelegenen zweiten Rutschung wurden neue Zugrisse erhoben.

Die Rutschung vom 30.08.2005 ist um ca. 4.00 Uhr früh in dem nördlich gelegenen Hanggraben aufgetreten. Die Anrisskante der Rutschung liegt auf ca. 1.140 m Seehöhe. In Falllinie hat sich eine Rutschung bis auf etwa 980 m Seehöhe entwickelt. In diesem Bereich ist schließlich aus der Rutschungstirn Erdmaterial mit Schadholz murenartig auf einer Länge von etwa 400 m talwärts geflossen.



Abb. 83: Erdstrom 31.08.2005

Die Stirn des Murenabganges lag etwa 300 m vor der Mündung des Auenbaches. Die Rutschung umfasst eine Fläche von ca. 70.000 m<sup>2</sup>. Das Volumen wurde bei einem mittleren Tiefgang von ca. 5 m auf 350.000 m<sup>3</sup> geschätzt. Davon dürften ca. 30.000 m<sup>3</sup> murenartig in den unterliegenden Graben abgeflossen sein.

Ursache für die beiden Rutschungen waren Starkniederschläge. Durch die neuerlichen Niederschläge am 27. bzw. 28.08.2005 wurde die alte Rutschmasse im Hanggraben reaktiviert. Im Schuttkörper finden sich teilweise Marmorbrocken. Der Untergrund unter dem Rutschkörper wird aus verkarstungsfähigem Marmor aufgebaut. Die Karstwasserquellen waren mit Ursache für das Schadensereignis.

Der Untergrund wird im Bereich des Rutschkörpers aus verlehmtm Hangschutt aufgebaut, dem in situ verwitterter Fels auflagert. Sowohl Hangschutt als in situ verwitterter Fels sind auf Grund der feinsandig-schluffigen Matrix als wasserempfindlich und rutschanfällig anzusprechen.

Durch die Rutschung wurde die Zufahrt zum Anwesen vlg. Füssl, zum Anwesen vlg. Kristianibauer und einem weiteren Anwesen unterbrochen. Auf Grund der Dimension der Rutschung konnte ein progressiver Bruch nicht ausgeschlossen werden. Daher bestand eine akute Gefahr für die unterliegende Gemeindestrasse, die die Anwesen im hinteren Auental erschließt.



Abb. 84: Zufahrtsweg 02.09.2005

Auf Grund der Größenordnung der Rutschung wurde die Gemeindestrasse gesperrt, da nicht ausgeschlossen werden konnte, dass es zu progressiven Brüchen mit weiterem Abgang von Erdmaterial kommt. Dieses Material hätte einen Aufstau im Gerinne bzw. im Auenbach verursachen können, bei dem Objekte in der gelben und roten Zone bachabwärts ebenfalls betroffen gewesen wären.

Die Rutschmasse wurde nach den Ereignissen wochenlang beobachtet und vermessen und nachdem sie keine Anzeichen einer weiteren Bewegung zeigte, konnte die Straße wieder freigegeben werden und es wurde mit den Sanierungsarbeiten begonnen.

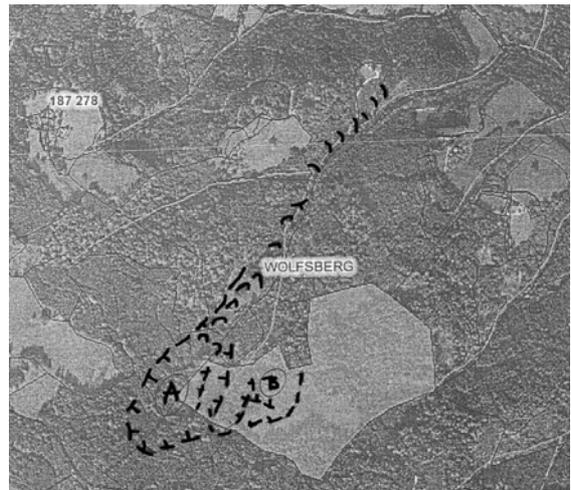
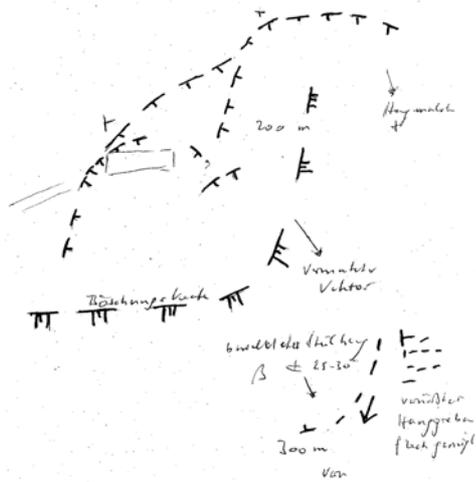


Abb. 85: Aufnahmeskizzen der beiden Rutschungen im Auenbach



Abrisskanten der Rutschung im Wald, 02.09.2005



Grenze der Rutschung im Süden, 02.09.2005



Oberer Bereich der Rutschung im SW, 14.10.2007



Abrisskante mit 2m Versatz im SW, 14.10.2007



Abrisskante, 14.10.2007



Altrutschung im SE, 14.10.2007  
Entfernung ca. 2 km

Abb. 86: Photodokumentation Auenbach

### 3.1.12. Ereigniskataster geogener Naturgefahren

Die Erfassung, das Dokumentieren und das räumliche Darstellen von Gefahren sind die Grundlage für die Entwicklung von Strategien zum Schutz vor Naturgefahren. Die Wildbach- und Lawinerverbauung und der Flussbau führen seit Jahrzehnten Aufzeichnungen und Dokumentationen zu Naturereignissen wie Hochwasser, Muren und Lawinen. Jedoch werden geogene Naturgefahren wie Steinschläge, Felsstürze, Rutschungen und Erdströme von verschiedenen Dienststellen, wie der Landesgeologie, der Strassenverwaltung und auch der dem Bund unterstellten Wildbach- und Lawinerverbauung WLV, bearbeitet.

Im Ereigniskataster als Teil des Gemeinschaftsprojektes „Naturgefahren Kärnten I und II“ werden Fachinformationen über naturgefahrenrelevante Ereignisse eingelagert und den Nutzern zugänglich gemacht. Es werden darin Angaben zum Prozess, zum Ausmaß des Ereignisses und zu den auslösenden Faktoren festgehalten. Durch einheitlich strukturierte Meldungen ist diese Datenbank über eine Eingabemaske am Arbeitsplatz und in Zukunft auch via Internet befüllbar. Auf Grund des Aufbaus sind folgende Fragen zwingend zu beantworten; **was** hat sich **wann, wo** und in **welchem Ausmaß** ereignet. Dadurch werden Lage, Größe und Zeitpunkt des Ereignisses sowie der Erhebung eingetragen. Die Qualifizierung der Angaben erfolgt mittels der sogenannten **MAXO**-Felder. (**M** - gemessen, **A** - angeschätzt, **X** - ungefähre Lage, **O** - Lage bzw. Angabe unbekannt). Zur Vereinheitlichung der Meldungen zu den verschiedenen Massenbewegungsarten sind Skizzen mit Begriffserläuterungen gemacht worden. Durch diese Unterlagen soll es auch dem qualifizierten Laien (Forsttechniker, Straßenmeister, Baudienst der Gemeinde) möglich sein, eine Zuordnung zu treffen.

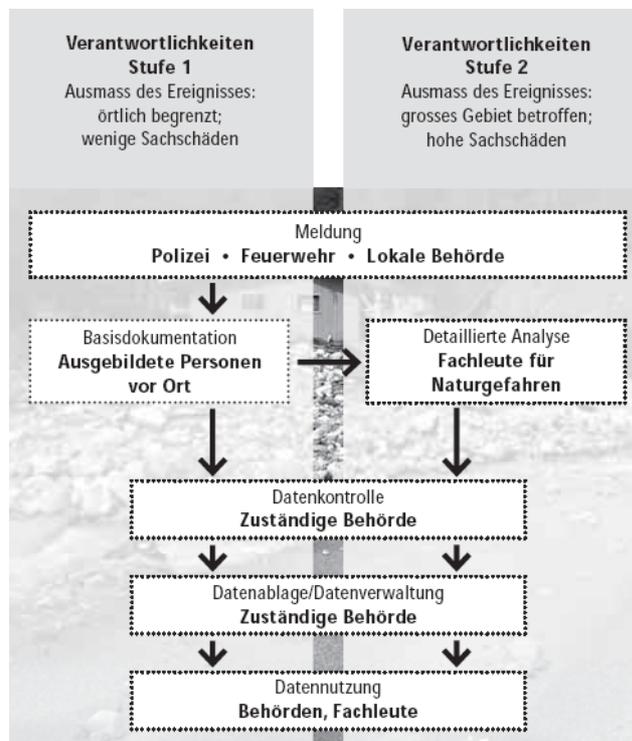


Abb. 87: Flussdiagramm zur Dokumentation von Naturereignissen – Feldanleitung; Alpensignale 4 (2006)

Abb. 88: Datenbankmaske Ereigniskataster, Rutschung beim Wirtschaftsgebäude vlg. Holsteiner

Daneben werden zu den Ereignissen auch die betreffenden Punktkoordinaten im BMN M31 gespeichert. Verschiedene Symbole, Farben und Zahlen helfen dem Betrachter der Karten die Bewegungsart und die Größenordnung eines Ereignisses zu visualisieren.

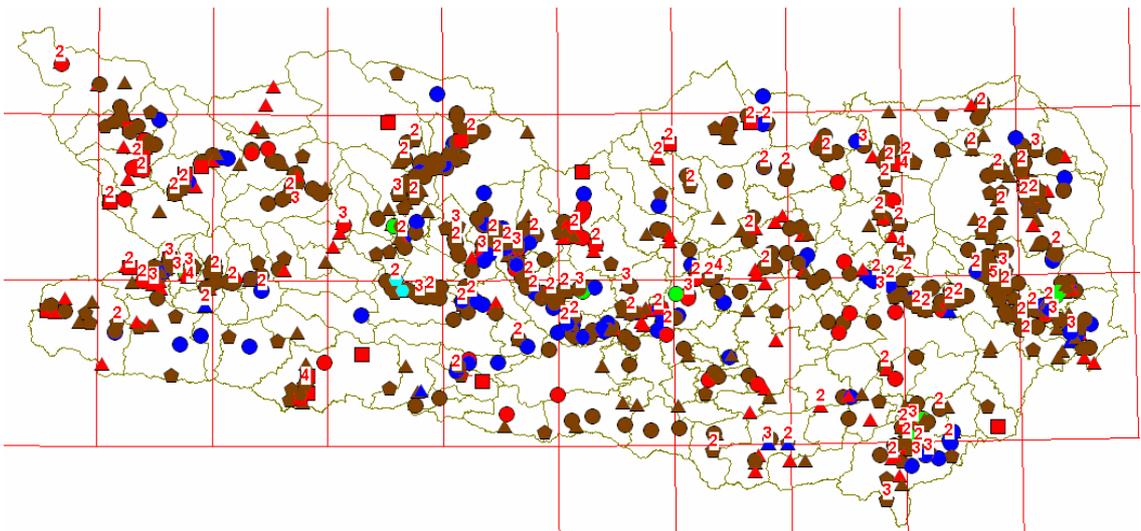


Abb. 89: Darstellung der im Ereigniskataster archivierten Massenbewegungen in Kärnten

Ein Teil der Thesis ist eine Evaluation des gesammelten Datenmaterials zum Thema Massenbewegungen im Hinblick auf zukünftig notwendige Detailuntersuchungen.

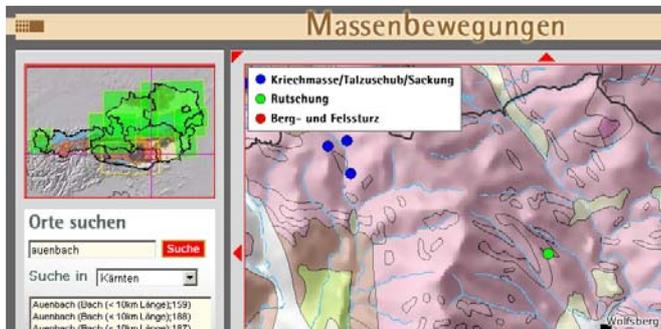
### 3.1.13. Massenbewegungen im Internet

An der Österreichischen Geologischen Bundesanstalt, Fachabteilung Ingenieurgeologie, wurde im Rahmen des Schwerpunktprogramms GEORIOS eine GIS-gestützte Datenbank zur Erfassung und Dokumentation von geogenen Naturgefahren entwickelt. Darin sind für ca. 45.000 Punkte in Österreich Informationen zu geogenen Naturgefahren in digitaler Form gespeichert worden.

Zum Thema „Massenbewegungen in Österreich“ wurde auch eine Webapplikation in deutscher und englischer Sprache geschaffen.



Unter <http://www.geologie.ac.at/de/GBAONLINE/gbaonline.html> können auf der Internetseite der Geologischen Bundesanstalt, Informationen zu Massenbewegungen (Sackungen, Rutschungen und Felsstürze) abgefragt werden.



So findet sich zum Testgebiet Auenbach folgende Information:  
<http://kaernten.orf.at/stories/54861/>

30.08.2005

#### Hang in Wölling abgerutscht

Nach den schweren Regenfällen der vergangenen Tage ist in Wöllbling bei Wolfsberg am Dienstagvormittag ein Hang abgerutscht. Menschen waren nicht bedroht, die Gemeindestraße musste aus Sicherheitsgründen gesperrt werden.

#### 100.000 Kubikmeter Stein und Erde

An die 15.000 Quadratmeter Waldfläche, rund 100.000 Kubikmeter Erde und Steine sind in Bewegung geraten. Eine Zufahrtsstraße ist verschüttet. Einige Anwesen sind von der Außenwelt abgeschnitten. Am Nachmittag fand in Wolfsberg eine Krisensitzung statt.



Abb. 90: GBA Internetseite Massenbewegungen

Weiterführende Informationen zum Thema Massenbewegungen, GEORIOS und über diese Webapplikation sind in der Arbeit „Massenbewegungen in Österreich“ von Kociu (2007) enthalten.

### 3.1.14. Massenbewegungen im Intranet

Für die Bediensteten der Verwaltung in Kärnten wurde eine webbasierte Anwendung eines Geographischen Informationssystems geschaffen. Im „KAGIS IntraMAP“ sind Geodaten und Karten in diversen Fachschalen eines IntraMap Viewers gruppiert.



Der Nutzer kann sich aus den links aufgezählten Themengebieten die jeweils benötigte Karte erstellen. Diese Karten sind auf die jeweiligen Verwaltungsaufgaben abgestimmt, um als Werkzeug der Visualisierung, Verarbeitung und Analyse von raumbezogenen Daten zu dienen. Der Funktionsumfang und Inhalt des IntraMAP Clients wird über ein Autorenwerkzeug definiert, die Speicherung der benutzerspezifischen Konfiguration erfolgt in einer Standard XML Datei.

Der Geodatenbereich der Massenbewegungen, dessen Datensätze in der Archivdatenbank Ereigniskataster in Form von oracle View – Tabellen abgelegt sind, wird in den IntraMap – Dienst des Landes folgend eingegliedert und visualisiert:

- Anlegen von Feature Classes im ArcSDE
- Importieren der Fachdaten aus dem Geoarchiv in die ArcSDE Feature Class mittels ESRI Toolbox Model
- Editieren des ArcIMS Map Configuration Files
- Aktualisieren des ArcIMS Services
- Anlegen der Abfragen im WebGIS Content Management System
- Darstellung im IntraMap Viewer

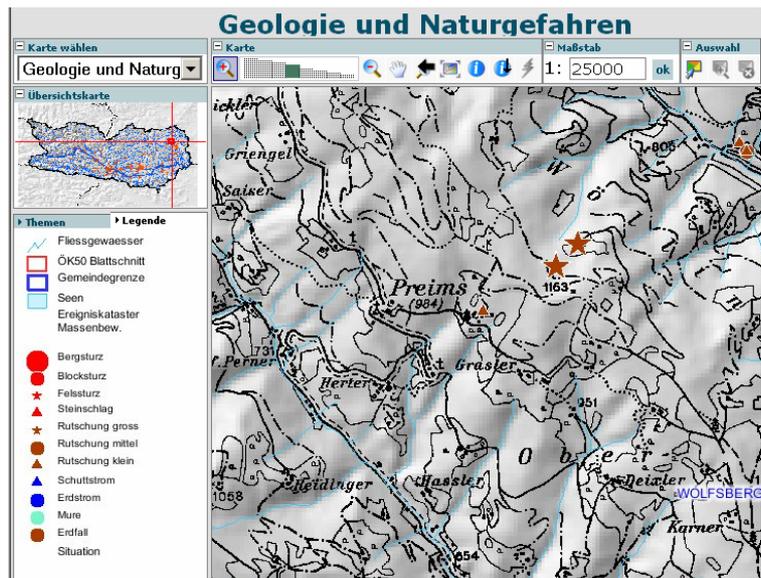


Abb. 91: Intranetseite Geologie und Naturgefahren

Weiterführende Informationen zum Thema KAGIS Kärnten Atlas, IntraMAP etc. gibt es in der Publikation lebensräume.kärnten.extra, 2004, die auch als Pdf downloadbar ist ([https://www.verwaltung.ktn.gv.at/cgi-bin/evoweb.dll/cms/akl/17935\\_DE-Downloads-Lebensr%e4ume%2007%2d2004.pdf](https://www.verwaltung.ktn.gv.at/cgi-bin/evoweb.dll/cms/akl/17935_DE-Downloads-Lebensr%e4ume%2007%2d2004.pdf)).

### 3.1.15. Geomorphologie

Die Geomorphologie ist die Lehre von den Formen der festen Erdoberfläche und der sie schaffenden Kräfte. Gegenstand der Betrachtungen sind das Relief bzw. die Landformen, die durch endogene Kräfte, wie Tektonik und Vulkanismus und durch exogene Kräfte, wie Verwitterung und Abtragung, beeinflusst werden.

Die Geomorphologie umfasst folgende Teilbereiche:

- **Geomorphographie:** Beschreibung des Reliefs;
- **Geomorphometrie:** Messung des Reliefs durch Ermittlung von Neigung, Wölbung und Exposition (Himmelsrichtung);
- **Geomorphogenese:** erdgeschichtliche Entwicklung des Reliefs;
- **Geomorphodynamik:** Beschäftigung mit reliefprägenden vergangenen und aktuellen Prozessen;
- **Geomorphochronologie:** beschäftigt sich mit der Altersbestimmung und Einordnung der Formen in erdgeschichtliche Abläufe.

#### 3.1.15.1. Geomorphographie - Ansprache des Reliefs

Die Großformen des Reliefs (Mega- bis Mesorelief) werden nicht im Gelände angesprochen, sondern aus kartographischen Grundlagen abgeleitet (Topographische Karte, DGM). Wenn nur herkömmliche Unterlagen vorliegen wird das Mikrorelief und darunter im Gelände bestimmt. Durch die ALS Genauigkeiten kann nunmehr auch das Mikrorelief (Nanorelief) mittels eines Computers bestimmt werden.

|             | Größenhaupttyp     |                    |                    | Größentyp          |                    |                    | Beispiele                                      |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
|             | B(m)               | F(m <sup>2</sup> ) | T/H(m)             | B(m)               | F(m <sup>2</sup> ) | T/H(m)             |  |
| MEGARELIEF  | > 10 <sup>6</sup>  | > 10 <sup>12</sup> |                    | > 10 <sup>6</sup>  | > 10 <sup>12</sup> |                    | Schilde, Ebenheiten                            |
| MAKRORELIEF | 10 <sup>6</sup>    | 10 <sup>12</sup>   | > 10 <sup>3</sup>  | 10 <sup>6</sup>    | 10 <sup>12</sup>   | > 10 <sup>3</sup>  | Ebenen, kontinentale Gebirge                   |
|             |                    |                    |                    | 10 <sup>5</sup>    | 10 <sup>10</sup>   |                    | Mittelgebirge, Plateaus, Tiefebene             |
| MESORELIEF  | 10 <sup>4</sup>    | 10 <sup>8</sup>    | 10 <sup>3</sup>    | 10 <sup>4</sup>    | 10 <sup>8</sup>    | 10 <sup>3</sup>    | Berge, Bergzüge, Sanderflächen, Täler          |
|             |                    |                    |                    | 10 <sup>3</sup>    | 10 <sup>6</sup>    | 10 <sup>2</sup>    | Moränenhügel, Talböden, Täler                  |
| MIKRORELIEF | 10 <sup>2</sup>    | 10 <sup>4</sup>    | 10 <sup>1</sup>    | 10 <sup>2</sup>    | 10 <sup>4</sup>    | 10 <sup>1</sup>    | Doline, Düne, Toteisloch, Hangmulde, Rutschung |
|             |                    |                    |                    | 10 <sup>1</sup>    | 10 <sup>2</sup>    | 10 <sup>0</sup>    | Erosionsrinne, -graben, Bachbett               |
| NANORELIEF  | 10 <sup>0</sup>    | 10 <sup>0</sup>    | 10 <sup>-1</sup>   | 10 <sup>0</sup>    | 10 <sup>0</sup>    | 10 <sup>-1</sup>   | Karren, Tafoni, Erosionsrille                  |
| PICORELIEF  | < 10 <sup>-2</sup> | < 10 <sup>-4</sup> | < 10 <sup>-1</sup> | < 10 <sup>-2</sup> | < 10 <sup>-4</sup> | < 10 <sup>-1</sup> | Gletscherschrammen                             |

B = Erstreckung (Basisbreite)      F = Fläche      T/H = Tiefe/Höhe

Tab. 8: Analytische Systematik von Reliefeinheiten aus Dikau (1988)

### 3.1.15.2. Geomorphometrie - Messung des Reliefs

Eine detaillierte Anleitung zur Beschreibung des Reliefformtyps ist z.B. in der Bodenkundlichen Kartieranleitung von Finnern (1995) zu finden.

#### a) Geomorphologische Formentypen des Reliefs:

- **Ebene** sehr reliefsschwache, ausgedehnte Landoberfläche, Neigung unter 2° Plateau,
- **Hochfläche** über die Umgebung hinausragende, reliefsschwache Landoberfläche, Neigung bis 5°, Tal von Gewässern geschaffene und i.d.R. noch durchflossene, langgestreckte Hohlform mit gleichsinnigem Gefälle
- **Talung** talähnliche Form ohne gleichsinniges Gefälle und fließendes Gewässer
- **Talboden** tiefster, mehr oder weniger ebener Teil eines Tales
- **Talaue** Teil des Talbodens, der bei Hochwasser überflutet wird oder wurde
- **Talschluss** oberes Ende des Tales
- **Talmündung** unteres Ende des Tales
- **Hang** Flanke einer Geländeerhebung
- **Terrasse** ebene, meist langgestreckte und mäßig breite Fläche, die das Gefälle eines Hanges unterbricht
- **Rücken** langgestreckte Erhebung mit höchstens mäßig geneigter Achse
- **Kuppe** rundliche, allseitig abfallende Erhebung
- **Riedel** meist langgestrecktes, auch zerlapptes, durch angrenzende Täler oder
- **Talungen** isoliertes Plateau
- **Sporn** schmaler Hangvorsprung, steiler Rücken
- **Schulter** breit ausladender Hangvorsprung
- **Rippe** schmale, langgestreckte Erhebung
- **Rinne** steile, schmale, langgestreckte Hohlform mit v-förmigem Querschnitt
- **Mulde** flache Hohlform mit unterschiedlichster Flächenform
- **Pfanne** rundliche, von Böschungen umgrenzte Hohlform mit flacher Sohle
- **Tobel** Tal mit steilem Gefälle und v-förmigem Querschnitt.

b) **Exposition:** Ablesung bzw. Schätzung nach 8-teiliger Kompassrose

c) **Position am Hang:** Ober-, Mittel- oder Unterhang, Hangfuß

d) **Hangausbildung:**

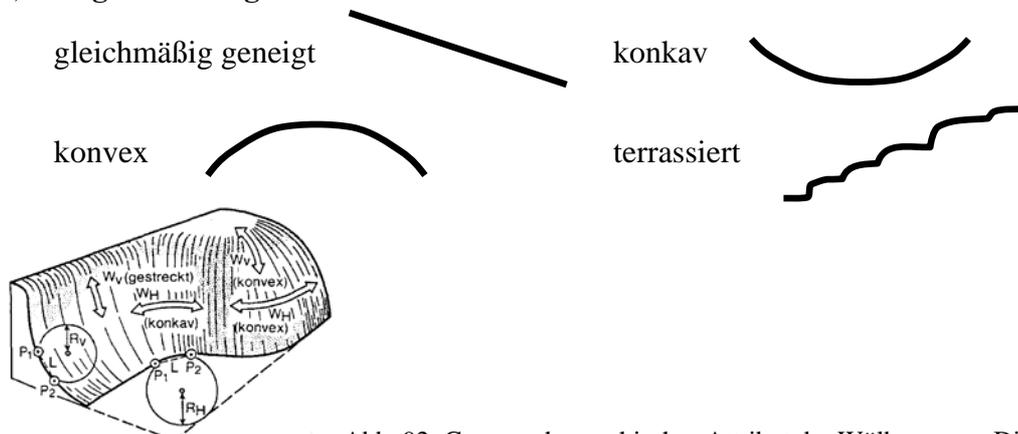


Abb. 92: Geomorphographisches Attribut der Wölbung, aus Dikau (1988)

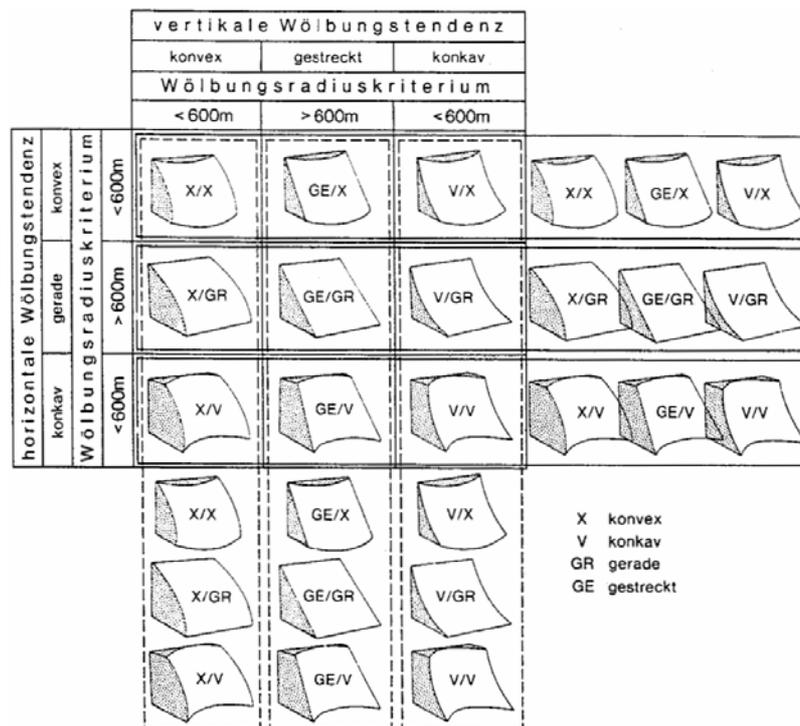


Abb. 93: Geometrische Bezeichnung der Formelemententypen bis zum Mesorelief, aus Dikau (1988)

- e) **Hangneigung (Inklination):** wird mit dem Geologen-Kompass in Winkelgraden oder mit dem Baumhöhenmesser in % gemessen.

| Lagen                    | Neigung Grad | Neigung Prozent |
|--------------------------|--------------|-----------------|
| Flachlagen eben          | <1°          | <2%             |
| schwach geneigt          | 1-5°         | -9%             |
| Hanglagen mittel geneigt | 5-10°        | 9-18%           |
| stark geneigt            | 10-20°       | 18-36%          |
| steil                    | 20-30°       | 36-58%          |
| schroff                  | 30-45°       | 58-100%         |

Tab. 9: Einteilung der Hanglagen über die Neigung

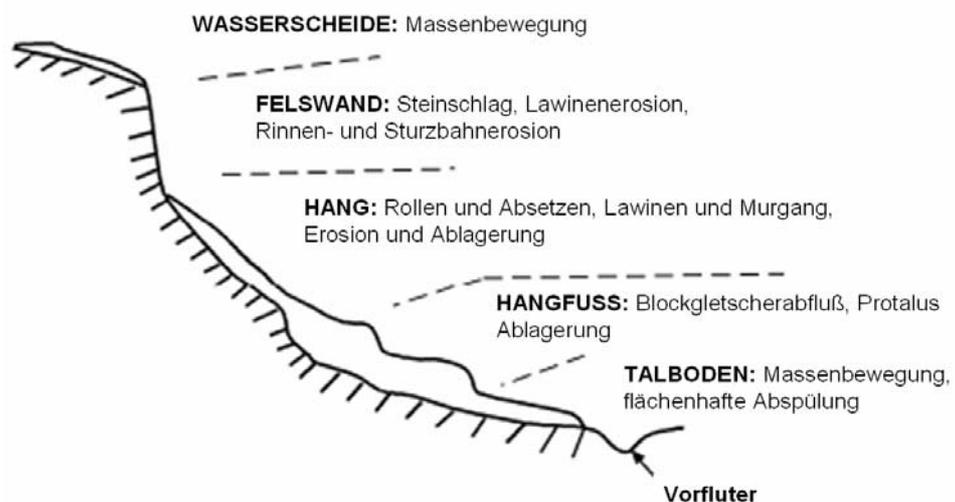


Abb. 94: Hypothetisches alpines Hangprofil mit verschiedenen Massenbewegungstypen nach Caine (1974)

### 3.1.15.3. Geomorphodynamik - Glazialmorphologie

Die Glazialmorphologie befasst sich mit dem Einfluß der Gletscher auf den Untergrund. Die Landschaft in Kärnten ist durch glaziale Prozesse sehr stark geprägt worden. Im Pleistozän (1.800.000 bis 15.000 Jahren vor heute) war der Großteil des Landes vergletschert. Auslöser war eine Klimaverschlechterung, die im jüngsten Tertiär (Pliozän) begann und zu den vier großen Vereisungsphasen führte. (**Günz, Mindel, Riss** und **Würm**) Am Höhepunkt der einzelnen Vereisungsphasen war Kärnten größtenteils von Gletschern bedeckt.

Vor ca. 20.000 Jahren hatte das Würm als letzte Kaltzeit ihren Höhepunkt. Der Draugletscher reichte bis in die Gegend von Bleiburg. Seiten- und Endmoränenwälle belegen diesen Gletschervorstoß. Im Klagenfurter Becken erreichte der Draugletscher eine Breite von rund 40 km und eine Mächtigkeit von ca. 600 m. Zwischen den Vereisungsphasen gab es Klimaverhältnisse, die etwa den heutigen entsprechen, dies waren die Inter-glaziale oder Warmzeiten.

Die landschaftsformende Tätigkeit des Eises ist von starker Bedeutung für das heutige Erscheinungsbild der Landschaft in Kärnten. Aus Kerbtälern wurden durch die schürfende Tätigkeit des Gletschers Trogtäler geformt. Der Gletscherschurf formte auch viele der Seen in Kärnten. Auf Grund der Versteilung der Talflanken kam es nach dem Abschmelzen der Gletscher zu postglazialen Massenbewegungen. Auf den Schotterfluren oder Sanderflächen ist während der Vorstoßphasen der Gletscher durch Schmelzwässer, das vom Gletscher erodierte Material, abgelagert worden. Diese Ablagerungen treten heute in Form der verschiedenen Terrassensedimente oder Vorstoßschotter in allen größeren Tälern auf. Vor allem im Klagenfurter Becken werden bzw. wurden diese Sedimente in Schottergruben abgebaut.



Abb. 95: Blick von Karnburg im Glantal nach Süden ins Klagenfurter Becken, den Sattnitzzug und in die dahinterliegenden Karawanken. Rechts und links des Anwesens sind Seitenmoränen zu erkennen

In den eiszeitlichen Stauseen wurden Bändertone und Deltaschüttungen abgelagert. Bänderton wurde als Rohstoff für die Ziegelindustrie östlich von Klagenfurt, bei Hörtenorf und Grafenstein, abgebaut. Die Vorstoßschotter sind meist von Grundmoränen überdeckt. Im Klagenfurter Becken bilden Grund-, Seiten- und Endmoränen die Moränenlandschaft.



Abb. 96: Kärnten in der Würmeiszeit (ca. 18.000 J.) Testgebiete sind rot eingefärbt, nach van Husen (1987)

Der Draugletscher verschwand nicht kontinuierlich, es gab Stillstände und kleine Vorstoßphasen. Der Stillstand eines Gletschers über einen längeren Zeitraum wird durch Endmoränenwälle markiert. Vor rund 10.000 Jahren endete die letzte Vereisungsperiode. Es folgte die Wiederbesiedlung der eisfreien Gebiete durch Pflanzen, Tiere und Menschen. In den letzten 10.000 Jahren kam es immer wieder zu Klimaschwankungen mit kleinen Gletschervorstößen. Die letzten Gletschervorstöße waren zu Beginn des 17. Jahrhunderts und um 1850.

Auf dem NASA Landsat Satellitenbild von 1990 sind die rezenten Gletscher im Nordwesten von Kärnten gut zu erkennen.



Abb. 97: Kärnten in einer Landsataufnahme aus dem Jahr 1990, Quelle: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

### 3.1.15.3.1. Entstehung von Gletschern

Schnee, der über ein ganzes Jahr liegen bleibt, kann zu Gletschereis umgebildet werden. Dies ist in Österreich ab einer Höhe von ca. 2.800 m möglich.

Neuschneedecke → Altschneedecke → Firn → Eis

### 3.1.15.3.2. Gletscherbewegung

Gletscher bewegen sich durch Gravitation bedingt hangabwärts, diese Bewegung ist ein laminares plastisches Gleiten. Reliefänderungen wie Verengungen und Erweiterungen werden mitgemacht.

Bewegung und Geschwindigkeit werden durch folgende Parameter bestimmt:

- Temperatur, je tiefer die Temperatur, desto starrer ist die Eismasse
- Druck, bei mächtigen Gletschermassen ist die Bewegung schneller
- Neigung des Untergrundes

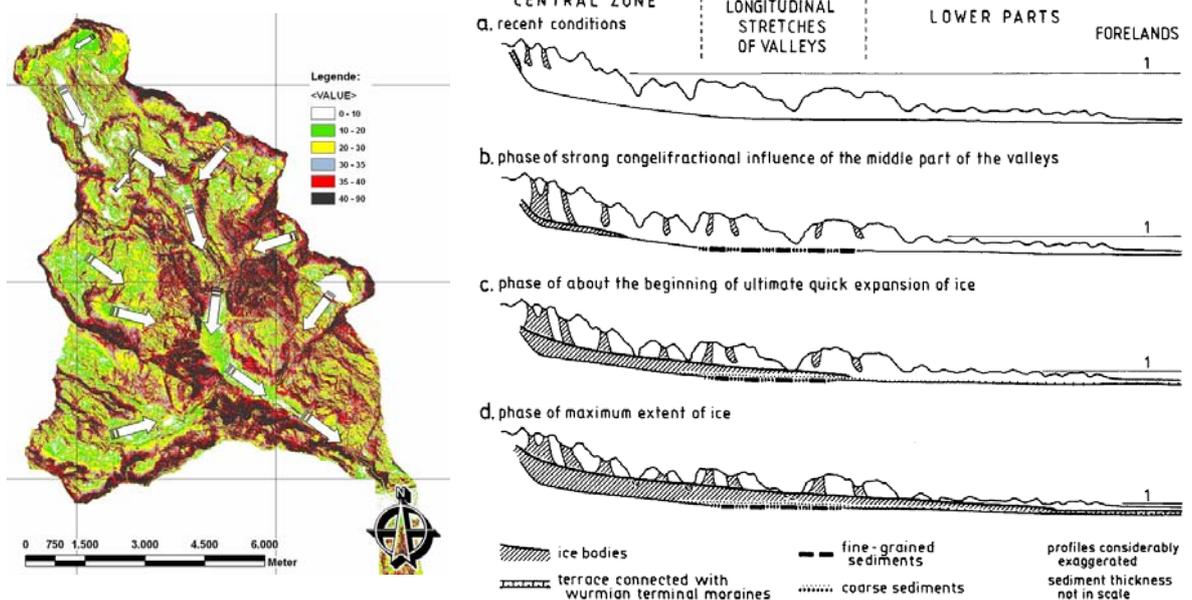


Abb. 98: Rekonstruktion der Gletscherdynamik im Fragantertal, ALS Hangneigungskarte als Hintergrund und Gletschervorstoßphasen aus van HUSEN (2000)

### 3.1.15.3.3. Prozesse / Arten der Glazialerosion

**Detersion** ist die abschürfende abschleifende Wirkung des Gletschers durch an der Unterseite eingefrorene Gesteinskörper auf den Felsuntergrund.

Gletscher liegen vollflächig am Untergrund auf, bei diesem Kontakt wirkt das mittransportierte Grundmoränenmaterial als Schleifmittel. An inkompetenteren Gesteinen ist die Wirkung stärker als bei kompetenteren, daher werden diese stärker ausgeschliffen und ausgeräumt. Auf dem Felsuntergrund bleiben Gletscherschrammen über, die die Bewegungsrichtung der Gletscher anzeigen.



Abb. 99: Gletscherschrammen

**Detraktion** ist das Herausbrechen und der Abtransport des Gesteins. Unter dem Eis kommt es auf der Leeseite der Bewegung zu Druckentlastungs- und Frostverwitterung. Wenn sich der Gletscher weiter bewegt, erfolgt ein Aufreißen des Grundes durch das angefrorene Material.

**Exaration** ist die ausschürfende oder pflügende Wirkung des Eises an der Stirn des Gletschers, sie tritt besonders bei Schwächezonen und Lockersedimenten auf.

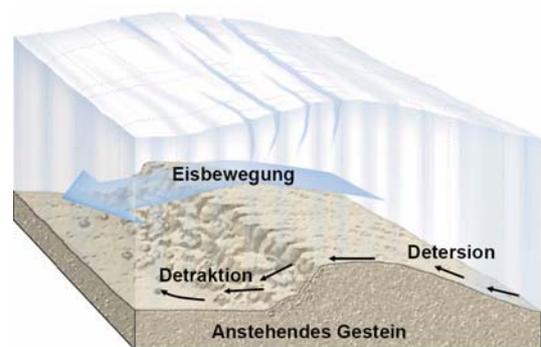


Abb. 100: Hochwurtendamm Rundhöcker - Beispiel einer glazialen Erosion durch Detraktion

Beim Gletscher kommt es auf der Vorderseite des Hindernisses auf Grund von lokaler Druckerhöhung zur Bildung von Schmelzwasser. Das Wasser bewegt sich zur Rückseite des Hindernisses wo eine Lücke zwischen Eis und Felsuntergrund entsteht. Dort gefriert es wieder. Das aufgelockerte Gestein wird mit dem Eis eingefroren und aus dem Gesteinsverband gerissen. Dieser Prozess kann nur bei zerklüftetem, entfestigtem Fels stattfinden. Nach dem Gletscherrückzug bleiben Rundhöcker zurück.

### 3.1.15.3.4. Glazialerosionsformen

#### Rundhöckerlandschaft

Die Entstehung ist oben beschrieben. Rundhöcker sind Mesoformen, die 5 - 50 m lang und 5 – 15 m hoch sind. Sie werden in Richtung des Gletscherflusses stromlinienförmig ausgeschliffen. Wenn die Exaration gering ist und die Eisdecke keine große Mächtigkeit hat, können diese Formen auftreten.



Abb. 101: Rundhöcker nahe des Hochwurtendamms

**Drumlins** sind längliche in Fließrichtung geregelte Rücken, die aus Lockersedimenten aus dem Vorland bestehen. Sie sind charakteristisch für Zungengebiete der Gletscher. Diese Formen sind größer als Rundhöcker (bis ca. 2 km lang und 100 m hoch) und bilden Buckeln in der Landschaft.

**Kare** sind glaziale Großformen, die in den Hochregionen der Alpen vorkommen. Charakteristisch sind kessel- oder hufeisenförmige Eintiefungen unterhalb der Berggrate mit flachem Boden und steilen Rückwänden. Es wird auch von einer Lehnselform gesprochen. Drei Seiten sind von steilen Karwänden begrenzt an deren Füßen Schutthalden liegen. Die Basis hat einen flachen, muldenförmigen Boden und die offene Seite wird durch die Karschwelle begrenzt. Kare sind der Ausgangspunkt für Gletscher. Bei Eisfreiheit bilden sich häufig Karseen in der Mulde.

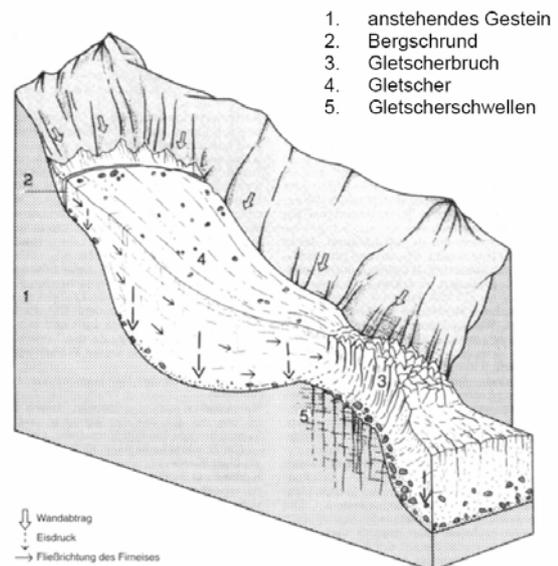


Abb. 102: Karquerschnitt aus Leser (2005)



Abb. 103: Erosionsrinnen aus Hübl (2003) und Photo des Feldseeskar, Blick nach Süden

**Trogtäler** sind aus präglazial angelegten Kerb- oder V-Tälern entstanden, die durch den Gletscher überformt wurden. Auf Grund der Form werden sie auch U-Tal genannt. Diese Form besteht aus einem U-förmigen Talboden/Talsole, den steilen Trogwänden, der Trogkante und der flachen Trogschulter. Die konvex geformte Trogschulter, -kante oder Schliffbord zeigt die maximale Eishöhe an mit der das Tal verfüllt war. Da die Erosion des Gletschers, durch die Auflast bedingt, im Haupttal stärker wirkte, liegen die Seitentäler als Hängetäler nach dem Abschmelzen höher.

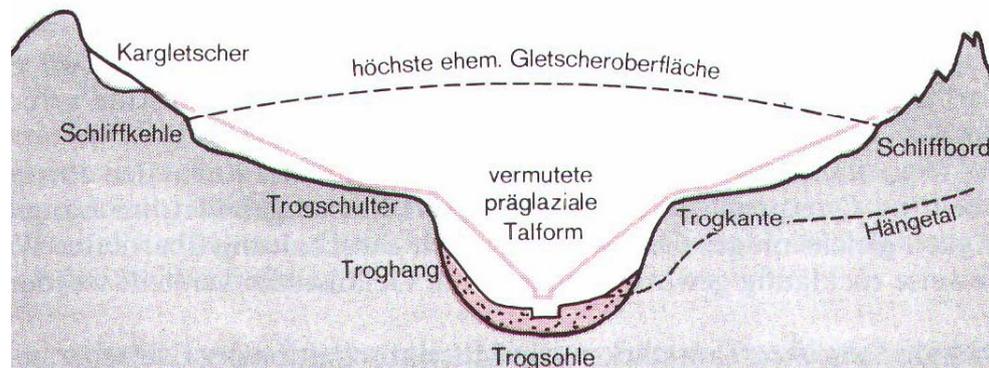


Abb. 104: Schematischer Querschnitt durch ein Trogtal, aus Zepp (2003)

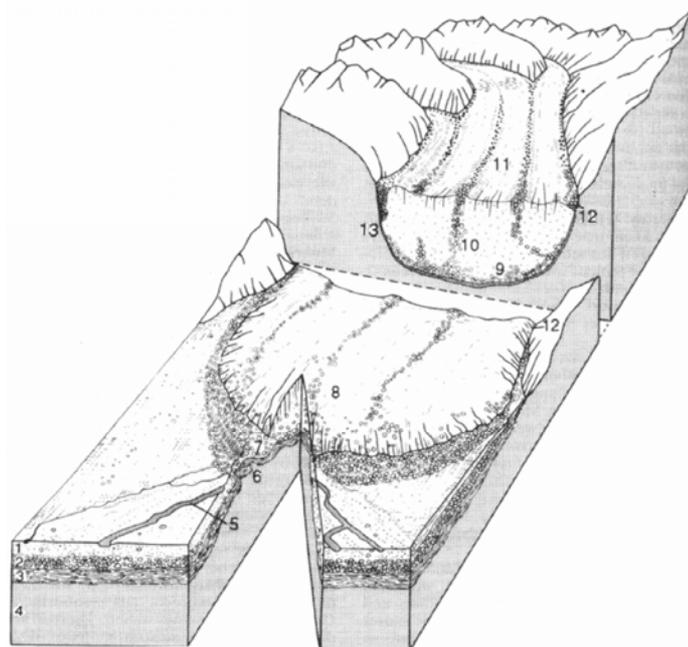


Abb. 107: Seebachtal und Nordbereich des Wurtenspeichers mit Gletscherstand

### 3.1.15.3.5. Glazialakkumulationsformen

**Moränen** sind von Gletschern erzeugte, mittransportierte und nach dem Abschmelzen abgelagerte Materialien. Über Seitengletscher, Bergstürze bzw. Steinschlag und aus Solifluktmaterial wird Material von oben bzw. der Seite in den Gletscher eingelagert. Im Untergrund wird Feinmaterial mitgenommen, Grobmaterial durch Detraktion, Detersion und Exaration herausgerissen. Erratiker oder Findlinge sind bis zu mehreren Tonnen schwere Gesteinsblöcke, die nicht in das sie umgebende geologische Umfeld passen. Das mittransportierte Material wird nach dem Abschmelzen des Gletschers unsortiert, ungeschichtet und ungerundet oder kantengerundet abgelagert.

Bei der **Obermoräne** fällt Material im Zungengebiet auf den sich bewegenden Gletscher und es schmilzt dort wieder aus. Bei der **Innenmoräne** wird das Material innerhalb des Gletschers transportiert, nach dem Ausschmelzen werden Obermoränen gebildet. Beide Moränen haben wenig gekritztes Material.



Legende:

1. Schwemmkegel
2. Ältere Grundmoräne
3. Jüngere Sedimentüberdeckung
4. Älterer Untergrund
5. Gletscherbach
6. Leicht gestauchter Wall der Endmoräne
7. Endmoräne
8. Gletscherzunge
9. Grundmoräne
10. Mittelmoräne
11. Obermoräne
12. Seitenmoräne
13. Trogtal

Abb. 106: Aufbau eines Gletschers aus Leser (2005)

Bei der **Grundmoräne** wird das Material direkt an der Gletschersohle durch die abschleifende und ausschürfende Wirkung erzeugt bzw. durch die Innenmoräne geliefert. Nach Abschmelzen des Eises bleibt ein kuppiges Relief über. Das Material ist eine unsortierte Mischung von Geschiebelehm bzw. -mergel und Geschieben. Auch stark gekritztes Geschiebe ist darin zu finden.

Bei der **Seitenmoräne** entsteht an den Seiten des Gletschers ein wallförmiger Schuttstreifen. Das Material wird durch die Taleinhänge über dem Gletscher geliefert und ist mit Frostschutt vermischt. Bei aktiven Gletschern wird die Seitenmoräne als **Ufermoräne** bezeichnet, sie ist höher als die rezente Gletscheroberfläche und zeigt den früheren, höheren Eisstand (1850er) an. Sie tritt im Zungengebiet unterhalb der Gleichgewichtslinie auf und mündet in der Endmoräne.

Die **Mittelmoräne** ist ein Untertyp der Seitenmoräne, beim Zusammentreffen von zwei Gletschern wird das seitliche Material zu Mittelmoränen zusammengepresst.



Abb. 107: Seitenmoräne im Westen des Hochwurtendamms

Als **Endmoräne** wird die vor dem Gletscher abgelagerte, hohe, halbkreisförmige, wallartige Moräne bezeichnet. Es werden zwei Arten unterschieden:

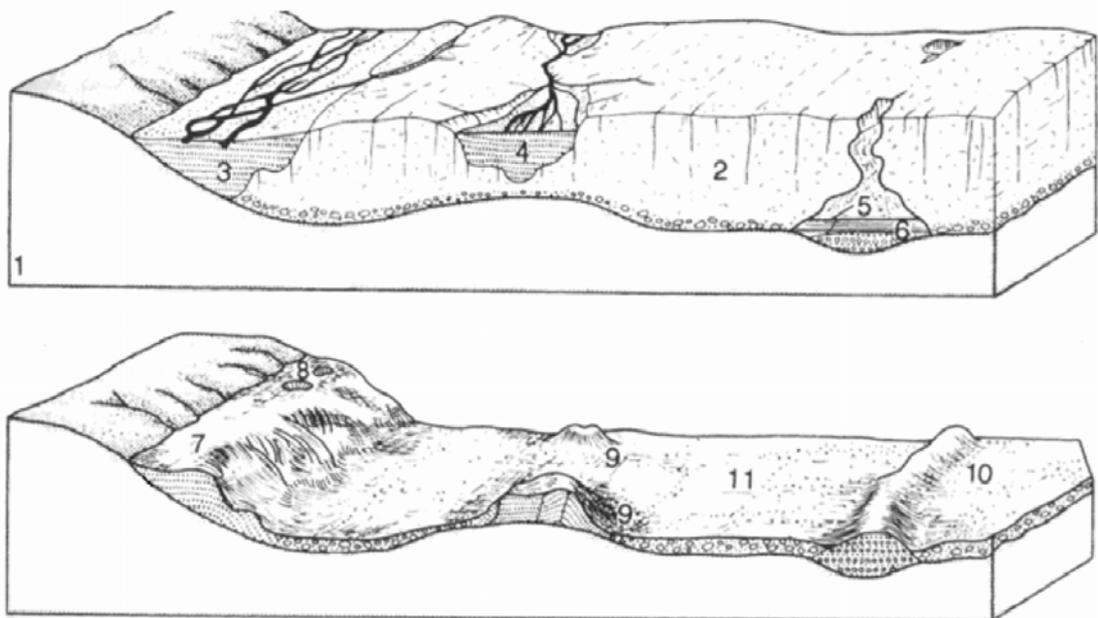
Bei der **Aufschüttungs- oder Satzendmoräne** wird durch den stehenden Gletscher immer mehr Material abgelagert. Die **Stauchendmoräne** entsteht beim Gletschervorstoß, es wird mehr Eis geliefert als in derselben Zeit abgeschmolzen werden kann. Dabei wird der Moränenwall durch den Gletscher gestaucht und verfaltet.

Der Unterschied zwischen Moränenmaterial der Gebirgs- und der Deckgletscher besteht darin, dass in den **Gebirgsgletschern** Fein- bis sehr starkes Grobmaterial vorkommt, in den **Deckgletschern** nur Feinmaterial und vereinzelt große Blöcke. Das schluffig, tonige Moränenmaterial wird als Geschiebemergel bezeichnet, als Geschiebelehm wenn es kalkreicher ist.

Moränenlandschaften werden folgend unterschieden:

Die **Grundmoränenlandschaft** ist eine kuppige, wirre Landschaft ohne Wallformen, sie wird von Grund-, Innen-, und Obermoränen aufgebaut.

Die **Jung- und Altmoränenlandschaften** werden von jungen Moränen aus der Würmeiszeit und Altmoränen aus der Riß-, Mindel- und Günzeiszeit aufgebaut. Die ältesten Günzmoränen sind auch am stärksten verwittert bzw. abgerundet.



- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. Felssockel                                | 7. Kamestrassen            |
| 2. Gletscher                                 | 8. Hohlform                |
| 3. Schotterkörper                            | 9. Kames                   |
| 4. Glazifluviales Sediment auf dem Gletscher | 10. Os                     |
| 5. Subglazialer Gletscherbach                | 11. Grundmoränenlandschaft |
| 6. Sedimentstrang                            |                            |

Abb. 108: Moränenlandschaft aus Leser (2005)

Der **Os** oder **Oser** sind durch Schmelzwässer eingeschwemmte Verfüllungen der Schmelzwassertunnel, Abschmelzrinnen oder Spaltensysteme in den Gletschern. Diese

Rückzugsformen des Gletschers sind mit fluviatilen Sedimenten verfüllt. Nach dem Abschmelzen des Gletschers bleiben sie als z.T. geschwungene wallartige Rücken in der Landschaft liegen.

Der **Zungenbecken-** oder **Rinnensee** ist ein langgestreckter durch Erosion subglazialer Schmelzwässer oder den Vorstoß kleinerer Gletscher ausgetiefter See.

**Kames** sind kiesig, sandige Kuppen und Kegel, die als Aufschüttungen in Eiszerfallandschaften entstanden sind.

Der **Soll** oder die **Sölle** sind runde bzw. ovale Toteislöcher der Grundmoränenlandschaft die beim Gletscherrückzug übrigblieben. Diese Toteislöcher wurden von Sediment bedeckt, nach dem Abschmelzvorgang senkte sich die Oberfläche zu einem Kessel.

### 3.1.15.3.6. Die glaziale Serie

Die von Albrecht Penck um 1900 beschriebene „glaziale Serie“ ist das Modell für die Anordnung und Verteilung von Landformen in früher vergletscherten Gebieten. Diese Serie eiszeitlicher Aufschüttungsformen beinhaltet die **Grundmoräne**, die **Zungenbecken**, die **Endmoräne**, das **fluvioglaziale Schotterfeld** (den **Sander**) und das **Urstromtal**. Bei rezenten Gletschern und in Jungmoränenlandschaften sind alle diese Formen zu erkennen, bei Altmoränenlandschaften können diese Formen erodiert oder glazial überprägt worden sein.

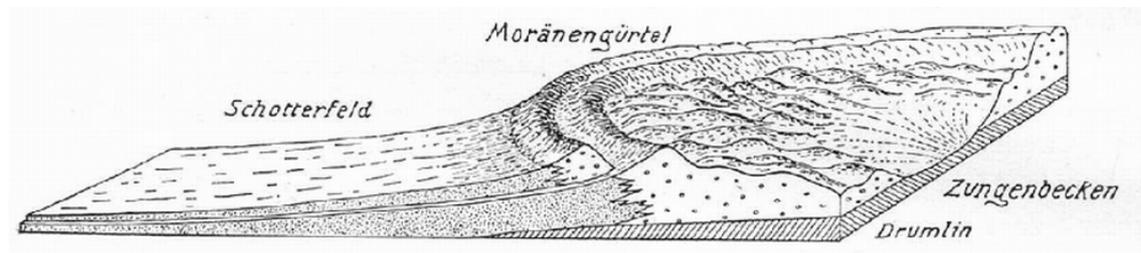


Abb. 109: Die glaziale Serie, aus Penck & Brückner 1901 in Leser (2005)

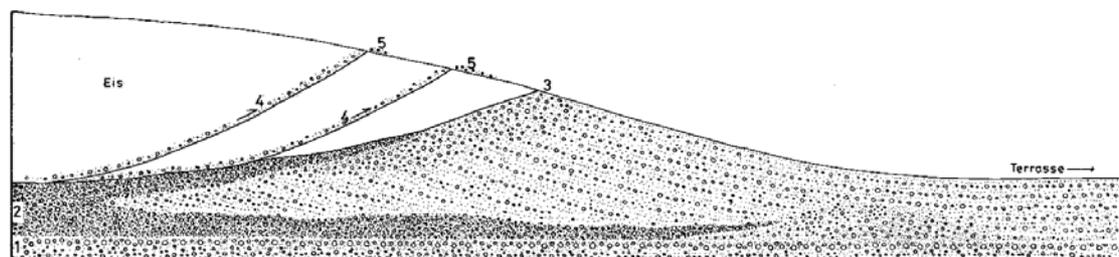


Abb. 110: Schematisierte vertikale und horizontale Sedimentabfolge am Gletscherende; (1 Kiese der Vorstoßphase, 2 Grundmoräne, 3 Endmoräne, 4 Scherflächen im Eis, 5 Moränenmaterial auf der Gletscheroberfläche) aus van HUSEN (1981)

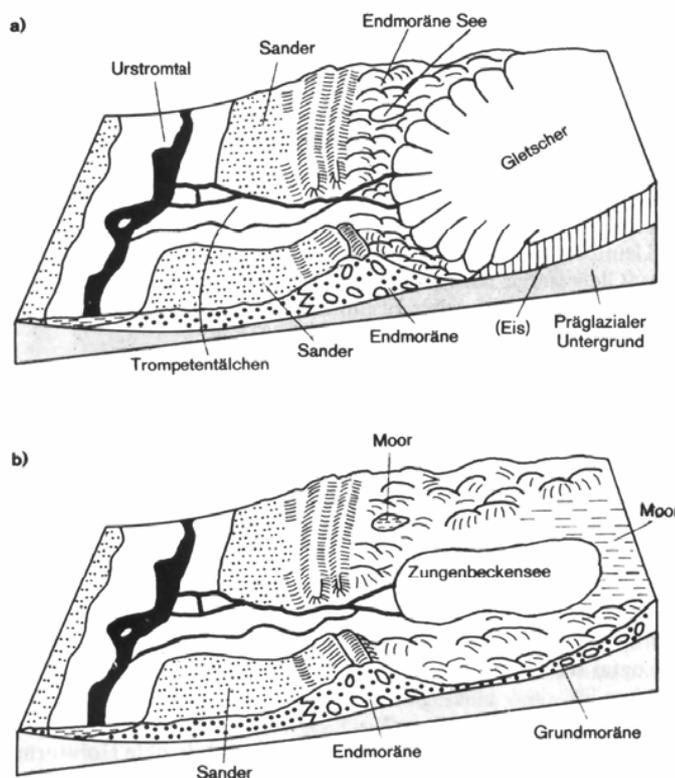
Bei **fluvioglazialen Ablagerungen** wird das Gletschermaterial vom Schmelzwasser transportiert und nach Korngrößen geregelt abgelagert. Auf Grund dieser Bewegung werden die Materialien gerundet und vormals gekritzte Geschiebe werden poliert.

Bei **Moränen** lagert der Gletscher ungeschichtete, unsortierte und einzelne Blöcke im Geschiebelehm ab, die Kanten des transportierten Gerölles sind gekritzelt.

### 3.1.15.3.7. Formen der Abschmelzphasen

**Vorstoßschotter** sind fluvioglaziale Ablagerungen, die in der Frühphase einer Eiszeit abgelagert wurden. Sie sind, wenn vorhanden, stark erodiert.

**Zungenbecken** sind weite große Hohlformen, die unter dem Gletscher durch schürfende Erosion am Talboden entstanden sind. Beim Gletscherrückzug füllen sich diese mit Schmelzwasser (Bsp. Wörthersee).



Von Schmelzwasser durchbrochener Endmoränenwall vor der im Rückzug begriffenen Gletscherzunge.

Grundmoräne, Zungenbeckensee, Endmoräne, Sander und Urstromtal nach Eisrückzug (= glaziale Serie)

Abb. 111: Formen des Eisrückzugs aus Wilhelmy (2002)

### 3.1.15.3.8. Sedimente der Abschmelzphasen

Nach van Husen (1981) änderten sich im Kärntner Raum, nach dem Ende der letzten Eiszeit, durch das Abschmelzen der Gletscher die Hauptsedimentationsprozesse sehr stark. Es kam zur vermehrten Freisetzung der im Eis eingelagerten Schuttmassen.

Im westlichen Teil des Draugletschers, im unteren Gailtal und im Drautal oberhalb von Villach werden ähnliche Tiefen des Felsuntergrundes wie im Inntal angenommen. Dort wurde durch den Inntalgletscher die Felssohle auf bis zu 390 m unter dem heutigen Talboden abgesenkt. Im östlichen Teil des Draugletschers ist das Rosental wahrscheinlich durchgehend auf über 100 m übertieft, während eine parallele, ähnlich tiefe Rinne vom Wörthersee bis östlich Grafenstein verlaufen dürfte.

Am Rande des Draugletschers im Klagenfurter Becken kam es an herausragenden Hügeln und an den Einmündungen der Vellach, Gurk, Wimitz und Tiebel zur Bildung ausgedehnter, stark gestaffelter Eisrandterrassen (Kames). Diese Formen entstanden beim Kontakt der teils aktiven, teils inaktiven Eismassen. Die Ablagerungen der Eisrandbildungen sind auch an der Mündung des Drautaales ins Becken von Villach, am Ausgang des Liesertales beim Millstätter See und als 100 m mächtige Terrasse bei Gmünd an der Einmündung des Maltatales zu sehen.



Abb. 112: Blick von der Satnitz nach Ferlach im SE, das Loibltal ist als U-Tal gut zu erkennen, im W davon liegt eine Seitenmoräne am Berghang (hellgelbe strichlierte Linie)

In den ausgeaperten Buchten entstanden Seen die von Gletschersedimenten verfüllt bzw. abgedichtet wurden. Es sind darin alle im Eis mittransportierten Korngrößen abgelagert worden.

Während des Gletscherrückzugs bildet sich eine Eiszerfallslandschaft mit vielen Toteisblöcken. Diese Relikte der aktiven Gletscher können mit Schmelzwassersedimenten bedeckt werden und bilden eine sogenannte Toteislandschaft. Nach dem Abschmelzen sackt das auf- und umliegende Material nach und es bleiben Toteislöcher über.

Aus den ehemals übertieften Bereichen bildeten sich riesige Seen, die heute wieder vollkommen oder auch teilweise verfüllt sind. Der Wörthersee hat heute bei Pörtschach eine maximale Tiefe von ca. 100 m.



Abb. 113: Echolottiefenkarte des Wörthersees

**Darstellung des Rückgangs des Wurtenkeesgletschers von 1958 bis 2005/2006:**



Abb. 114: Darstellung des Wurten-Schareck Kees Gletschers im Jahre 1958 mit dem rot eingerahmten Untersuchungsgebiet 2005/2006. Ausschnitt aus der photo-geologischen Karte von Holzer (1958)

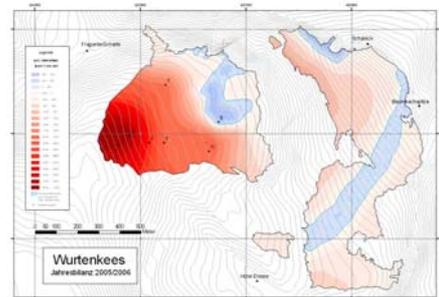
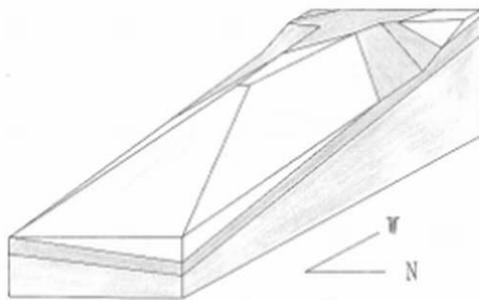


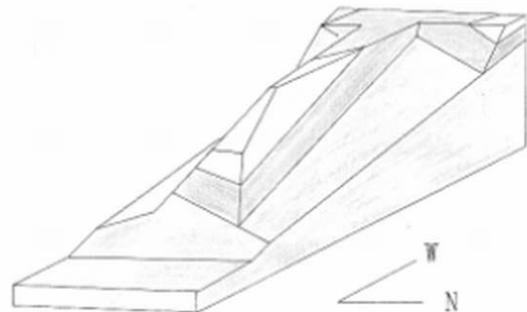
Abb. 115: Gletscherstände in der Goldberggruppe 2005/2006 aus Schöner (2007)

Am Wurten- und Schareck Kees wurden 2005/06 die Längenänderungen (Rückgang) mit bis zu 13,9 m gemessen.

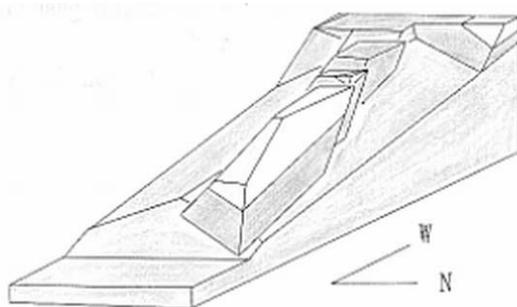
**Talgenese in den Hohen Tauern:**



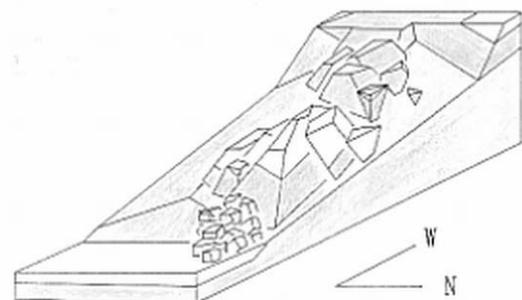
1. Anlage des Entwässerungssystems im Jungtertiär.



2. Ausräumung der Täler und Verteilung der Talflanken nach den vorgezeichneten Trennflächen durch Vereisungen im Pleistozän.



3. Versagen der Talflanken und langsames Abgleiten der Massen entlang vorgezeichneter Trennflächen (Schieferung, Klüfte, etc.).



4. Füllung des Tales, Fortschreiten der Bewegungen, sekundäre Rutschungen infolge der Auflockerung im Holozän

Abb. 116: Rekonstruktion der Talgenese in den Hohen Tauern aus Deffner (1998)

## 4. Methodenbeschreibung

### 4.1. Konzept

Mithilfe von Laserscan können im Rahmen von geologisch-geotechnischen Erkundungen besonders kleinräumigere Phänomene, wie Internstrukturen von Massenbewegungen in der Hangoberfläche auch unter Vegetationsbedeckung (Laub- und/oder Nadelwald) genauer erkannt werden. Die bisherigen Möglichkeiten der Auswertung des Digitalen Geländehöhenmodells des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen BEV beschränkten sich mit einer räumlichen Auflösung von 10 m (auf 10 m interpoliertes Raster) auf das Erkennen von großräumigen Massenbewegungen. Für Auswertungen im kleinräumigeren Bereich werden die Grenzen dieser Daten offenkundig.

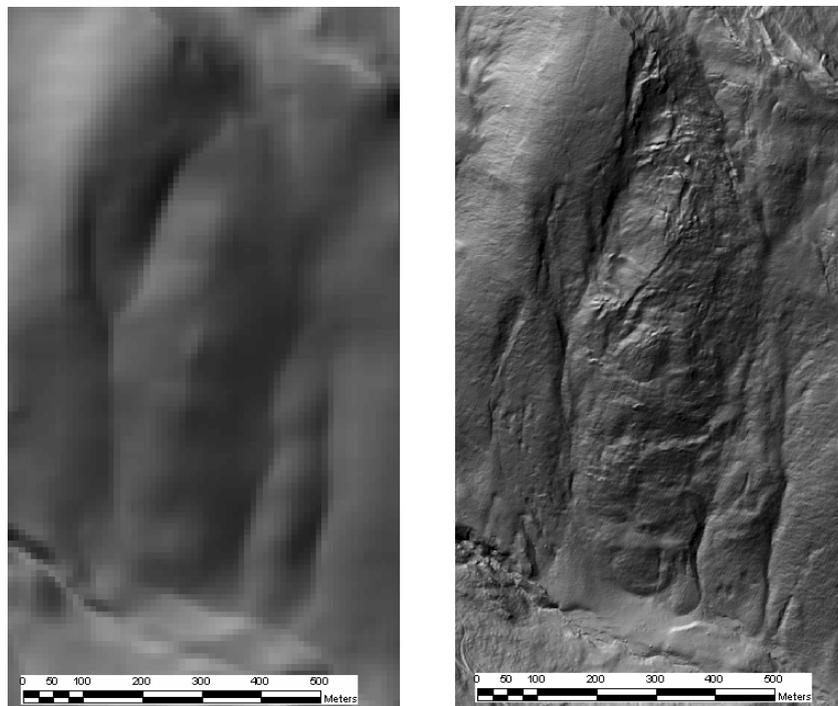


Abb. 117: Garnitzenscharte, Eck, Hillshade - Vergleich 10m DGM (BEV) zu 1m DGM (Laserscan)

Der Vergleich eines DGM-Schattenbildes mit der Zellgröße 10m (übliche Zellgröße eines DGMs des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen) und eines Laserscan-DGM Schattenbildes mit der Auflösung 1 m zeigt den Genauigkeitsunterschied.

Die vorhandenen Basis- und Fachdaten im speziellen die geologischen Informationen und die Laserscanaufnahmen sind mittels GIS auf ihre Nutzbarkeit für geologische und geomorphologische Fragestellungen im Umfeld von Massenbewegungen, zu evaluieren. Auf Grund von fehlenden bzw. nicht zur Verfügung stehenden Unterlagen konnten Gesteinsansprache und gefügekundliche Auswertungen der Trennflächen nicht miteinbezogen werden. Dennoch ist im Zuge der Arbeit versucht worden auch diese Parameter zu erkennen und deren Gewichtung für nachfolgende Bearbeitungen zu evaluieren (Kap. 4.1.2.).

#### 4.1.1. Eignung digitaler Höhenmodelle zur Modellierung von Massenbewegungen

In der Arbeit “Size does matter: relationships between image pixel size and landscape process scales” wurde von Pain 2005 die Eignung digitaler Höhenmodelle (DHM eng. DEM) zur Landschaftsbeschreibung bei Massenbewegungen geprüft.

Die Art und der Einfluss des Maßstabseffekts auf die Simulation von Hängen und die sie formenden Prozesse im Untersuchungsgebiet in Picton, NSW wurden untersucht. Die aus digitalen Höhenmodellen als Datenquelle rekonstruierten Hänge und der Einfluss des Maßstabseffekts wurden verglichen.

Die Hangneigungswinkel sind, wenn es sich um normale und charakteristische Hänge handelt, modal verteilt. Als charakteristische Hänge werden jene angesehen, die in einem bestimmten Bereich am häufigsten vorkommen. Ihre Neigung wird durch das Material aus dem sie aufgebaut und den Bildungsprozessen, die sie formten, bestimmt. Diese Prozesse sind eng mit der Hangneigung verknüpft. Ändert sich diese, ändert sich auch der Typ der Massenbewegung.

Bei den meisten DHMs wird mit Generalisierungen der Oberfläche gearbeitet. Wenn diese Vereinfachungen innerhalb der räumlichen Ausdehnung der beobachteten Prozesse liegen, gibt es kein Problem. Wenn aber die Generalisierung größer als die Auflösung der Landschaftsprozesse ist, müssen die Ergebnisse oder Kennzahlen die aus den DHMs hergeleitet wurden, mit Vorsicht behandelt werden.

| Slope angles | Slope unit           | Slope processes |
|--------------|----------------------|-----------------|
| 28-30°       | Free face (cap rock) | Rock fall       |
| 22-24°       | Upper mid slope      | Landslides      |
| 10-12°       | Lower mid slope      | Surface wash    |
| 6-8°         | Foot slope           | Surface wash    |
| 6-8°         | Hill crest           | Creep           |

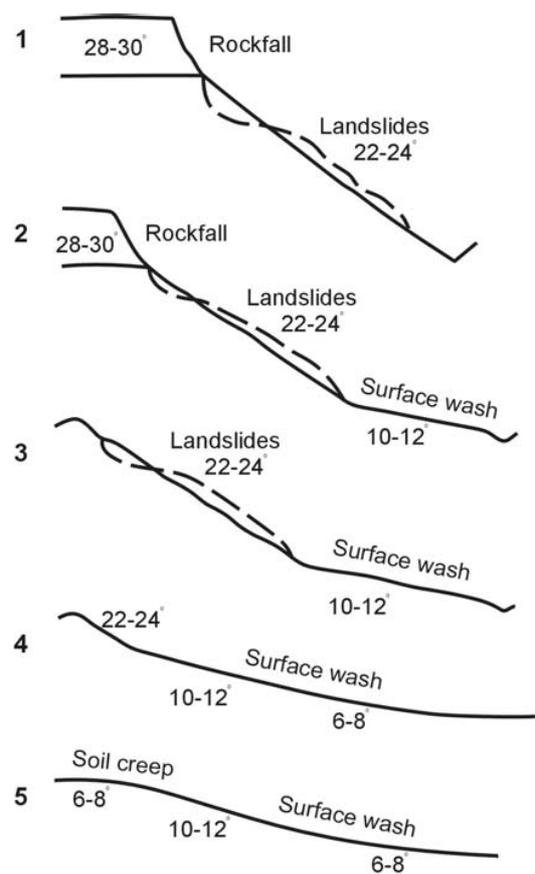


Abb. 118: Profillinien, Neigungswinkel und geomorphologische Prozesse in Picton, NSW aus Pain (2005)

Im Untersuchungsgebiet von Pain konnten durch die geodätische Vermessung und im geringeren Maße auch noch durch ein 25m DHM alle morphologischen Strukturen der Erdoberfläche dargestellt werden.

Die aus 50m und 100m DHMs hergeleiteten Profile ähneln kaum der originalen Bodenoberfläche und stellen in keiner Weise die originale Hangneigung und -form dar. Die charakteristischen Neigungswerte und -änderungen der landschaftsbildenden Prozesse werden nicht mehr angezeigt. Ein SRTM 90m DHM der gleichen Profillinie liefert auch

keine verwertbaren Informationen zur Oberflächenform.

Die schwarze Profilinie ist aus dem originalen, geodätisch eingemessenen 5m Messintervallen konstruiert. Die 3 darunterliegenden Profile sind aus 25m, 50m und 100m DEMs entstanden, das unterste Profil ist aus der 90m SRTM DHM (vgl. Abb. 127),

Diese Studie zeigte, dass die Genauigkeit der Neigungswerte aus DHMs von der Pixelaufösung abhängt, mit der die Hangneigungen berechnet wurden.

Es ist offensichtlich, dass die Genauigkeit des Neigungswinkels und der Hangform von der DHM-Auflösung abhängt.

Aus dieser Arbeit kann der Schluß gezogen werden, dass die aus DHMs hergeleiteten Hangneigungen sich nur begrenzt zur Landschafts- und Prozessbeschreibung eignen. Außer die Daten haben eine Auflösung, die dem Skalenfaktor der Neigung und den hangbildenden Prozessen entspricht oder genauer als diese ist. Der geeignete Maßstab für eine Landschaftsbeschreibung wird daher durch die Ansprüche an die geologische bzw.

geomorphologische Analyse von Landschaftsformen und Prozessen bestimmt.

Im Gebiet von Picton ist nach der Bearbeitung von Pain eine Pixelaufösung von mindestens 5x5 m erforderlich. Damit können alle darzustellenden Oberflächenprozesse nachgebildet werden. Abhängig von der Aufgabenstellung kann die benötigte Auflösung aber auch 1x1 m oder aber 100x100 m oder mehr betragen.

Großreliefeinheiten werden nicht im Gelände angesprochen, sondern aus analogen oder digitalen kartographischen Grundlagen abgeleitet (topographische Karte, DGM). Mit den herkömmlichen Unterlagen konnte das Mikrorelief und darunter nur im Gelände bestimmt werden. Mithilfe der Laserscangenaugigkeiten kann nunmehr auch das Nanorelief, also ca. 1x1 m große Reliefelemente über den Computer bestimmt werden.

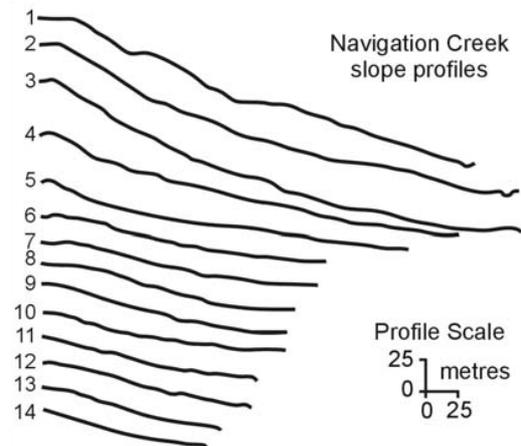


Abb. 119: 1-14 sind geodätisch eingemessene Hangprofilinien aus Picton, NSW, Pain (2005)

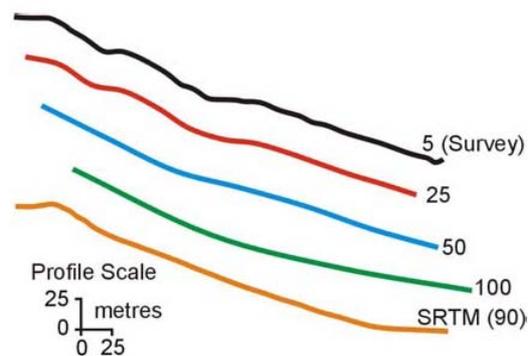


Abb. 120: Nachbildung der Hangprofilinie Nr. 1, Pain (2005)

| Reliefeinheit | Beispiele                                      |
|---------------|--|
| MEGARELIEF    | Schilde, Ebenheiten                            |
| MAKRORELIEF   | Ebenen, kontinentale Gebirge                   |
|               | Mittelgebirge, Plateaus, Tiefebene             |
| MESORELIEF    | Berge, Bergzüge, Sanderflächen, Täler          |
|               | Moränenhügel, Talböden, Täler                  |
| MIKRORELIEF   | Doline, Düne, Toteisloch, Hangmulde, Rutschung |
|               | Erosionsrinne, -graben, Bachbett               |
| NANORELIEF    | Karren, Tafoni, Erosionsrille                  |
| PICORELIEF    | Gletscherschrammen                             |

Tab. 10: Beispiele von Größenordnungen bei Reliefeinheiten nach Dikau (1988)

#### 4.1.2. Gebirge/Fels - Trennflächengefüge - Strukturgeologie

„Der Fels oder das Gebirge im baugeologischen Sinne ist kein fabrikmäßig nach Spezifikationen hergestellter Baustoff. Es war meist über Millionen von Jahren enormen mechanischen, thermischen und chemischen Angriffen ausgesetzt. In der Regel ist das Gebirge in sich stark strukturiert und weist eine Vielzahl von Trennflächen auf. Daher wird es als Diskontinuum angesprochen. Das heißt, es sind unterschiedliche Eigenschaften an verschiedenen Stellen und in unterschiedlichen Richtungen anzunehmen.“ Aus dem Skriptum Felsmechanik und Tunnelbau der TU Graz, 2007:

Das Gebirge und sein Verhalten sind als System aus intaktem **Gestein**, **Klüften** und **Bergwasser** zu verstehen. Bei Massenbewegungen kommt noch die Gravitation hinzu.

Als **Trennflächengefüge** werden alle unterbrechenden Diskontinuitäten im Gebirge bezeichnet. Deren Art bzw. Entstehung, Anzahl, Anordnung und Ausbildung machen zusammen mit den Gesteinseigenschaften die Gebirgseigenschaften aus.

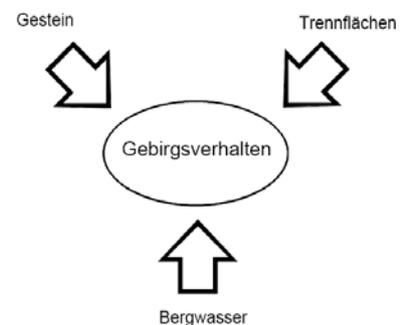


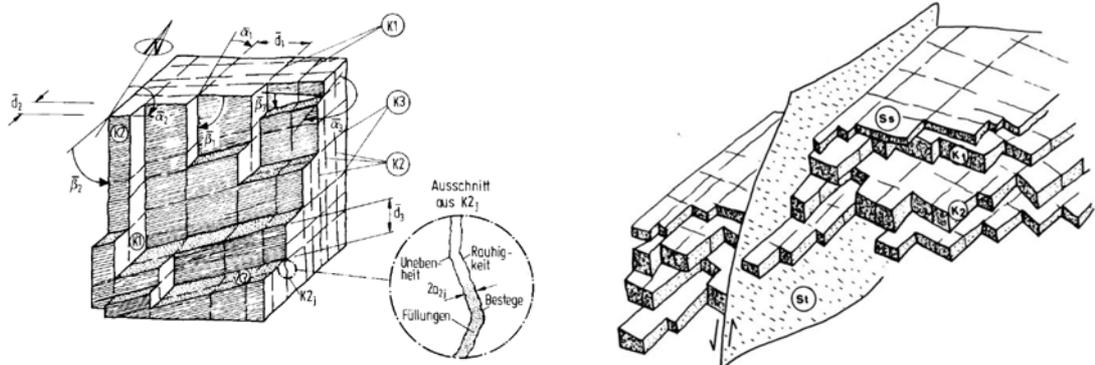
Abb. 121: Gebirge bzw. Gebirgsverhalten aus Felsmechanik und Tunnelbauscriptum der TU Graz (2007)

Bei der vorliegenden Arbeit konnte aus Mangel an vorhandenen Gefügemessungen das in der Ingenieur- und Strukturgeologie bekannte und genutzte Auswerten von Trennflächen nicht miteinbezogen werden. Dies wäre aber in den weiteren, folgenden Bearbeitungen unbedingt erforderlich.

Es gibt folgende Trennflächen:

- **Kluftflächen oder Klüfte (K)** entstanden auf Grund von tektonischen Prozessen, Schollenbewegungen, Druck-, Spannungs- oder Temperaturunterschieden.
- **Störungsflächen oder Störungen (St)** sind tektonische Trennflächen im Gebirge mit Dislokationen.
- **Schichtflächen (Ss)** sind in Sedimenten entstandene meist parallele Trennflächen.
- **Schieferungsflächen (Sf)** sind durch Metamorphose oder Tektonik entstanden.

Kluftflächen die im Gebirge auftreten, werden nach dem Alter und der Orientierung als K1, K2, K3, K<sub>n</sub> durchnummeriert. Als Mindestanzahl bei Gefügemessungen sind aus geometrischen Überlegungen immer **zumindest 3 Trennflächen** anzunehmen und sind wenn möglich, auch im Aufschluß zu messen.



Kluftscharen K1, K2, K3 im Gebirge / Fels

Gebirge mit Schichtung Ss und zwei Kluftscharen K1 und K2, von einer Störung St durchtrennt

Abb. 122: Kluftscharen und geschichtetes Gebirge aus Felsmechanik- und Tunnelbauskriptum der TU Graz, 2007

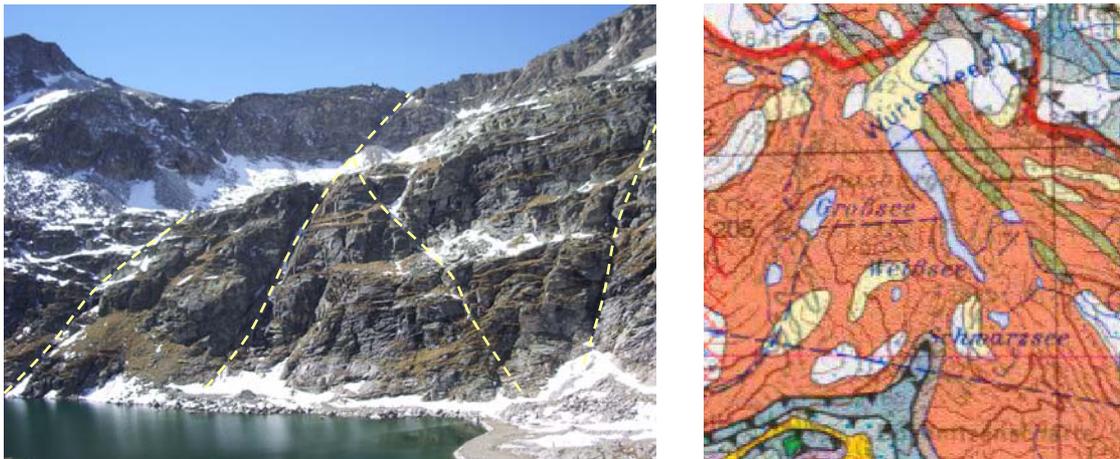


Abb. 123: Hochwurtendamm, nordwestlicher Bereich; Trennflächen hellgelb strichliert; in der Geologischen Karte von Exner (1964) sind die Kraftwerksstollen als blau strichlierte Linien in der Karte eingezeichnet, die Trennflächen (Klüfte, Störungen) fehlen.



Darstellung der Trennflächen im Aufschluß als hellgelb strichlierte Linien; die Raumlage wird mittels Müllerfähnchen verdeutlicht. Müllerfähnchen oder Einheitsquadrate nach Leopold Müller, dienen zur Darstellung der Raumlage von geologischen Flächen. Quadratische Fähnchen stellen Flächen dar, die parallel zur Bildebene liegen. Je mehr die Quadrate geneigt sind umso rechteckiger erscheinen sie in der Abbildung. Wenn die Fläche senkrecht auf die Bildebene steht, erscheint das Quadrat so wie im linken mittleren Bereich.

Abb. 124: Gneisaufschluß mit 3 Trennflächen; Sf (horizontal) und zwei Kluftscharen K1 und K2, Photo: F. Goldschmidt

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Abstand der Trennflächen zueinander. Damit wird die Größe der Körper, die bewegt werden, definiert. Die Klassifizierung kann z.B. über den Geological Strength Index GSI erfolgen. (Abb.: 135)

Da bei Feldaufnahmen immer auf standardisierte Verfahren zurückgegriffen werden soll, sind die zwei folgenden Gebirgsklassifikationen beispielhaft aufgeführt.

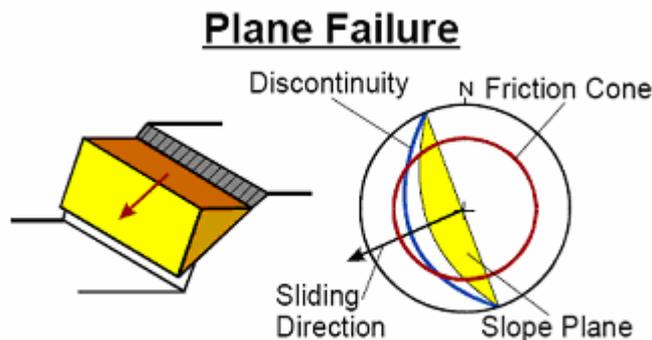
**RMR – Rock Mass Rating** von Bieniawski, ist ein Klassifizierungssystem, welches auf Erfahrungen aus dem Bergbau aufbaut, die Parameter sind:

- Gesteinsfestigkeit
- Durchtrennung (RQD - Rock Quality Designation)
- Abstand von Trennflächenscharen
- Trennflächeneigenschaften
- Bergwasser
- Trennflächenorientierung

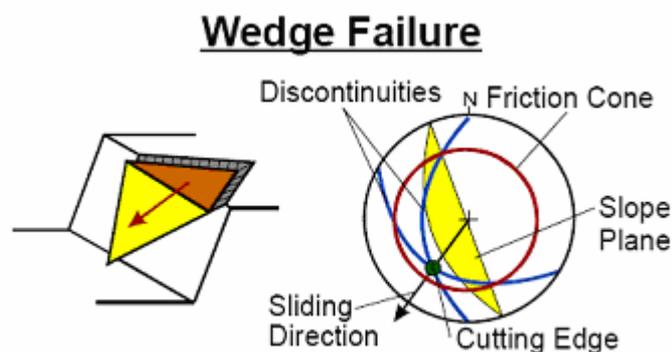
**Q-System** von Barton beruht auf der Bewertung der folgenden sechs Parameter:

- RQD - Rock Quality Designation
- Ja, Kluftzustandszahl
- Jn, Anzahl der Kluftrichtungen
- Jw, Kluftwasserfaktor
- Jr, Kluftrauigkeitszahl
- SRF, Spannungsreduktionsfaktor

Die Wichtigkeit einer vollständigen Gefüge- und Trennflächenmessung wird anhand der drei unten angeführten Beispiele dargestellt. Wenn Orientierung und Neigung der Böschungen und Trennflächen bekannt sind, ist es mittels computerisierter Bearbeitungen möglich, die unten aufgezählten Auswertungen zu machen. Die Erklärung zur Lagenkugeldarstellung ist in der Spezialliteratur z.B. John & Deutsch, (2002): Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik, Einführung und Beispiele und bei Goodman (1989) nachzulesen.



**Ebenes Gleiten eines Körpers**



**Gleiten eines Keils**, der durch die Kombination von zwei unterschiedlich orientierten Trennflächen entsteht



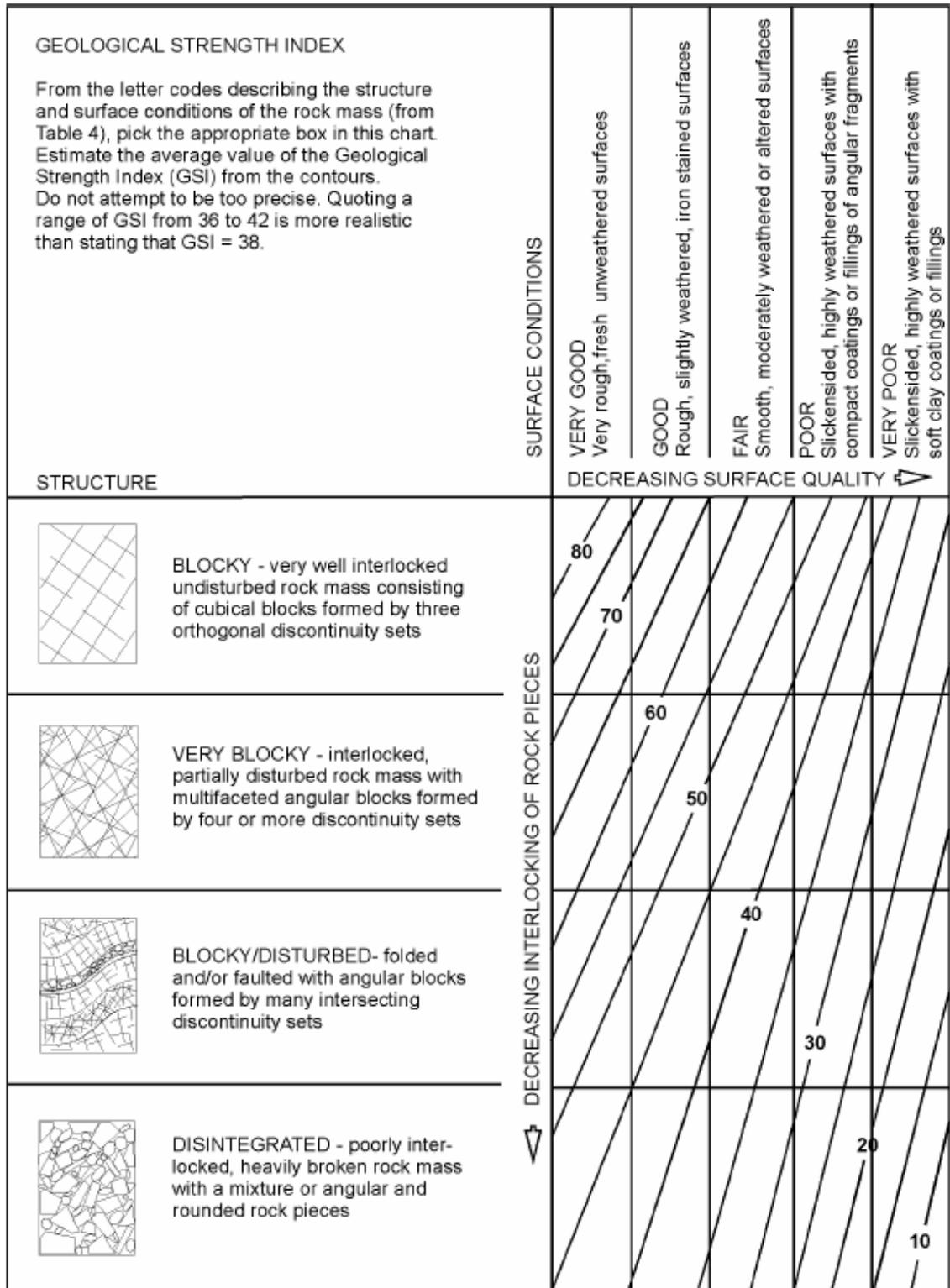


Abb. 128: Geological Strength Index, **GSI**, Bestimmung über eine beschreibende Charakterisierung geklüfteter Festgesteine nach Hoek (1998)

Auf Grund von fehlenden Informationen zu den Gesteinseigenschaften und auch zu den Störungssystemen wurde versucht, das Flusssystem als Indikator für geologische Schwächezonen heranzuziehen.

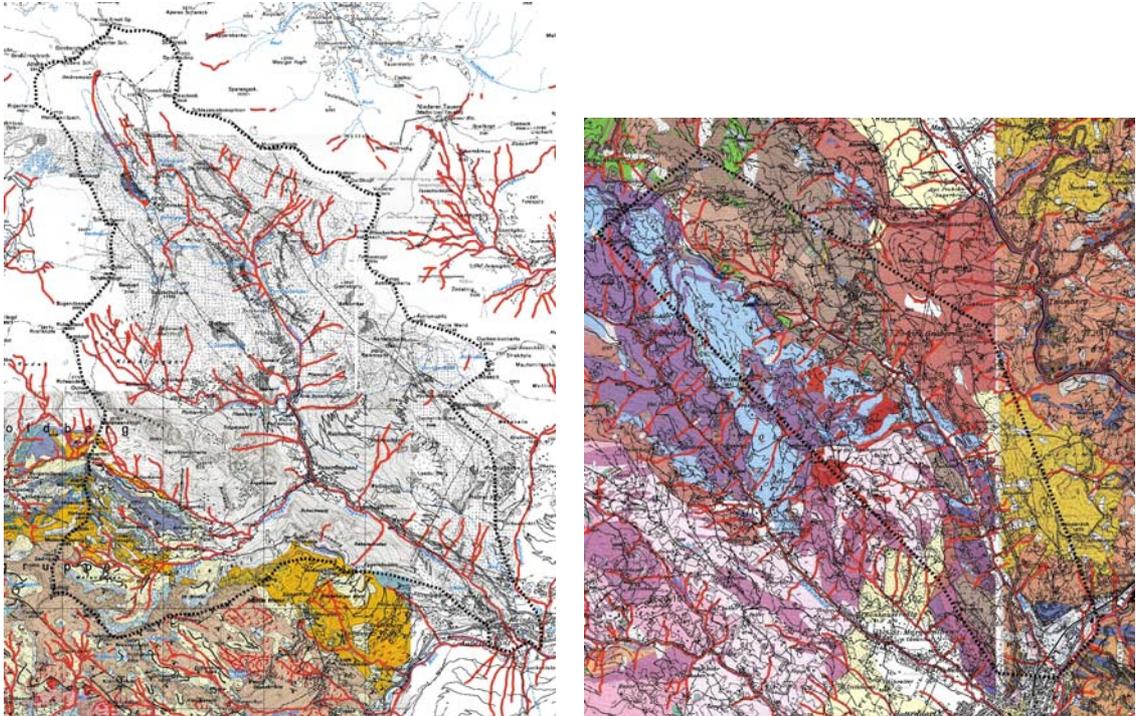


Abb. 129: Geologische Arbeitskarten mit darüberprojiziertem Flusssystem als rote Linien

Dies brachte für den Fraganterbachbereich gute, relativ verwertbare Ergebnisse im regionalen Maßstab, darunter war dieser Ansatz nicht nutzbar.

Fast der gesamte Saualpenbereich war im Würm unvergletschert. Daher konnte sich im Gebiet des Auenbachs eine mächtige Verwitterungsschicht bzw. Lockergesteinsmasse über dem anstehenden Fels bilden. Diese mächtige Verwitterungsschicht ist durch fluviale Erosion abgetragen worden. Daher ist im Auenbach der Einfluß der Tektonik auf die Massenbewegungen nicht so wichtig wie in der Fragant. Die großen, NW-SE streichenden Täler sind als Hauptstörungssysteme zu verstehen.

### 4.1.3. Suszeptibilitätskarte - Gefährdungskarte 1:50.000

Im Zuge des Projektpaketes „Georisikopotenzial Kärnten“ ist von der Geologischen Bundesanstalt in Wien 2005/2006 die Ausarbeitung von kärntenweiten Suszeptibilitätskarten (Gefährdungskarten) im Maßstab 1:50.000 und im 100x100m Raster auf verschiedene Massenbewegungsphänomene hin erfolgt.

Es waren dies die Typengruppen „**Fallen/Stürzen**“ (Blocksturz, Felssturz) und „**Flachgründiges Rutschen im Lockergestein**“ (Rotations-, Translationsrutschungen, etc.). Als Kartengrundlage wurde das Höhenmodell des BEV mit einer 10x10m Auflösung verwendet. Die Gegebenheiten und auslösenden Faktoren für die verschiedenen Typen der Massenbewegung sind sehr unterschiedlich. Daher sind für jeden Massenbewegungstyp eine Suszeptibilitätskarte auf Basis der jeweiligen Parameter und Faktorenkarten (z.B. Geologie, Hangneigung, Wald, Materialkennwerte) erstellt worden. Eine Bewertung der einzelnen Parameter und Faktoren, sowie deren Einfluss auf die Gesamtsuszeptibilität wurden am Ende per Expertenwissen vorgenommen. Im Gegensatz zu lokalen oder regionalen Studien fehlten quantitative Daten und Informationen mit hinreichender Dichte und Qualität und waren nicht extrapolierbar. Somit war die Erstellung von Suszeptibilitätskarten auf Basis von Daten mit allgemeiner und flächendeckender Verfügbarkeit beschränkt. Daraus ergaben sich Einschränkungen hinsichtlich Qualität und Flächendifferenziertheit der erstellten Suszeptibilitätskarten. Somit haben die Suszeptibilitätskarten subjektiven Charakter.

Zur Aussage die aus den Karten gezogen werden können schreibt Koçiu (2006): „All dies sind Gründe dafür, dass die resultierenden Suszeptibilitätskarten eher qualitative Aussagen zur räumlich variablen relativen Suszeptibilität geben können. So werden auch lediglich Bereiche mit geringer, mittlerer und hoher Anfälligkeit unterschieden. Eine echte Validierung der erstellten Suszeptibilitätskarten ist nicht möglich, da entsprechende Validierungsdaten fehlen. Deshalb wurde deren Plausibilität unter Einbeziehung des Ereigniskatasters von Kärnten und der Gefahrenhinweiskarte der GBA (Karte der Phänomene) geprüft.“

Es zeigte sich, dass eine relativ gute Übereinstimmung der Bereiche mit Hinweisen auf fallende/stürzende Massenbewegungen mit den Anfälligkeitsklassen der Suszeptibilitätskarten vorliegt. Im Gegensatz dazu wurden für den Massenbewegungstyp „Rutschungen im Lockergestein“ festgestellt, dass diese überwiegend in als stabil oder gering anfällig bewerteten Bereichen liegen. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass viele Objekte des Ereigniskatasters und der Gefahrenhinweiskarte in anthropogen beeinflussten Hangbereichen oder gewässernah positioniert sind. Hierbei handelt sich somit um Ereignisse, die durch Standortfaktoren verursacht und durch Faktoren ausgelöst wurden, die nicht in das der Suszeptibilitätskarte zugrunde liegende Bewertungsverfahren einbezogen wurden.

**Suszeptibilitätskarte für die Phänomene:**

**Fallen/Stürzen**

Suszeptibilitätskarte\_fallbewgesend

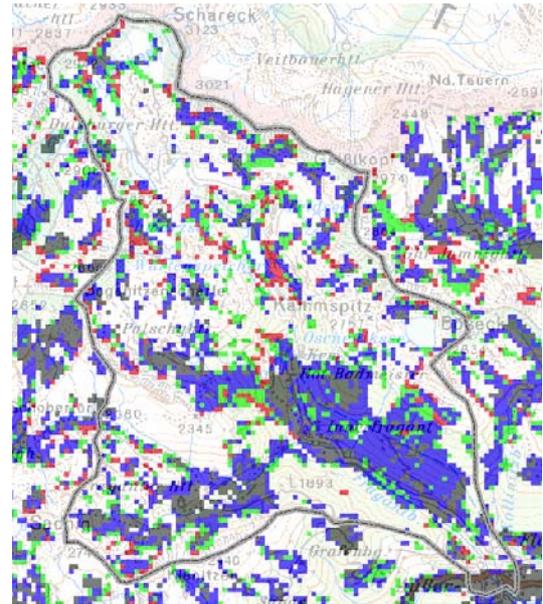
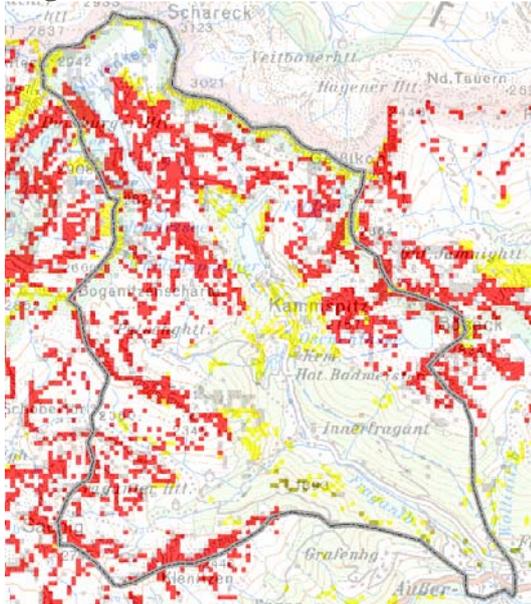
- 0\_keine Aussage möglich
- 1\_geringe Anfälligkeit
- 2\_mittlere Anfälligkeit
- 3\_hohe Anfälligkeit

**Flachgründiges Lockergesteinsrutschen**

Suszeptibilitätskarte aus rutbew\_code-suszrutzges100

- 0\_stabil
- 1\_geringe Anfälligkeit
- 2\_mittlere Anfälligkeit
- 3\_hohe Anfälligkeit
- 99\_keine Bewertung

**Fraganterbach:**



**Auenbach:**

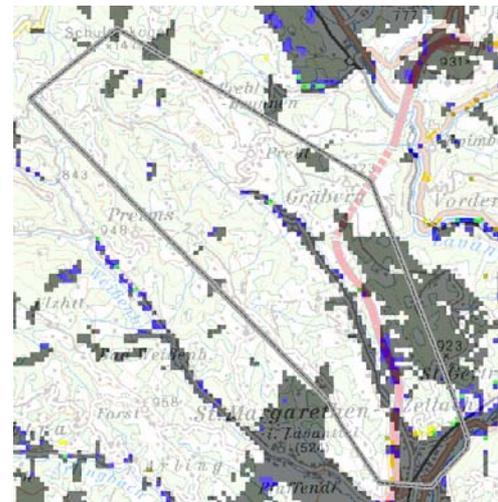
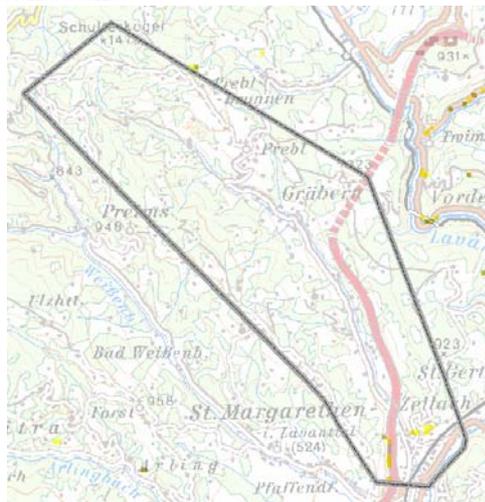


Abb. 130: Suszeptibilitätskarten für die Prozesse „Fallen/Stürzen“ (Blocksturz, Felssturz) und „Flachgründiges Rutschen im Lockergestein“ nach GBA (2006)

## 4.2. Implementierung

### 4.2.1. Wahl des Lösungsansatzes

Das Ziel der gegenständlichen Arbeit ist in erster Linie die Evaluierung des Nutzens von Laserscanaufnahmen, also (hoch-) genauen Vermessungsdaten, im Umfeld des Erkennens von Naturgefahren speziell von Massenbewegungen im Lokal- bzw. Detailmaßstab. Hierbei müssen alle Eingabeparameter in einer vergleichbaren Genauigkeit zur Verfügung stehen. Dies ist von Pain mit seiner Arbeit 2005 ausreichend logisch belegt worden. Die Genauigkeit der geologischen Daten, die auf Basis der ÖK 50.000 erhoben worden sind bzw. dargestellt werden, ist daher als nicht ausreichend anzusehen. Anstrebenswert sind Maßstäbe von 1:5.000 und genauer, denn damit können die zu untersuchenden Phänomene vollinhaltlich dargestellt werden.

Auf Grund der Größe und Komplexität der Geologie sowie weiterer noch offener Fragen, kann mit dem jetzigen Stand des Wissens bzw. der zur Verfügung stehenden Unterlagen die Nutzung der Laserscanaufnahmen nur als Indikator für eine geomorphologische Darstellung der Landschaft genutzt werden.

Drei mögliche Lösungsansätze sind denkbar:

1. **Die vollständige geotechnische Kartierung der Massenbewegungsgebiete mit**
  - a. RQD oder Q-Zahl
  - b. Trennflächenmessungen
  - c. Statistischen Auswertungen
2. **Die Einteilung in lithologische Homogenbereiche nach dem Schema der GBA**
3. **Die Visuelle Sichtung der im Laserscan vorhandenen bzw. darstellbaren Strukturen** und in Folge davon haben **Schwerpunktskartierungen zu erfolgen.**

Der benötigte Zeitaufwand und daher auch der zu bezahlende Preis dieser 3 Lösungen nehmen von 1. bis zum 3. Punkt ab.

Die Aussagen aus **Massenbewegungskartierungen** sind von der Qualität her, als am höchsten einzustufen, da diese direkt im Gelände von einem Fachmann aufgenommen und dabei geprüft werden. Mögliche Fehler können vor Ort erkannt und ausgeschieden werden.

Ein weiterer nicht zu negierender Punkt sind die Vorkenntnisse der kartierenden Geologen. Weiterführende Informationen zu diesem Thema sind bei Thomas Raab 1994 in seiner Diplomarbeit zur Validierung der Ergebnisse von Bearbeitungen verschiedener Geologen nachzulesen. Im Zuge dieser Arbeit sind Feldschätzungen wichtiger ingenieurgeologischer und felsmechanischer Parameter auf ihre Annäherungen an statistisch in Feld und Labor ermittelte Referenzwerte untersucht worden. Es wurden von Geologen mit einschlägiger Berufserfahrung und StudentenInnen der Ingenieurgeologie Bearbeitungen an drei Festgesteinsaufschlüssen durchgeführt. Dabei wurde versucht, den Begriff der Erfahrung anhand eines Vergleiches der Schätzergebnisse beider Versuchsgruppen empirisch darzustellen. Es zeigte sich, dass die berufserfahreneren Geologen mit ihrer Bearbeitung näher an den im Labor gemessenen Werten lagen. Damit konnte bewiesen werden, dass die berufliche Erfahrung und Kenntnis wertvolle Eigenschaften in der geologischen Feldansprache und Kartierung sind.

Wenn verschiedene Geologen in einem Gebiet arbeiten, ist ein Abgleich der Arbeiten unbedingt durchzuführen. Andernfalls kommt es zu großen Problemen bei der Erstellung von Karten (verschiedener Ausbildungsstand, Blattrandstörungen, etc.).

Der Aufnahmemaßstab diktiert die Genauigkeit der geologischen Aufnahmen. Als Faustregel gilt für den Maßstab 1:10.000 in mittelschwerem Gelände bei einer ausreichenden Aufschlussdichte eine Kartierleistung von ca. 1 km<sup>2</sup> pro Tag. Die Fläche des Bearbeitungsgebietes im Fraganterbach beträgt ca. 70 km<sup>2</sup>, im Auenbach ca. 35 km<sup>2</sup>. Auf Grund dieser Berechnung sind für eine vollständige Bearbeitung zumindest 3,5 Kartiermonate einzuplanen.

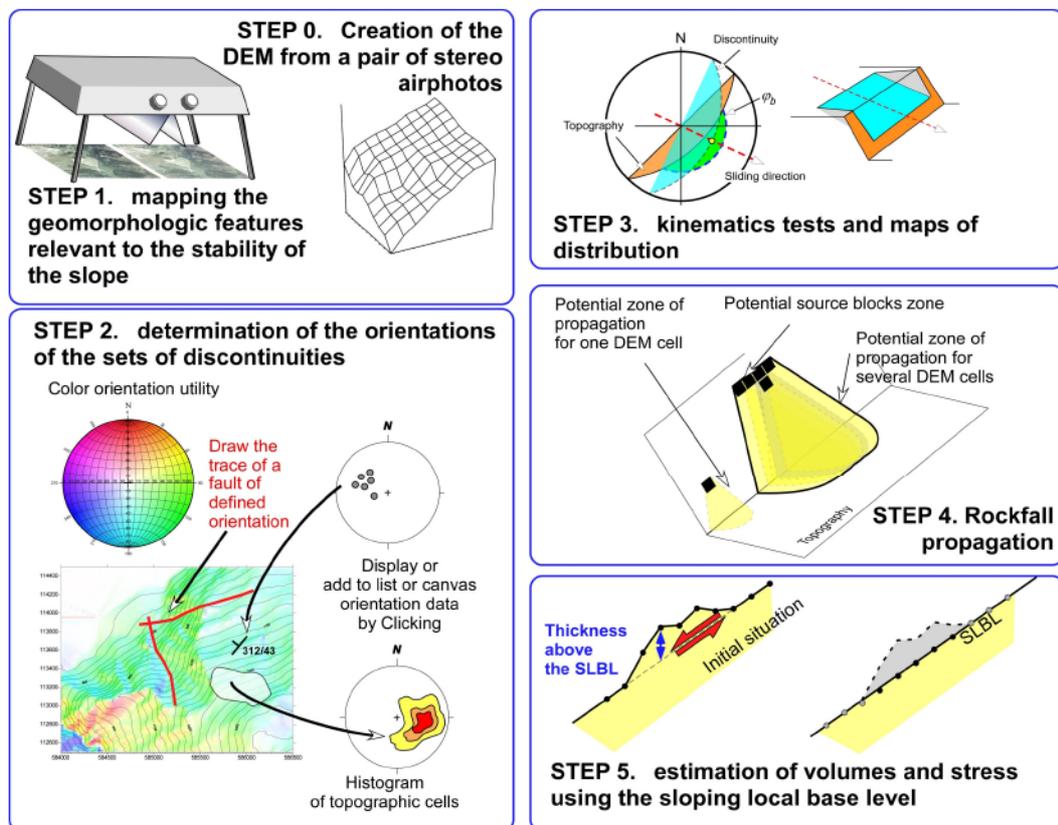


Abb. 131: Arbeitsschritte zur vollständigen geotechnischen Bearbeitung eines Gebietes aus Derron (2005)

Bei einer geotechnisch-lithologischen Charakterisierung werden die verschiedenen lithologischen Einheiten neu klassifiziert. Dies erfolgte im Sinne einer synoptischen Bewertung per Expertenwissen unter Berücksichtigung der folgenden Gesteinseigenschaften:

#### Lockergesteine:

- signifikante Faziesmerkmale (Verbreitung, Lagerungsgefüge etc.),
- Gefügemerkmale (Lagenbau, Schichtung, Textur)

#### Festgesteine:

- Gesteinhärte und -festigkeit,
- Verwitterungsanfälligkeit und Klüftigkeit, signifikantes Verwitterungsprodukt.

Die Karte besteht somit aus geotechnisch-lithologischen Einheiten/Homogenbereichen, denen qualitativ unterschiedliche Eigenschaften zugewiesen werden. Je nach der ingenieurgeologisch-geotechnischen Fragestellung sind diese Einheiten neu zu klassifizieren. Auf Grund der Datenbasis (Geologische Karten) können auch die Flächendetailliertheit und die Informationsqualität der erstellten Karte sehr unterschiedlich sein.

Als praktikabler Weg erscheint die manuelle Sichtung der im Laserscan vorhandenen und wiedererkannten Strukturen bei gleichzeitiger Prüfung vorhandener Kartierunterlagen, Datenbanken und Veröffentlichungen. In weiterer Folge sind Schwerpunkskartierungen zur Evaluierung dieser Ergebnisse durchzuführen.

Nach Dikau (1988) stellt „das Georelief ein hochkomplexes skulpturales Kontinuum dar. Es differenziert sich in Bereiche mit unterschiedlichen räumlichen, habituellen, substantiellen und genetisch/dynamischen Merkmalen oder Attributen. Es kann analytisch in einfachere, geringer komplexe Bauteile zerlegt werden, die als homogene Attributräume aufgefasst werden können“.

Massenbewegungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen in Locker- und/oder Festgesteinen. Die Gravitation ist der Motor dieser Bewegung, die durch verschiedene Kombinationen von Fallen, Gleiten und Fließen erfolgt. Diese Phänomene umfassen alle Maßstäbe von der kleinen, fast unmerklichen Bodenverschiebungen auf einem leicht geneigten Hang bis hin zum Bergsturz. Alle diese Ereignisse verändern die Morphologie der Landschaft. Die ursprüngliche Oberflächenform wird umgestaltet, es treten Zerrspalten, Doppelgrate, Risse, Mulden, Stauwülste, etc. auf. Diese Veränderung der Hangmorphologie ist durch eine aus ALS erstellten Hangneigungs- und/oder Hillshadekarte darstellbar. Abhängig von der Auflösung sind Darstellungen bis in den Planungsmaßstab 1:2.000 oder darunter möglich.

Dikau (1988) beschreibt die Vorteile einer automatischen, analytischen Reliefgliederung folgendermaßen: „Die auf geometrischen Attributen beruhende quantitativ-geomorphographische Reliefsprache und -analytik stellt u.E. die zweifelsfreieste Methode einer Reliefgliederung dar. Sie muß zum einen eine jederzeitige Wiederholbarkeit der Ergebnisse gewährleisten und darüberhinaus zu einer Gliederung führen, die dem geomorphogenetisch-geomorphodynamischen Reliefcharakter Rechnung tragen kann.“

Diese Lösung ist, nach unserer Ansicht, mit viel geringerem zeitlichen und finanziellen Aufwand durchführbar. Die zu erzielenden Ergebnisse sind mit Ergebnissen der Lösungsansätze 1 und 2 vergleichbar, wenn nicht besser, da die Kartierungen geplanter in den relevanten Bereichen gemacht werden können.

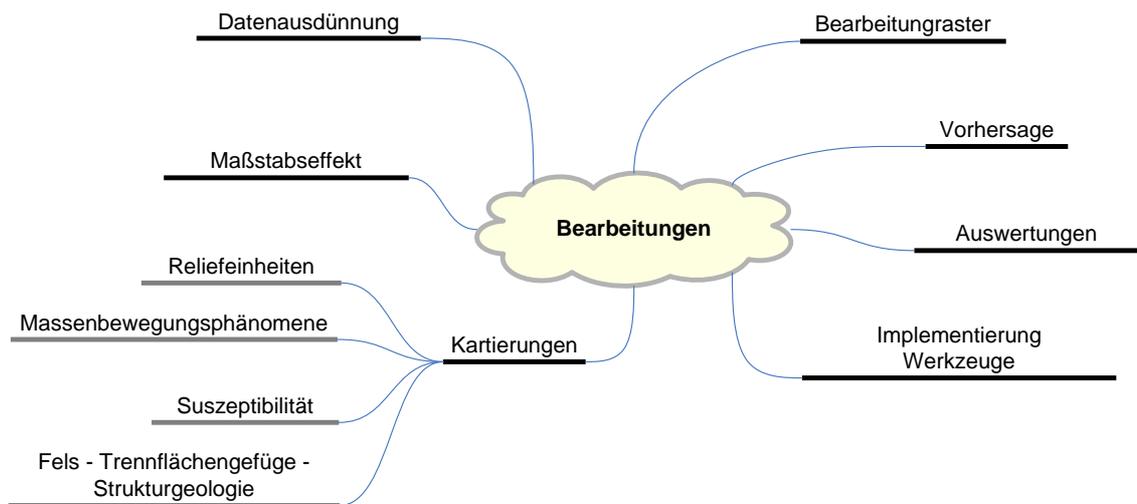


Abb. 132: Mindmap zur Darstellung der Zusammenhänge der Bearbeitung der Karte

#### 4.2.2. Umsetzung des Lösungsansatzes

Durch Auswahl des Punktes 3 also eines Top-Down-Lösungsansatzes wird die Technik der schrittweisen Verfeinerung angewandt. Vom zu lösenden Gesamtproblem bzw. der Aufgabenstellung, der Nutzung der Laserscanaufnahmen im Umfeld der Naturgefahren ausgehend werden Teilprobleme gebildet. Diese werden schrittweise weiter unterteilt und verfeinert, bis hin zum Endergebnis der Karte für die jeweiligen Projektgebiete. Dadurch entsteht ein hierarchisch gegliederter Aufbau der Arbeit von oben nach unten.

Bei diesem Modell besteht die Gefahr, dass erst in einer relativ tiefen Ebene bemerkt wird, dass die Realisierung unmöglich ist. Auf Grund der schon im Vorfeld der Bearbeitung vorhandenen Erkenntnisse über die Schwächen der Unterlagen ist dies nicht zu erwarten.

Fach- oder Expertenwissen wird benötigt bzw. muss angeeignet werden. Die Darstellung der verschiedenen Massenbewegungen, Wildbachtypen und der glazialmorphologischen Erscheinungen muss standardisiert werden. Daher sind die Kap. 3.1.8, 3.1.9 und 3.1.15 in der Arbeit ausführlich beschrieben worden. Aus der Geologie Kärntens und der regionalen Geologie der Testgebiete sind die ersten Erkenntnisse zum Untergrund zu bekommen (Kap. 3.1.7).

Das Ziel der Arbeit ist eine Evaluierung der Möglichkeiten und die Problemsuche. Eine vollständige geologisch-kartographische Bearbeitung der beiden Gebiete übersteigt den Rahmen der Thesis. Es sind nur ausgewählte Bereiche im Maßstab 1:5.000 digitalisiert worden. Die restlichen Bereiche sind aus der Literatur bzw. bestehenden Kartenwerken übernommen und kompiliert worden (Abb. 143).

### **4.2.3. Vorhandene Datensätze, die zur Lösung der Aufgaben herangezogen wurden:**

#### **4.2.3.1. Orthophotos**

Die vorliegenden Orthophotos wurden zum Abgleichen und Abgrenzen der Massenbewegungen herangezogen. Im Hochgebirge wurden die sehr unruhigen Oberflächen (Blockfelder, felsdurchsetzte Steilhänge, unebene Matten usw.) durch das Laserscanning geglättet. Kleinere bis mittelgroße Gesteinsblöcke (zwischen ein bis zwei Meter) sind weitgehend eliminiert worden. Diese Abgrenzung der Sturzbereiche ist für das Verständnis der Kinematik der stürzenden Prozesse nötig. Eine Abgrenzung dieser Blöcke bzw. der Blockhalden kann mittels der Neigungskarte und der Orthophotos durchgeführt werden. Mithilfe von Orthophotos können auf Grund der Oberfläche, im Speziellen des Bewuchses, Rückschlüsse auf das Alter von Massenbewegungen gezogen werden.

#### **4.2.3.2. ÖK50 und 200 im Rasterformat**

Die topographischen Unterlagen für die Ansprache der Situation werden mittels dieser Kartenwerke gemacht. Weiters steht noch ein georeferenzierter Punktdatensatz mit den Namen der ÖK 50.000 zur Verfügung. Dies war ein wichtiges Hilfsmittel bei der Ansprache der Landschaftselemente und der Situation in den Gebieten.

#### **4.2.3.3. Fachdatenbanken**

Mithilfe der Fachdatenbanken konnten Informationen zu Naturgefahren, geologischen Bearbeitungen und Bohrungen abgefragt werden. Die Daten des Ereigniskatasters beziehen sich fast ausschließlich auf den Dauersiedlungsraum, da Ereignisse außerhalb des Dauersiedlungsraumes, so wie z.B. im Hochgebirge normalerweise nicht gemeldet werden. Deshalb liegen im Bereich Fragnerbach keine Meldungen vor.

#### **4.2.3.4. Laserscanning und Produkte aus dem ALS**

Die Parameter zur Erstellung der DGM und DOM sind im Kap. 3.1.6. beschrieben.

##### **4.2.3.4.1. Überprüfung der ALS Genauigkeit**

Anhand des Vergleichs von Vermessungsdaten aus einer photogrammetrischen Aufnahme zu Laserscanningdaten konnte die Genauigkeit der ALS Aufnahmen bestätigt werden. Vergleich ISO-Linien Photogrammetrie - ALS-DGM Fehler dH = 3-8cm.

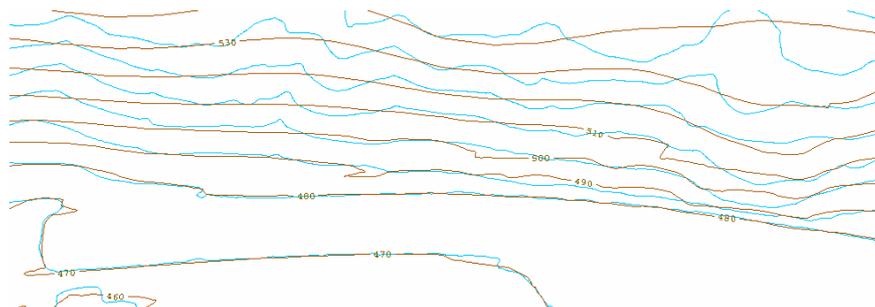


Abb. 133: Vergleich Datenqualität (blau ALS, rot Photogrammetrie)

Die durch das ALS erzielten Genauigkeiten sind für den Bereich der Geologie und der Geomorphologie als ausreichend genau anzusehen.

#### 4.2.3.4.2. Ausdünnung der ALS Daten

Im Zuge der Bearbeitung wurde auch eine Datenreduktion durchgeführt um die Nutzbarkeit der ausgedünnten DGM bzw. DOM im Hinblick auf geologisch-geomorphologische Gesichtspunkte zu testen und zu evaluieren.

|               | Platzbedarf je Blatt | Pyramide        |
|---------------|----------------------|-----------------|
| DGM1m         | 95,4 MB              | 8,00 MB         |
| DOM1m         | 95,4 MB              | 8,00 MB         |
| DGM5m         | 3,81 MB              | 0,32 MB         |
| DOM5m         | 3,81 MB              | 0,32 MB         |
| DGM10m        | 0,95 MB              | 0,08 MB         |
| DOM10m        | 0,95 MB              | 0,08 MB         |
| <b>Summe:</b> | <b>200,34MB</b>      | <b>16,80 MB</b> |

Tab. 11: Verschiedene Auflösungen des DGMs und DOMs und deren Speicherplatzbedarf

Eine Ausdünnung der Daten ist jedoch für die gegenständliche geologische Bewertung nicht nötig gewesen. Bei Datensimplifizierungen gehen immer Informationen verloren. Da ArcGIS das DHM und DOM darstellen konnte, wurde mit der bestmöglichen Auflösung (DGM 1m) gearbeitet.

#### 4.2.3.5. Geologie

Geologische Informationen wurden in erster Linie aus der „Digitalen geologischen Karte Kärnten“ entnommen. Dieses Kartenwerk wurde von der Geologischen Bundesanstalt – Abteilung Rohstoffgeologie im Auftrag der Kärntner Landesregierung im Maßstab 1:50.000 erstellt. Es ist ein Produkt der Übernahme von (digital bzw. analog) publizierten Geologischen Karten und Manuskripten bzw. der Kompilation von Manuskriptteilen Geologischer Karten.

Folgende geologische Karten lagen auch zur Bearbeitung vor:

- Tektonische Karte im Maßstab 1:50.000
- Hydrogeologische Karte im Maßstab 1:50.000
- Georeferenzierte Scans von kartierten Teilbereichen in kleineren Maßstäben.

Bei diesen Unterlagen gibt es zum Teil große Einschränkungen hinsichtlich der Qualität und Flächendifferenziertheit der erstellten Karten. Ein Beispiel dafür sind die sogenannten Blattrandstörungen der digitalen geologischen Karte. Blattrandstörungen sind nicht zusammenzeichenbare Übergänge zwischen zwei Blattschnitten (z.B.: ÖK Blättern). Gründe dafür können unterschiedliche Bearbeiter mit anderen Arbeitsweisen, ein anderer Ausbildungsstand der kartierenden Geologen und auch der Zweck der Kartierung sein. Diese wurden bei der Kompilierung der digitalen geologischen Karte 1:50.000 nicht angeglichen. Bei der neuen digitalen geologischen Karte im Maßstab 1:200.000, die 2008 geliefert wurde, sind diese störenden Erscheinungen entfernt worden. Jedoch ist dieser Maßstab für die gegenwärtige Bearbeitung zu ungenau.

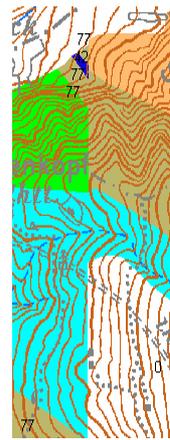


Abb. 134: Blattrandstörung

#### 4.2.3.6. Massenbewegungen

Folgende Unterlagen wurden verwendet:

- Die Definitionen der Massenbewegungen sind im Kap. 3.1.8. beschrieben.
- Flächige bzw. lineare Massenbewegungsstrukturen aus GEORIOS der GBA
- Suszeptibilitätskarte als Indikator für mögliche Massenbewegungen im Maßstab 1:50.000

#### 4.2.3.7. Wildbachtypen und Prozessbereiche in Wildbacheinzugsgebieten (gem. ETALP-Handbücher)

Die Definitionen der verschiedenen Wildbachtypen und der Prozessbereiche sind in den Kap. 3.1.9. und 3.1.10. beschrieben.

#### 4.2.3.8. Massenbewegungen im Fachgutachten

Für beide Gebiete sind durch die Literatursuche Bearbeitungen und Karten gefunden worden (Publikationen, Gutachten, etc.).

#### 4.2.3.9. Geomorphologie

Der Bereich der Geomorphologie im Speziellen der **Glazialmorphologie** ist im Kap. 3.1.15. beschrieben.

Bei den Untersuchungen zur Eignung von hochgenauen ALS Daten wurden verschiedene geomorphometrische Kennwerte berechnet.

Durch Massenbewegungen wird die Oberflächenform verändert, daher sind Neigungskarten eine gute Hilfe die verschiedenen Phänomene zu erkennen. Die **Hangneigung** oder **Inklination** wird mit dem Geologen-Kompass in Winkelgraden gemessen, die im Straßenbau, in der Forstwirtschaft etc. auch übliche Einteilung in % wurde nicht verwendet, da diese in der Geologie nicht verbreitet ist.

### 4.3. Werkzeuge

Zu Beginn der Bearbeitung wurde im Zuge einer Recherche analoges bzw. digitales Datenmaterial zusammengetragen und für eine EDV-mäßige Weiterverarbeitung vorbereitet. Danach wurde eine GIS-Auswertepattform angelegt und die relevanten Daten inkludiert.

Die Phase der kombinierten Auswertung von DGM und Orthophoto wurde vorbereitet, in dem die Methodik in Testgebieten angewandt wurde, wo bereits detailliertere aktuelle Studien vorlagen. Es wurden sowohl klein- als auch großräumige geogene Risiken in diese Vorerhebungen einbezogen und die Tauglichkeit der Methodik getestet.

Durch die Nutzung des GIS ist neben der Verknüpfung der Daten mit den Koordinaten der digitalen Karte auch eine Flächenanalyse der digitalisierten Flächen (Polygone) möglich gewesen. Auf Grund der Dateninkonsistenzen wurde aber auf eine geoinformatische Auswertung verzichtet. Die Karte liegt in Informationsschichten vor, getrennt in ALS Neigung, Massenbewegungsstrukturen, Ereigniskataster, geol. Karten, Hillshade etc. Durch diese Aufteilung wurde es ermöglicht, die relevanten Informationen zu nutzen, ohne eine Gewichtung vergeben zu müssen.

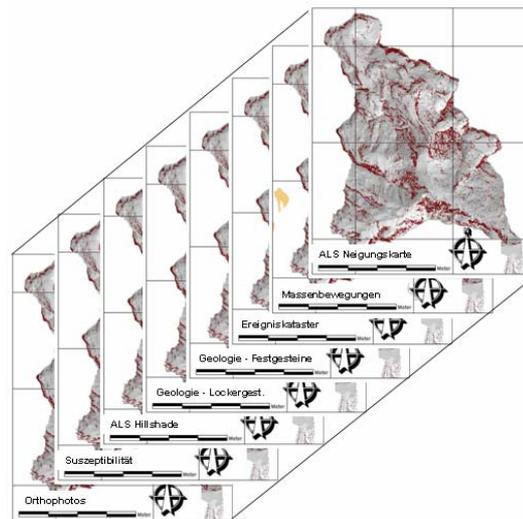


Abb. 135: Informationsschichten der Karte

#### 4.3.1. Kartenerstellung am Computer

Auf Basis der vorhandenen Geographischen Informationssysteme wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen zur Gefährdungssituation der untersuchten Gebiete zusammengeführt.

Die Bearbeitungen wurden mit folgenden, zum Teil bereits digital vorhandenen Datensätzen durchgeführt:

- Die flächenhafte Auswertung der digitalen geologischen Karte im Hinblick auf Massenbewegungsstrukturen,
- Evaluierung des zur Verfügung stehenden Kartenmaterials durch Übersichtsbegehungen zur Überprüfung und Ergänzung,
- GeoRios Massenbewegungsdaten,
- Auswertung des 1 Meter DGMs aus dem ALS und der Orthophotos im Hinblick auf Massenbewegungsstrukturen,
- Miteinbeziehen des Ereigniskatasters NGK mit Erhebung von Berichten über Schadensereignisse,
- Verwendung der Suszeptibilitätskarte.

Die flächendeckende Erstellung einer Massenbewegungskarte erfordert im Vorfeld die Auswertung aller relevanten Grundlagendokumente. Daten für diese Karte entstammen den verschiedensten Quellen.

Die aus der Literatur erhobenen Daten und z.T. aus sehr alten bzw. überholten Kartierungen stammenden Abgrenzungen von geogenen Risiken bedürfen oftmals einer Revision bzw. Aktualisierung. Mit dieser Arbeit soll gezeigt werden, dass diese kombinierte Erhebung mit Auswertungen aus dem DGM eine geeignete Methode ist, um diese Revisionsarbeiten zu unterstützen.

Zusätzlich bieten die ALS Neigungs- und Hillshade-Karten bzw. die Orthophotoauswertungen in Gebieten mit unzureichendem Informationsstand eine hervorragende Möglichkeit, um möglichst effektiv und ökonomisch digitale Informationssysteme mit den erforderlichen Daten zu befüllen. Durch die Interpretation von massenbewegungsrelevanten Strukturen und ihrer Anbindung an Geoinformationssysteme, wie ArcView® oder ArcGIS® der Firma ESRI, bietet sich eine Methode, die erforderlichen thematischen Informationen und geometrischen Daten zu erfassen, zu speichern und weiterzuverarbeiten.

Jedoch wird darauf verwiesen, dass nur durch den Einsatz von GIS und Fernerkundung eine Verifizierung im Gelände niemals ersetzt werden kann. Der kombinierte Einsatz von digitalem Geländehöhenmodell und Luftbildern (Orthophotos) kann in vielen Fällen jedoch wertvolle morphologische Hinweise für Hanginstabilitäten liefern oder ein sehr gutes Mittel darstellen, die Abgrenzungen von geogenen Naturgefahren zu aktualisieren.

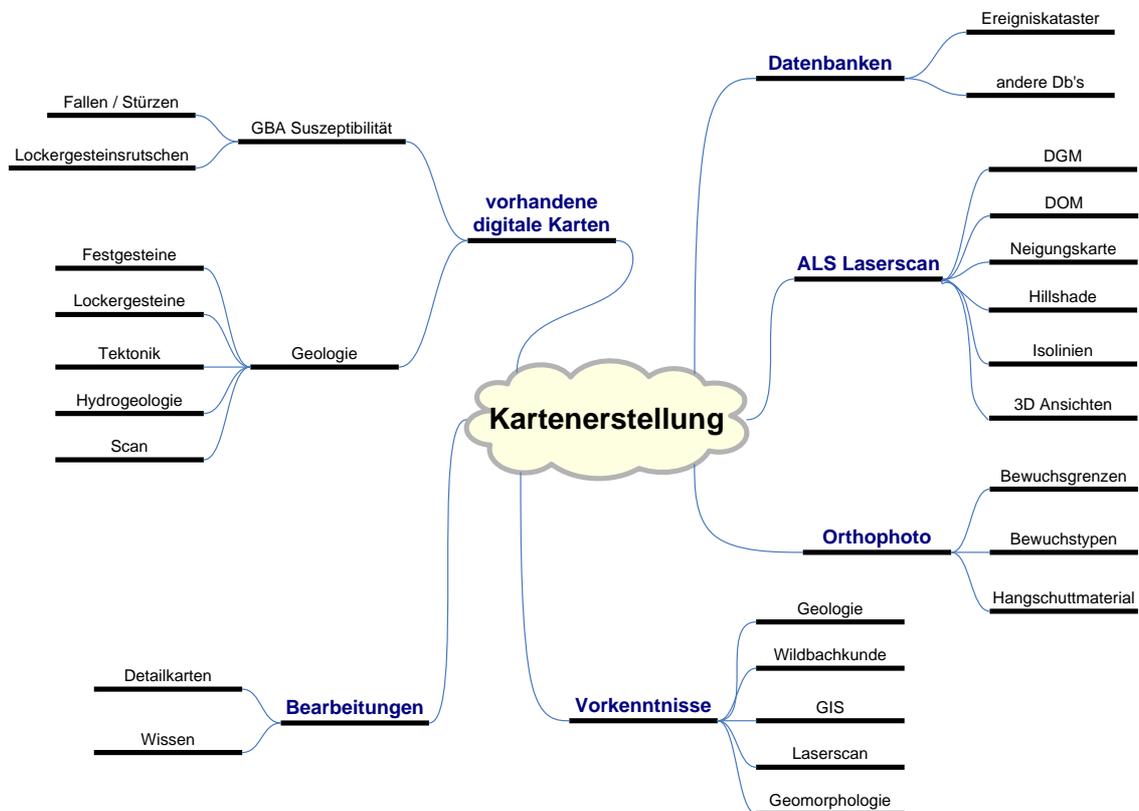


Abb. 136: Mindmap zur Kartenerstellung mit GIS

#### **4.3.2. Allgemeines zur Methodik der Interpretation von Massenbewegungen**

Das Auffinden, Erkennen und Interpretieren von Strukturen innerhalb eines Bildes umfasst die Gesamtheit des visuellen Interpretationsvorganges von Bildern. Die Bildinterpretation setzt sich aus dem Erkennen und Identifizieren von Objekten anhand von Bildmerkmalen sowie dem Interpretieren zusammen. Die wesentlichen Merkmale des Bildes, die zur Objekterkennung und -beschreibung herangezogen werden, sind geometrisch und geologisch-geomorphologisch bestimmt. In diesem Zusammenhang sind vor allem Merkmale, wie die Größe, die Form, die Lage, die Farbverteilung, Muster und Texturen sowie Unterschiede in den Farben bzw. Schattierung zu nennen. Die ausführliche graphische Darstellung mit Hilfe von Blockbildern ist neben der textlichen Beschreibung ein Versuch der Standardisierung in der Ansprache der verschiedenen Objekte.

Das eigentliche Interpretieren geht inhaltlich weit über das Erkennen von Objekten, Strukturen und Schwächezonen hinaus und erfordert umfangreiches Fachwissen des Interpreten. Gerade im GIS können dafür zusätzliche hilfreiche und verfügbare Informationen leicht miteinbezogen und lagegetreu als eigene Layer in wählbarer Transparenz übereinander gelegt werden (zusätzliche Informationslayer sind z.B. topographische Karten, geologische Karten, DGM, sonstige Geländedaten wie Bohrprofile oder geophysikalische Auswertungen etc.). In dieser Phase der Bildinterpretation werden zusätzliche und weiterführende Aussagen aus den Bildmerkmalen abgeleitet, die nicht direkt abgebildet sind. Der Gesamtprozess der Bildinterpretation setzt sich also aus dem Sehen, Wahrnehmen, Erkennen und Verifizieren zusammen. Anhand der Bildmerkmale wird für die zu interpretierenden Objekte und ihrer räumlichen Beziehungen zueinander ein Interpretationsschlüssel („knowledge based“ - zur wissensbasierten Objekterkennung) erstellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden mittels Global Mapper 9 auch 3-dimensionale Visualisierungen erzeugt, die dem räumlichen Verständnis der Strukturen dienen.

Im Normalfall schließt an diesen Auswertungsprozess eine Verifizierung im Gelände an, bei der sowohl die bisherigen Ergebnisse geprüft, Unsicherheiten berichtigt als auch Interpretationsschlüssel modifiziert werden können. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in der Regel in Form von thematischen Karten.

#### **4.3.3. Digitales Geländehöhenmodell (DGM)**

Für die vorliegende Arbeit wurden rasterbasierte digitale Geländemodelle bearbeitet. Diese liegen in einer Auflösung von 1 Meter vor. Durch die extrem genaue Auflösung ist es nunmehr erstmals möglich, kleinräumige Massenbewegungsstrukturen (z.B. Abrissnischen mit geringem Versatz, Zerrstrukturen, Auflockerungsbereiche) besonders in bewaldeten Arealen scharf abzugrenzen und zu erfassen. Aber auch in diesen Bereichen ist eine Verifizierung im Gelände unverzichtbar (Abb. 39).

Diese Arbeit soll aufzeigen, dass der kombinierte Einsatz von DGM und Orthophotos gemeinsam mit weiteren Informationsebenen innerhalb einer GIS-Plattform eine geeignete Methode darstellt, um Strukturen von Massenbewegungen flächenmäßig zu studieren.

Lineamente und Strukturen, die durch Forststraßen oder Wege entstehen, können durch das eingblendete Orthophoto oder topographische Karten rasch identifiziert werden. Mit Hilfe der Orthophotos sind auch Waldflächen verschiedenen Alters gut zu erkennen.

Die Auffindung geologischer Strukturen und Schwächezonen ist für ingenieurgeologische Fragestellungen sehr wichtig, da entlang dieser Lineamente eine tiefgreifende Destabilisierung und Zerstörung des Gesteinsverbandes stattfindet. In diesen Auflockerungszonen ist häufig eine Veränderung des hydrogeologischen Milieus zu beobachten.

#### 4.3.3.1. Hangneigung bzw. Oberflächenneigung

Die Hangneigungswinkel sind bei normalen und charakteristischen Hängen in einem bestimmten, räumlich abgrenzbaren Gebiet modal verteilt. Als charakteristische Hänge werden jene bezeichnet, die in einem definierten Bereich am häufigsten vorkommen. Ihre Neigung wird durch das Untergrundmaterial, das sie aufgebaut und aus den Bildungsprozessen, die sie formten, bestimmt. Die Bildungsprozesse sind eng mit der Hangneigung verknüpft. Eine simple Definition von Massenbewegungen sieht diese als hangabwärts gerichtete Bewegung einer Fest- oder Lockergesteinsmasse. Ändert sich die Neigung ändert sich auch der Typ der Massenbewegung (Abb. 118).

Die Oberflächenneigung an einem Punkt wird durch das steilste Gefälle auf dieser Tangentialebene bezeichnet. Die Berechnung der Neigung erfolgt durch Ableitung der Oberfläche in Richtung der x-Koordinate und in Richtung der y-Koordinate.

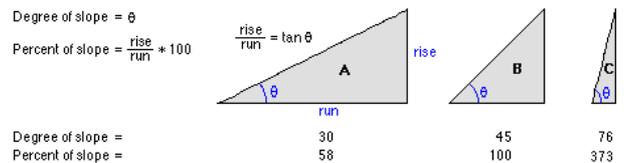


Abb. 137: Berechnung der Neigung in Grad und Prozent, aus dem ArcGIS Spatial Analyst Help

Als einer der wichtigsten Faktoren bei der Entstehung von Massenbewegungen ist die Hangneigung zu bewerten. Mittels der Funktion „Slope“ des ESRI Moduls „Spatial Analyst“ wurde anhand des DGMS eine Hangneigungskarte erstellt. Die automatisch erzeugten Rasterdaten der Flächenanalyse liegen in einer bestimmten statistischen Klassifikation („natural breaks“) vor. Dieses Zahlenintervall des Hangneigungsrasters wurde nach logischen Gesichtspunkten in Klassen gruppiert. Ziel dieser Klassifizierung war, auf Grund der Zusammenhänge zwischen den geotechnischen Eigenschaften der Gesteine bezüglich der Rutschungsanfälligkeit, Erosionsgefährdung und der Hangneigung brauchbare Klassen der Hangneigungen zu definieren. Die Neigungswinkel sind in die folgenden Klassen in Winkelgrad eingeteilt worden: 0°-10°, 10°-20°, 20°-30°, 30°-35°, 35°-40°, 40°-90°. Auf Grund dieser Klasseneinteilung können nach den gemachten Erfahrungen in den beiden Testgebieten die Rutschungstypen und deren Internstrukturen gut unterschieden werden.

Auf Grund von Werten aus der Literatur und eigenen Erfahrungen und wird die Grenze zwischen stabilen und instabilen Bereichen bei Rutschungen mit ca. 35°-40° Hangneigung angegeben. Diese Verteilung der Massenbewegungen ist dadurch begründet, dass eine große Anzahl der Hangbewegungen einerseits innerhalb relativ mächtiger Lockergesteinsmassen und andererseits in Bereichen tief greifender Massenbewegungen wie

Talzuschiebe und Gleitungen stattfinden. In Hängen mit über 40° Neigung sind eher Sturzphänomene (Block- bzw. Felsstürze) zu beobachten. Auf Grund dieser Klassifizierung können die Rutschungen sehr gut abgegrenzt werden.

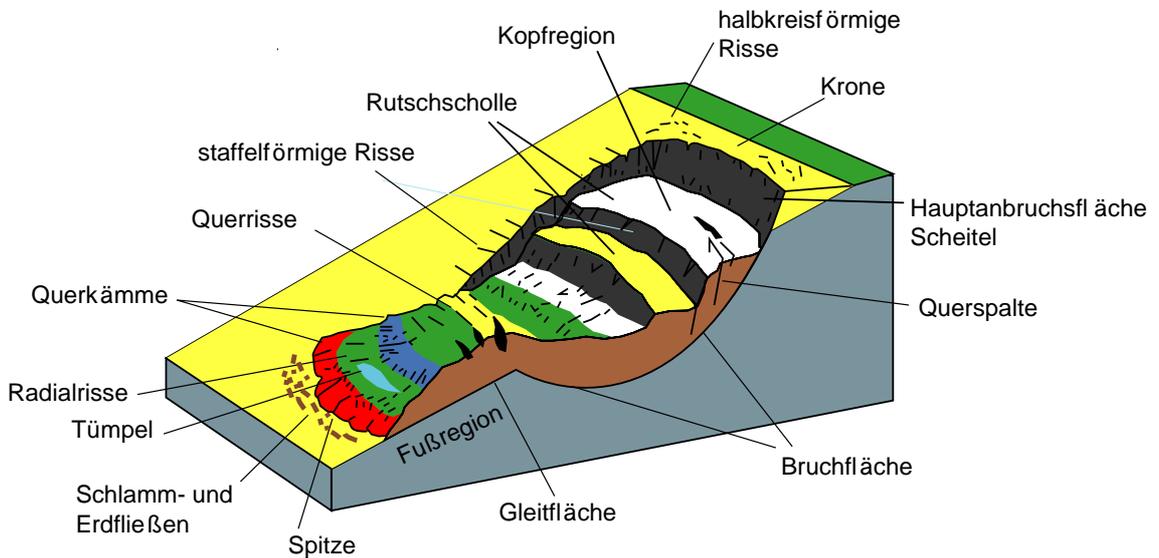
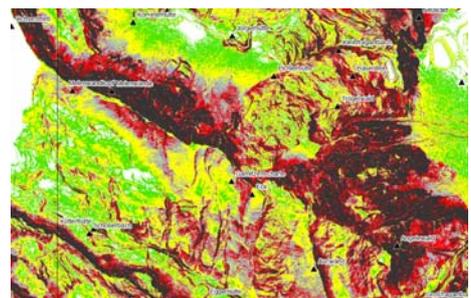
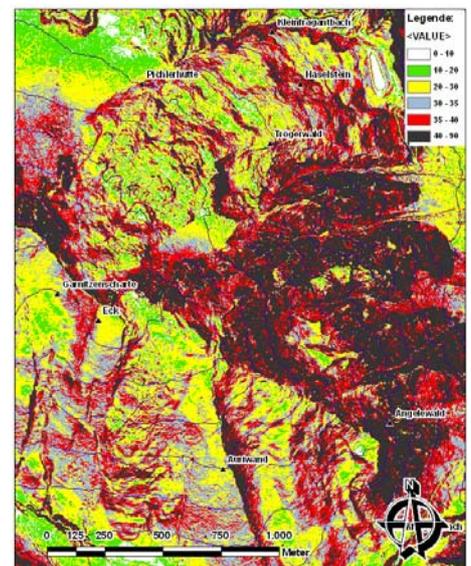


Abb. 138: Schematische Darstellung einer Rotationsrutschung mit nach der Neigung eingefärbten Flächen, verändert nach USGS (2004) und Bunza (1992)

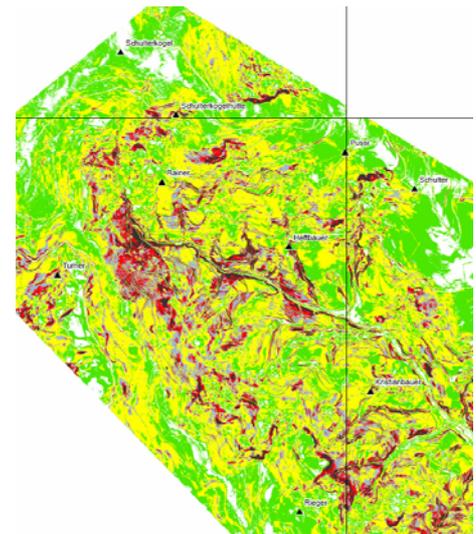
Mithilfe der hohen Auflösung der DGMs konnten die Internstrukturen der verschiedenen Massenbewegungen erkannt werden. In Abb. 152 ist die im Gutachten beschriebene Rutschung im Auenbach auf Grund der Zerstückelung der Oberflächenform, die sich durch die verschiedenen, strukturellen und texturellen Anordnung der Farbflächen zeigt, sehr leicht zu erkennen.

In den beiden Bildern rechts ist die bei Weiss 1969 beschriebene Sackungsmasse der Garnitzenscharte der Melenwände gut erkennbar. Diese Großrutschung ist vor der letzten Vergletscherung im Würm und der Talverfüllung des Innerfraganter Kessels in Richtung Haselstein und Innerfragant um etwa 400 Höhenmeter abgerutscht. Die entfestigten Bereiche werden durch die unruhige Morphologie, die sich anhand der Farbunterschiede bzw. des veränderten Musters zeigt, hervorgehoben.

Abb. 139: Darstellung der Großrutschung der Garnitzenscharte anhand der Neigungskarte



Im Auenbachtal sind junge, gut ausgeprägte und daneben auch noch alte fossile stark verwitterte Massenbewegungen zu erkennen. Diese Phänomene sind über den gesamten Bereich des Auenbachtals verteilt. Die Erscheinungen lassen sich gut mit der Übergangszone Marmor/Schiefer korrelieren die in der Abb. 30, dem Ausschnitt aus der Geologischen Karte der Saualpe nach Pilger (1975) und Abb. 143, zu sehen sind.



Im Bereich des Auenbachs können fast alle Stadien der Erosion einer Massenbewegung nach Miyagi (2004) (Abb. 146) erkannt werden.

Abb. 140: Darstellung der Rutschungen im Talschluß des Auenbachs

Damit ist die Eignung dieser Methode für verschiedene Maßstäbe bewiesen worden.

#### 4.3.3.2. Oberflächenanalysen auf Grund verschiedener Beleuchtungen (Schattierungen) der Geländeoberfläche

Aus einem DGM wurden mittels Spatial Analyst Schattenbilder sogenannte „hillshade“ erzeugt. Auf Grund der Beleuchtung, die aus einer bestimmten Richtung kommt, ergeben sich plastische Darstellungen und somit ein dreidimensionaler Eindruck des Geländes. Durch Variierung des Lichteinfalles wird es dem Betrachter ermöglicht, verschieden gerichtete Strukturen und Lineamente von möglichen Massenbewegungsphänomenen erfassen zu können. Die Strukturenerkennung ist sehr stark vom Lichteinfallwinkel auf die Geländeoberfläche abhängig. Bei ungünstiger Beleuchtung können zum Teil wichtige Lineamente und Strukturen in einem Hang unsichtbar sein. Diese Methode wurde auf Grund der beschriebenen Schwachstellen zur Erkennung von Massenbewegungen nicht in demselben Umfang wie die Auswertung der Neigungskarten herangezogen. Diese Methode ist nicht so objektiv wie die Erstellung von Neigungskarten, bei denen immer nachvollziehbare Ergebnisse produziert werden.

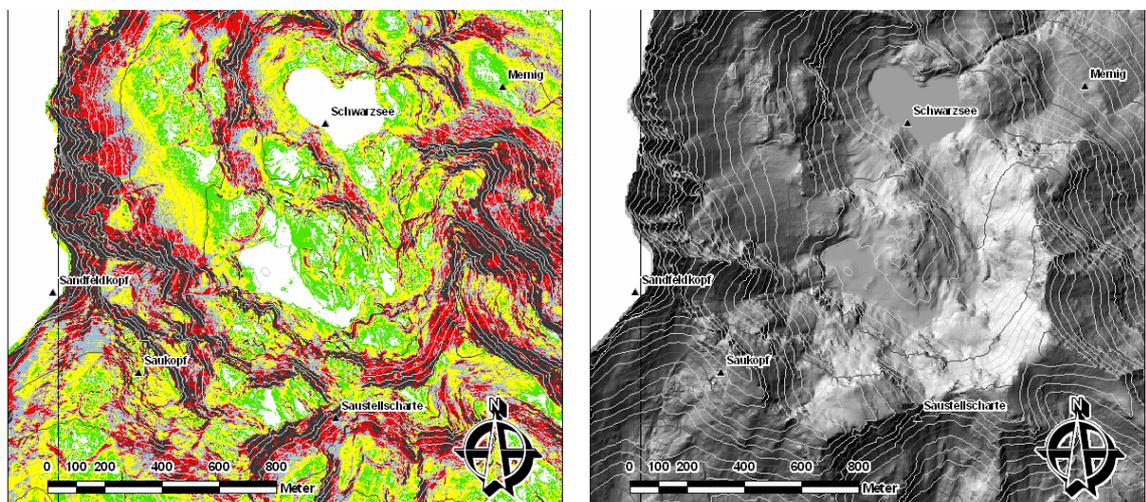


Abb. 141: Schwarzseeкар Darstellung mittels Hangneigungskarte und Hillshade

#### 4.3.3.3. Weitere geomorphometrische Parameter

Bei den Untersuchungen zur Eignung von hochgenauen ALS Daten wurden weitere geomorphometrische Kennwerte berechnet (3.1.15.2). So wurde z.B. angedacht, die Hangausbildung oder Wölbung (eng. Curvature) zu berechnen und als Kennwert zu nutzen. Dieser Parameter zeigte jedoch keine deutlichen bzw. nur schlecht verwertbare Ausprägungen im Mikroreliefbereich und ist daher nicht weiter untersucht worden.

#### 4.3.4. Die Bearbeitung mittels GIS ist in folgenden Schritten durchgeführt worden:

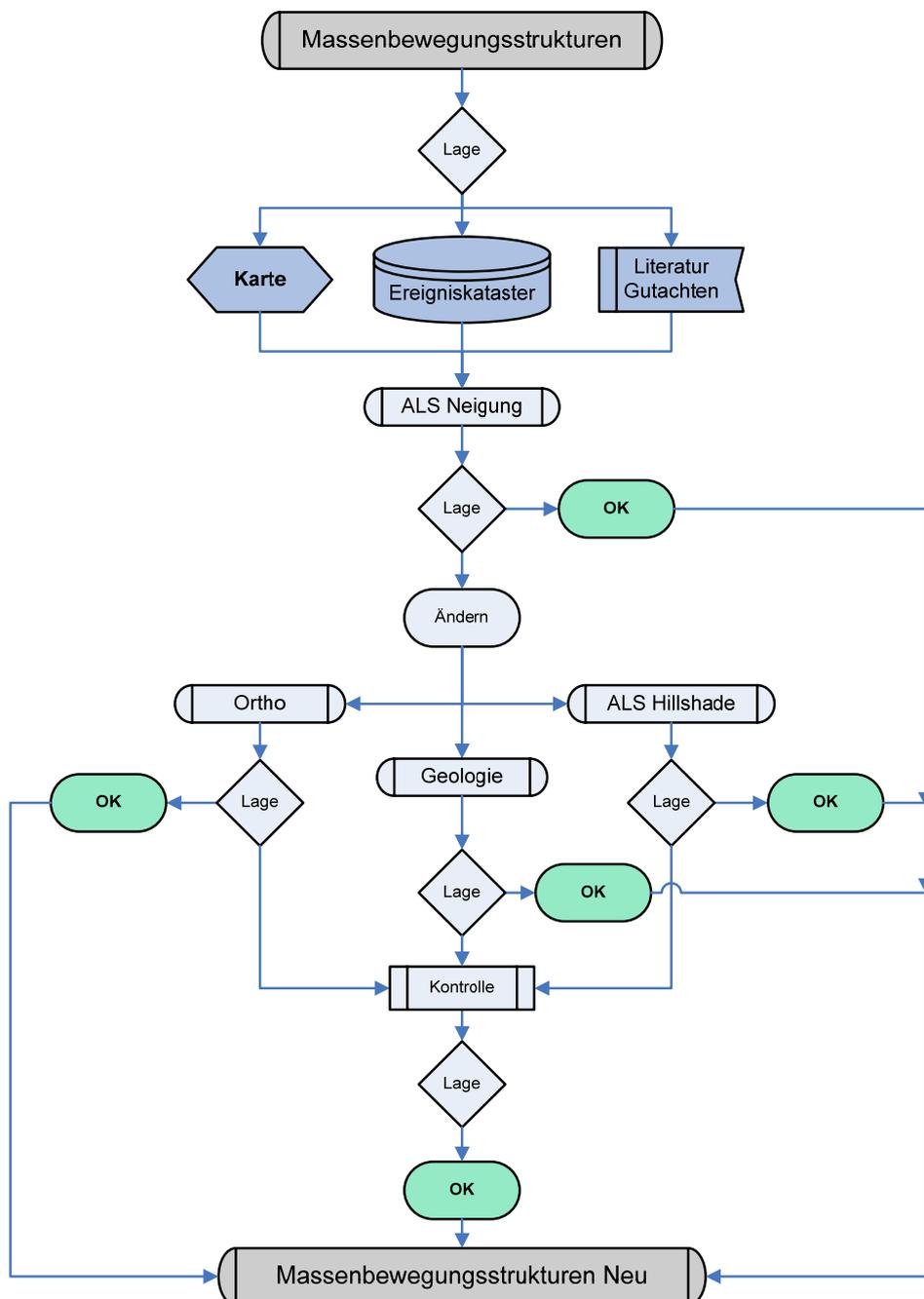
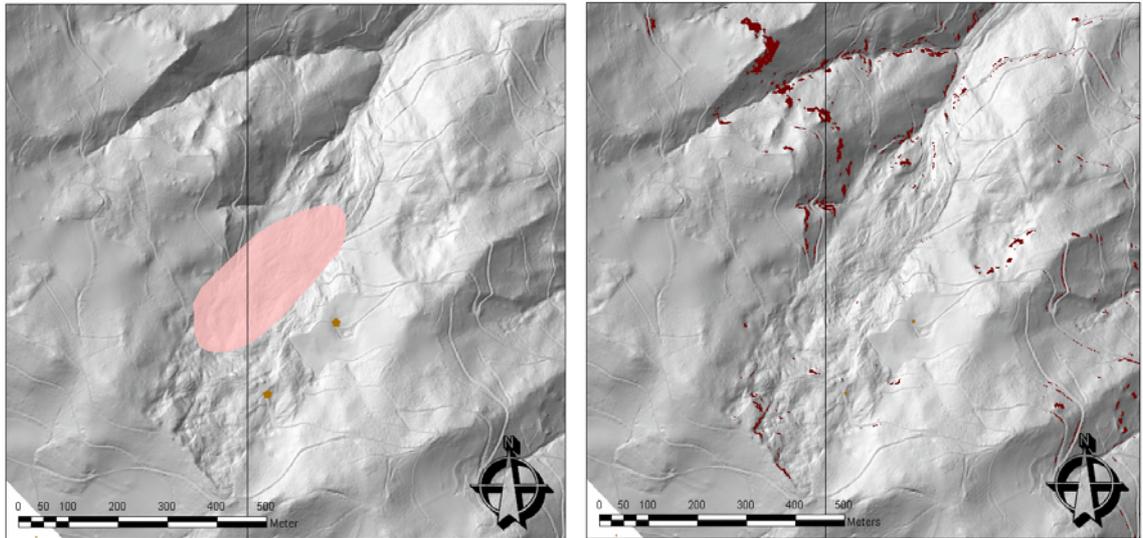
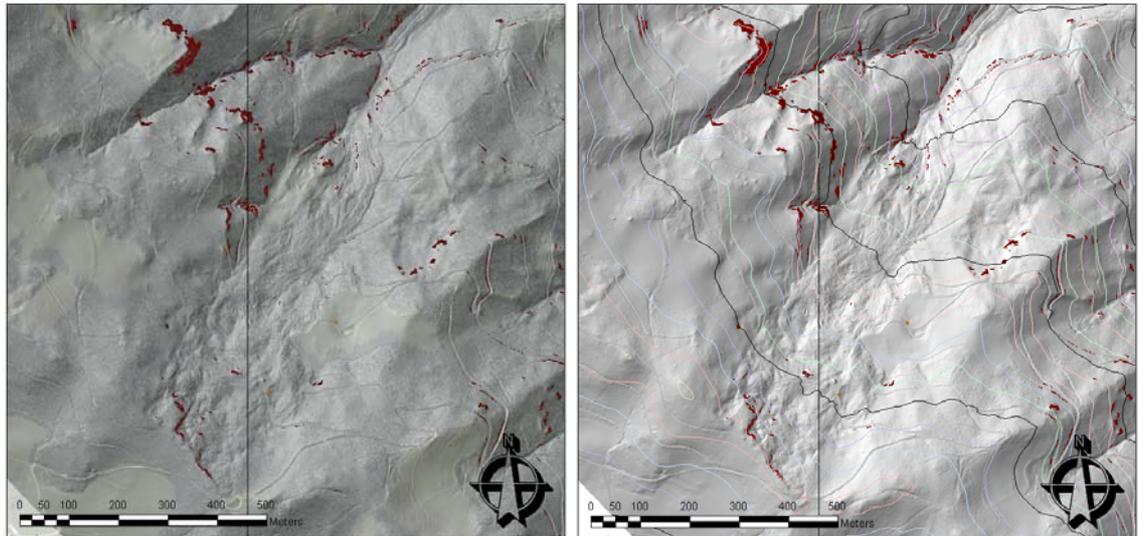


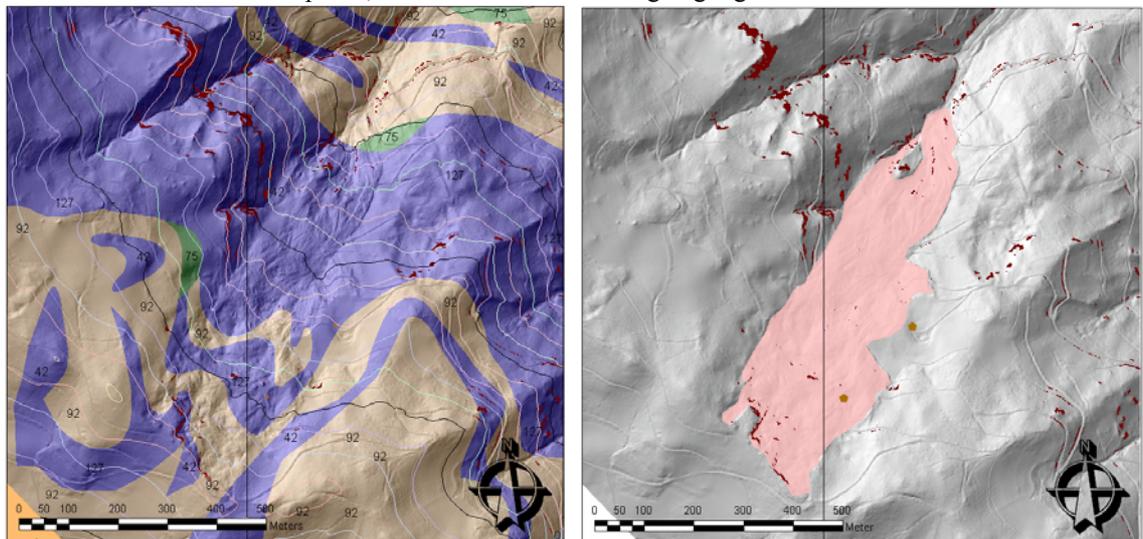
Abb. 142: Flowchart zur Kartenerstellung mit GIS



Ereigniskatasterpunkte mit flächigem GeoRios Massenbewegungselement; rechts: Hangneigungen  $>45^\circ$



Hillshade mit 5.000er Orthophoto, rechts Hillshade mit Hangneigungen  $>45^\circ$  und Höhenschichtenlinien



Geologische Karte der Festgesteine (42 Marmor, 75 Amphibolit, Eklogit, 92 Glimmerschiefer, 127 Ganggestein); rechts korrigierte Grenzen der Massenbewegung

Abb. 143: Auenbach verschiedene Bearbeitungsschritte zur Erstellung der Massenbewegungskarte

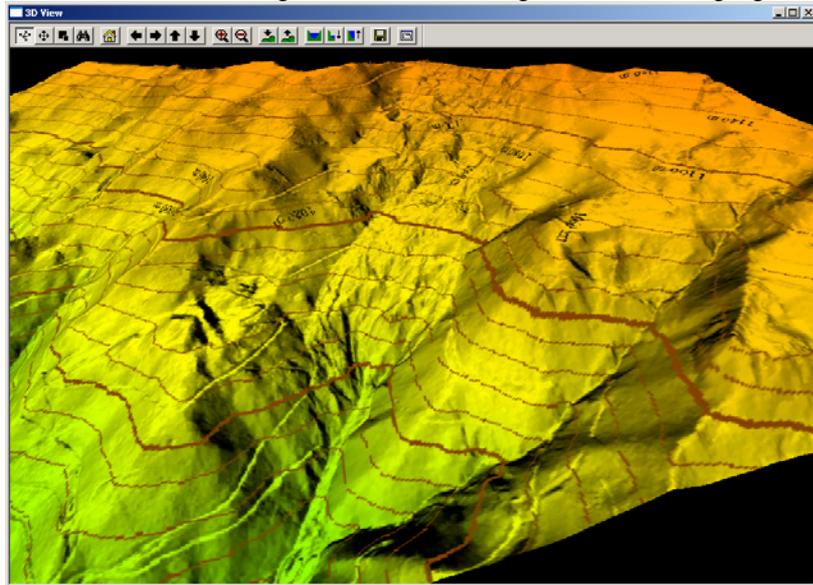


Abb. 144: GlobalMapper - 3d Modell aus dem Laserscanning

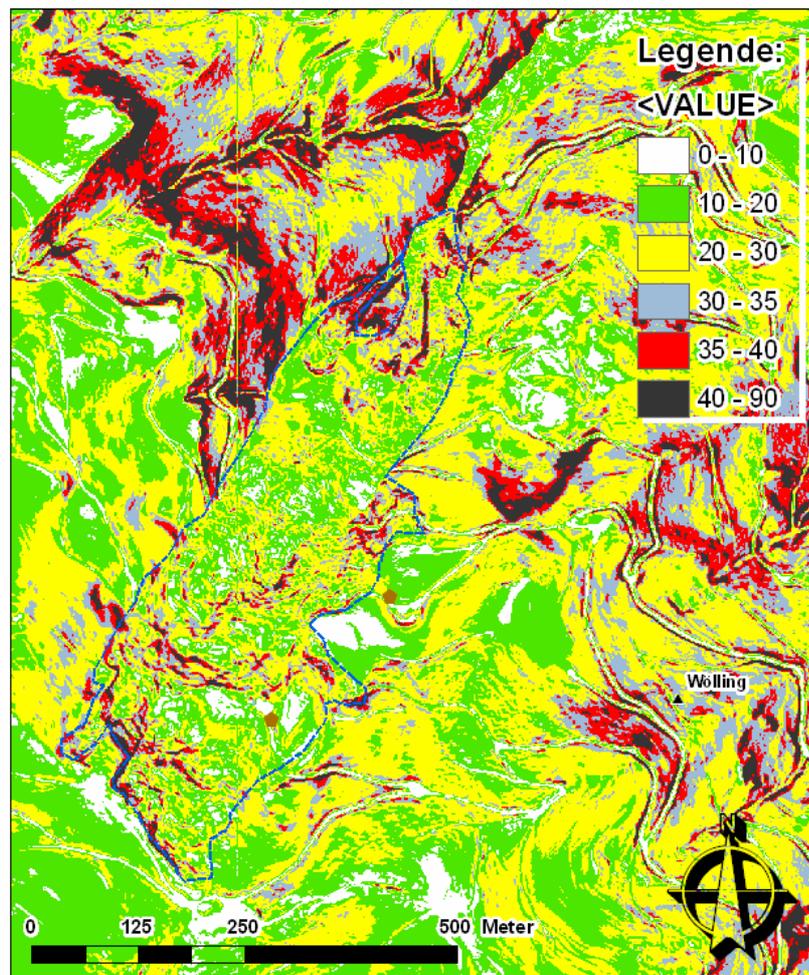


Abb. 145: Neigungskarte mit dem Umrißpolygon der Massenbewegung im Auenbach

Auf der folgenden Seite werden mit Hilfe von Blockbildern die verschiedenen Stadien bzw. das Alter einer Massenbewegung dargestellt. Viele dieser Erscheinungsformen können im Gelände und auch mithilfe der Hangneigungskarten erkannt werden.

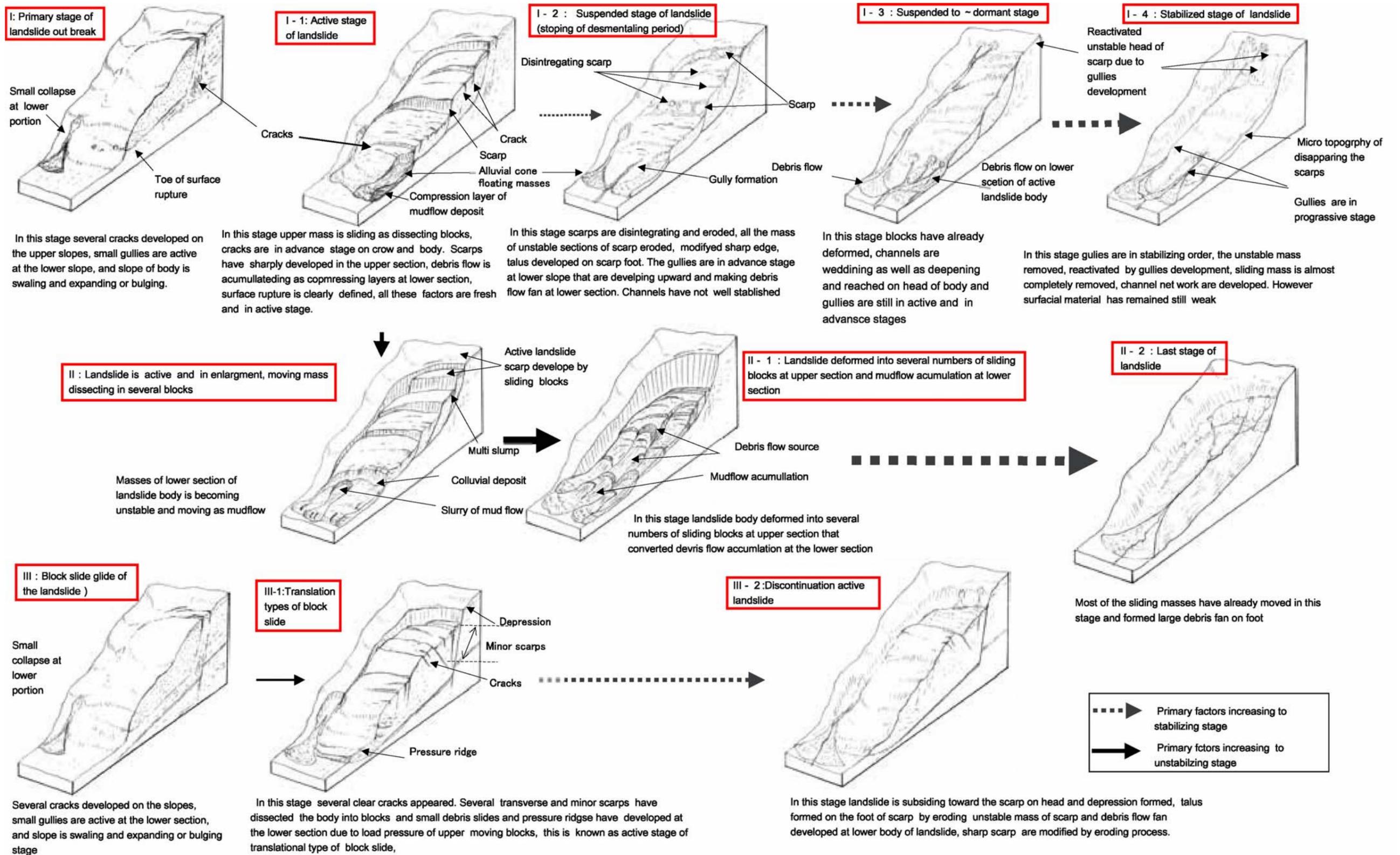


Abb.146: Stadien einer Massenbewegung aus Miyagi (2004)

## 5. Ergebnisse

Innerhalb der GIS-Plattform wurden die verfügbaren projektrelevanten Daten implementiert. Aus der Literatur und Archiven wurden wichtige geologische Vorarbeiten ausgehoben und ausgewertet. Die aus der GEORIOS Datenbank der GBA kommenden linearen und flächigen Massenbewegungen, die Arbeit von E.H. Weiss zur Kraftwerksgruppe Fragant 1969 und die Stellungnahme zur Massenbewegung im Auenbach 2005 sind dabei als besonders wichtig zu nennen.

Im Zuge der Bearbeitung sind Versuche mit Hillshade-, Neigungs-, und anderen Karten durchgeführt worden. Reine Neigungskarten mit Abstufungen in  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$  und darüber haben sich als am verständlichsten und am leichtesten lesbar erwiesen. Die kartographisch richtige Abfolge der Farben von kalten zu warmen Tönen brachte nicht den gewünschten Erfolg, die leicht zu erkennende Abfolge weiß-grün-gelb-blau-rot-schwarz ist auch bei Überlagerungen mit anderen Informationsebenen gut lesbar. Bei diesen Karten konnten auch Laien, nach einer geringen Einarbeitungsphase, prägnante Strukturen erkennen.

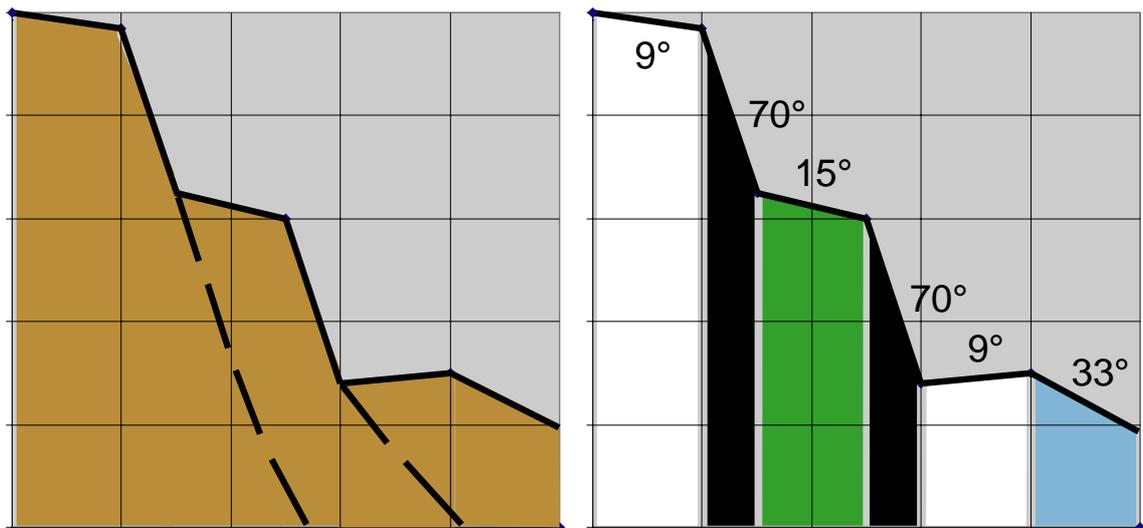


Abb. 147: Profil durch eine Massenbewegung, rechts Darstellung der Oberflächenneigung nach den obenbeschriebenen Farbklassen

Im Bereich „Fraganterbach“ und „Auenbach“ wurde mit Hilfe der hochgenauen Laserscanningdaten Einblick auf die reliefierte Erdoberfläche ermöglicht. Somit konnte die schwerpunktmäßige Auswertung von Massenbewegungsstrukturen in unterschiedlichem geologischen Milieu durchgeführt werden. In diesen beiden Umgebungen wurden Strukturen, die auf Massenbewegungen hinweisen könnten, ausgewertet.

Diese gefundenen linearen und polygonalen Strukturen sind vermutlich morphologische Hinweise auf Massenbewegungen. Eine endgültige Abklärung kann nur durch den kartierenden Geologen vor Ort durchgeführt werden. Die Strukturen wurden digitalisiert und in Form von Shapefiles abgelegt.

Diese Arbeit zeigte, dass durch die kombinierte GIS gestützte Auswertung unter Beziehung hochgenauer Laserscanningdaten ein ideales Werkzeug zur Verfügung steht,

um in größeren Bereichen eine effiziente flächige Vorerkundung von massenbewegungsrelevanten Strukturen durchzuführen. Die hochgenauen Laserscanningdaten mit einer räumlichen Auflösung von 1 m sind den herkömmlichen DHM des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen BEV mit einer räumlichen Auflösung 10 m bei weitem in ihrer Auswertungsqualität überlegen. Mit Hilfe der herkömmlichen Daten können nur sehr großräumige Massenbewegungen erkannt werden, andererseits wirkt sich der Verschleierungsfaktor durch Vegetation (Wald) bei den BEV-Daten sehr viel stärker aus.

Der Nutzen dieser Methodik besteht vor allem in der:

- Erkennung und Abgrenzung sowohl kleinräumiger (Rutschungen, Zerrspalten, Felsstürze,...) als auch großräumiger Massenbewegungen (Talzuschübe, Sackungen, ...)
- raschen kosteneffizienten Revision bzw. Aktualisierung von älteren Geländeaufnahmen nach derzeitigem Erscheinungsbild und Kenntnisstand
- effizienten Vorbereitung kartierender Geologen auf den Geländeeinsatz (kostensparende gezieltere Begehung durch Vorinformation möglich)
- Möglichkeit des Studiums morphologisch charakteristischer geogener Phänomene im 3-dimensionalen Raum (verbessertes Vorstellungsvermögen)
- Erzeugung von eindrucksvollen Abbildungen für Berichte oder Präsentationen in unterschiedlichen Maßstäben und Blickwinkeln
- Optimierung der Kommunikationsschiene Geowissenschaftler - Experten anderer Disziplinen - Laien zur interdisziplinären Lösung von Problemen.

Diese Methodik stellt somit ein effizientes Werkzeug zur ingenieurgeologischen Vorerkundung und zur Planung von Sanierungen und Risikoabschätzungen vor.

## 6. Analyse der Ergebnisse

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich sowohl klein- als auch großräumige geogene Naturgefahren optisch und morphologisch im rechnerisch aufbereiteten DGM und/oder Orthophoto abbilden. Weiters wurde demonstriert, dass in bereits gut untersuchten Bereichen (Fragant Oschenigsee und Rutschung Auenbach) die durch Studien belegten Strukturen mit dieser Methode bestätigt und in Gebieten mit geringem Kenntnisstand neue Hanginstabilitäten erkannt werden können. Kleinräumige geogene Risiken sind besonders gut in der ALS Neigungskarte zu studieren.

Im Umfeld von Massenbewegungen werden immer die bekannten Fragen nach dem „wer, was, wann, wie, wo und warum“ gestellt, damit entsprechende Maßnahmen zur Reduktion der Gefahren getroffen werden können.

GIS ist ein optimales Werkzeug zur Darstellung von großräumigen Flächeninformationen, die in verschiedenen Maßstäben, Aufnahmequalitäten, etc. vorliegen. Es ermöglicht die selektive Informationsauswahl, -kombination und Verschneidung ohne Veränderung der Basisdaten oder Grundinformation. Die bisher üblichen GIS Bearbeitungen haben bei kleineren Maßstäben immer Probleme, da die geforderten Genauigkeiten nicht mehr einzuhalten waren. Durch die Verwendung von Laserscan ist es nunmehr möglich, zu einem vertretbaren Preis, genauere Informationen der Geländeoberfläche zu erhalten. Durch hochgenaue Oberflächenmodelle (DOM), in dem die gesamte Vegetation, Bauwerke und infrastrukturelle Einrichtungen nachgezeichnet werden und die für die Geologie noch wichtigeren digitalen Geländehöhenmodelle (DGM), in dem der Untergrund ohne Vegetationsbedeckung und anthropogene Bauwerke dargestellt wird, ergibt sich die Möglichkeit im Rahmen von geologischen und geotechnischen Erkundungen besonders die wichtigen kleinräumigen Phänomene, wie die flächenmäßige Auswertung und das Erkennen von Internstrukturen von Massenbewegungen in der Hangoberfläche zu erkennen. Durch die Zunahme der Genauigkeit kommt es zu einer besseren Kenntnis der Morphologie.

Das Auffinden von massenbewegungsrelevanten Strukturen in einem größeren Gebiet wird durch die kombinierte GIS gestützte Auswertung unter Einbeziehung hochgenauer Laserscanningdaten bei gleichzeitiger Prüfung vorhandener Kartierunterlagen, Datenbanken und Veröffentlichungen erleichtert und nachvollziehbarer gemacht. Die sprichwörtliche Intuition, Erfahrung bzw. das Spezialwissen wird mit GIS-Einsatz weiter und transparenter verfügbar gemacht. Nach der visuellen Sichtung und gleichzeitigen Prüfung auf Plausibilität müssen in weiterer Folge immer Evaluierungen der Ergebnisse so z.B. Schwerpunktkartierungen folgen.

Diese Arbeit zeigte, dass durch kombinierten Einsatz GIS gestützter Auswertungen unter Beziehung hochgenauer Laserscanningdaten ein ideales Werkzeug zur Verfügung steht, um in größeren Bereichen eine effiziente flächige Vorerkundung von massenbewegungsrelevanten Strukturen durchzuführen.

## 7. Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick

Die in der Publikation von Poschinger (1998) zum Verhältnis geologischer Bearbeitung von Massenbewegungen mittels GIS getroffenen Aussagen sind, aus meiner Sicht, 2008 nur mehr zum Teil gültig.

„Aus dieser Feststellung lässt sich auch entnehmen, dass die in letzter Zeit in zunehmendem Maße für die Vorhersage von Hangbewegungen propagierten Geographischen Informationssysteme bei zunehmendem Maßstab und insbesondere in Bezug auf Festgesteinsanbrüche rasch an ihre Grenzen stoßen. Sie können die intensive Geländeaufnahme nicht ersetzen oder auch nur spürbar reduzieren. Sie sind allerdings ein sehr gutes Werkzeug für die anschauliche Darstellung von ansonsten unübersichtlichen Flächeninformationen, da eine selektive Informationsauswahl und -kombination erfolgen kann, die umfangreiche Grundinformation jedoch im Hintergrund stets abrufbereit bleibt.“

Diese Aussage gilt auch noch 2008 für eine Bearbeitung ohne ALS mit hochgenauem DGM im Hintergrund.

Durch ALS mit dem DGM 1 m hat sich die Möglichkeit der Analyse mit GIS bei guten bis sehr guten Datengrundlagen der beteiligten Fachgebiete verändert. Dies sind speziell die Geologie, technische Geologie, Geomorphologie, Wildbachkunde, Bodenkunde und Forstwirtschaft. Durch die Verknüpfung von ALS, Geologie und Geomorphologie, im speziellen die Geomorphometrie, erlangte die Bearbeitung eine Qualität die auch für den Lokal- (1:10.000) und Detailmaßstab (1:2.000) nutzbare Ergebnisse brachte. Die Bearbeitungen in den beiden Untersuchungsgebieten, im Besonderen die Hangneigungskarten und Hillshades, belegen dies. Durch Veränderung der Hangneigungsklassen können verschiedene morphologische und damit auch Massenbewegungsphänomene hervorgehoben werden. Dies ist im Vorfeld von Kartierungen oder Geländeaufnahmen eine ausgezeichnete Hilfe zum Auffinden von Massenbewegungsindikatoren und zum Teil auch zum Abgrenzen von Massenbewegungen.

Wenn im Gelände, die im ALS bestimmten Massenbewegungsphänomene angetroffen werden ist das Abgrenzen der Strukturen einfach durchführbar. Die nun folgenden Untersuchungen sollen eine vertiefende Bearbeitung z.B. des Bewegungsablaufes auf Grund von mechanischen Überlegungen sein.

Durch ALS und die hochgenauen DGMs wird es einen Qualitätssprung in der Bearbeitung von Massenbewegungen geben, wie ihn Holzer (1958) in der Arbeit „Photogeologische Karte eines Teiles der Goldberggruppe (Hohe Tauern)“ für die geologisch-geomorphologische Luftbildinterpretation beschrieben hat. „Moderne Luftbilder geben dem Geologen die Gelegenheit, große Geländeausschnitte in Muße zu betrachten und zu studieren, und damit die Möglichkeit, regionale Zusammenhänge zu erkennen, welche im Felde oft nur schwer und mit großem Zeitaufwand zu gewinnen sind. Details, die im Terrain leicht übersehen werden, treten im Luftphoto oft erstaunlich klar hervor. Gelände, das zu Fuß schwierig erreichbar ist, liegt im stereoskopischen Modell offen vor dem Auge des Betrachters. Das meist mühselige Aufsuchen von Aufschlüssen in Waldgebieten kann mit Hilfe des Luftbildes wesentlich erleichtert werden. Mit Hilfe geeigneter

photogrammetrischer Methoden können auch sehr genaue Messungen durchgeführt werden. Die aus dem Luftbilde beziehbaren geologischen Informationen wechseln nach Quantität und Qualität in verschiedenem Ausmaß und sind von vielen Faktoren, in erster Linie von der Geländebeschaffenheit selbst, abhängig. Luftbilder haben eine sehr vielfältige Verwendungsmöglichkeit. Allerdings muß betont werden, dass sie niemals die Feldarbeit selbst voll ersetzen können, wohl aber ein wertvolles Hilfsmittel darstellen. Geologische Interpretation von Luftphotos sollte jeder Feldarbeit vorangehen, und während dieser sowie nachher Anwendung finden. Auf alle Fälle müssen die aus den Bildern gewonnenen Daten im Felde überprüft werden, da Fehlinterpretationen möglich sind.“

Diese „modernen“ Aussagen aus dem Jahre 1958 sind fast identisch mit den Erkenntnissen die aus der Bearbeitung der ALS Daten gezogen werden können. Der Maßstabsbereich und die Genauigkeit der Ergebnisse sind jedoch um vieles höher.

**Als Vorteile des ALS sind zu nennen:**

- Mit ALS wird eine flächendeckende, zum Zeitpunkt der Aufnahme aktuelle, und räumlich hochauflösende Abbildung eines geographischen Raumes ermöglicht. Jedes vorhandene Objekt ist realitätsbezogen abgebildet.
- Während Luftbilder in Zentralprojektion aufgenommen werden, sind ALS Aufnahmen fast maßstabsgetreue verzerrungsfreie Abbildungen (Orthogonalprojektion) der Erdoberfläche.
- Durch die hohe räumliche Bodenauflösung (Pixelgröße) von 1 m ist ALS bei vielen Anwendungen anderen graphischen Planungsunterlagen weit überlegen.
- DGMs bzw. DOMs aus ALS können mit Hilfe des digitalen Geländehöhenmodells und der geeigneten Software 3-dimensional dargestellt werden.
- DGMs bzw. DOMs können als Planungsgrundlage, als Basis zur Herstellung von Karten und Plänen, für thematische Anwendungen (Forstwirtschaft, Flächennutzung, Flächenwidmung, ...) und als Informationsebene in einem GIS (Geographischen Informationssystem) verwendet werden. Mit der Anbindung eines Orthophotos wird die Aussagekraft von Studien zusätzlich bekräftigt. DGMs bzw. DOMs erlauben einfache, flexible, rasche und effiziente Analysen und Interpretationen und dienen damit der Projektoptimierungen.
- Der Einsatz von DGMs bzw. DOMs reduziert den zeitlichen und damit finanziellen Aufwand für Erhebungen, Verifikationen und Begehungen im Feld erheblich. Solche zeitaufwendigen Feldaufnahmen können in manchen Fällen auf wenige „ground checks“ reduziert werden.
- Thematische Feldaufnahmen wie ingenieurgeologische Kartierungen sind durch den Einsatz von DGMs bzw. DOMs wesentlich effizienter zu gestalten, da die aufzunehmenden Strukturen maßstabsgetreu sichtbar sind und vor der tatsächlichen Verifizierung im Gelände in der Karte in exakter Lage eingezeichnet werden können.
- DGMs und Orthophotos sind eine ideale Orientierungshilfe im Gelände.

**Die Nachteile sind:**

- Die Datenmenge von DGMs bzw. DOMs, umfassen ca 100 Mbyte pro Szene (=25 km<sup>2</sup> Bodenabdeckung, d.h. 4 Mbyte pro Quadratkilometer). Dies erfordert eine Arbeitsplatzausstattung mit entsprechender Hardware (leistungsstarke Computer und genügend Speicherplatz).
- Der Informationsgehalt der DGMs bzw. DOMs ist in gewissen Grenzen vorinterpretiert bzw. generalisiert. Da die Daten gefiltert werden müssen, sind diese Festlegungen gut zu definieren.
- ALS ist nicht billig, die gewonnenen Daten müssen gebraucht und auch verwendet werden.

## **7.1. Zusammenfassung**

Im ersten Teil der Arbeit, der Einführung, wurde ein Überblick der Geologie und Geomorphologie in Kärnten gegeben. Bedingt durch den vielschichtigen geologischen Aufbau resultierte eine umfangreiche Darstellung dieses Teils in der Arbeit.

Der zweite Teil der Arbeit befasste sich mit der Eignung der Laserscanvermessung für geologische und geomorphologische Fragestellungen im Umfeld von Massenbewegungen. Auf Grund nicht zur Verfügung stehender Unterlagen konnten die Gesteinsansprache und gefügekundliche Auswertung der Trennflächen nicht miteinbezogen werden. Dennoch wurde im Zuge der Arbeit versucht diese Parameter zu bestimmen und auch zu evaluieren, um deren Gewichtung für nachfolgende Bearbeitungen anzudenken.

Diese Arbeit zeigte, dass durch den kombinierten Einsatz GIS gestützter Auswertungen unter Beiziehung hochgenauer Laserscanningdaten ein ideales Werkzeug zur Verfügung steht, um in größeren Bereichen eine effiziente flächige Vorerkundung von massenbewegungsrelevanten Strukturen durchzuführen.

## **7.2. Diskussion**

Ein sicherlich besseres Ergebnis hätte erreicht werden können, wenn die Kombination von Geländearbeit und GIS-Modellierung möglich gewesen wäre. Denn bei der Geländearbeit erlangt der Bearbeiter ein Verständnis des Prozeßgeschehens, damit wird eine Vorauswahl bedeutender Erklärungsfaktoren getroffen. Mit Hilfe von GIS und geeigneten statistischen Methoden lassen sich später für die untersuchten Testgebiete Modelle der Rutschungsgefährdung erstellen. Wenn sich diese bewähren, können Extrapolationen auf größere Bereiche erfolgen. Am Ende jeder Auswertung sollten die modellierten Ergebnisse nochmals durch Stichproben im Gelände überprüft werden.

### 7.3. Persönlicher und fachlicher Rückblick

Die gegenständliche Arbeit ist als Inventur und Bewertung des Status Quo der verschiedenen im Land Kärnten zur Verfügung stehenden Datengrundlagen zu Massenbewegungen zu sehen.

Im Zuge dieser Inventur wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Daten aufgezählt. Es zeigte sich die Wichtigkeit einer Standardisierung der Datensätze. Wenn diese durchgeführt wird, steht einer fundierten Eignungsanalyse nichts mehr im Wege. Andernfalls besteht immer die Gefahr, durch unvorsichtige und unseriöse Gewichtung wenig aussagekräftige Resultate zu produzieren.

### 7.4. Ausblick

Als Endziel soll es zu einer landesweiten Gefahrenkarte zur Unterstützung von Entscheidungsträgern bei Planungsprozessen mit komplexen Fragestellungen kommen. Diese Aufgabe erfordert die Kombination von Methoden der Entscheidungsunterstützung mit dem Werkzeug GIS (Spatial Decision Support System, SDSS). In dieser Gefahrenkarte (1:10.000 bis 1:2.000) sollen nach streng objektiven, wissenschaftlichen Kriterien innerhalb eines Gebietes flächendeckend folgende Aussagen gemacht werden können:

- Gefährdung bzw. Nichtgefährdung,
- Art der gefährlichen Prozesse,
- zu erwartende Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit der Prozesse.

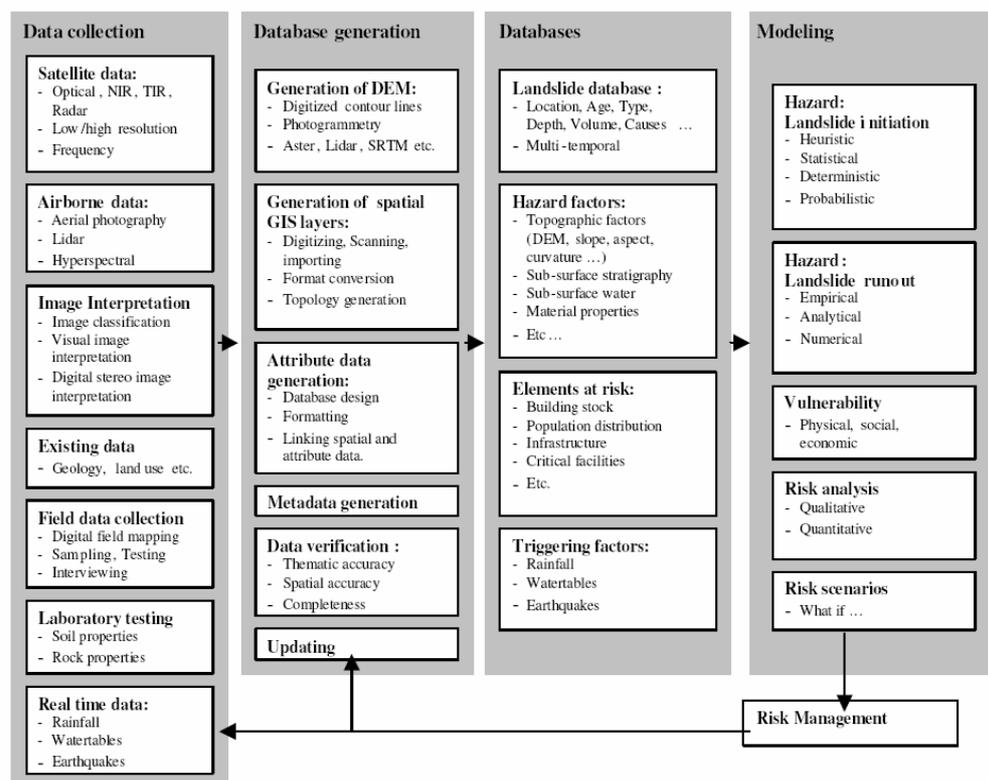


Abb. 148: GIS Werkzeug zur Bestimmung von Massenbewegungsrisiken, aus Van Westen (2004)

Bei Gefahrenkartierungen werden folgende gefährliche Prozesse erfasst: Felsstürze, Rutschungen, Muren, Lawinen und weitere Erosionserscheinungen. In dieser Karte soll der Ist-Zustand der vorhandenen Gefährdungen, nach der GIS Auswertung und der abschließenden Evaluierung durch die beteiligten Fachleute, abgebildet werden. Bei einer Änderung der Rahmenbedingungen müssen die neuen Sachverhalte erneut in die Gefahrenbeurteilung einfließen. Dies kann unter Umständen zu einer Veränderung in Bezug auf die Gefahrenstufen führen. Vorbild für diese in der Zukunft zu schaffenden Gefahrenkarten sind die Gefahrenzonenpläne der WLW und der Bundeswasserverwaltung.

#### **7.4.1. Mögliche Schritte der Fortsetzung dieser Arbeit**

Wenn es zu einer Weiterführung der ALS-Aufnahme für Kärnten kommt, steht der fundierten geologisch-geomorphologischen Erkundung von Massenbewegungsphänomenen im Lokal- und Detailmaßstab für das gesamte Landesgebiet nichts mehr im Wege.

Im Zuge der weiteren Bearbeitung wäre auch ein Versuch einer Evaluation der Werkzeuge, die in der Digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung genutzt werden interessant. Durch diese automatischen bzw. semiautomatischen Auswertungsvorgänge können möglicherweise viele, der im DGM und im speziellen in der Oberflächenneigungskarte aufgezeigten Wiederholungen, Ähnlichkeiten und Muster bei Massenbewegungen erkannt werden.

Als Endziel soll ein Werkzeug für den Fachexperten und Entscheidungsträger zur objektiven, naturwissenschaftlich fundierten Abklärung und Diagnose von möglichen gefährlichen Prozessen zur Verfügung stehen.

## **Anhang**

Darstellung von massenbewegungsrelevanten Strukturen in verschiedenen Maßstäben anhand von ALS Neigungskarten.

### **Als Beilage zur Thesis auf CD:**

Darstellung der Interpretation von massenbewegungsrelevanten Strukturen anhand von ALS Neigungskarten.

- Testgebiet Fraganterbach, Bezirk Spittal, Maßstab: 1 : 20.000
- Testgebiet Auenbach, Bezirk Wolfsberg, Maßstab: 1 : 20.000

Darstellung der Interpretation von massenbewegungsrelevanten Strukturen mit Schattenbildern „hillshade“ als Hintergrund.

- Testgebiet Fraganterbach, Bezirk Spittal, Maßstab: 1 : 20.000
- Testgebiet Auenbach, Bezirk Wolfsberg, Maßstab: 1 : 20.000

## Literatur / Bibliographie

- Ahnert, F. (2003): Einführung in die Geomorphologie, UTB große Reihe, 3. Aufl, 440 S.
- Behm, M., Brückl, E., Chwatal, W., & Mitterbauer, U., (2007): Erkenntnisse über den Tiefbau der Ostalpen aus neuen seismischen Großexperimenten, CELEBRATION 2000 & ALP 2002 & ALPASS Working Groups - ATA Geologische Bundesanstalt, S 143-150.
- Brosch, F. J. (1983): Der tektonische Bau des Kalcherkogels in der Koralpe, Mitt, österr. geol. Ges.76, S 101-132.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser, Bundeswasserbauverwaltung, (2006): Jahresbericht 2006, 64 S.
- Bunza, G., Karl, J., Mangelsdorf, J. (1982): Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde, Schriftenreihe des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 17.
- Bunza, G. (1992): Instabile Hangflanken und ihre Bedeutung für die Wildbachkunde. Deutscher Alpenverein e.V., München. 359 S.
- Caine, N. (1974): The geomorphic processes of the alpine environment. In: IVES, J. D. & BARRY, R. G. (Editors), Arctic and Alpine Environments. Methuen, London, pp. 721- 748.
- Decker, K., Peresson, H. & Faupl, P. (1994): Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der "lateralen Extrusion" der Zentralalpen; Jb. Geol. B.-ABand 137, Heft 1, Wien, S 5-18.
- Deffner, F. (1998): Massenbewegungen im Schloßalm-Gebiet westlich Bad Hofgastein, Münchner Geol. Hefte B 7 VI + 162 S. München, 1998.
- Derron, M.-H., Jaboyedoff, M., and Blikra, L. H. (2005): Preliminary assessment of rockslide and rockfall hazards using a DEM (Oppstadhornet, Norway) Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, S 285–292 <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/285/2005/nhess-5-285-2005.html>.
- Dikau, R. (1988): Entwurf einer Geomorphographisch-Analytischen Systematik von Reliefeinheiten, Arbeitsbericht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Digitale Geowissenschaftliche Kartenwerke", Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg, 50 S.
- Dikau, R. (1996): Geomorphologische Reliefklassifikation und -analyse. Heidelberger Geographische Arbeiten, 104: S 15-23.
- Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L. & Ibsen, M. (1996): Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. Wiley & Sons, Chichester, 251 S.

- Dölzlmüller, H., Finger, F. & Schermaier, A. (1988): Die Ausbildung der Zirkone im Granitgneis des Hohen Sonnblicks (Penninikum, Ostalpen) und ihre Aussage zur Gesteinsgenese, Mitt. österr. geol. Ges. 81, 5 Abb. Wien, S. 33-45.
- Exner, C. (1984): Der Südrand des Tauernfensters bei Spittal an der Drau, Jb. Geol. B.-A., Band 127, Heft 3, Wien, S 349-367.
- Exner, C. (1964): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Sonnblickgruppe 1:50.000. - Geol. B.-A., 168 S.
- Exner, C. (1964): Exkursion I/3, Sonnblickgruppe (östl. Hohe Tauern), Petrographie und Tektonik im Tauernfenster, Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 57. Band, 1964, Heft 1, S. 33-48.
- Finnern, H. (1995): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter, 4. Auflage, 392 S.
- Fraedrich, W. (1996): Spuren der Eiszeit, Springer Verlag, Berlin, 184 S.
- Fritsch, W. (1964): Exkursion 111/6: Mittelkärnten Das Kristallin der Saualpe und die Oberkreide (Eozän) des Krappfeldes Knappenberg, Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien 57. Band, Heft 1, S 331-351.
- Fuchs, G. & Linner, M. (1991): Bericht 1990 über geologische Aufnahmen (Übersichtsbegehungen) auf Blatt 180 Winklern, Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 134/3, Wien. S 534-535.
- Fuchs, G. & Linner, M. (1995): Das Ostalpine Kristallin der Sadnig-Gruppe in Beziehung zur Matreier Zone, Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt Band 138 Heft 1, Wien, S 55–65.
- Fuchs, G. & Linner, M. (2005): Die geologische Karte der Sadnig-Gruppe: Ostalpines Kristallin in Beziehung zur Matreier Zone, Jb. Geol. B.-A., Band 145 Heft 3+4, Wien, S. 293–301.
- Glade, T. & Dikau, R. (2001): Gravitative Massenbewegungen: Vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. Petermanns Geographische Mitteilungen, 145 (6): S 42-55.
- Golob, B. & Zwander, H. (2006): Die Sattnitz. Konglomerat der Natur im Süden Kärntens. Klagenfurt, Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, 356 S.
- Goodman, R. E. (1989): Introduction to Rock Mechanics, Second Edition, John Wiley, Toronto, 562 p.
- Goodman, R. E. & Kieffer, D. S. (2000): Behavior of Rock in Slopes, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, S 675-684.
- Gottschling, H. (1999): Talzuschub Gradenbach - ein geologisch-geotechnischer Überblick, Jb. Geol. B.-A. Band 141 Heft 4, Wien, S 167-178.

Hamberger, M., Moser, M., Nöth, E., Levit, M., & Deventer, R. (2005): Der Einsatz unterschiedlicher Klassifikationssysteme zur Rutschungserkennung, 15. Tagung für Ingenieurgeologie Erlangen, S 179-185.

Heinisch, H. & Zadow, A. (1990): Bericht 1989 über geologische Aufnahmen in der Matreier Zone und der Sadniggruppe auf Blatt 180 Winklern, Jb. Geol. B.-A., Band 133, Wien, S 486-489.

Hoek, E., (2006): Notes from the Practical Rock Engineering Course at the University of Toronto, 342 pp.

Hoek, E. and Brown, E.T. (1997): Practical estimates of rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts. 34 (8), p. 1165-1186.

Holzer, H. (1958): Photogeologische Karte eines Teiles der Goldberggruppe 1:50.000 (Hohe Tauern), Geologische Luftbildinterpretation I., 1 Taf., Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 101, Wien, S. 25-34.

Holzer, H. (1958): Zur photogeologischen Karte der Kreuzeckgruppe 1:50.000, Geologische Luftbildinterpretation II., 1 Taf., Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 101, Wien, S. 187-190.

Horninger, G. & Weiss, E. H. (1980): Engineering Geology in Mountainous Regions, 34 p. International Geological Congress, 26th Session, Excursion 132 C, Abh. Geol. B.-A. 26e C. G. I., 34, Wien, p. 257-286.

Hübl, J., Bunza, G., Hafner, K., Klaus, W., (2003): ETALP – Erosion, Transport in Alpinen Systemen „Stummer Zeugen Katalog“ Herausgeber: Projektteam ETALP, 49 S.

Hübl, J., Kienholz, H., Loipersberger, A. Hrsg. (2006): DOMODIS: Dokumentation alpiner Naturereignisse [Documentation of Mountain Disasters], Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent beim Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 42 S.

Institut für Felsmechanik und Tunnelbau (2007): Skriptum des Institut für Felsmechanik und Tunnelbau TU-Graz, 160 S. <http://www.tunnel.tugraz.at/skriptum/Skriptum.pdf>.

John, K. W. & Deutsch, R. (2002): Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik, Einführung und Beispiele, Skriptum des Institut für Felsmechanik und Tunnelbau TU-Graz, 43 S. [http://www.tunnel.tugraz.at/skriptum/Skriptum\\_Lagenkugel.pdf](http://www.tunnel.tugraz.at/skriptum/Skriptum_Lagenkugel.pdf).

Kienholz, H. & Krummenacher, B. (1995): Naturgefahren, Empfehlungen Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, Ausgabe 1995, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), BUWAL und BWG sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), 41 S.

- Kilian, W., Müller, F. & Starlinger, F. (1993): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten, Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 60 S.
- Krenmayr, H. G. (2002): Rocky Austria, eine bunte Erdgeschichte von Österreich, Wien, Geologische Bundesanstalt, 63 S.
- Kociu, A., Kautz, H., Tilch, N., Grösel, K., Heger, H. & Reischer, J. (2007): Massenbewegungen in Österreich, Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt Band 147 Heft 1+2, S. 215-220.
- Koçiu, A., Letouzé-Zezula, G., Tilch, N., Grösel, K. (2006): Endbericht - Gefährdungskarte Ausweisung von Bereichen unterschiedlicher Suszeptibilität für verschiedene Typengruppen der Massenbewegung, GBA Wien, Unveröff. Bericht Amt der Kärntner Landesregierung
- Krainer, K., (1988): Ein geologischer Streifzug durch Kärnten – K. Krainer. Carinthia II, Klagenfurt, S. 141-170.
- Krainer, K. (2005): Nationalpark Hohe Tauern Geologie, Carinthia Vlg. Klagenfurt, 200 S.
- Kraus, K. (2004): Photogrammetrie, Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen, 7. Auflage, Walter de Gruyter Verlag, Berlin, 516 S.
- Kurz, W., Neubauer, F., Genser, J. & Horner H., (1994): Sequence of Tertiary Brittle Deformations in the Eastern Tauern Window (Eastern Alps) - Mitt.Österr.Geol.Ges. 86 (1993) Wien, S. 153-164.
- Lateltin, O. (1997): Naturgefahren, Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen 1997, Schweizer Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 42 S.
- Leser, H. (2005): Diercke - Wörterbuch Allgemeine Geographie, Dtv Verlag, 1119 S.
- Linner, M. (1990): Bericht 1989 über geologische Aufnahmen in der Sadnig-Gruppe auf Blatt 180 Winklern, Jb. Geol. B.-A., Band 133, Wien, S. 489.
- Lotter, M. & Moser, M. (2007): Die Massenbewegungen der Nassfeldregion, Abh. der GBA, 61, Wien. Geol.Bundesanst., S. 159-173.
- Lotter, M., Moser, M. & Meier, H. (2001): Langzeitverhalten und Deformationsanalyse von instabilen Felshängen, 13. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie, Karlsruhe, 8 S.
- Mandl, P. (2004): Geographische Informationssysteme, Vorlesungsmaterialien des IGRUK Institut für Geographie und Raumordnung der Universität Klagenfurt, S. 32.

- Marinos, V., Marinos, P. & Hoek, E. (2005): The geological Strength index: applications and limitations, Bull. Eng. Geol. Environ., S. 64, 55-65.
- Metz, K. (1978): Bruchsysteme und Westbewegungen in den östlichen Zentralalpen, Mitt. österr. geol. Ges. 69, Wien, S. 27-47.
- Miller, C., Thöni, M., Konzett, J., Kurz, W. & Schuster, R. (2005): Eclogites from the Koralpe and Saualpe type-localities, Eastern Alps, Austria, Mitt. Österr. Miner. Ges. 150, S. 227-263.
- Miyagi, T., Prasad, G. B., Tanavud, C., Potichan, A., & Hamasaki, E. (2004): Landslide Risk Evaluation and Mapping - Manual of Aerial Photo Interpretation for Landslide Topography and Risk Management - Report of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, No. 66; Japan, 75-137.
- Morelli, M., Piana, F. and Polino, R. (2003): Impact of Large Landslides in Mountain Environment: Identification and Mitigation of Risk, Geological and Structural Guidelines to be Followed for the Interpretation of Landslides, IMIRILAND, Consiglio Nazionale Delle Ricerche Istituto Di Geoscienze E Georisorse sez. Torino, 8p.
- Murawski, H. (2004): Geologisches Wörterbuch, Spektrum Akademischer Verlag; Auflage: 11. A., 262 S.
- Nemes, F., Neubauer, F., Cloetingh, S. & Genser, J. (1997): The Klagenfurt Basin in the Eastern Alps: a decoupled intra-orogenic flexural basin? Tectonophysics, 282: S. 189-204.
- Neubauer, F., Genser, J., & Handler, R., (2000): The Eastern Alps: Result of a two-stage collision process, Mit. Österr. Geol Ges. 92 (1999), Wien, S. 117-134.
- Neuhäuser, B. (2005): GIS-Gestützte, Probabilistische Beurteilung der Gefährdung durch Massenbewegungen, Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) zur Multikriterien Beurteilung der Rutschanfälligkeit dargestellt am Beispiel der Schwäbischen Alb, Zur Erlangung des akademischen Grades "Master of Science (Geographical Information Science & Systems)" 120 S.
- Oberhauser, R. & Bauer, F. K.(1980): Der geologische Aufbau Österreichs, Springer Vlg. Wien; 698 S.
- Pain, C.F. (2005): Size does matter: relationships between image pixel size and landscape process scales. In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 1430-1436.  
<http://www.crcleme.org.au/Pubs/Articles%20and%20papers/Size%20does%20matter%20Pain%20Dec05.pdf>
- Piechl, T., et al. (2004): KAGIS IntraMAP in lebensräume.kärnten.extra; Eine Information des Amtes der Kärntner Landesregierung, Abt. 20 - Landesplanung, S. 9-11.

- Pilger, A. et. al. (1975): Geologie der Saualpe, Clausthale Geologische Abhandlungen. Sonderband 1/ 232 S.
- Plattform Naturgefahren der Alpenkonvention PLANALP (Hrsg.), (2006): Dokumentation von Naturereignissen – Feldanleitung. Innsbruck/Bern, 64 S.
- Poisel, R., Bednarik, M., Holzer, R., & Liščák, P. (2005): Geomechanics of Hazardous Landslides, Journal of Mountain Science Vol 2 No 3 (2005): S. 211-217.
- Poisel, R., Eppensteiner, W. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 1: Geomechanik des Systems "Hart auf Weich", Felsbau, 6, S. 189-194.
- Poisel, R., Eppensteiner, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems "Hart auf Weich", Felsbau, 7, S. 16-20.
- Poschinger, A. v. (1998): Zur Vorhersage von Hangbewegungen, Münchner Geol. Hefte B 7 VI + 162 S. München 1998
- Prinz, H. (1991): Abriß der Ingenieurgeologie, Enke Ferdinand; Auflage: 2., 466 S.
- Projektteam ETALP (2003): ETALp – Erosions- und Transportprozesse in alpinen Einzugsgebieten, Datengrundlagen ETALP Teilprojektgruppen (Konzept Mayerl), 40 S.
- Projektteam ETALP (2003): ETALp – Erosions- und Transportprozesse in alpinen Einzugsgebieten, Detailebene 124 S.
- Projektteam ETALP (2003): ETALp – Erosions- und Transportprozesse in alpinen Einzugsgebieten, ETALp Teilprojektgruppen: Niederschlag/Abfluss und Prozesse/Erosion Übersichtsebene – Regionalstudie 39 S.
- Projektteam ETALP (2003): ETALP – Erosions- und Transportprozesse in alpinen Einzugsgebieten, Mittlere Maßstabsebene 101 S.
- Raab, T. (1994): Über Tendenzen der Fehlschätzung einiger ingenieurgeologischer Parameter; eine Feldstudie an 43 praktizierenden oder in Ausbildung stehenden Baugeologen; unpublizierte Diplomarbeit am Institut für Angewandte Geowissenschaften TU-Graz, 123 S.
- Rasemann, S., Schmidt, J., Schrott, L. & Dikau, R. (2004): Geomorphometry in mountain terrain. In: Bishop, M. & J.F. Schroder (Hrsg.): Geographic Information, Science in Mountain Geomorphology, Heidelberg. S. 101-145.
- Rieger, W. (2007): ALS Kärnten 2006, Los Auenbach, Technischer Bericht GZ / AVT: 31413/06, Unveröff. Bericht Amt der Kärntner Landesregierung, 13 S.
- Rieger, W. (2007): ALS Kärnten 2006, Los Fraganterbach mit Lawinen Mallnitz und Lawine Tuschentaler, Technischer Bericht GZ / AVT: 1414/06, Unveröff. Bericht Amt der Kärntner Landesregierung, 12 S.

- Ruff, M. (2005): Georisikokarte Vorarlberg, GIS-gestützte Risikoplananalyse für Rutschungen und Felsstürze in den Ostalpen (Vorarlberg, Österreich) Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Universitätsverlag Karlsruhe, 153 S.
- Schöner, W. & Hynek, B. (2007): Massenhaushalt 2005/2006 der Gletscher in der Goldberggruppe (Goldbergkees, Kleinfleisskees, Wurtenkees), Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Kooperation mit Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau Universität für Bodenkultur, 27 S.
- Schönlaub, H. P. & Forke, H. C. (2007): Die post-variszische Schichtfolge der Karnischen Alpen - Erläuterungen zur Geologischen Karte des Jungpaläozoikums der Karnischen Alpen 1:12.500, Abh. der GBA, 61, Wien. Geol.Bundesanst., S. 3-157.
- Stadlmann, T., Stejskal, C., & Neumayr, P. (1990): Blatt 154 Rauris, Bericht 1989 über geologische Aufnahmen auf Blatt 154 Rauris Jb. Geol. B.-A., Band 134, Wien, S. 473-474.
- Stejskal, C., Stadlmann, T. & Neumayr, P. (1990): Bericht 1989 über geologische Aufnahmen auf Blatt 180 Winklern, Jb. Geol. B.-A., Band 133, Wien, S. 490.
- Stüwe, K. (2005): Skriptum für die Lehrveranstaltung GEODYNAMIK, 2005/06 der Universität Graz, <http://wegener.uni-graz.at/kurt/teaching/GEODYNSkript.pdf>.
- Stüwe, K. (1991): Vorläufige Bemerkungen zum möglichen Einfluß der Deformationsgeometrie der Mantellithosphäre auf die Entwicklung der Ostalpen seit der Kreide. - Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, 84, S. 65-75.
- Tollmann, A. (1977): Geologie von Österreich, Band I, Die Zentralalpen, Wien, Franz Deuticke Verlag, 766 S.
- Tollmann, A. (1985): Geologie von Österreich, Band II, Wien, Franz Deuticke Verlag, 710 S.
- Tollmann, A. (1978): Plattentektonische Fragen in den Ostalpen und der plattentektonische Mechanismus des mediterranen Orogens, Mitt. österr. geol. Ges. 69 - 1976 - 11 Abb. Wien, S. 291-351.
- Tollmann, A. (1980): Das östliche Tauernfenster, Mitt. österr. geol. Ges. 71/72, 1978/1979, Wien, S. 73-79.
- U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey (2004): Landslide Types and Processes, Fact Sheet 2004-3072, 4pp. <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>.
- van Westen, C.J. (2004): Geo - information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: Landslides: evaluation and stabilization - glissement de terrain: Evaluation et Stabilisation: proceedings of the 9th international symposium on landslides, 2004 London: Balkema, S. 39-56.

- van Husen, D. (1987): Die Ostalpen in den Eiszeiten, Erläuterungen zur Karte Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Würm) 1:500.000, 24 S.
- van Husen, D. (1981): Geologisch-sedimentologische Aspekte im Quartär von Österreich, Mitt. österr. geol. Ges. 74/75, Wien, S. 61-74.
- van Husen, D. (2000): Geological Processes during the Quaternary, Mitt. österr. geol. Ges. 92 (1999), Wien, S. 135-156.
- Varnes, D.J. (1978): Slope Movements and Types and Processes, in: Landslides – Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC, S. 11-33.
- Wallbrecher, E. (1986): Tektonische und Gefügeanalytische Arbeitsweisen. – Enke Verlag, Stuttgart, 244 S.
- Weiss, E.H. (1969): Kraftwerksgruppe Fragant - Geologische Übersicht, Voraussage und Erfahrungen beim Bau, ÖZE - Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 22. Jahrgang, Heft 10, Springer-Verlag / Wien - New York, S. 464-472.
- Wilhelmy, H., Bauer, B. & Fischer, H. (2002): Geomorphologie in Stichworten. I. Endogene Kräfte, Vorgänge und Formen Beiträge zur Allgemeinen Geographie, Bd 1 (Hirts Stichwortbücher) Borntraeger Vlg., 2004. 6. Auflage. 143 S.
- Wilhelmy, H. & Embleton-Hamann, C. (2002): Geomorphologie in Stichworten: 2. Exogene Morphodynamik. Abtragung, Verwitterung, Tal- und Flächenbildung, Bd 2 (Hirts Stichwortbücher) Borntraeger Vlg., 203 S.
- Zepp, H. (2002): Grundriß Allgemeine Geographie. Geomorphologie, – Paderborn, UTB, Stuttgart; Auflage: 3., 354 S.
- Zobl, F. (2003): GPS Monitoring von alpinen Hangbewegungen - Ergebnisse der Überwachung der Massenbewegung Gradenbach mit GPS und Photogrammetrie, Forschungsprojekt: Österreichische Akademie der Wissenschaften ISDR (International Strategy for Disaster Reduction) Continuous Monitoring of Landslide Motions, Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme, TU GRAZ, Vortrag am Landesgeologentag Kärnten, 29.09.2003.

## **Karten**

Beck-Mannagetta, P. (1980): Blatt 188, Wolfsberg 1:50.000, 1 Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

Braunstingl, R. (Koord.) (2005): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000, 1 Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

Egger, H. et al. (1999): Geologische Karte von Österreich 1:1.500.000, 1999): 1 Bl. mit 3 Profilen, Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

Exner, C. (1956): Geologische Karte der Umgebung von Gastein 1:50.000, Geologische Bundesanstalt Wien.

Frank, W., Miller, C. & Pestal, G. (1987): Blatt 152, Matri in Osttirol, 1:50.000, 1 Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

Fuchs, G. & Linner, M. (2005): Die geologische Karte der Sadrng-Gruppe: Ostalpin Kristallin in Beziehung zur Matreier Zone, Jb. Geol. B.-A., Band 145 Heft 3+4, Wien, S. 293–301.

Karl, F. & Schmidegg, O. (1979): Blatt 151, Krimml, 1:50.000, 1 Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

Pistotnik, J. & Weissenbach, N. (2000): Blatt 187, Bad Sankt Leonhard im Lavanttal 1:50.000, Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

Van Husen, D. (1987): Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Wurm) – vor ca. 18.000 J., 1:500.000, Geologische Bundesanstalt Wien.

Weiss, E.H. (1969): Kraftwerksgruppe Fragant - Geologische Übersicht, Voraussage und Erfahrungen beim Bau, ÖZE - Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 22. Jahrgang, Heft 10, Springer-Verlag / Wien . New York, S. 464-472.

Weissenbach, N. (1978): Gesamtbearbeitung; Geologische Karte der Saualpe 1:25.000, 2 Bl., Farbdruck, Geologische Bundesanstalt Wien.

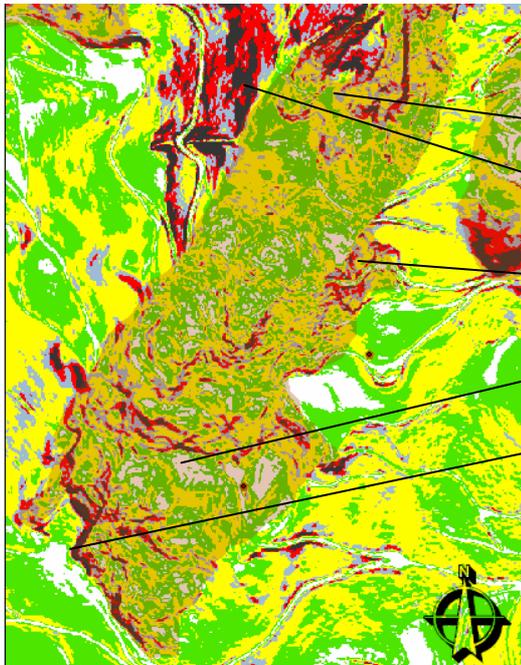
## Anhang

Darstellung von massenbewegungsrelevanten Strukturen in verschiedenen Maßstäben anhand von ALS Neigungskarten. (Erläuterungen sind im Kap. 4.3.3.1. Hangneigung bzw. Oberflächenneigung zu finden)

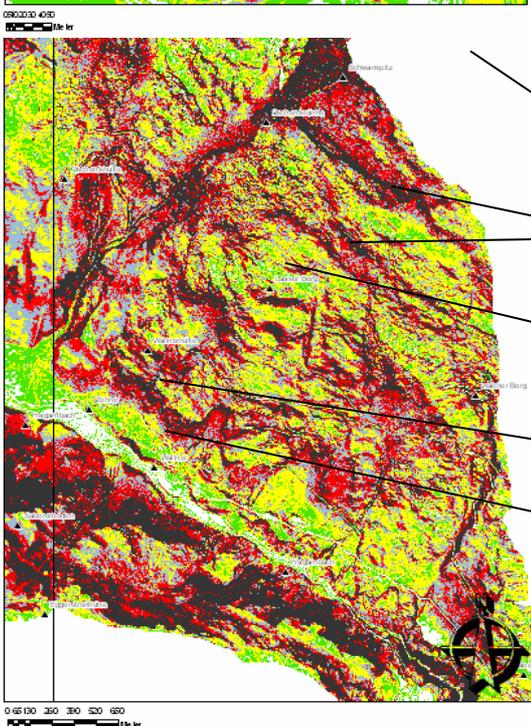
### Rutschende/Gleitende Massenbewegungen:

#### **Rutschung groß** (Abb. 34)

Abbildung der Massenbewegung im Auenbach 3.1.11.2



- Fußregion
- ehemalige Rutschfläche
- seitliche Rutschung
- Rutschscholle
- Scheitel, Hauptanbruchsfläche

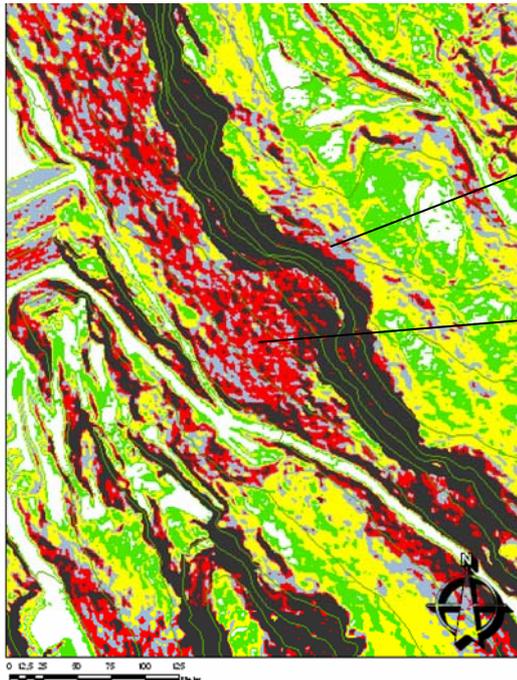


#### **Sackung und Talzuschub** (Abb. 40 u. 76)

Abbildung des Talzschubs Mandlwald

- Bergzerreißung am Grat
- hangparallele Mulden und Doppelgrate
- gravitatives Einsinken und Entstehung von Spaltenzonen
- Ausbauchung des Gebirges
- übersteilter Fuß

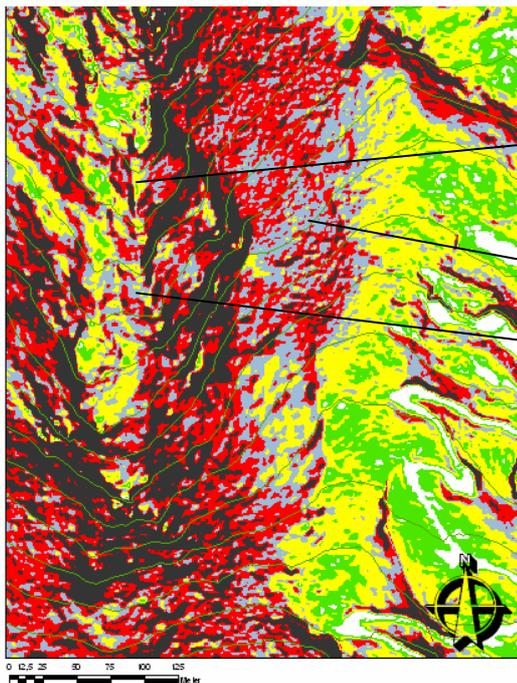
Stürzende Massenbewegungen:



**Blocksturz und Steinschlag** (Abb. 46)  
östlich des Wurtenspeichers

Materialentfestigung durch Verwitterung an Trennflächen, Frost-Tauwechsel etc. bewirken dieses Phänomen

Steinschlaghalde



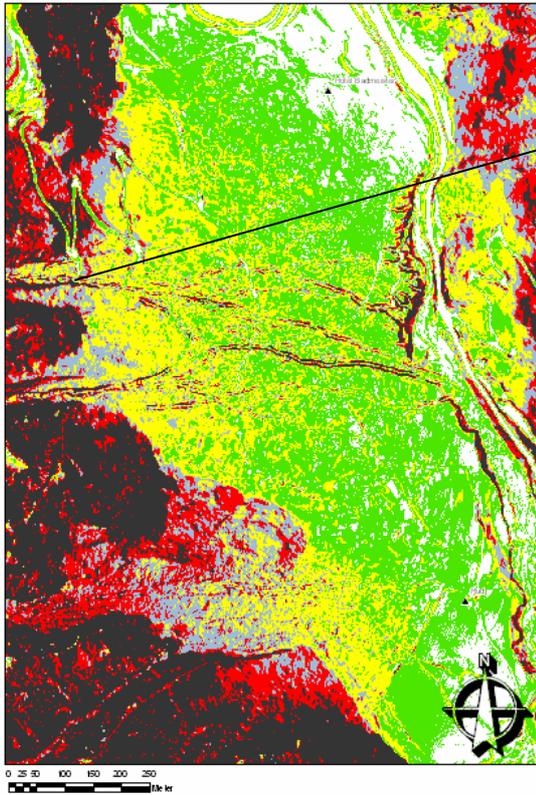
**Felssturz** (Abb. 47 u. 48)  
südöstlich des Oschenigspeichers

entlang der Kammregion kam es nach dem Abschmelzen des Gletschers zu großen Felsstürzen

Steinschlaghalde

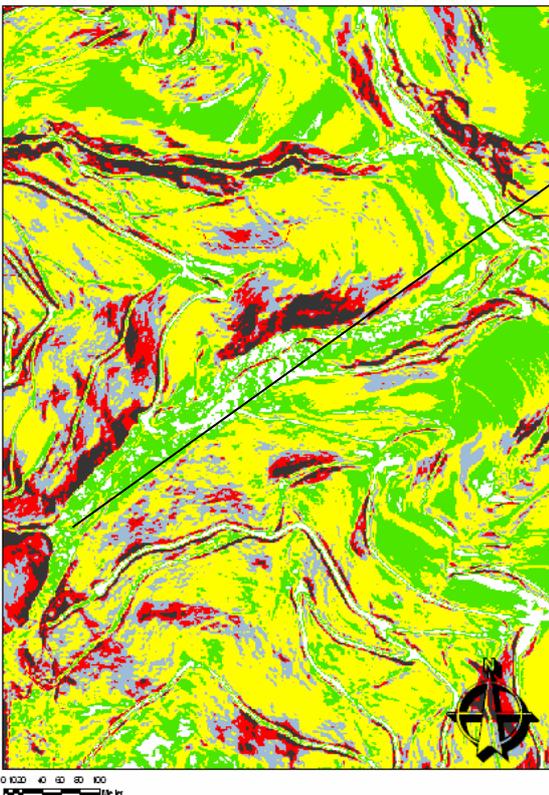
am Grad sind Zerrspalten zu beobachten

**Fließende Massenbewegungen:**



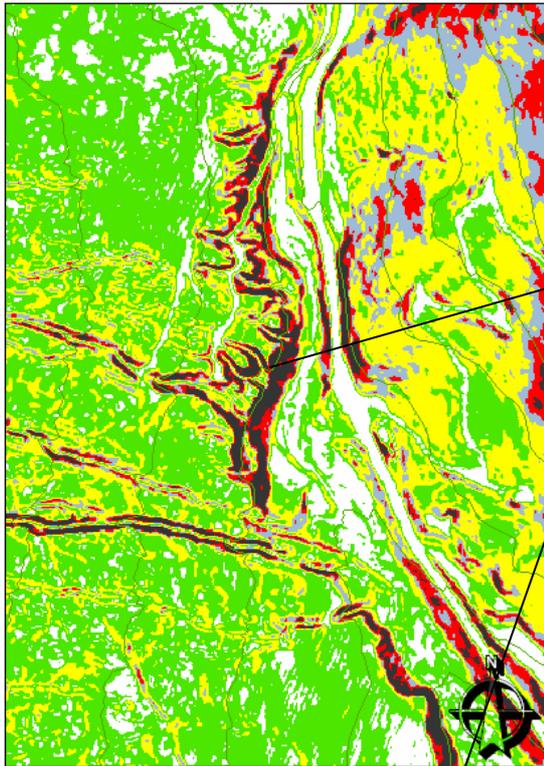
**Schuttströme** südlich des Hotels  
Badmeister

treten als Schwemmkegel im  
Ablagerungsgebiet dreier  
Wildbäche auf



**Erdstrom** (Abb. 83) nordöstlich der  
Großbrutschung Auenbach

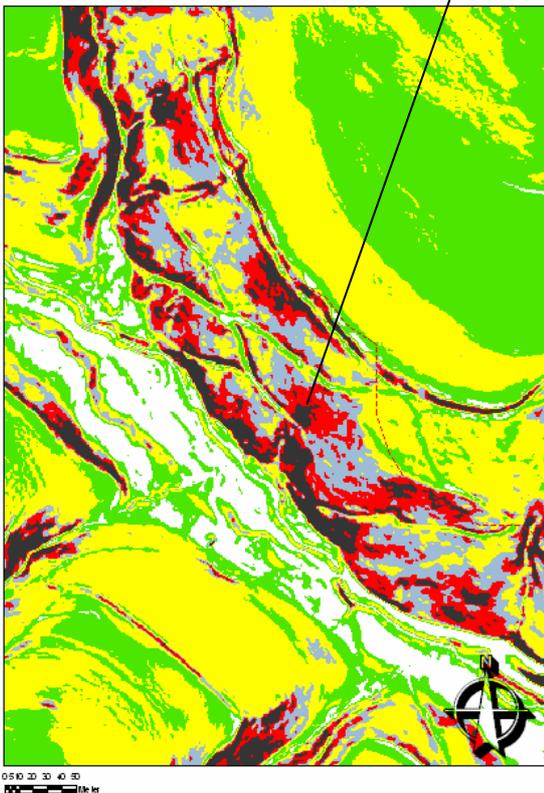
In diesem Bereich ist schließlich  
aus der Rutschungsstirn Erdmaterial  
mit Schadholz auf einer Länge  
von etwa 400 m talwärts  
geflossen. Dieses Ereignis kann  
auch als Murgang angesehen  
werden!



**Mure** (Abb. 83) im nördlicher Teil des Auenbachs

**Achtung: Muren** sind fließende Massenbewegungen, die an Gerinne gebunden sind!

Muren sind Hochwasserabflüsse in Wildbächen, sie sind Gemische aus Wasser und Feststoffen (Boden, Gesteinsschutt und Holz).

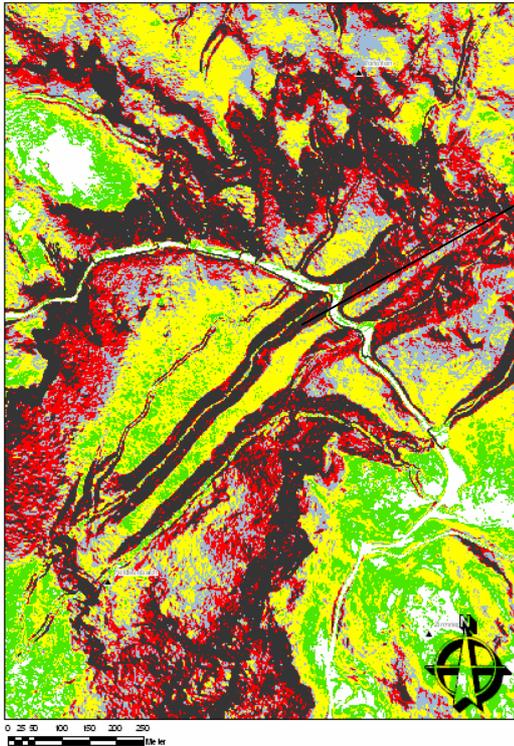


Prozessbereiche in Wildbacheinzugsgebieten (gem. ETALP-Handbücher)

Feststoffeintrag durch Hangprozesse, Gerinneerosion

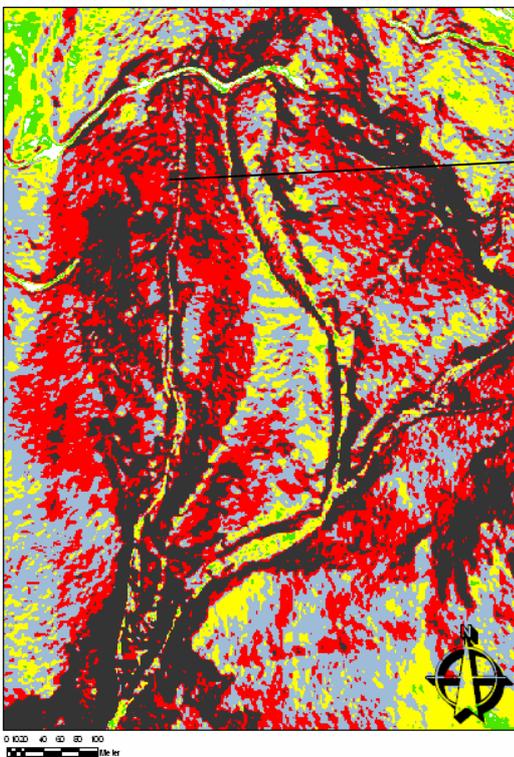
**Feilanbruch im Lockergestein**

(Abb. 68) im nördlichen Bereich des  
Wurtenspeichers

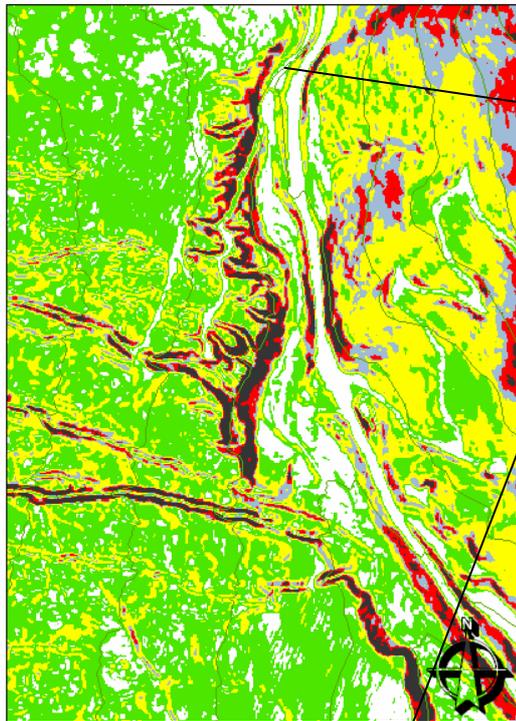


Im Bereich der Seiten- bzw. Grundmoräne kommt es zu mehreren fast geradlinigen Feilanbrüchen

**Keilanbruch im Lockergestein** (Abb.  
69) östlichen der Oschenikhütte

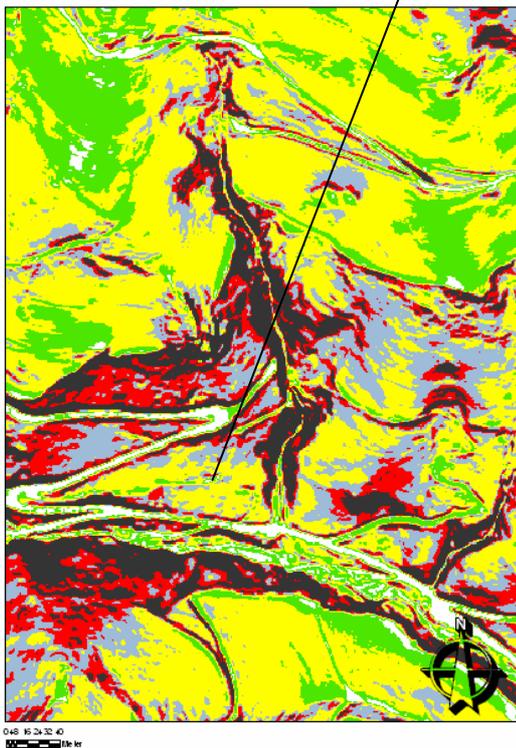


Durch Kolkererosion im Lockergestein entstandene Hohlform, die einem auf die Spitze gestellten Keil ähnelt.



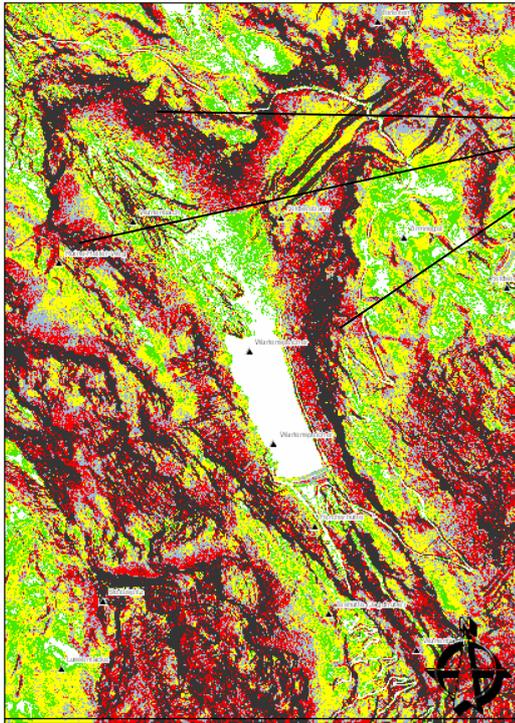
**Uferanbruch** (Abb. 70) im nördlicher Teil des Auenbachs

Häufig auftretender Geschiebeherd vor allem in Umlagerungsstrecken. Bei steileren Gerinnen Übergang zum Feilenanbruch.



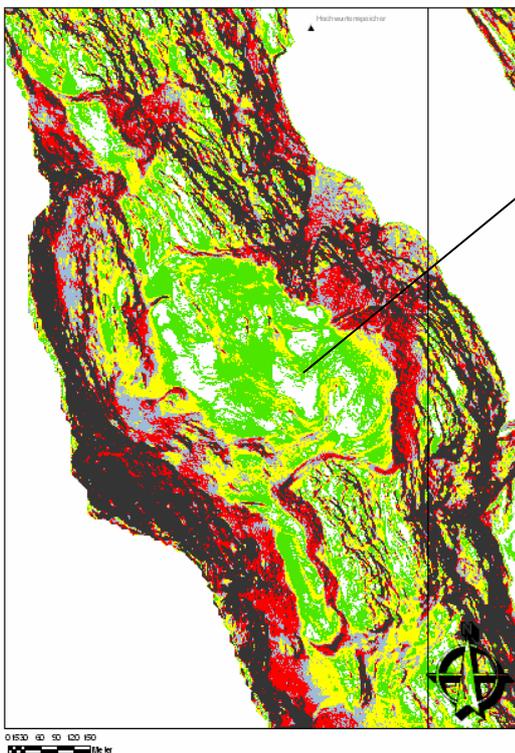
## Glazialakkumulationsformen

### Moränen

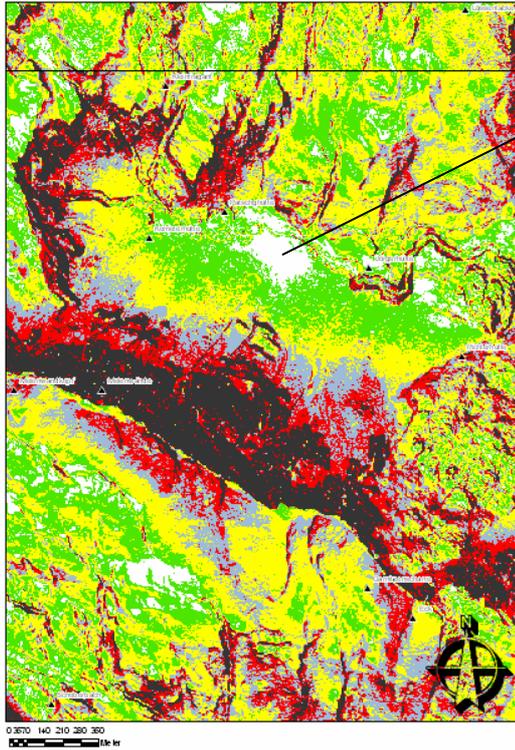


**Seitenmoräne** (Abb. 106 u. 105) um den  
Wurtenspeicher gelegen

entsteht an den Seiten des Gletschers als wallförmiger Schuttstreifen, das Material wird durch die Taleinhänge über dem Gletscher geliefert und ist mit Frostschutt vermischt.



**Seitenmoräne** (Abb. 107) westlich des  
den Hochwurtenspeichers



**Grundmoräne** (Abb. 107) südlich der  
Patschgütte