



BFW-DOKUMENTATION 5/2007
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum
für Wald, Naturgefahren und Landschaft

**22. und 23. August 2005 –
Analyse von Hochwasser- und
Rutschungsereignissen in
ausgewählten Gemeinden
Vorarlbergs**

*22nd and 23rd August 2005 –
Analysis of flooding events and mass
movements in selected communities
of Vorarlberg*

G. MARKART, F. PERZL, B. KOHL, R. LUZIAN,
K. KLEEMAYR, B. ESS, J. MAYERL

FDK 424.1:(436)

Empfohlene Zitierung:

22. und 23. August 2005 – Analyse von Hochwasser- und Rutschungsereignissen in ausgewählten Gemeinden Vorarlbergs / G. Markart, F. Perzl, B. Kohl, R. Luzian, K. Kleemayr, B. Ess, J. Mayerl / BFW-Dokumentation; Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2007, Nr. 5, 48 S.

ISSN 1811-3044

Copyright 2007 by

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Für den Inhalt verantwortlich:

Leiter: Dipl.-Ing. Dr. Harald Mauser

Herstellung und Druck:

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Seckendorff-Gudent-Weg 8

A-1131 Wien

URL: <http://bfw.ac.at>

Bestellungen und Tauschverkehr:

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Bibliothek

Seckendorff-Gudent-Weg 8

A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 1216

Fax. + 43-1-878 38 1250

E-mail: gudrun.csikos@bfw.gv.at

Online Bestellungen: http://bfw.ac.at/db/bibliothek_publicationen.bestellung

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Abstract	1
1. Einleitung und Problemstellung	3
2. Kurzbeschreibung der Arbeitsgebiete.....	4
2.1 Vorarlberg Nordost: Region Bregenzerwald (Gemeinden Au / Schnepfau) und Kleines Walsertal (Gemeinde Mittelberg).....	4
2.1.1 Gemeinden Au und Schnepfau – Region Bregenzerwald/Vorarlberg.....	5
2.1.2 Kleines Walsertal – Gemeinde Mittelberg.....	5
2.2 Vorarlberg West: Region Laternsertal – Oberes Rheintal (Gemeinden Laterns, Viktorsberg, Zwischenwasser) und Region Walgau - Großes Walsertal (Gemeinden Düns und Dünserberg.....	5
2.2.1 Laternsertal - Gemeinden Viktorsberg, Zwischenwasser und Laterns.....	7
2.2.2 Region Walgau – Großes Walsertal – Gemeinden Düns und Dünserberg.....	7
2.3 Vorarlberg Ost: Zürsbach (Gemeinde Lech)	7
3. Geologische Grundlagen	8
3.1 Entwicklungsgeschichte	8
3.2 Deckenaufbau	8
3.3 Morphologie.....	9
4. Methodik.....	10
4.1 Feldaufnahme.....	10
4.2 Hochwasser.....	11
4.3 Rutschungen.....	11
5. Niederschläge	12
5.1 Meteorologische Randbedingungen	12
5.2 Niederschlagssituation	12
5.4 Vorbefeuchtung.....	12
6. Rutschungen - Ergebnisse und Diskussion	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Auswertung nach Standortmerkmalen	19
6.2.1 Seehöhe	19
6.2.2 Exposition.....	19
6.2.3 Geländeform.....	20
6.2.4 Hangneigung	20
6.2.5 Kleinrelief.....	21
6.2.6 Kleingerinnenetz	21
6.2.7 Vegetationsform	21
6.2.8 Beweidung	23
6.2.9 Bodenverhältnisse.....	24
6.3 Auswertung nach Rutschungsmerkmalen	24
6.3.1 Generelle Angaben	24
6.3.2 Dominante Rutschungsform	25
6.3.3 Anrisshöhe	25
6.3.4 Anrissbreite	26
6.3.5 Rutschlängen	26
6.3.6 Rutschungsvolumina.....	26

7. Ergebnisse und Ursachenanalyse	27
7.1 Schäden durch Hochwasser mit Geschiebe und Wildholz, Ufer- und Sohlenerosion.....	27
7.2 Hochwasser Höllbach.....	28
7.2.1 Chronik (Ereignisse, Verbauungsmaßnahmen)	28
7.2.2 Ausgangssituation	28
7.2.3 Ereignis und Schäden.....	29
7.2.4 Abflussberechnung.....	30
7.2.5 Verbleibendes Gefahrenpotential	31
7.3 Hochwasser Zürsbach	31
7.3.1 Das Ereignis	31
7.3.2 Abfluss- und Geschiebeführung - Ursachen und Dispositionsfaktoren.....	34
7.4 Rutschungen – Kurze Diskussion der Auslöseursachen.....	37
Dank.....	41
8. Literatur	41
Internet:.....	43
Geodaten:	43
9. Anhang – Aufnahmeformulare	45

Abkürzungen

BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
d90	90 Volumsprozent der Feststoffe weisen einen kleineren Durchmesser auf, 10 Vol% liegen darüber
HDÖ	Hydrographischer Dienst Österreichs
Hm	Hektometer
HM	Höhenmeter
HOF1	Sofortiger Oberflächenabfluss als Folge von Infiltrationshemmnissen
HOF2	Leicht verzögerter Oberflächenabfluss als Folge von Infiltrationshemmnissen
i_N	Intensität des Niederschlages (mm h^{-1})
kPa	Kilo-Pascal, 100 kPa = 1 bar
lfm	Laufmeter
Lt	Liter
m^3	Kubikmeter
m ü.A.	Meter über der Adria (in Bezug zum mittleren Adriapegel bei Triest)
N	Niederschlag (mm)
N/A-Modell	Niederschlag/Abflussmodell
n	Anzahl der Rutschungen
n_{max}	maximale Anzahl der Rutschungen, wenn in einer Tabelle unterschiedliche Gesamtheiten enthalten sind
ÖBH	Österreichisches Bundesheer
SH	Seehöhe
SOF1	Sofortiger Oberflächenabfluss als Folge sich schnell sättigender Flächen
SOF2	Verzögerter Oberflächenabfluss als Folge sich sättigender Flächen
Vol%	Volumsprozent
WLV	Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

22. und 23. August 2005 – Analyse von Hochwasser- und Rutschungsereignissen in ausgewählten Gemeinden Vorarlbergs

G. MARKART, F. PERZL, B. KOHL, R. LUZIAN, K. KLEEMAYR, B. ESS, J. MAYERL

*Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,
Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien*

Kurzfassung. Eine Vb-ähnliche Wetterlage mit teils extremen Niederschlagsmengen (z.B. 244 mm in 24 h in Innerlaterns in Vorarlberg) am 22. und 23. August 2005 hatte in Westösterreich großflächig extreme Schadereignisse zur Folge (Hochwässer, Rutschungen, Muren).

Im Auftrag des BMLFUW (Abteilung IV/5) und in Abstimmung mit den Gebietsbauleitungen Bludenz und Bregenz des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung führten Mitarbeiter des BFW Analysen der Hochwasserereignisse in den Einzugsgebieten des Höllbaches bei Schnepfau und des Zürsbaches bei Lech a. Arlberg durch. Weiters erfolgten Dokumentation und Analyse von Massenbewegungen in den Gebieten Au/Schnepfau, Mittelberg/Zürs, Laterns/Düns/Dünserberg/Viktorsberg/Zwischenwasser.

Die Auswertung der vom Hydrographischen Dienst Vorarlberg zur Verfügung gestellten Niederschlagsdaten von Jänner bis August 2005 zeigen, dass für das Abflussverhalten und die Infiltrationsleistung der Böden primär die Niederschlagsverhältnisse im August 2005 – der Vorregen von 19. bis 22. August und die hohen Niederschlagsmengen von 22. auf 23. August – maßgeblich waren.

Die Nachrechnung des Abflussereignisses für den Höllbach unter Verwendung des N/A-Modells ZEMOKOST ergab eine Abflussspitze von ca. $12 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$. Auf Grund von Verklausungen, zeitlichen Überlagerungen von Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss in den obersten Schichten des Substrates und im unterirdischen Abflussgeschehen sowie über mehrere Stunden sehr hohen Regenintensitäten dürfte das tatsächliche Abflussmaximum noch höher anzusetzen sein. Für den Zürsbach ergaben die Modellläufe Abflussspitzen zwischen 30 und $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Der Geschiebeanteil und ohne Feststoffe aus Verklausungen durch Dammbürche bzw. Geschiebeeinstößen von Uferanbrüchen mit bis zu 8.000 m^3 pro Ein-

stoß sind in diesen Angaben noch nicht berücksichtigt. Daher dürften kurzfristig höhere Abflussspitzen realistisch sein.

Bei den Ereignissen vom 22. und 23. August 2005 wurden in den aufgenommenen Gebieten primär postglaziale Sedimente aktiviert. Es dominierten Translationsrutschungen, in zweiter Linie Rotationsformen. Aufgrund geologischer Prädisposition und Konzentration der Landnutzung häuften sich in einigen Gemeinden Rutschungen entlang eines schmalen Höhenbandes zwischen 1100 und 1300 m Seehöhe. Hänge mit Neigungen zwischen 25 und 40° waren bevorzugt betroffen. Die Mehrzahl der Rutschungen erfolgte im Freiland auf Mähwiesen, Rasenflächen und Feuchtwiesen. Im Waldbereich wurden deutlich weniger Rutschungen erfasst. Bei Abbrüchen im Wald besteht ein enger Zusammenhang zwischen Waldzustand und Rutschungsaktivität. Häufig wurden Rutschungen in Blößen, unterhalb von Blößen, auf und unterhalb von Rasenflächen, früher landwirtschaftlich genutzten und jetzt in nicht betreuter Sukzession befindlichen Einheiten, sowie in stark aufgelockerten Beständen beobachtet. Als lokal bedeutender rutschungsauslösender Faktor kann auch die unkontrollierte Extensivierung auf ehemals intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen angesehen werden.

An vielen Nichtwald-Standorten wurden Hinweise auf Oberflächenabfluss als Folge limitierter Infiltrationskapazität, z.B. auf den überwiegend bindigen Almböden, gefunden. Im Zuge der hohen Niederschlagsmengen am 22.8.2005 - in 5 Stunden fielen im Laternsertal ca. 90 mm Niederschlag, das entspricht einer Intensität von 18 mm/h - dürfte insbesondere auf den Rasenstandorten große Wassermengen unmittelbar an der Oberfläche abgeflossen und rasch Abfluss erhöhend im Vorfluter wirksam geworden sein.

Schlüsselworte: Abfluss, Bewirtschaftung, Hochwasser, Landnutzung, Rutschung, Überschwemmung, Vegetation, Wald

Abstract. [22nd and 23rd August 2005 - Analysis of flooding events and mass movements in selected communities of Vorarlberg.]

Extreme disasters (flooding, debris-flows, landslides) were caused by Vb-like weather conditions with extreme precipitation (i.e. 244 mm within 24 hours in Innerlaterns – Vorarlberg) at 22nd and 23rd of August 2005 in Western Austria.

The BFW – Institute of Natural Hazards and Alpine Timberline was charged by the Federal Ministry of Agriculture and Silviculture, Environment and Water Management (BMLFUW, department IV/5) with the analysis of the inundations by the Höllbach near Schnepfau, the Züsbach near Lecha. Arlberg and the documentation of the landslides in the communities of Au/Schnepfau, Mittelberg/Zürs and Laterns/Düns/Dünserberg/Viktorsberg/Zwischenwasser in Vorarlberg. This work was done in intensive contact with the local authorities of the Austrian Avalanche and Torrent Control Service in Bregenz and Bludenz.

Analysis of precipitation data from January to August 2005 provided by the Hydrological Service of the District Government in Vorarlberg shows that runoff behaviour and infiltration characteristics of the soils during the extreme events mainly was influenced by antecedent precipitation from 19th to 22nd August and the intensive persistent rain from 22nd to 23rd August 2005.

For the Höllbach brook peak runoff was calculated with approx. $12 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ by use of the hydrological model ZEMOKOST. Due to jamming, temporarily overlay of surface runoff from different parts of the catchment and intensive contributions of interflow from both the upper soil and the deeper underground in the watershed area maximum runoff in fact might have been higher, especially in periods with high intensity of precipitation (18 mm h^{-1}).

For the Zürsbach model calculations delivered peak values between 30 and $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Because of blockages (breaking of dams caused by debris from washout of the banks with volumes up to 8000 m^3) and bedload transport temporary higher runoff peaks seem realistic.

During the torrential rain events in August 2005 postglacial sediments have been activated in the catchments primarily. Landslides were dominantly translational slides, in second term slump slides. Due to geological predisposition slides often concentrated along a small band between 1100 and 1300 m sea level and on slopes of 25 to 40° inclination.

The majority of the slides occurred in open land (meadows, grassland, swards, and marsh areas). Significantly fewer slides are documented in forests. Sliding activity in forests is strongly related to forest condition. Often mass movements were observed in gaps, in and under grassland in forests, areas which had been formerly under agrarian utilization, now suffering from an uncontrolled succession to new vegetation forms and in forests with loose structure. Abrupt discontinuation of agricultural utilization of formerly intensively used agricultural land is an eminent factor of landslide release.

In open land, e.g. on loamy alpine grassland soil, several times hints for surface runoff processes due to limited infiltration capacity of the soils were found. During the intensive rain event on 22nd of August 2005 (90 mm within 5 hours = $18 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ at Laterns) especially on alpine grassland and swards a high amount of the precipitation immediately formed surface runoff and contributed to runoff in the brooks and the receiving rivers within a short time.

Keywords: Cultivation, flooding, forest, inundation, land use, mass movement, runoff, vegetation

1. Einleitung und Problemstellung

Während und unmittelbar nach den Schadereignissen vom 22./23. August 2005 in Vorarlberg wurde eine sofortige Vorerkundung der Schadensgebiete und Gefährdungszonen durch die lokal zuständigen Stellen der Wildbach- und Lawinverbauung (WLV) gemeinsam mit den lokalen Behörden und den Gemeinden durchgeführt.

Um die mit bautechnischen Sofortmaßnahmen ausgelasteten Dienststellen der WLV zu unterstützen, wurden in Koordination mit dem BMLFUW das BFW mit der Ereignis- und Schadensdokumentation für einige Gebiete in Vorarlberg betraut. Die Detailkoordination der Erhebungsarbeiten in Vorarlberg erfolgte durch die WLV-Sektionsleitung Vorarlberg in Bregenz. Dem BFW wurden vier Gebiete zugewiesen (vgl. Abb. 1):



- Vorarlberg Nordost mit den Bereichen Bregenzerwald (Gemeinden Au und Schnepfau) und Kleines Walsertal (Gemeinde Mittelberg).
- Vorarlberg West (Walgau-Oberrhental, Laternsertal): Gemeinden Düns, Dünserberg, Laterns, Viktorsberg und Zwischenwasser.
- Vorarlberg Ost: Zürsbach (Gemeinde Lech).

Die durchgeführten Arbeiten umfassten die Rekonstruktion von Hochwasserereignissen in den Einzugsgebieten des Höllbaches bei Schnepfau und des Zürsbaches bis Lech am Arlberg, sowie die Aufnahme und Analyse von Rutschungen.

Abb. 1: BFW-Erhebungsgebiete in Vorarlberg.

2. Kurzbeschreibung der Arbeitsgebiete

2.1 Vorarlberg Nordost: Region Bregenzerwald (Gemeinden Au / Schnepfau) und Kleines Walsertal (Gemeinde Mittelberg)

Diese Erhebungsgebiete (Abb. 1) liegen im nordöstlichen Teil Vorarlbergs in der tiefmontanen bis alpinen

Zone des forstlichen Wuchsgebietes 4.1 (die Nördliche Randalpen – Westteil) nach Kilian et al. (1994)¹.

Das nördliche Vorarlberg mit kühl-humidem Randalpenklima ist aufgrund seiner ausgeprägten Nordwest-Staulage sehr niederschlagsreich (vgl. Abb. 2.1.1). Der Hintere Bregenzerwald und das Kleine Walsertal bilden den nordöstlichen Teil des Vorarlberger Bereichs dieses Wuchsgebietes mit besonders hohem Niederschlagsniveau und diskontinuierlichem Niederschlagsmuster bzw. nur gering korrelierter Höhensteigerung (Abb. 2.1.2).

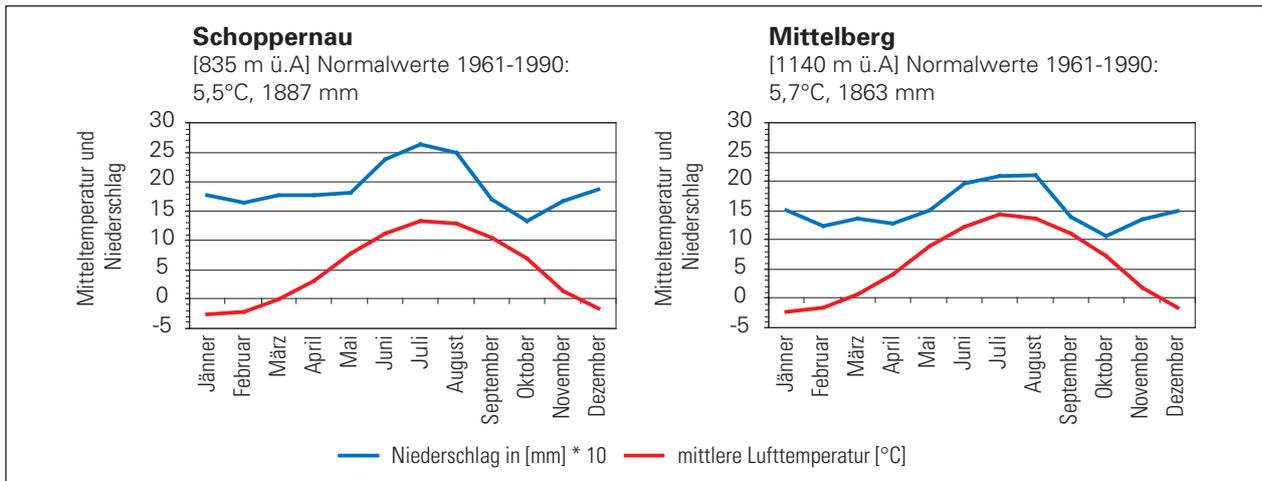


Abb. 2.1.1: Durchschnittlicher Jahrgang von Niederschlag und Lufttemperatur an zwei Klimastationen im Nordosten Vorarlbergs (HDÖ 1994).

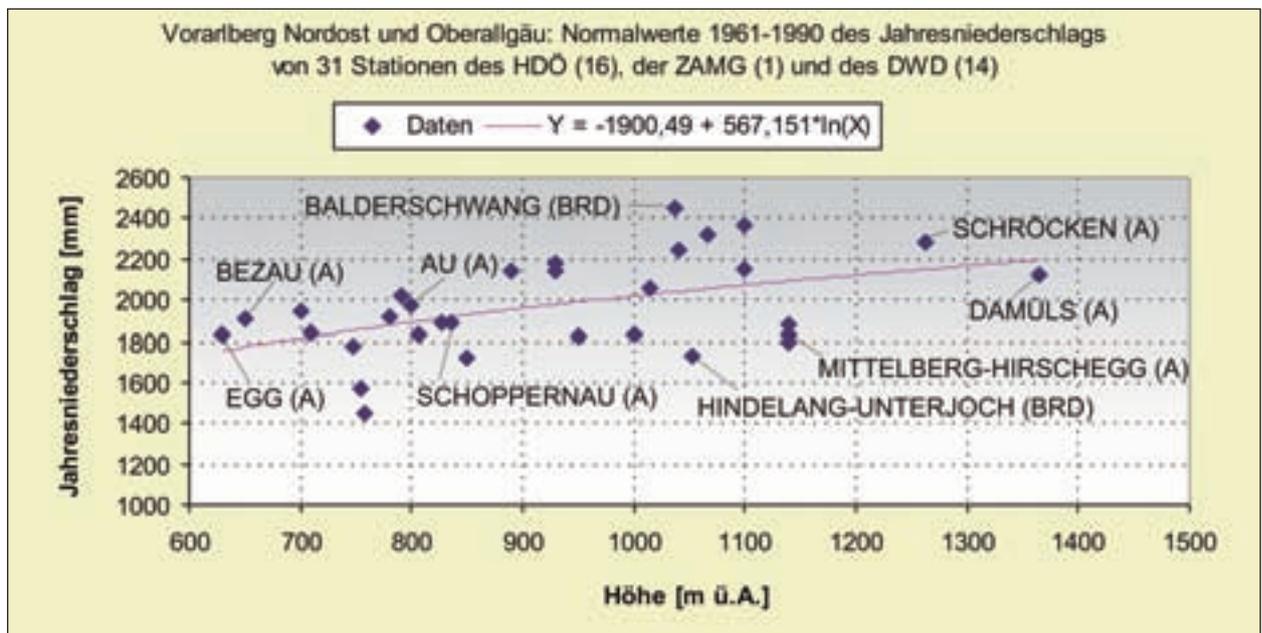


Abb. 2.1.2: Normalwerte des Jahresniederschlags von Stationen in Vorarlberg Nordost (Bregenzerwald und Kleines Walsertal) und im angrenzenden Oberallgäu; einfach logarithmische Regression ($r = 0,49$).

¹ Klimaregion 1 und Teile der Klimaregion 3 der Vorarlberger Klimaregionengliederung nach Amt der Vorarlberger Landesregierung (2001).
² Zum Vergleich: Der mittlere Jahresniederschlag Österreichs wird je nach Berechnungsmodell mit Werten zwischen 1050 und 1170 mm angegeben (siehe dazu Loibl & Schwarz 2001).

An der Klimastation Mittelberg-Hirschegg (1140 m ü.A.) des Hydrographischen Dienstes im Kleinen Walsertal wurde für die Klimanormalperiode 1961-1990 das Jahresmittel² der Niederschlagssumme mit 1.836 mm, das Monatsmittel für den August mit 210 mm und das Jahresmittel der Lufttemperatur mit 5,7 °C gemessen (HDÖ 1994; S 17 und 403). Für die Station Schoppernau (835 m ü.A.) nahe bei Au im Bregenzerwald liegen diese Werte bei 1.887 mm, 226 mm und 5,5 °C (HDÖ 1994; S 15 und 400). Die entsprechenden Niederschlagswerte für Au (800 m ü.A.) betragen 1.969 mm und 230 mm (HDÖ 1994; S 15).

Während der Bregenzerwald zum Einzugsgebiet der Bregenzerach gehört, die über den Bodensee in den Rhein fließt, gehört das Kleine Walsertal zum Einzugsgebiet der Iller und damit zum Donaugebiet.

2.1.1 Gemeinden Au und Schnepfau – Region Bregenzerwald/Vorarlberg

Die Gemeinden Au und Schnepfau liegen an der Bregenzerach im hinteren Bregenzerwald (Abb. 1). Das Erhebungsgebiet mit 62 km² Fläche bildet kein geschlossenes Einzugsgebiet. Es erstreckt sich zwischen 690 m ü.A. am Talboden im Westen bei Schnepfau zum Diedamskopf (2.090 m ü.A.) im Osten und zur höchsten Erhebung, dem Zitterklapfen mit 2.403 m ü.A. im Süden an der Grenze zum Großen Walsertal und mit den Gemeinden Damüls und Fontanella. Kleine Teile der zugewiesenen Erhebungsregion liegen knapp an der Grenze im Gemeindegebiet von Fontanella.

2.1.2 Kleines Walsertal – Gemeinde Mittelberg

Das Kleine Walsertal liegt im Nordosten Vorarlbergs. Das alpine Tal ist etwa 14 km lang und hat eine Fläche von rund 113,7 km². Davon sind 96,8 km² österreichisches Hoheitsgebiet mit einem mittleren Höhenniveau von 1.541 m.ü.A. (918-2.533 m.ü.A.). Der Median der Hangneigung beträgt 24°. 37,7 km² und damit 39 % dieser Fläche sind nach den CORINNE Landcover Daten des Umweltbundesamtes (1990) Wald. Es dominieren Fichten- und Fichten-Tannenwälder mit Beimischung von Laubholz. Der Dauersiedlungsraum erstreckt sich auf einer Höhenlage zwischen 930 und 1300 m.ü.A.

Im Osten und Süden begrenzen die Lechtaler Alpen mit dem Hohen Widderstein (2.533 m) das Südwest-Nordost streichende Tal. Im Westen grenzt das Tal über die Höhenzüge des Hohen Ifen (2.230 m) und des Gottesackerplateaus an den Bregenzerwald. Es öffnet sich dann nach Norden hin gegen die Schwäbischen Voralpen des Raumes Oberstdorf (Bayern).

Die Region ist über Straßenverbindungen nur von Bayern aus erreichbar und daher sozioökonomisch auf das engste an Deutschland gekoppelt. Die wirtschaftliche Grundlage der Bevölkerung³ ist im Sommer und Winter fast ausschließlich der Fremdenverkehr. Das Kleine Walsertal ist eines der meistbesuchten⁴ alpinen Täler mit einem auch stark ausgeprägten Wandertourismus im Sommer. Die gesamte Talschaft mit den als Haufen- und Streusiedlungen angelegten Hauptorten Riezlern, Hirschegg und Mittelberg ist politisch in der Gemeinde Mittelberg organisiert.

Die größten Schäden durch das Ereignis waren mit 1,4 Mio. Euro Gesamtschadenssumme im Zuständigkeitsbereich der Bundeswasserbauverwaltung entlang der Breitach, dem Hauptfluss des Tales, zu verzeichnen (Uferanrisse, Schäden an Brücken und Schutzbauten, Überflutung von Liegenschaften und Beschädigung durch Seitenerosion (dazu Amt der Vorarlberger Landesregierung 2005, S 19).

2.2 Vorarlberg West: Region Laternsertal – Oberes Rheintal (Gemeinden Laterns, Viktorsberg, Zwischenwasser) und Region Walgau - Großes Walsertal (Gemeinden Düns und Dünserberg)

Diese Erhebungsgebiete liegen im Westen Vorarlbergs in der submontanen bis alpinen Zone des forstlichen Wuchsgebietes 4.1 (Nördliche Randalpen – Westteil) nach Kilian et al. (1994).

Es handelt sich um den südwestlichen Teil des Vorarlberger Bereichs dieses Wuchsgebietes, der etwas niederschlagsärmer und durch den Einfluss des Rheintales milder ist als die nordöstliche Region (Abb. 2.2.1). Vom Rheintal-Walgaugebiet bei Feldkirch im Süd-

³ 4.925 Einwohner (Stand 31.12.2003); 42 % der Beschäftigten sind unmittelbar im Beherbergungs- und Gaststättenwesen tätig (Landesdurchschnitt 7 %, Stand 15.05.2001); Quelle: STATISTIK AUSTRIA.

⁴ 1.824.826 und 1.849.110 Nächtigungen in den Jahren 2003 und 2004 und damit Rang 4 aller Gemeinden Österreichs. 2003 kamen somit auf einen Einwohner 371 Nächtigungen. Zum Vergleich: Wien 2003 – 5 Nächtigungen/Einwohner (STATISTIK AUSTRIA 2005, S 403; STATISTIK AUSTRIA 2006, S 40 und S 416).

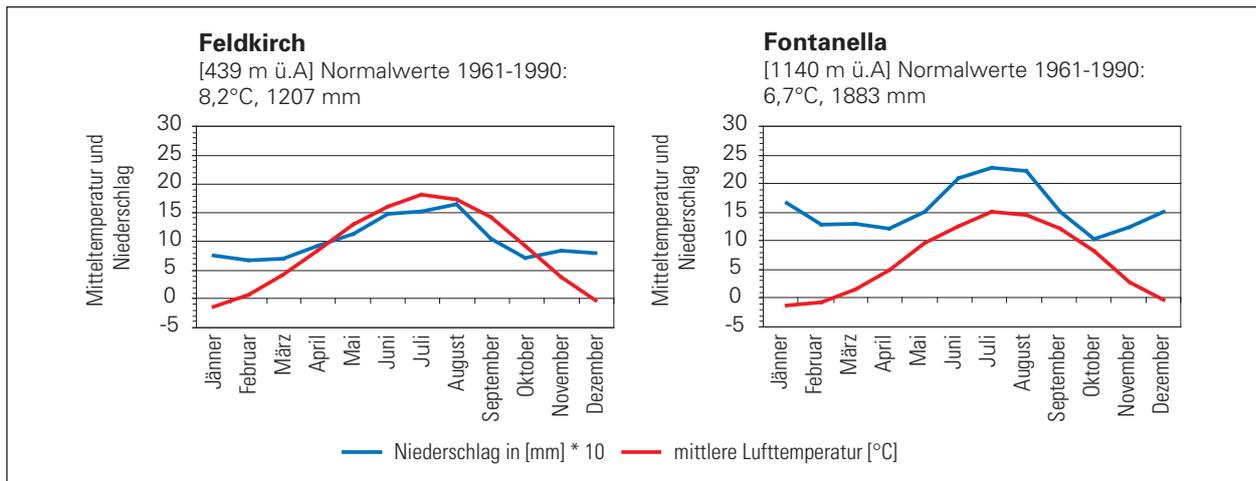


Abb. 2.2.1:
Durchschnittlicher Jahresgang von Niederschlag und Lufttemperatur von zwei Klimastationen in der Erhebungsregion Vorarlberg West (HDÖ 1994).

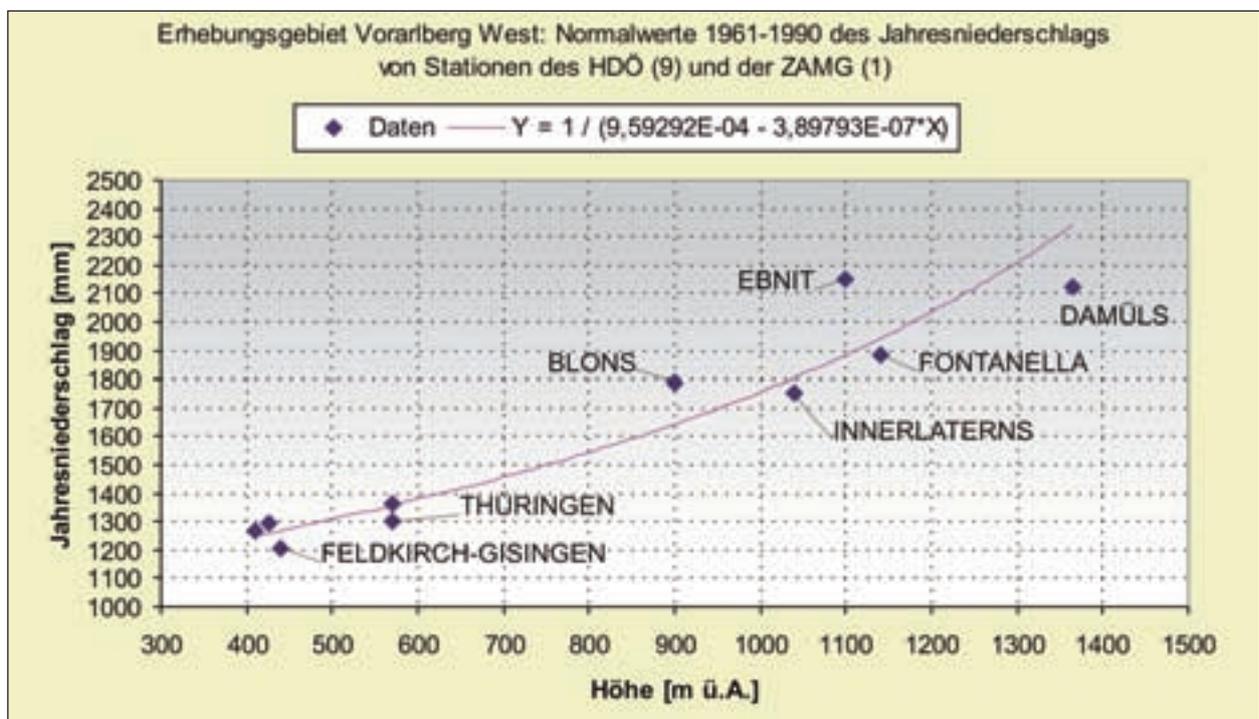


Abb. 2.2.2:
Normalwerte des Jahresniederschlags von Stationen im Erhebungsgebiet Vorarlberg West; einfach hyperbolische Regression ($r = 0,96$).

westen entlang des Laternsertales und des Großen Walsertales nach Nordosten wird die Region jedoch immer kühler und niederschlagsreicher, da sich die Niederschläge vom Norden und Nordwesten her am Freschenstock (Hoher Freschen 2004 m ü.A.), in den Damülser Bergen (Damülser Mittagsspitze 2.095 m

ü.A.) und am Walserkamm (Zitterklapfen 2.403 m ü.A. und Hochkünzelspitze 2.397 m ü.A.) an der Grenze zur Region Vorarlberg Nordost stauen bzw. ausregnen. Das innere Laternsertal und innere Große Walsertal sind somit die niederschlagsreichsten Regionen Vorarlbergs (vgl. Abb. 2.2.2).

2.2.1 Laternsertal - Gemeinden Viktorsberg, Zwischenwasser und Laterns

Das zugewiesene Erhebungsgebiet umfasste die westexponierten Einhänge des oberen Vorarlberger Rheintales im Bereich der Gemeinden Viktorsberg und Zwischenwasser nordöstlich von Feldkirch und Rankweil, sowie den südlich daran angrenzenden vorderen, rechtsufrigen Teil des Laternsertales (Gemeinde Laterns) im Bereich der Ortschaften Laterns und Bonacker westlich von Innerlaterns (Abb. 1).

Das Laternsertal wurde bereits 1999 von einem Starkregenereignis getroffen, das zahlreiche Rutschungen auslöste (Andrecs et al. 2002). Es handelt sich um ein Kerbtal, in das sich der Hauptbach, die Frutz, tief und schluchtartig eingegraben hat. Das Tal ist nur rechtsufrig an der Hangkante oberhalb der steilen Einhänge der Frutz auf einem Niveau von etwa 300 m über der Bachsohle besiedelt. Es ist links- und rechtsufrig von steilen Tobeln zerfurcht.

Die Gemeinde Laterns im vorderen Laternsertal mit dem Hauptort Innerlaterns hat 721 Einwohner (Stand 31.12.2003 - STATISTIK AUSTRIA). Obwohl 40 % der Beschäftigten im Beherbergungs- und Gaststättenwesen tätig sind, gibt es 69 land- und forstwirtschaftliche Betriebe, davon sind 77 % Nebenerwerbsbetriebe (Agrarstrukturerhebung 1995-1999 - STATISTIK AUSTRIA). Es gibt eine ausgeprägt kleinbäuerliche Sozial- und Wirtschaftsstruktur, die sich auch im sanften Fremdenverkehr (Klein- und Mittelbetriebe, Privatzimmervermieter) spiegelt. Die meisten Erwerbstätigen (rund 73 %) müssen jedoch in die Region Rheintal-Walgau auspendeln (STATISTIK AUSTRIA).

Die Gemeinde Zwischenwasser liegt am Ausgang des Laternsertales am Boden des Rheintales und an den Hängen zwischen dem Frödischbach und der Frutz. Der Frödischbach vereinigt sich mit der Frutz, die in den Rhein entwässert. Zwischenwasser ist die politische Organisation der kleineren Orte Batschuns, Dafins, Furx und Muntlix sowie zahlreicher kleinerer Weiler. Zwischenwasser ist eine typische Wohngemeinde mit 3.080 Einwohnern (Stand 31.12.2003 - STATISTIK AUSTRIA), kleingewerblicher Wirtschaft und 50 Land- und Forstwirtschaftsbetrieben (56 % im Nebenerwerb). Ein Teil des Gemeindegebietes liegt auch im Laternsertal, so wie der Weiler Wengen, in dessen Umgebung beim Ereignis zahlreiche Rutschungen aufgetreten sind.

Nördlich von Zwischenwasser rechtsufrig des Frödischbaches liegt am Hang über dem Rheintal die kleine Gemeinde und Ortschaft Viktorberg mit 387 Einwohnern (Stand 31.12.2003 - STATISTIK AUSTRIA).

2.2.2 Region Walgau – Großes Walsertal – Gemeinden Düns und Dünserberg

Diese Gemeinden liegen an den südexponierten Flanken des Walgaus zwischen Feldkirch und Bludenz am Eingang des Großen Walsertales. Düns und Dünserberg sind zwei kleine Streusiedlungen (Waldhubensiedlungen) im Einzugsgebiet des Montanastbaches und des Schnifisertobels mit 378 und 145 Einwohnern (Stand 31.12.2003 - STATISTIK AUSTRIA). Das Gemeindegebiet von Düns liegt auf einer Höhe von 660 bis 1100 m ü.A. und unmittelbar oberhalb bzw. nördlich von Düns liegt Dünserberg unter dem Dünser Horn (1.615 m ü.A.) am Walserkamm. Beide Gemeinden sind ländliche Wohnsiedlungen ohne nennenswerte gewerbliche Wirtschaftsbetriebe (38 land- und forstwirtschaftliche Betriebe, 53 % Nebenerwerb).

2.3 Vorarlberg Ost: Zürsbach (Gemeinde Lech)

Das Einzugsgebiet des Zürsbaches im Arlberggebiet im Osten Vorarlbergs an der Grenze zu Tirol erstreckt sich Nord-Süd von der Einmündung in den Lech bei der gleichnamigen Ortschaft auf 1.450 m ü.A. zum Flexenpass auf 1.773 m ü.A. Das gering bewaldete Gebiet liegt in der subalpinen (hochmontanen bis alpinen) Stufe des Wuchsgebiets 2.1, den Nördlichen Zwischenalpen – Westteil.

Das subatlantisch-subkontinentale Übergangsklima dieser Region in den Lechtaler Alpen ist durch die Abschirmung im Vergleich zu den angrenzenden feuchten nördlichen Randalpen etwas niederschlagsärmer aber sehr schneereich (lange Schneedeckendauer, österreichisches Maximum im Arlberggebiet (Schwarz und Lexer 2004) mit deutlicher ausgeprägtem Sommermaximum der Niederschläge (Abb. 2.3.1).

Die Normalwerte 1961-1990 für die Niederschlagssumme eines Jahres (für den August) liegen in Zürs bei 1.779 mm (212 mm), in Lech bei 1.605 mm (194 mm) und in Warth bei 1.886 mm (216 mm); (HDÖ 1994, S 18).

Lech und Zürs zählen zu den bekanntesten Wintersportorten in den Alpen. Lech ist der Hauptort

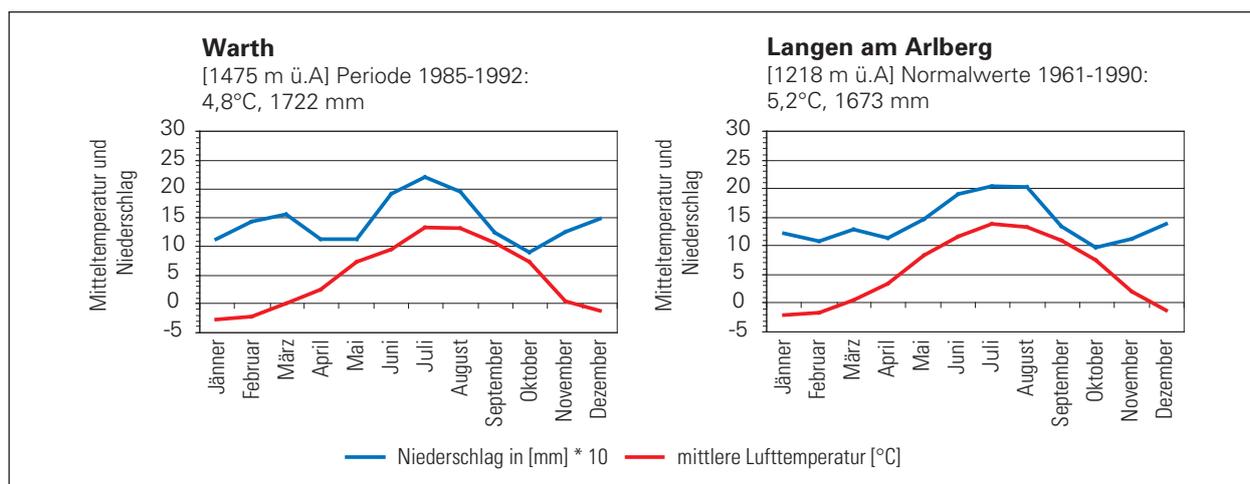


Abb. 2.3.1:

Durchschnittlicher Jahresgang von Niederschlag und Lufttemperatur von zwei Klimastationen in der Erhebungsregion Vorarlberg Ost (HDÖ 1994, ZAMG 1996)

der Gemeinde Lech an der Mündung des Zürsbaches in den Lechfluss. Der Ort Lech liegt mit 986.489 Nüchtigungen unter den österreichischen Gemeinden an fünfzehnter Stelle (STATISIK AUSTRIA 2005, S 403). 60% der Beschäftigten sind unmittelbar im Beherbergungs- und Gaststättenwesen tätig (Stand: 15.05.2001 - STATISTIK AUSTRIA). Es gibt 45 land- und forstwirtschaftliche Betriebe, davon 24 Betriebe juristischer Personen (Agrar- bzw. Almgensenschaften). Die landwirtschaftlichen Flächen im Gemeindegebiet sind überwiegend Almen. Der Ortsteil Zürs im Zentrum des Einzugsgebietes „Zürsbach“ ist ein so genanntes Hoteldorf.

3. Geologische Grundlagen

3.1 Entwicklungsgeschichte

Während des Mesozoikums und frühen Känozoikums erfolgte die Gesteinsbildung im Untergrund und die Sedimentation auf den Boden der Tethys, anschließend die Bildung der Alpen durch Pressung der Tethyskruste und Überschiebung in Decken. In Vorarlberg finden sich auf 80 km N-S Erstreckung Gesteinsschichten, die einst über 1000 km ausgebreitet waren. Diese „Zusammenballung“ ist die Ursache der außerordentlichen Vielfalt an Gesteinstypen zwischen Bodensee und Silvretta.

Ab dem Tertiär erfolgte die Bildung der Landschaftsformen durch vorwiegend erosive Prozesse. Zunächst überwogen fluviale Talbildungen, die

Anlage der heutigen Haupttäler. Später, im Quartär, waren die Gletscher der Eiszeiten der maßgebende Faktor der Landschaftsgestaltung. Diese Periode des Gebirgsabtrages ist bis heute nicht abgeschlossen, das Phänomen tritt ausgeprägt bei Großrutschungen, Murgängen, Überschwemmungen oder z.B. bei der Auffüllung des Bodensees mit Sedimenten in Erscheinung.

3.2 Deckenaufbau

An die tertiäre Molasse im Norden Vorarlbergs schließt gegen Süden hin, bis zur Linie Rellstal – Schruns – Arlberg, eine Zone äußerst verschiedenartiger, mesozoischer Sedimentgesteine an (Abb. 3):

In zwei Arealen sind Kalke weit verbreitet, in einem nördlichen Streifen zwischen Dornbirn und Feldkirch ostwärts über den Hohen Ifen bis ins unterste Kleinwalsertal die Säntisdecke (Helvetikum). Diese ist auf eine Flyschunterlage aufgeschoben. Südseits und in Resten auch nordseits dieser Decke ist die Ütschendecke (penninischer Vorarlberger Flysch) aufgelagert.

Die Bergstöcke südlich davon, das Rätikon und das Lechquellengebirge mit dem hintersten Bregenzerwald sind dem Ostalpin zugeordnet und bilden die oberostalpine Kalkdecke der Nördlichen Kalkalpen, sie sind in mehrere Teildecken zergliedert. Innerhalb dieser Bereiche erscheint auch die Arosazone, wo unterschiedlichste Sedimente mit Ophiolithen verkeilt sind. Ebenfalls dem Ostalpin zugeordnet ist die südlich anschließende Silvrettedecke, das kristalline Grundgebirge.

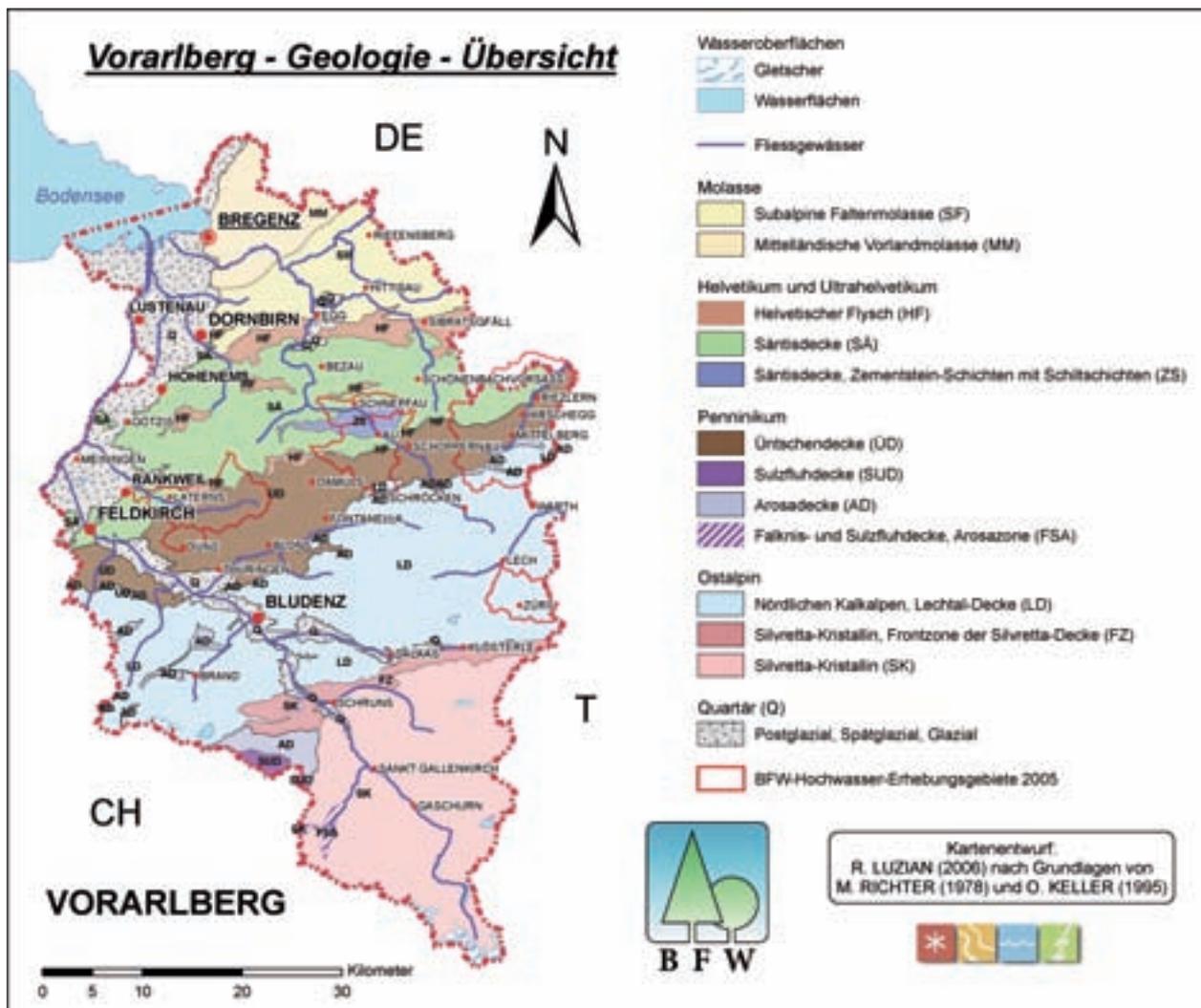


Abb. 3:
Geologische Übersicht von Vorarlberg

3.3 Morphologie

Obwohl die Gegenwart im Vergleich zum eiszeitlichen Geschehen als Periode ziemlicher morphologischer Ruhe bezeichnet werden kann, erfolgt der allgemeine, unaufhaltsame Gebirgsabtrag durch rückschreitende Erosion in den Tälern Vorarlbergs wegen der tief liegenden Erosionsbasis Rhein – Bodensee relativ rasch.

Für die bearbeiteten Gebiete stellt sich die geologisch-lithologische Situation folgendermaßen dar:

Bregenzerwald

Argenbach – Oberlauf:

Üntschendecke der Hauptflyschzone; Leistmergel, mehrfach Moränen

Argenbach – Unterlauf:

„Argenfazies“ des südlichsten Helvetikums der Säntisdecke; Valendismergel, Aptychenkalke, Kieselkalk, Mergelschiefer, Reiselsberger Sandsteine, Piesenkopfschichten, Kalkbänke

Argenbach – Mündung:

Zementstein des Juragewölbes der Kanis- und Mittagsfluh

Weißbach:

Zementstein und Schiltstein

Höllbach:

Grenze zwischen Zementstein und Valendis, schwarze und schwarzbraune Mergel und Mergelkalk des Valendis, Drusbergschichten im Gipfelbereich des Hirschberges

Au/Rehmen/Schoppernau/Diedamskopf:

Säntisdecke (Valendis); Quintener Kalke Zementsteinschichten, Valendismergel, Wechselfolgen von Brisisandstein und Schrattenkalk, kalkiger Grün-sandstein und Seewerkalk, Kieselkalk und Brisisandstein im Gipfelbereich des Diedamskopfes

Kleinwalsertal**Baad/Riezlern:**

Üntschendecke der Hauptflyschzone; Leistmergel, schwarze und rote Schiefer, Leimernschichten, Schrattenkalk, Reiselsberger Sandsteinschichten und Piesenkopfschichten; stark ausgeprägtes Rutschgelände in den Sandstein- und Piesenkopfschichten

„Laternsertal“:

Überschiebung der Flyschdecken auf Helvetikum; im Oberlauf der Frutz Reiselsberger Sandsteine, Leimernschichten (Leimern = graue Globigerinenmergel), darunter anschließend Leistmergel, auch Drusbergsschichten (vermergelte Kalke)

Wengen/Bonacker – tieferer Bereich:

Valendis der Säntisdecke, darüber Säntisdecke, am Kamm: Liebensteinerdecke (Leimernmergel); Leistmergel im Bonackertobel

Viktorsberg:

Valendis der Säntisdecke (vermergelte Kalke)

Düns/Dünserberg:

Üntschendecke der Hauptflyschzone; Leimernmergel

Zürs:

Stark verschüttetes Trogtal; Schuttfächer aus Hauptdolomit, jungstadiale Moränenwälle im Pazüeltal

Flexenpass/Hasenfluh:

Oberkreide

Zürsbach:

Hauptdolomit

Zürsbach (Mündung):

Arlbergsschichten/Raibler

4. Methodik

Die Auswahl der Untersuchungsgebiete erfolgte nach Vorschlägen aus dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung (Gebietsbauleitungen Bludenz und Bregenz). Drei Teams operierten dabei unabhängig in folgenden Arbeitsgebieten

- Au/Schnepfau
- Mittelberg/Zürs
- Laterns/Düns/Dünserberg/Viktorsberg/
Zwischenwasser.

4.1 Feldaufnahme

Die Erhebungen sollten nach dem 5W-Standard, einem Verfahren, das in den INTERREG-Projekten DOMODIS (Hübl et al. 2006) und DISALP (<http://www.dis-alp.org/>) entwickelt wurde, erfolgen. Im Rahmen dieses Verfahrens werden für die Ereignisdokumentation Mindestenerhebungsstandards festgelegt. Bei den Aufnahmen des BFW wurden die aufzunehmenden Inhalte auf die in Kapitel 9 (Anhang)



Abb. 4.3.1:

Erfasste Charakteristika an den Rutschungen:

Anrissbreite

Maximale Rutschlänge

(maximale Länge des Rutschkörpers – ohne Ablagerungsstrecke).

Maximale Rutschbreite

Gesamtlänge der Rutschung

= maximale Rutschlänge + Länge der Ablagerung

abgebildeten Formulare erweitert, um die Auswertungen in Kapitel 6 zu ermöglichen. Aufgrund der großen Anzahl an Rutschungen, der teilweise langen zu Fuß zurück zu legenden Wegstrecken und des großen Zeitdruckes konnten in den angeführten Gebieten nicht alle Rutschungen vollständig erfasst werden bzw. konzentrierten sich die Erhebungen auf die Bereiche, in denen Rutschungen konzentriert aufgetreten waren. Mit zunehmender zeitlicher Distanz zum Ereignis waren viele Spuren nicht mehr eindeutig erkennbar, in Siedlungsräumen, an Straßen und Wegen liefen die Aufräumarbeiten und Reparaturen nach den Schadereignissen auf Hochtouren. Zudem konnten natürlich nicht bei allen Rutschungen sämtliche in den Aufnahmeformularen (siehe Kapitel 9 - Anhang) aufgeführten Merkmale erhoben bzw. geschätzt werden.

Daher wurden bei der Aufnahme der Rutschungen zwei Erhebungsklassen gebildet:

- Hang- oder Böschungs-rutschungen oder initiale Rutschungen im siedlungsrelevanten Bereich mit Schadensfolgen oder Gefährdungen von Schutzgütern; sie wurden angegangen und detaillierter erhoben.
- Rutschungen oder Zugrisse vorwiegend außerhalb des siedlungsrelevanten Bereiches (Wald, Gerinneabhängen, Hochalpen), die aufgrund ihrer geringen Bedeutung und Schadensfolge nicht detaillierter erhoben wurden. Es sind überwiegend kleinere Hautrutschungen, deren genauere Erhebung aufgrund des geringen Gefährdungspotenzials im Verhältnis zum Aufwand und unter Berücksichtigung der fortschreitenden Aufräumungen im relevanten Raum nicht sinnvoll war. Diese Rutschungen wurden über Beobachtung vom Gegenhang aus und Analysen der Luftbilder aus den Sonderbefliegungen des BEV und des ÖBH lokalisiert und verortet, aber sonst nicht genauer erhoben.



Die Aufnahmen konzentrierten sich zuerst auf die Bereiche, die aufgrund der sofortigen WLIV-Vorkundung als Ereignis- bzw. Schadensschwerpunkte bekannt waren. Später wurden die Erhebungen unter Einbeziehung der Hinweise der Gemeindebediensteten und aus der lokalen Bevölkerung ausgedehnt.

4.2 Hochwasser

Zum Starkregen- und Hochwasserereignis 2005 in Vorarlberg wurde vom Land Vorarlberg (2005) ein umfassender Bericht erstellt. Der Erhebungsauftrag des BFW zum Thema Hochwasser 22./23. August 2003 in Vorarlberg beschränkte sich auf Detailanalysen der Ereignisse an zwei Bächen, dem Höllbach bei Schnepfau und dem Zürsbach bei Lech. Diese Analysen sind Gegenstand des Berichtes, für detailliertere Informationen zum Thema Hochwasser August 2005 in Vorarlberg wird auf den Bericht des Landes Vorarlberg (2005) und die entsprechenden Berichte des BMLFUW (2006a, b, c) verwiesen.

4.3 Rutschungen

Die wichtigsten an den Rutschungen erfassten Merkmale sind in Abb. 4.3.1 und Abb. 4.3.2 angeführt.

In den Kapiteln 3 und 4 wird kurz auf die generelle Situation in Vorarlberg im Vorfeld und während der Ereignisse am 22. und 23. August 2005 eingegangen. Im Aufnahmeportal des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach und Lawinenverbauung (<http://naturgefahren.die-wildbach.at/> - Zugangsberechtigung erforderlich), sind über 225 Schadereignis-Meldungen (Hochwasser, Rutschungen etc.) zum Augustereignis 2005 in Vorarlberg gespeichert. Dabei sind teilweise über 30 Rutschungen in einem Einzugsgebiet unter einer Meldung zusammenge-

Abb. 4.3.2:
Begriffsdefinitionen - erfasste Charakteristika an den Rutschungen:

Anrisshöhen

Maximale Mächtigkeit der Rutschung

fasst und verortet. Die Eingabe jeder einzelnen Meldung in dieses System hätte jeglichen zeitlichen Rahmen gesprengt. In diesem Portal ist weiters eine Vielzahl von Meldungen von Dritten (WLV, Zivilingenieure) mit z.T. unterschiedlichem Informationsgehalt enthalten. Gegenstand detaillierter Analysen sind daher nur die von den Mitarbeitern des BFW in Vorarlberg in den Gemeinden Au, Düns, Dünserberg, Fontanella, Laterns, Mittelberg, Schnepfau, Viktorsbergg, Zürs, und Zwischenwasser aufgenommenen Daten.

5. Niederschläge

Die hydrologische Situation, die zur Hochwasser- und Schadensituation am 22. und 23. August 2005 in Vorarlberg führte, wird in den Berichten von Godina et al. (2005), Müller et al. (2005) und des Landes Vorarlberg (2005) umfassend dargestellt. Basierend auf diesen Arbeiten wird in den folgenden Unterkapiteln ein geraffter Überblick über die Situation im August 2005 gegeben.

5.1 Meteorologische Randbedingungen

Die Schadereignisse wurden durch eine Vb-ähnliche Wetterlage ausgelöst. Dabei spaltet ein Höhentrog aus dem Norden ein Tiefdruckgebiet über Norditalien ab. Derartige Wetterlagen führten schon mehrfach zu Hochwassersituationen in Österreich. Intensive Niederschläge im Westen Österreichs werden dabei eher durch Staueffekte - im Zusammenhang mit raschem Durchzug von Niederschlagsgebieten und bei eindeutigen Westwetterlagen - verursacht (Godina et al. 2005).

5.2 Niederschlagssituation

Beginnend mit 19.8.2005 setzten in Vorarlberg von kurzen Pausen unterbrochene Niederschläge ein. Von 22.8. bis 23.8. gab es intensiven Regen, die

Tab.5.2:
Niederschlagsintensitäten – Vergleich von 5 Schadereignissen zwischen 1910 bis 2005 (Quelle: Weiss 2006)

Mess-stelle	14.6.1910 mm/Tag	21.5.1999 mm/Tag	6.8.2000 mm/Tag	11.8.2002 mm/Tag	22.8.2005 mm/Tag
Bregenz	176	86	46	89	76
Damüls	130	180	105	103	136
Lech	98	123	51	61	150
Ebnit	230	146	120	143	220
Innerlaterns	223	223	116	145	229

gemessenen Tagesniederschlagssummen vom 22.8., 7⁰⁰, bis 23.8., 7⁰⁰, lagen zwischen 48 mm in Lustenau und 214 mm in Au im Bregenzerwald. Die höchsten Niederschlagsmengen (244 mm) wurden in Innerlaterns von 22.8., 10⁰⁰, bis 23.8., 10⁰⁰, gemessen. Dabei fielen am Abend des 22.8. z.B. im Laternsertal innerhalb von 5 Stunden ca. 90 mm, das entspricht einer stündlichen Intensität von ca. 18 mm. Aufgrund der intensiven Regen führten Bäche und Flüsse in weiten Teilen Vorarlbergs Hochwasser, beispielsweise war die Hochwasserspitze an der Bregenzerach und der Frutz höher als 1999. In Ebnit und Innerlaterns wurden vergleichbare Niederschlagsmengen erreicht wie beim Schadereignis 1910 (Tab.5.2; Weiss 2006).

5.4 Vorbefeuchtung

Aus Vorarlberg liegen keine Messwerte über den Grad der Vorbefeuchtung und den Verlauf der Aufsättigung der Böden bei den Niederschlagsereignissen von 22./23. August 2005 vor. Die erste permanent registrierende Bodenfeuchtemessstelle des Hydrographischen Dienstes in Vorarlberg (in Lauterach) wurde erst nach den August-Niederschlägen in Betrieb genommen.

Daher bleibt nur die Möglichkeit indirekter Rückschlüsse durch eine Analyse des Niederschlagsangebotes vor dem Augustereignis:

Der Vergleich langjähriger Monatsmittel der Niederschläge von sieben Stationen in Vorarlberg mit den Monatssummen des Jahres 2005 erlaubt erste Rückschlüsse (Tab.5.4.1). Bei der Station Zürs erscheinen die Monatssummen etwas niedrig.

Die Monatssummen der Niederschläge im Halbjahr vor dem Schadereignis im August 2005 sind uneinheitlich. Während die Werte im Jänner und Feber 2005 bei der Mehrzahl der Stationen deutlich über dem langjährigen Mittel liegen (Tab. 5.4.1 und

Tab.5.4.1:
Langjährige Monatsmittel des Niederschlages (mm) in Relation zu den Monatssummen von Jänner bis August 2005 (Rohdaten: Hydrographischer Dienst Vorarlberg).

Gebiet	Station	Mess- periode	Jänner		Feber		März		April		Mai		Juni		Juli		August	
			Ø	2005	Ø	2005	Ø	2005	Ø	2005	Ø	2005	Ø	2005	Ø	2005	Ø	2005
Laterns	Innerlaterns	1951-2005	122	113	115	140	120	94	137	130	152	186	201	156	216	210	213	445,9
Mittelberg	Baad	1994-2005	149	216	160	165	179	108	133	122	180	216	186	160	244	227	255	406,6
Au	Bizau	1899-2005	123	138	108	122	119	107	142	125	170	262	213	161	225	215	210	418,5
Faschina	Damüls	1896-2005	170	224	156	188	153	91	148	129	162	208	222	162	246	205	231	345,1
Dünserberg	Thüringerberg	1988-2005	84	108	122	154	140	96	122	110	138	177	195	145	204	166	211	389,3
Zürs	Zürs	1931-2005	123	117	118	92	121	63	102	63	124	154	180	140	218	222	211	327,4

Tab.5.4.2:
Abweichungen vom langjährigen Monatesmittel des Niederschlages im Jahr 2005. (Angaben in mm).

Gebiet	Station	Jänner	Feber	März	April	Mai	Juni	Juli	August
Laterns	Innerlaterns	-9,8	24,4	-26,8	-6,7	33,6	-45,5	-6,8	232,6
Mittelberg	Baad	66,4	5,2	-70,6	-10,7	35,9	-26,2	-17	151,5
Au	Bizau	15,2	13,6	-12,4	-16,2	92,4	-52,1	-9,7	208,3
Faschina	Damüls	53,9	31,5	-61,7	-18,9	46,6	-60,1	-40,7	113,8
Dünserberg	Thüringerberg	24	32	-44,6	-12,2	38,3	-49,2	-38,3	178,4
Zürs	Zürs	-5,9	-26,5	-58,5	-39,5	29,6	-40,1	3,8	116,7

5.4.2), weisen der März 2005 ein deutliches und der April ein leichtes Niederschlagsdefizit auf.

Nach Müller und Godina (2005) begünstigten folgende Faktoren die Hochwasserentstehung:

- Die dem Starkregenereignis vorausgegangenen Niederschläge im Juli und August haben die Bodenspeicher aufgefüllt.
- Das Niederschlagsereignis dauerte ca. 30 Stunden ohne Unterbrechung an. Dabei wurden die bereits angeführten hohen Intensitäten von mehr als 10 mm h⁻¹ über mehrere Stunden gemessen.
- Es kam zu einer flächendeckenden Überregnung ganzer Einzugsgebiete.

Im Mai 2005 wird das langjährige Mittel teils sogar signifikant über-, im Juni deutlich unterschritten. Auch im Juli 2005 liegen die N-Werte mit zwei Ausnahmen in der Nähe des langjährigen Schnittes, an den Stationen Faschina (-40,7 mm) und Thüringerberg (-38,3 mm) etwas darunter. Stellt man die langjährigen Monatsmittel und die Monatssummen 2005 gegenüber, ergeben sich in der Bilanz für Jänner bis Juli 2005 mit Ausnahme der Station Bizau Niederschlagsdefizite bis 50 mm (Dünserberg), für Zürs sogar 137 mm gegenüber dem langjährigen Durchschnitt (Tab.5.4.3).

Tab.5.4.3:
Niederschlagsdefizite bzw. Niederschlagsplus im Zeitraum Jänner bis Juli 2005 gegenüber dem vergleichbaren Zeitraum im langjährigen Mittel.

Gebiet	Station	Niederschlagsdefizit bzw. -plus (mm)
		Jänner-Juli 2005
Laterns	Innerlaterns	-37,6
Mittelberg	Baad	-17
Au	Bizau	30,8
Faschina	Damüls	-49,4
Dünserberg	Thüringerberg	-50
Zürs	Zürs	-137

Abflussverhalten und Infiltrationsleistung der Böden wurden also maßgeblich durch die Niederschlagsverhältnisse im August 2005 beeinflusst. Wie aus Tab.5.4.2 ersichtlich, wurden die langjährigen Monatsmittelwerte im August 2005 um 114 mm (Station Damüls) bis 233 mm (Station Innerlaterns) überschritten.

6. Rutschungen - Ergebnisse und Diskussion

6.1 Allgemeines

Insgesamt wurden in den Untersuchungsgebieten Au (Fontanella)⁵, Schnepfau, Laterns, Düns, Dünserberg, Mittelberg, Viktorsberg, Zürs und Zwischenwasser 315 Hangbewegungen verortet und davon 189 Hangbewegungen detaillierter erfasst (Abb. 6.1.1). Weiters wurden 4 Anrisse bzw. Absitzungen erfasst, die aufgrund der Anrisslänge und des möglichen Gefährdungspotentiales für zukünftige Ereignisse von Bedeutung erschienen. Eine größere Hangrutschung konnte aufgrund der bereits abgeschlossenen Sanierung nicht in die Detailanalyse übernommen werden. Es zeigte sich ein eindeutiger Schwerpunkt in den Gemeinden Au und Schnepfau mit zusammen 154 verorteten und 94 detailliert erhobenen Rutschungen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch in diesen Gemeinden nicht alle Rutschungen aufgenommen werden konnten (vgl. Kapitel 4.1), beispielsweise wurden im hinteren Tal der Frutz (Laterns) in Absprache mit der WLW keine Erhebungen durchgeführt und die Arbeiten auf Bereiche mit höherem Gefährdungspotenzial für Siedlungsräume und Infrastruktur konzentriert.

Am Zürsbach kam es nur zu wenigen Rutschungen mit relativ geringer Schadensfolge. Zu berücksichtigen ist, dass sich die Erhebungen auf die bachnahen Bereiche des Zürsbaches und nicht auf das gesamte Gemeindegebiet erstreckten. Bei den Erhebungen stand das Geschiebepotenzial des Zürsbaches im Vordergrund, da die enormen Schäden hauptsächlich auf die Überflutung des Ortszentrums von Lech durch den Zürsbach zurückgingen. Es trat nur eine große Böschungsrutschung (ca. 1.000-2.000 m³ Volumen) mit direktem Infrastrukturschaden in Zürs auf, diese führte zur Beschädigung eines Hotels. Diese Rutschung war zum Erhebungszeitraum bereits voll saniert. Die Ursache sind vermutlich bauliche Aktivitäten. Der Luftbildvergleich lässt erkennen, dass die Böschung „kürzlich“ verändert wurde. Man hat in den Hang hineingebaut und auch nördlich des Neubaus hin den Hangfuß an einer labilen Flanke weggenommen. Zwei weitere größere und fünf kleine Rutschungen führten zu Flurschäden.

In anderen Teilen des Landes, z.B. Klostertal oder Montafon (Bezirk Bludenz) erfolgten die Erhebungen durch Mitarbeiter anderer Institutionen und z.T. nach anderen Kriterien.

Die Lage und räumliche Verteilung der Rutschflächen ist aus den Abb. 6.1.2 bis Abb. 6.1.5 ersichtlich.

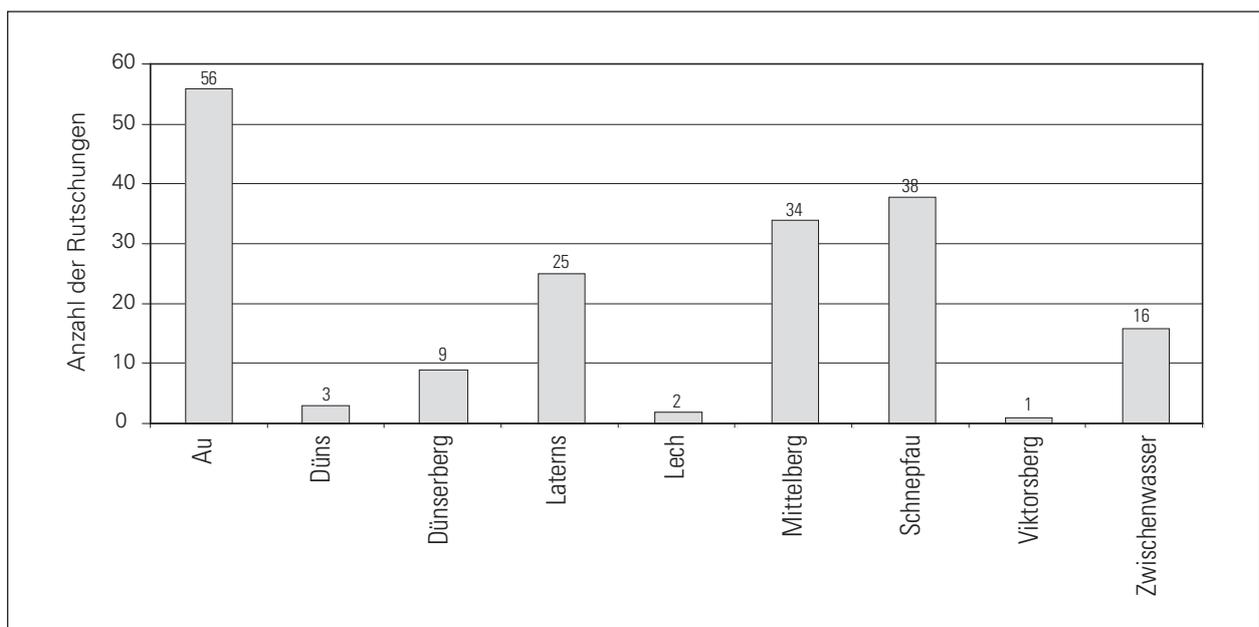


Abb. 6.1.1:
Anzahl der aufgenommenen Rutschungen in den untersuchten Gemeinden.

⁵ Bei den Auswertungen wurden Rutschungen im Gemeindegebiet von Fontanella der Gemeinde Au zugerechnet, da sie knapp an den Gemeindegrenzen auch auf dem Gebiet von Au wirksam waren. Daher wurden auch einige Rutschungen, die im Gebiet von Zwischenwasser liegen, der Gemeinde Laterns zugeordnet. Im Gelände ist es oft sehr schwierig den exakten Grenzverlauf festzustellen, Anbruch- und Ablagerungsflächen können in verschiedenen Gemeindegebieten liegen und auch GPS- bzw. digitale Geodaten weisen Lagefehler auf.

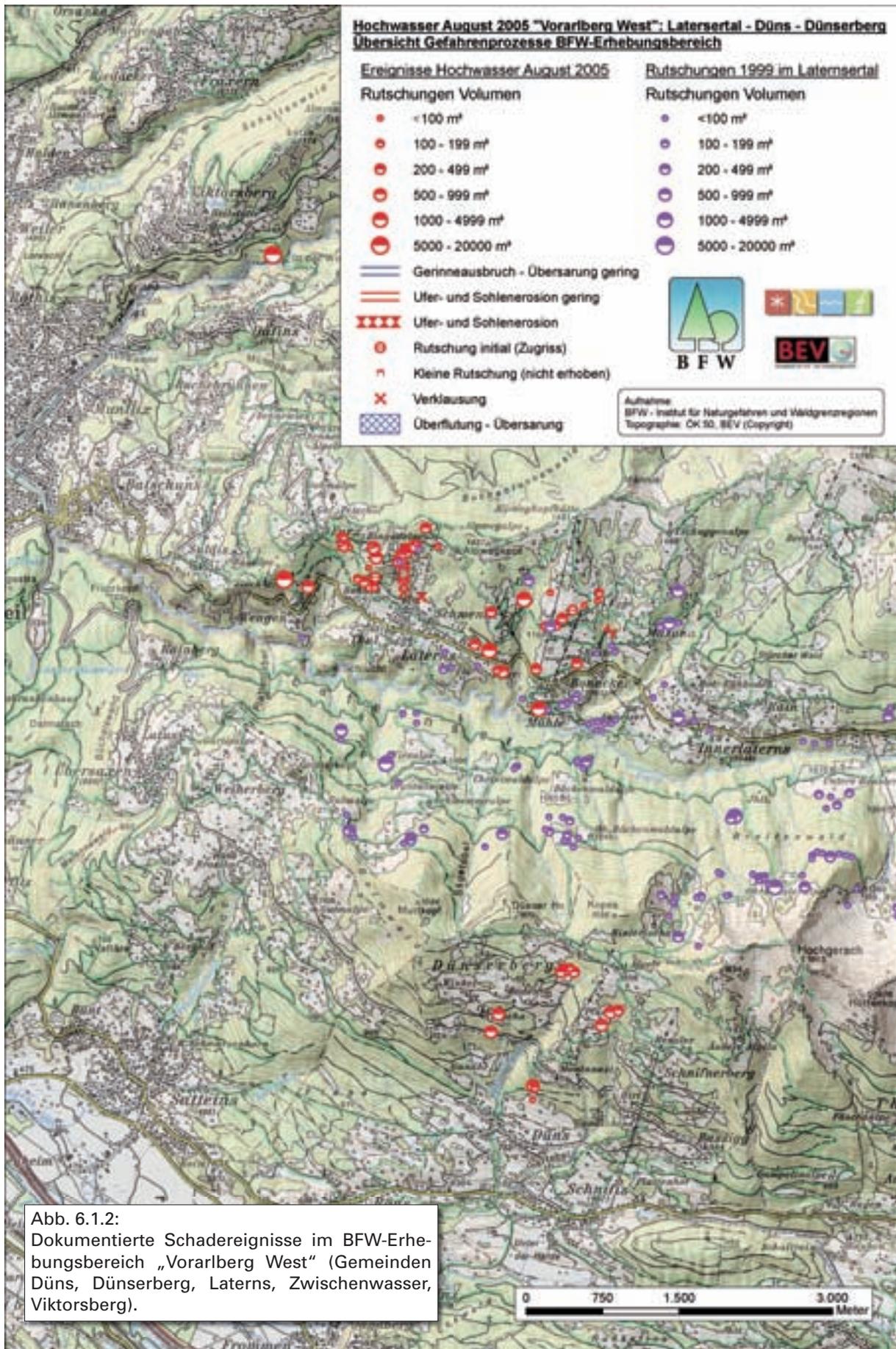


Abb. 6.1.2:
 Dokumentierte Schadereignisse im BFW-Erhebungsbereich „Vorarlberg West“ (Gemeinden Düns, Dünserberg, Laterns, Zwischenwasser, Viktorsberg).

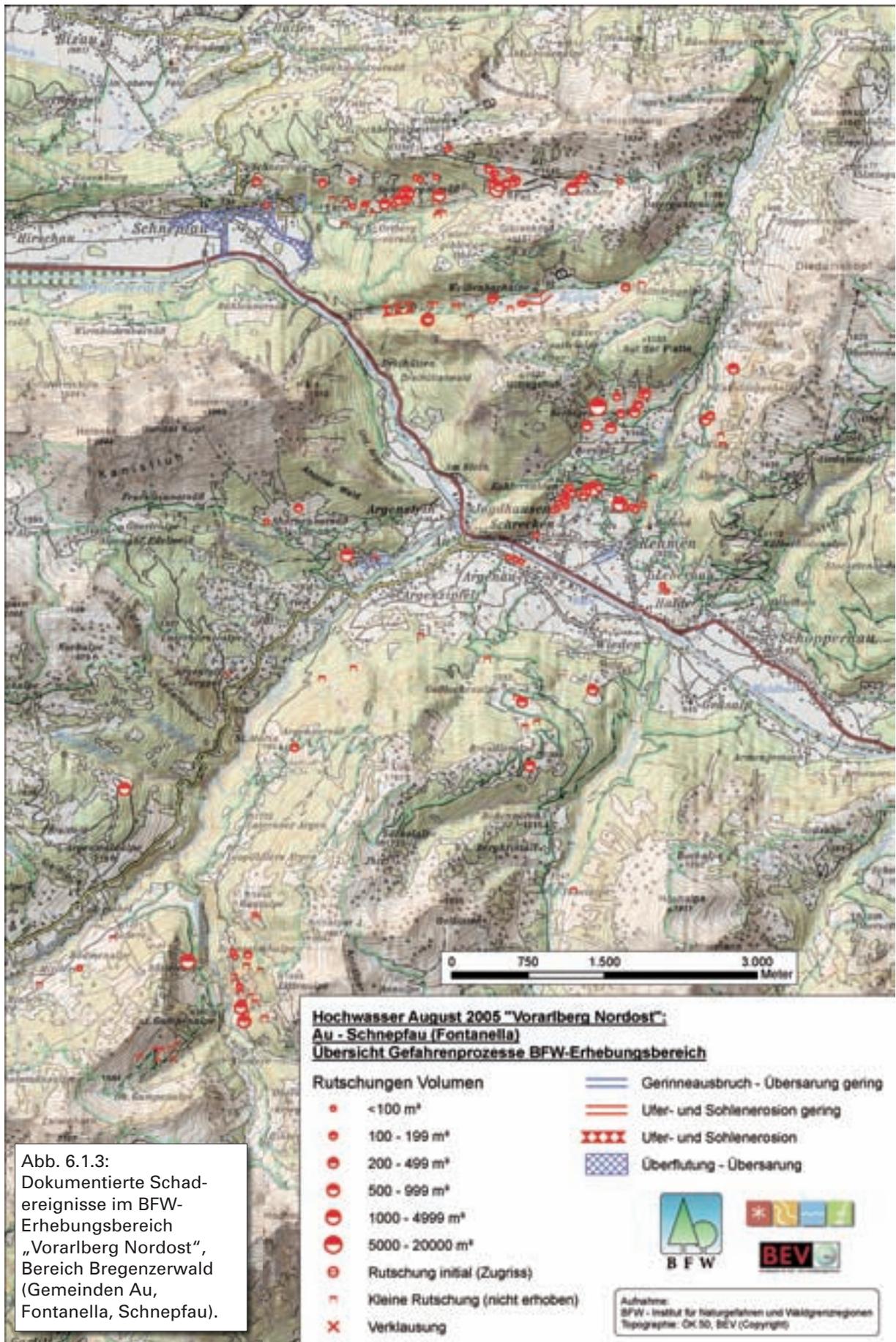


Abb. 6.1.3:
Dokumentierte Schadereignisse im BFW-Erhebungsbereich „Vorarlberg Nordost“, Bereich Bregenzerwald (Gemeinden Au, Fontanella, Schnepfau).

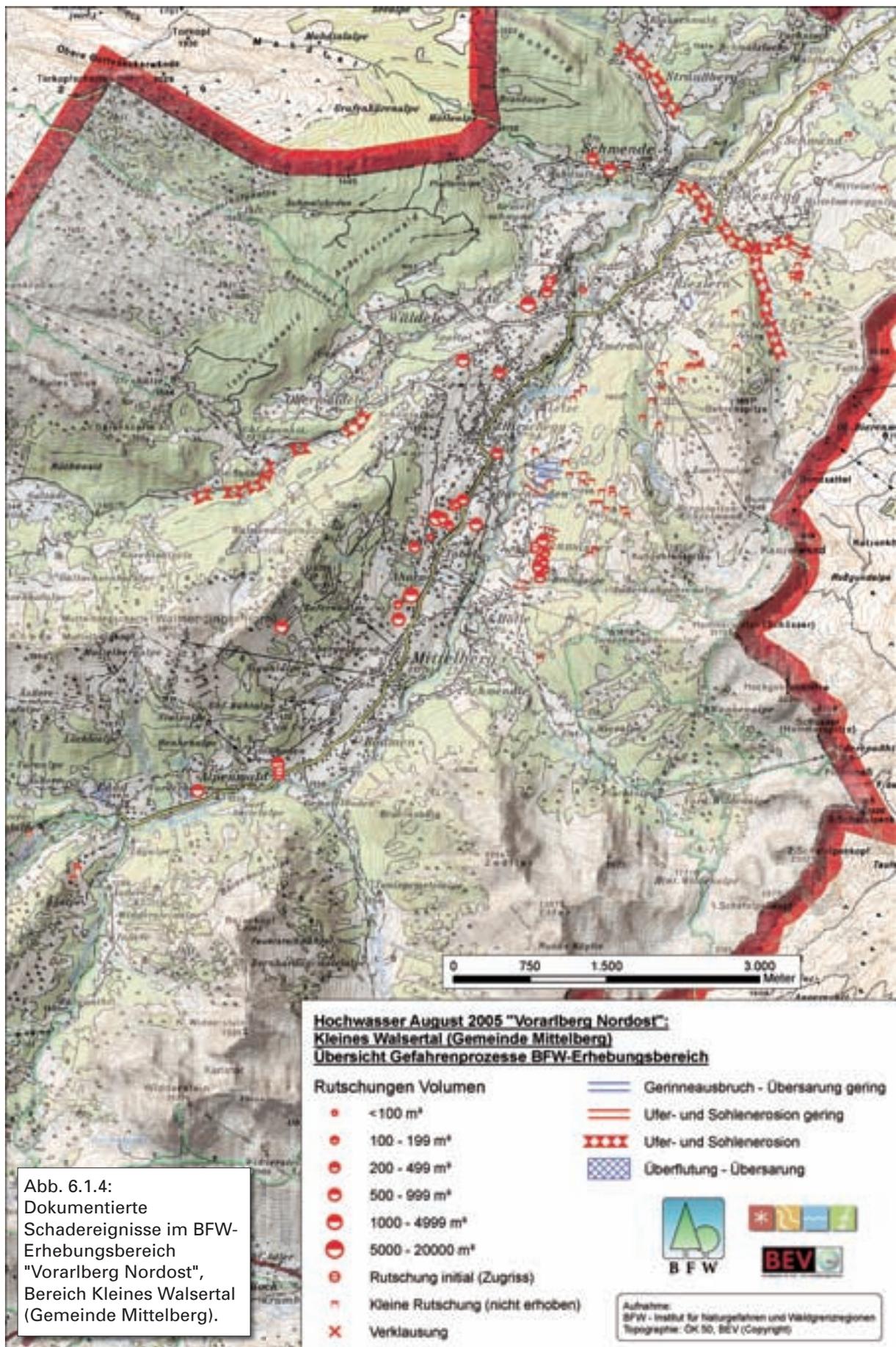


Abb. 6.1.4:
Dokumentierte
Schadereignisse im BFW-
Erhebungsbereich
"Vorarlberg Nordost",
Bereich Kleines Walsertal
(Gemeinde Mittelberg).

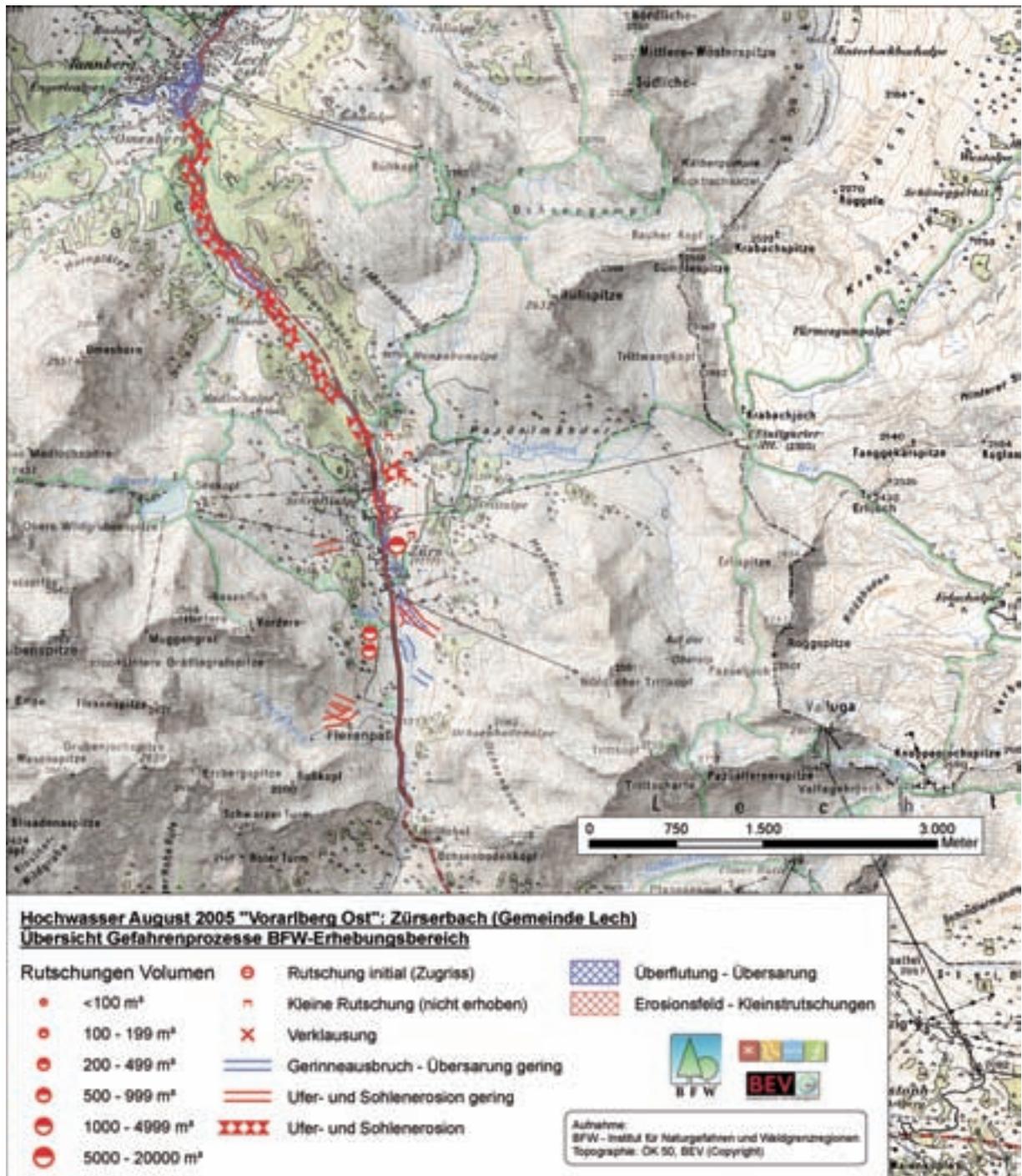


Abb. 6.1.5:
 Dokumentierte Schadereignisse im BFW-Erhebungsbereich "Vorarlberg Ost", Zürsbach (Gemeinde Lech).

Tab. 6.2.1:
Verteilung der aufgenommenen Rutschungen nach der Seehöhe (n = 184)

Gemeinde	700-799	800-899	900-999	1000-1099	1100-1199	1200-1299	1300-1399	1400-1499	1500-1599	1800-1899	Gesamt
Au		14	13	1	4	13	8	3			56
Düns		1	2								3
Dünserberg					2		4	3			9
Laterns		1	3	9	6	8					27
Lech										2	2
Mittelberg				4	9	20			1		34
Schnepfau	1	2	2	7	4	4	7	8	2		37
Zwischenwasser			1		8	6	1				16
Gesamt	1	18	21	21	33	51	20	14	3	2	184

6.2 Auswertung nach Standortmerkmalen

6.2.1 Seehöhe

Die Verteilung der Rutschungen nach der Seehöhe ist ein Summenparameter mit begrenzter Aussagekraft. Einerseits wurden nicht alle Rutschungen in den betreffenden Einzugsgebieten erhoben, andererseits ist darin eine Vielzahl von anderen Faktoren enthalten (Klima, Geologie, Boden, Geländeform, Vegetation, Landnutzung u.a.).

In Mittelberg lösten sich 29 von 34 erfassten Rutschungen (85 %) im Höhengürtel zwischen 1100-1300 m ü.A., 20 Rutschungen (59 %) wurden allein zwischen 1200 und 1300 m ü.A. beobachtet (Tab. 6.2.1). 45 % der 95 in Mittelberg verorteten Rutschungen lagen im Höhengürtel zwischen 1100 und 1300 m ü.A. und 26 % zwischen 1200 und 1300 m ü.A. Die Spannweite aller verorteten Rutschungen in Mittelberg war zwischen 1000 und 1600 m ü.A.

56 % der verorteten Rutschungen und 97 % aller größeren, genauer erhobenen Rutschungen liegen zwischen 1000 und 1300 m ü.A. Diese räumliche Konzentration legt daher auch eine geologische Prädisposition nahe.

In Zwischenwasser traten 88 % der Ereignisse im schmalen Höhenbereich zwischen 1100 und 1300 m ü.A. auf. Bei den anderen Gemeinden trat das Gros der Rutschungen zwischen 1000 und 1500 m ü.A. auf, in Au war die Zone häufiger Rutschungen um 200 Höhenmeter nach unten auf 800 m ü.A. erweitert.

6.2.2 Exposition

Tab. 6.2.2 gibt die Verteilung der aufgenommenen Rutschungen nach der Exposition wieder. Es handelt sich dabei um die Exposition nach einem 25m-

Geländemodell auf Basis des konventionellen 5m-Geländemodells des Landesvermessungsamtes Vorarlberg, zur Verfügung gestellt von der WLVI. Diese Informationen wurden mit der im Gelände aufgenommenen Exposition abgeglichen, wenn diese Daten aus den Geländeerhebungen zur Verfügung standen. Es wird ersichtlich, dass südexponierte Hänge in besonderem Maße von Rutschungen betroffen waren, in zweiter Linie nach SW und SE ausgerichtete Hänge.

Aus Tab. 6.2.2 kann nur eine Tendenz herausgelesen werden, absolute Aussagen wie z.B. bei den Untersuchungen von Andrecs et al. (2002) nach den Ereignissen 1999 im Laternsertal, bei denen sehr häufig Nordhänge betroffen waren, lassen sich im gegenständlichen Fall nicht treffen, weil keine einzige Gemeinde umfassend untersucht werden konnte. Allerdings ergibt sich vor allem für den Raum Laterns eine interessante Diskrepanz zwischen den Ereignissen 2005 und jenen von 1999. Andrecs et al. (2002) dokumentierten 1999 25 % der Rutschungen an nordexponierten und 16,5 % an nach Süden ausgerichteten Hängen. Auch an den Nordhängen

Tab. 6.2.2:
Verteilung der Rutschungen nach der Exposition

Gemeinde	Exposition								Gesamt
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Au	4	2	3	6	25	3	12	1	56
Düns					3				3
Dünserberg					6	3			9
Laterns				5	13	8	1		27
Lech			2						2
Mittelberg	1		7	13	4	1	8		34
Schnepfau	1			1	22	10		3	37
Zwischenwasser				1	10	4	1		16
Gesamt	6	2	12	26	83	29	22	4	184

im Laternsertal wurden im August 2005 eine Vielzahl von Rutschungen beobachtet. Diese liegen jedoch außerhalb des raumrelevanten Bereiches und wurden daher bei den Aufnahmen nicht berücksichtigt. Die 1999 und 2005 in Laterns erfassten Rutschungen sind in Abb. 6.1.2 verortet.

6.2.3 Geländeform

Tab. 6.2.3 zeigt die Verteilung der Rutschungen nach den vorherrschenden Geländeformen. Die Beurteilung erfolgte im Längsprofil (in der Falllinie) nach dem dominanten Hangabschnitt. Das Gros der Rutschungen (58 %) trat an Mittelhängen auf.

- Die für die Erhebungen extern vorgegebenen Aufnahmekriterien ließen keine Differenzierung nach dem Begriff „Hangversteilung“ zu. Häufig traten Rutschungen unterhalb von Geländeknicken (Hangversteilungen) auf, diese Anrisse mussten mangels anderer Einordnungsmöglichkeiten auch unter der Rubrik Mittelhang subsumiert werden.
- Vielfach wurden Anrisse an Wegen (oberhalb oder unterhalb) festgestellt. Diese Anrissbereiche wurden mangels anderer Zuordnungskriterien ebenfalls der Rubrik Mittelhang zugeschlagen.

Die Anzahl der an Oberhängen und Unterhängen beobachteten Massenbewegungen lag mit 27 (16 %) bzw. 24 (14 %) auf vergleichbarem Niveau.

Nur eine geringe Anzahl von Rutschungen wurde in gering geneigten Bereichen (Kuppen, Mulden) festgestellt. Meist handelte es sich hier um Übergangsbereiche, z.B. einen Unterhang, der in einer

Verebnung auslief, auf der das Material rasch liegen blieb (Kapitel 6.2.4).

Die vorliegenden Ergebnisse werden durch die Resultate der Untersuchungen oberflächennaher Rutschprozesse von Rickli (2001) in Sachseln (CH) insofern bestätigt, als hier nur ein geringer Anteil (7 % von 280 Rutschungen) an konkaven Hangformen beobachtet worden war, 86 % der Rutschungen in Sachseln fanden an Hängen ohne Wölbung in der Falllinie statt. Aleotti et al. (1996) analysierten 3.000 Abbrüche im norditalienischen Tanaro-Einzugsgebiet; dort hatten die Rutschungen häufig ihren Ursprung in leicht konkaven Hängen mit Neigungen zwischen 30 und 40°.

6.2.4 Hangneigung

Die Messung der Hangneigung birgt große Fehlerquellen, sie muss an repräsentativer Stelle gemessen werden. Nach Werlen (2004) ist die Hangneigung oberhalb der Rutschung aufzunehmen, denn sie ist maßgeblich für die Rutschungsdisposition.

74 % der aufgenommenen Rutschungen traten bei Hangneigungen zwischen 20° (36 %) und 40° (81 %) auf (Tab. 6.2.4). In den Gemeinden Au und Schnepfau mit Kalken und vermergelten Kalken der Säntisdecke als vorherrschender geologischer Grundlage liegt die Mehrzahl der Rutschungen in der Klasse 30-34° (58-68 %), in Laterns wurde die höchste Anzahl bei etwas geringerer Neigung beobachtet (25-29°; 47-55 %). Bei Andrecs et al. (2002) ergab die Auswertung von 145 Rutschungen nach dem Schadensereignis im Mai 1999 ein Maximum bei Neigungen zwischen 31-39° (60-80 %).

Tab. 6.2.3:
Verteilung der Rutschungen nach Geländeformen
(n = 172)

Geländeformen	Au	Düns	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser	Gesamt
Kuppe				2						2
Oberhang	8		1			1	11		3	24
Mittelhang	34	2	7	12		22	15	1	7	100
Unterhang	7			4	2	1	9		4	27
Graben	1			2		7	1		2	13
Mulde/Kessel	2					3	1			6
Gesamt	52	2	8	20	2	34	37	1	16	172

Tab. 6.2.4:
Verteilung der Rutschungen nach Hangneigungs-
klassen (n = 177)

Neigungs- klassen (°)	Au	Düns	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser	Gesamt
15-19			1	1					1	3
20-24	10	1	1	1			7		4	24
25-29	14		3	6	1	13	6		6	49
30-34	18	1	1	6	1	8	14		2	51
35-39	9		2	8		8	7	1	2	37
40-49	4	1	1			3	1		1	11
50-59						2				2
Gesamt	55	3	9	22	2	34	35	1	16	177

6.2.5 Kleinrelief

Neben der Großform wurden im Feld auch die wichtigsten Kleinreliefformen angesprochen (Tab. 6.2.5). Hier waren Mehrfachnennungen möglich, was die insgesamt höhere Anzahl von n = 205 erklärt. 78 Rutschungen (42 % von 184) traten auf äußerlich gleichförmigen, ausgeglichenen Hängen auf.

Tab. 6.2.5:
Rutschungen und Kleinrelief (n = 205)

Kleinrelief	Au	Düns	Dünserberg	Latarns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser	Gesamt
ausgeglichen	20		3	7	2	9	27		10	78
Rinnen/Gräben	27	2	4	8		22	9	1	6	79
Buckel	17			4		1	4			26
Blockflur						4	1			5
Risse				1		11	5			17
Gesamt	64	2	7	20	2	47	46	1	16	205

An 78 Flächen (42 % der Standorte) ergaben sich keine äußeren Anzeichen für eine besondere Bereitschaft zu (oberflächennahen) Massenbewegungen. Bei 79 Massenbewegungen (43 % von 184) war eine Längsgliederung durch kleinere Rinnen und Gräben festzustellen, diese können als Hinweise auf frühere bzw. häufigere lineare Abtragprozesse durch größere

Mengen an Oberflächenwässern bei höherem Niederschlagsangebot interpretiert werden.

Hinweise auf deutliche frühere Bewegungen in Form von Buckeln fanden sich an 26 Standorten (14 % von 184) bzw. in Form von Anrissen bei 17 Standorten (9 % von 184). In Schnepfau wurden 27 Massenbewegungen (59 %) an ausgeglichenen Hängen beobachtet, also auf Standorten ohne bzw. mit nur geringen morphologischen Indikatoren für Bereitschaft zu Hangbewegungen. In den Gemeinden Au, Latarns und Mittelberg traten mehr Rutschungen an durch Rinnen/Gräben strukturierten Hängen auf als auf uniformen Flächen. Für den Raum Mittelberg dagegen lassen sich keine wie immer gearteten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Kleinrelief und Bereitschaft zu Massenbewegungen ableiten.

6.2.6 Kleingerinnenetz

Für eine Interpretation der Ereignisse war es auch von Interesse, ob ein betroffenes Hangsegment dauernd oder zumindest temporär höhere Spenden von Oberflächenwasser über sekundäre Fließwege erhält.

Auf 82% der Flächen (138 Rutschungen) wurden keine direkten Hinweise auf Einflüsse von konzentriertem linearem Oberflächenwasser vermerkt, auf nur 17 % der Flächen (29 Standorte) konnten zum Zeitpunkt der Feldaufnahmen – mehrere Wochen nach den Ereignissen - noch Hinweise auf temporäres und perenniales Fließen gefunden werden (Abb.

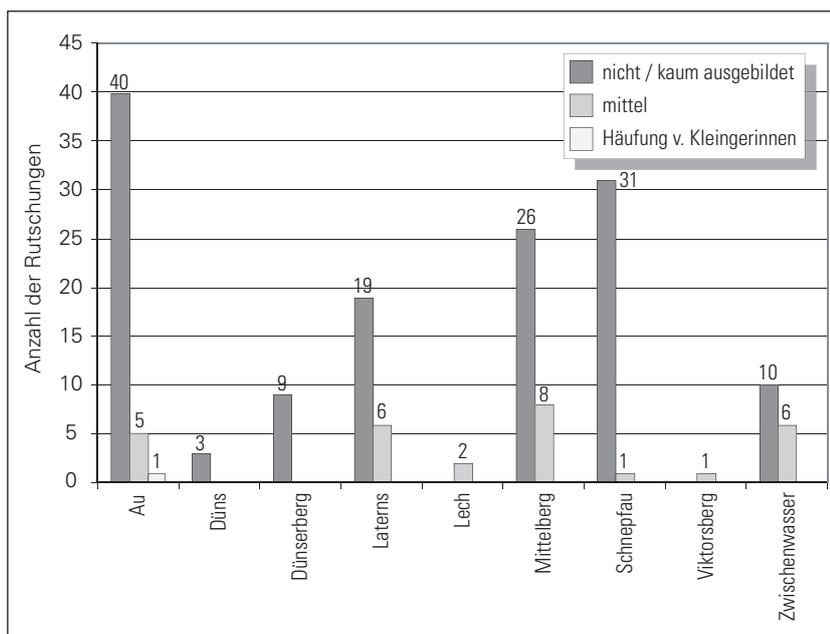


Abb. 6.2.6: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rutschungen und der Dichte des Kleingerinnenetzes (n = 168)

6.2.6). Allerdings wurden bei Feldbegehungen selbst mehrere Wochen nach dem Schadereignis im Raum Au/Schnepfau wiederholt Anzeichen von konzentriertem Oberflächenabfluss in den Anrissbereichen gefunden; ein Faktor, der in mehreren Fällen der tatsächliche Rutschungsauslöser gewesen sein konnte.

6.2.7 Vegetationsform

Die Rutschungen wurden in einem ersten Schritt den Vegetationsformen Wald bzw. Freiland zugeordnet (Abb. 6.2.7.1). Bei drei Rutschflächen konnte keine eindeutige Zuordnung zu einer der beiden Vegetationsbedeckungsarten erfolgen. Von den verbleibenden 181 Flächen lagen 23 % (42) in bewaldetem Gebiet.

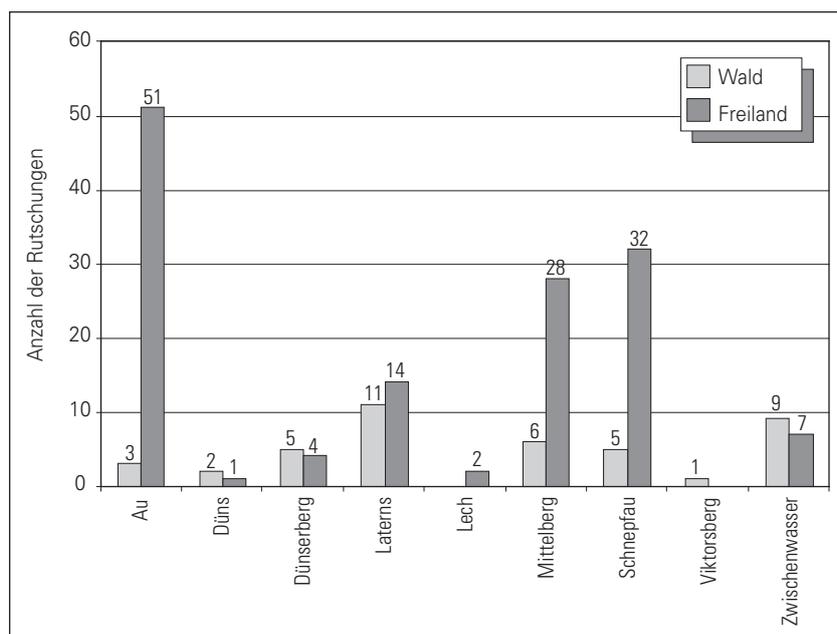


Abb. 6.2.7:
Verteilung der Rutschungen nach Vegetationsform und Gemeinden
(n = 181)

Vegetationsform	Au	Düns	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser	Gesamt
Fichte (Nudum bzw. geringe Bodenvegetation)	2					1	2			5
Fichte (mit Krautschicht)	2					3		1	2	8
Laubmischwälder (Nadelholz beigemischt)		2	5	11		2	1		7	28
Grünerlengebüsch						1	2			3
Planien mit / ohne Ansaat			1							1
Mähwiese	21		1	12			28		7	69
alpiner Rasen (nicht Bürstling)	6	3	5	5		12	8	1		40
Feuchtwiese / (Nieder)Moor	6			4		5			4	19
Sonstige	2			2		3			1	8
Gesamt	39	5	12	34	0	27	41	2	21	181

In den Gemeinden Au und Schnepfau ging der überwiegende Anteil der Rutschungen im Freiland ab (94 % bzw. 86 %). Den höchsten Anteil an Rutschungen im Wald bzw. aus bewaldeten Flächen wurde in Zwischenwasser (9 von 16 Rutschungen) und Laterns beobachtet (11 von 25 Rutschungen). Damit nahmen nur in Zwischenwasser mehr als 50 % der

aufgenommen Rutschungen ihren Ausgang aus Waldflächen. Von den wenigen in den Gemeinden Düns und Dünserberg erfassten Rutschungen lagen jeweils mehr als die Hälfte im Wald. In allen anderen bearbeiteten Gemeinden lag der Anteil der Vegetationsform Wald deutlich unter 50 %.

Bei detaillierter Aufgliederung der Vegetationsdeckung nach den dominanten Vegetationsformen ergibt sich die in Tab. 6.2.7 dargestellte Verteilung. Am höchsten war die Anzahl der Rutschungen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (Mähwiesen, Rasenflächen, Feuchtwiesen) mit 70 % bzw. 128 Ereignissen, wobei allein in den Gemeinden Au und Schnepfau 49 Rutschungen auf Mähwiesen erfasst wurden. Bei den Freilandstandorten trugen Flächen mit dauernd hoher Vorfeuchte (Feuchtwiesen) in nicht unerheblichem Maße zur Schadensbilanz bei (gesamt 19 Rutschflächen).

Traten Rutschungen im Wald auf, handelte es sich häufig um Laubmischwald (11 Rutschflächen von 28 in Laterns und 7 in Zwischenwasser).

Nicht angesprochen werden konnte im Zuge der Erhebungen der Zustand der Flächen (Deckungsgrad, Übershirmung, Alter des Bestandes bei Waldbeständen u.ä.). Die Feldbeobachtungen zeigten aber deutlich, dass Morphologie und Art und Intensität der Bewirtschaftung auch bei Waldbeständen maß-

geblich die Hangstabilität beeinflussen.

Der Effekt der Hangneigung auf die Rutschungsdisposition wurde für jede Gemeinde einzeln geprüft (Mittelwertvergleiche – U-Test nach Mann-Whitney). Es ergaben sich keine signifikanten Einflüsse der Hangneigung auf das Auftreten von Rutschungen unter Wald bzw. im Freiland.

Tab. 6.2.8:
Merkmale zur Abschätzung der Weidewirkung bzw. -intensität (nach Markart et al. 2004)

Weideintensität	Merkmale
keine	keine
gering	<ul style="list-style-type: none"> • Spuren einzelner Viehtritte, Weidegang eher linear – z.B. Verbindungen zwischen zwei Weidegründen; vereinzelt Spuren von Dung. • Im Wald zusätzlich: Vereinzelte Verletzungen an Wurzelaufhängen
mittel	<ul style="list-style-type: none"> • Deutliche Vertrittspuren, aber an keiner Stelle Reduktion des Deckungsgrades unter 0,7. • Bei herbsterlicher Kurzweide auf Mähwiesen: Für ein bis zwei Wochen mit konzentriertem Viehbestand bestoßen. Diese Nutzung ist besonders im Frühsommer bei hoch stehendem Gras nur schwer erkennbar. • Weidezeiger vorhanden. • Im Wald: Verletzungen an Wurzelaufhängen, Spuren von Verbiss durch Weidevieh an Jungwüchsen.
intensiv, hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr starker Vertritt. • Zeigerpflanzen für intensive Beweidung und Bodenverdichtung: Binsen, Kriechhahnenfuß, Rasenschmiele, Rossmünze, u.a. • Vor allem in steileren Lagen auf Grob-Böden mit Feinanteil, Fein-Böden und bindigen Böden Reduktion des Deckungsgrades unter 0,7 (besonders während und nach Perioden mit feuchter Witterung). • Ausbildung deutlicher Viehgangln, diese sind zum Teil offen bzw. erodiert. • In ebenen Lagen (besonders auf feinteilreichen und bindigen Böden): Sehr starke Verwundungen der Grasnarbe (Viehtritte), offensichtliche Verdichtungserscheinungen im Oberboden (z.B. bei Pferdeweide), Häufung von Viehtritten. • Gehäuftes Auftreten von Lägerfluren (z.B. div. Ampfer-Arten als Zeiger). • Häufung von Exkrementen (Dung). • Nur an offen Aufschlüssen sichtbar: Schichtige Lagerung des Oberbodens. • Im Wald: Gehäuftes Auftreten von Verletzungen an Wurzelaufhängen, Vertrittschäden und Verbiss an Jungpflanzen.

6.2.8 Beweidung

Bei den Felderhebungen wurden auch einfache Ansprachen zu Art und Intensität menschlicher Nutzung im Bereich der Rutschflächen durchgeführt. Eine der Hauptnutzungsformen in den Aufnahmegebieten ist die Weide mit Huftieren. Die Weideintensität im Umfeld der Rutschungen wurde nach der von Markart et al. (2004) entwickelten Einteilung (Tab. 6.2.8) eingeschätzt.

Von 179 Rutschungsflächen waren 63 Einheiten (35,1 %) nicht beweidet, 59 Flächen (32,9 %) wiesen einen geringen, 38 Flächen (21,2 %) einen mittleren und 19 Standorte (10,6 %) einen starken bzw. hohen Weideeinfluss auf (Abb. 6.2.8).

Mit Ausnahme von Lech / Ortsteil Zürs war in den anderen 7 Gemeinden der Anteil beweideter Flächen (alle drei Intensitätsstufen zusammen) durchwegs höher als jener der nicht bestoßenen (Abb. 6.2.8).

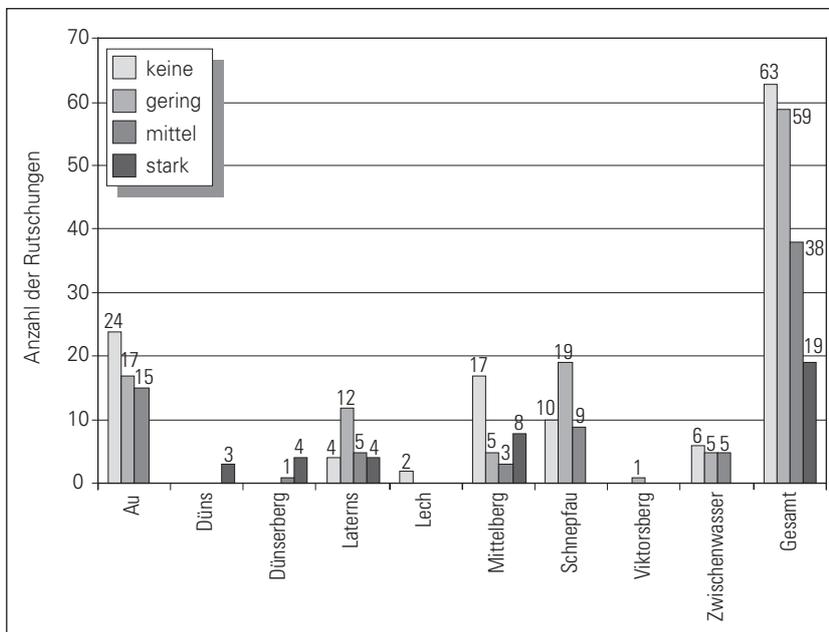


Abb. 6.2.8:
 Zusammenhang zwischen Rutschungshäufigkeit und Weideintensität (n = 179)

Auf mechanisch belasteten Böden ist die Tendenz zur Bildung von Oberflächenabfluss bei Starkregen höher. Dieser Sachverhalt ist in der Literatur vielfach belegt (Bunza und Schauer 1989, Bunza et al. 1996,

Löhmannsröben et al. 2000, Markart et al. 1997, Markart et al. 2004). Untersuchungen des Institutes für Naturgefahren- und Waldgrenzregionen beim BFW zum Abflussverhalten alpiner Boden-/Vegetationskomplexe belegen, dass auf Standorten mit hoher Oberflächenabflussbereitschaft bei Starkregen auch bei Dauerregen ein hoher Anteil des Niederschlages als Oberflächenabfluss und damit nach kurzer Fließstrecke als konzentrierter linearer Abfluss dem Vorfluter zustrebt (Nachtnebel et al. 2005). Das bedeutet aber gerade an Geländekanten oder Straßenböschungen ein erhöhtes Erosionspotential.

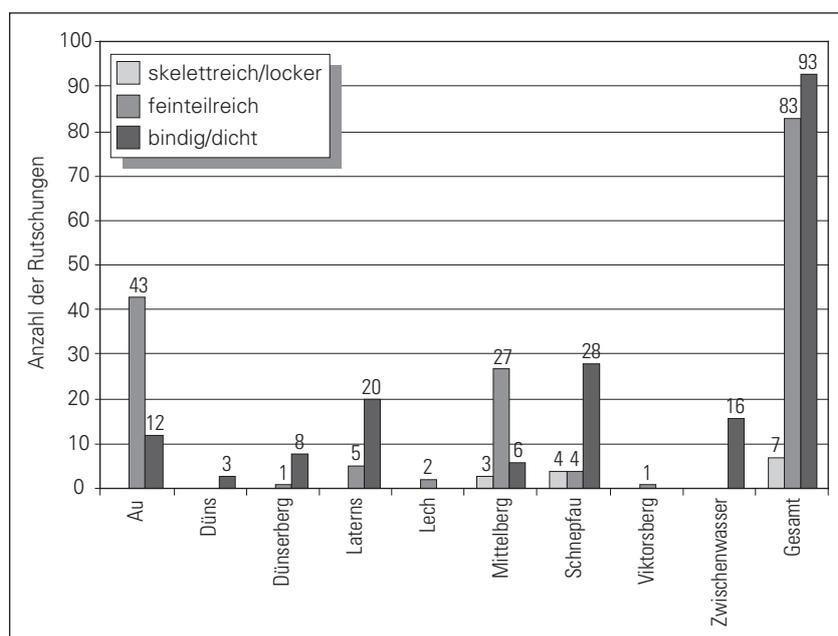


Abb. 6.2.9: Zusammenhang zwischen Rutschungshäufigkeit und Bodenverhältnissen (n = 183)

Tab. 6.2.9: Korngrößenverteilung im Oberboden auf Rutschung Nr. 28 (Sonnberg Vorsäss – Höllbach, Gemeinde Schnepfau).

	Korngröße (µm)	Anteil (Gew. %)	Summe (Gew. %)
Grobsand	2000 - 630	3,20	100,00
Mittelsand	630 - 200	4,80	96,80
Feinsand	200 - 63	2,10	92,00
Grobschluff	63 - 20	33,80	89,90
Mittelschluff	20 - 6,3	22,00	56,10
Feinschluff	6,3 - 2	19,40	34,10
Ton	< 2	14,70	14,70
Bodenart	Sand	10,10	
Schluff (U)	Schluff	75,20	
	Ton	14,70	

6.2.9 Bodenverhältnisse

Die vorherrschende Bodentextur ist häufig Ausdruck des unterliegenden Substrates. Die physikalischen Eigenschaften des geologischen Ausgangsmaterials und des Bodens - insbesondere eine stark ungleichförmige Textur (Springman und Teyseire 2001, Stahr 1991) - üben einen deutlichen Einfluss auf die Rutschungsbereitschaft aus. Daher wurden im Zuge der Felderhebungen in einer gegenüber den Kriterien von Markart et al. (2004) vereinfachten Einteilung die Böden nach skelettreich/locker, feinteilreich bzw. bindig/dicht angesprochen (Abb. 6.2.9).

Rutschungen auf skelettreichem und lockerem, durchlässigem Material kommen nur in untergeordnetem Umfang vor (7 Rutschungen von 183). Überwiegend traten Rutschungen auf Standorten mit feinteilreichen Böden mit ggf. in der Matrix eingebettetem Grobanteil (83 Standorte) oder bei bindig/dichtem Substrat (93) auf. In den Gemeinden Au und Mittelberg wurden Rutschungen vor allem auf feinteilreichem Substrat festgestellt. In Laterns, Schnepfau und Zwischenwasser waren Böden mit einem hohen Schluffanteil rutschungsauslösende Faktoren. Beispielsweise wurde an Rutschung Nr. 28 an der Sonnberg-Vorsäss im Einzugsgebiet des Höllbaches, Gemeinde Schnepfau, durch den

Rutschvorgang transportiertes und entmischtes Bodenmaterial analysiert und ein Anteil von über 75 % Schluff ermittelt (Tab. 6.2.9).

6.3 Auswertung nach Rutschungsmerkmalen

6.3.1 Generelle Angaben

Die aufgenommenen Rutschungen zeigen eine enorme Bandbreite in ihren Abmessungen. So variieren z.B. die Anrissbreite zwischen 1 und 64 m, die Anrisshöhe zwischen 0,2 und 8 m oder das berechnete Rutschvolumen zw. 9 und über 15000 m³. Die zu den in Tab. 6.3.1 aufgelisteten Rutschungsparametern angeführten Medianwerte weisen darauf hin, dass Rutschungen kleineren Ausmaßes überwiegen.

Tab. 6.3.1:
 Generelle Angaben zu den erfassten Rutschungen ($n_{\max} = 184$, Erklärung der Begriffe siehe Abb. 4.3.1 und Abb. 4.3.2)

	Anrissbreite [m]	Anrisshöhe [m]	max. Rutschlänge [m]	max. Rutschbreite [m]	Neigung d. Rutschfläche [°]	Rutschfläche [m ²]	max. Mächtigkeit [m]	Rutschvolumen [m ³]
Minimum	1	0,2	1	5	17	25	0,3	9
Maximum	64	8	110	64	50	5184	6	15551
Median	11	1	18	14	30	230	1,5	192

6.3.2 Dominante Rutschungsform

Erhöhter Porenwasserdruck und das hohe Angebot an Oberflächenwasser waren die wichtigsten Auslöser der Rutschungen. In vielen Fällen handelte es sich um Mischformen von Rutschungsprozessen.

In Abb. 6.3.2 sind die maßgeblichen Bewegungsprozesse der erfassten Rutschungen dargestellt. In dieser Darstellung sind z.B. Hangmuren oder Seiten- bzw. Tiefenerosion nur in untergeordnetem Ausmaß erfasst, da Hinweise auf derartige Prozesse zwar wiederholt an einzelnen Rutschungsabschnitten festgestellt wurden, diese aber meist nicht den dominanten Prozess darstellten.

Der vorherrschende Bewegungstyp ist die Translationsrutschung (117 Standorte, 66 % der aufgenommenen Flächen), wobei auch bei vielen dieser Rutschungen Anzeichen von Rotationsbewegungen gefunden wurden. In den Gemeinden Au/ waren bei vielen Rutschungen Hinweise auf mehrere Prozessmechanismen vorhanden, hier waren Translations-

Tab. 6.3.3:
 Anzahl der Rutschungen nach Anrisshöhen und Gemeinden (n = 183)

Anrisshöhenklassen [m]	Au	Düns	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser	Gesamt
< 0,5	3						1			4
0,5 < 1	22	2	2	4		11	11		9	61
1 < 1,5	20	1	3	6		10	12		3	55
1,5 < 2	5		2	9	1	3	6		4	30
2 < 2,5	4		2	3	1	7	4	1		22
2,5 < 3				1		1				2
3 < 4				1		2				3
4 < 5							1			1
5 < 6	1						2			3
> 6	1			1						2
Gesamt	56	3	9	25	2	34	37	1	16	183

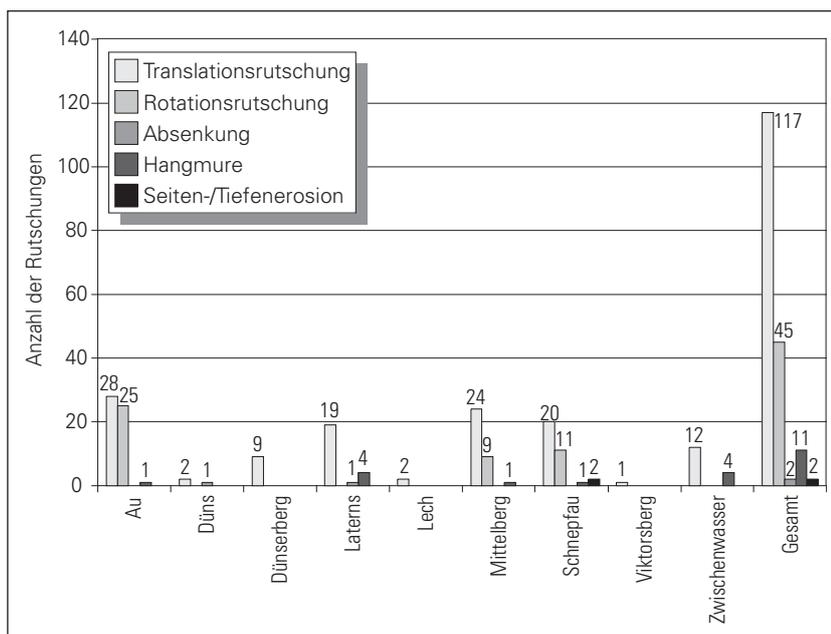


Abb. 6.3.2:
 Dominante Rutschungsprozesse auf den Testflächen (n = 177).

und Rotationsbewegung annähernd gleich häufig. Absenkungen/Absitzungen wurden nur bei entsprechender Größe aufgenommen, daher sind sie hier nur in untergeordnetem Ausmaß vertreten.

6.3.3 Anrisshöhe

Im Gelände wurde die Anrisshöhe durch Messung und Visur mit Maßband bzw. Fluchtstangen ermittelt. Mit zunehmender Anrissmächtigkeit steigt bei Verwendung dieses Verfahrens die Ungenauigkeit der Messwerte. Aus Tab. 6.3.3 sind bei den Gemeinden Au, Mittelberg, Schnepfau und Zwischenwasser deutliche Häufigkeitsmaxima in

den Anrisshöhenklassen $05 < 1$ und $1 < 1,5$ m erkennbar. In Laterns liegt das Maximum eine Klasse höher ($1,5 < 2$ m).

Die Mehrzahl (82 %) der erfassten Massenbewegungen mit Tiefen von < 2 m sind nach Haneberg und Onder Gocke (1994, zit. in Van Asch et al. 1999) als flachgründige Rutschungen zu bezeichnen (< 2 m Anrisshöhe). Nur bei 9 Rutschungen (5 %) ist der Anriss mächtiger als 3 m.

6.3.4 Anrissbreite

Eine Auflistung der Anrissbreiten nach Klassen (Tab. 6.3.4) zeigt für die Gemeinden Au, Laterns, Mittelberg und Schnepfau eine Häufung der Anrissbreiten in den Klassen zwischen 5 und 15 m Breite. Die größten Anrisslängen wurden in Au (Berbigen-Vorsäss) mit 47 m, in Dünserberg mit 49 m, und in Zwischenwasser mit 64 m beobachtet. In Laterns, Mittelberg und Zwischenwasser gibt es noch ein sekundäres Maximum in der Klasse $20 < 30$ m.

Tab. 6.3.4:
Klassen der Anrissbreiten gegliedert nach Gemeinden

Anrissbreite-Klassen [m]	Au	Düins	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser
< 5	5					1	4		
5 < 10	17		1	3		7	17		1
10 < 15	17	1	3	7		12	6		7
15 < 20	8	1	1	1	1	3	6		2
20 < 30	5	1	2	4	1	8	3	1	4
30 < 40	3		1			3	1		
> 40	1		1						2
Anzahl	56	3	9	15	2	34	37	1	16

6.3.5 Rutschlängen

Die Länge des erodierten Rutschkörpers, dabei handelt es sich um die Distanz vom Anriss bis zum Beginn der Transportstrecke, wurde im Gelände mit optischen Distanzmessgeräten bzw. einem Laserdistanzer (Genauigkeit ± 1 m) erhoben.

In den Gemeinden mit einer großen Anzahl erfasster Rutschungen (Au, Laterns, Mittelberg und Schnepfau) dominieren Längen der Rutschkörper zwischen 10 und 25 m (Tab. 6.3.5). Ein sekundäres Maximum gibt es in der Klasse $30 < 50$ m. Rutschkörper mit Längen über 50 m sind nur in untergeordnetem Ausmaß vertreten.

Tab. 6.3.5:
Rutschlängen – Verteilung nach Gemeinden

Rutschlänge-Klassen [m]	Au	Düins	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser
< 5							1		
5 < 10	5			3		1			1
10 < 15	16	1	3	6		8	10		3
15 < 20	14			4	1	11	5		4
20 < 25	12		2	2		5	7		4
25 < 30	2	1		1		4	4		1
30 < 50	5	1	4	5	1	3	9	1	3
50 < 75	1			3		2	1		
> 75	1			1					
Gesamt	56	3	9	25	2	34	37	1	16

6.3.6 Rutschungsvolumina

Die Abschätzung der abgefahrenen Kubatur erfolgte nach dem einfachen Ansatz:

$$\text{Mittlere Rutschungsbreite} \times \text{mittlere Rutschungstiefe} \times \text{Rutschlänge}$$

Diese Angaben lagen nicht von allen Standorten in gleicher Genauigkeit vor, fallweise konnte die Kubatur auch über das Produkt *Anrissstiefe* \times *Anrissbreite* \times *Rutschlänge* grob abgeschätzt werden. Die Autoren sind sich bewusst, dass das Volumen des Rutschkörpers auf diese Weise nur ungenau ermittelt werden kann. Es ergibt sich jedoch eine ungefähre Größenordnung der Massen, die in Bewegung geraten sind. Auf jeden

Tab. 6.3.6:
Rutschungsvolumina – Verteilung nach Klassen in den bearbeiteten Gemeinden (n = 183)

Rutschvolumina-Klassen [m ³]	Au	Düins	Dünserberg	Laterns	Lech	Mittelberg	Schnepfau	Viktorsberg	Zwischenwasser
< 20	3						1		
20 < 50	7	1	1	3		2			
50 < 100	14		1	9	1	7	2		2
100 < 200	15	1	3	4		5	8		3
200 < 500	9	1	4	4		11	10	1	2
500 < 1000	3			4		6	12		9
1000 < 5000	4			1	1	2	4		
5000 < 10000						1			
≥ 10000	1								
Gesamt	56	3	9	25	2	34	37	1	16

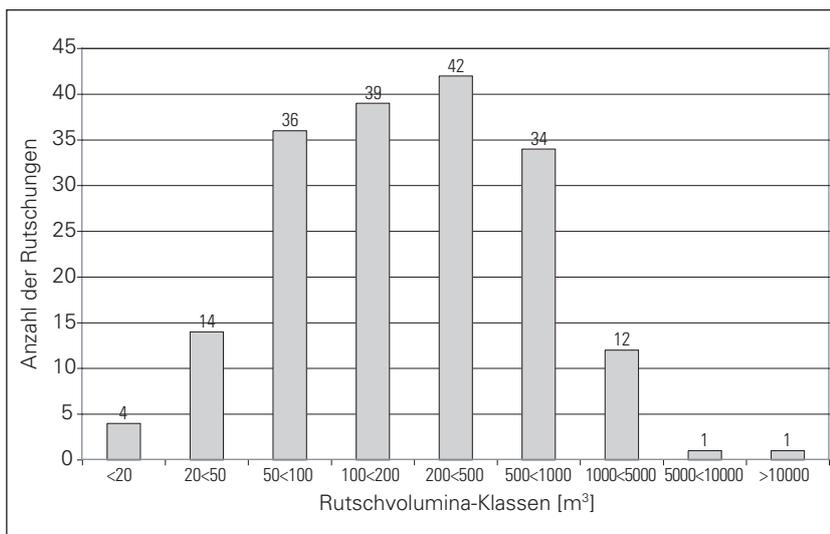


Abb. 6.3.6:
Beobachtete Rutschungsvolumina
(n = 183)

Fall ergeben sich nachvollziehbare und besser reproduzierbare Werte als bei nur auf Felderfahrung basierender Abschätzung der Volumina.

Aus Abb. 6.3.6 ist die Häufigkeit des Auftretens von Rutschungen bestimmter Kubaturen ersichtlich. Über 80 % der Rutschungen wiesen ein Volumen zwischen 50 und 1000 m³ auf. Mit 23 % (42 Rutschungen) war die Klasse 200-500 m³ am stärksten besetzt. Rutschungen < 20 m³ sind in der Aufstellung nur in geringer Anzahl erfasst. Kleinstrutschungen sind im Gelände oft schwer zu erkennen, zudem konzentrierte sich die Aufnahmetätigkeit auf größere gefahrenrelevante Massenbewegungen.

Die detailliertere, gemeindeweise Aufgliederung in Tab. 6.3.6 zeigt einen primär durch die Rutschungen in Mittelberg und Schnepfau verursachten Maximalwert in der Klasse 200-500 m³. Das Gros der in der Gemeinde Au aufgenommenen Massenbewegungen konzentriert sich in den Klassen 50-100 und 100-200 m³. In Schnepfau und Zwischenwasser war eine Häufung größerer Rutschungen zu beobachten (Klasse 500-1000 m³).

7. Ergebnisse und Ursachenanalyse

7.1 Schäden durch Hochwasser mit Geschiebe und Wildholz, Ufer- und Sohlenerosion

Gemeinden Au/Schnepfau

Neben den Schäden durch die Bregenzerach im Bereich der Bundeswasserbauverwaltung haben auch

kleinere Wildbäche in der Erhebungsregion Schäden verursacht.

Hochwasser mit Geschiebe traten in der Gemeinde Au am Rehmerbach und am Leuebächle auf. Am Rehmerbach kam es zu einem Gerinneausbruch mit etwa 7.000 m³ Geschiebeablagerung. Sohl-schwellen und Ufermauern des Gerinnes und Almwege wurden beschädigt.

In Schnepfau verursachten der Weißenbach, der Riesegraben, der Rimsenbach und vor allem der Höllbach (Kapitel 7.2) Schäden. 2 Brücken wurden zerstört. 18 Wohngebäude, 3 öffentliche Gebäude, 7 Gewerbebetriebe sowie Straßen und Uferbefestigungsanlagen wurden beschädigt.

Kleines Walsertal – Gemeinde Mittelberg

Diese Prozesse traten am Gatterbach, am Schwarzwasserbach und vor allem am Schmiedebach auf. Sie führten zu keinen bedeutenden Schäden an der Infrastruktur. Einige Stege von Wanderwegen wurden zerstört oder beschädigt. Nur am Schwarzwasserbach kam es zu Geschiebeablagerungen an einer Freizeitanlage auf kleiner Fläche und zu Erosionsschäden an der Straße.

Abgesehen von der Verlegung und Unterbrechung von Straßenverbindungen, nicht öffentlichen Wegen, Zufahrten und breiteren, für die touristische Region wichtigen Wanderwegen, sowie von der vorbeugenden Evakuierung von 10 Gebäuden mit ungefähr 60 Personen für etwa 24 Stunden waren die direkten Schäden und Störungen durch diese Rutschungen und Ufer- und Sohlenerosionen insgesamt verhältnismäßig gering. 2 Wohngebäude wurden leicht beschädigt. Wesentlich bedeutender waren die indirekten Schäden (Ufer- und

Rutschungssanierung, Gerinneräumung). Direkte und indirekte Schäden im Zuständigkeitsbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung wurden mit 1 Mio. Euro angegeben (Amt der Vorarlberger Landesregierung 2005, S 21-22). Dabei fielen 2/3 auf die Sanierung von Rutschungen.

Laternsertal - Gemeinden Viktorsberg, Zwischenwasser und Laterns

Das Hochwasser der Frutz mit einem geschätzten Spitzenabfluss von $200\text{m}^3\text{sec}^{-1}$ führte zu Schäden im oberen Schwemmkegelbereich am Ausgang des Laternsertales in der Gemeinde Zwischenwasser (Plankensteiner und Wöhrer-Alge 2005). Ein Betriebsgebäude wurde stark beschädigt und eine Doppelgarage zerstört. Außerdem kam es zur Zerstörung des gesamten Uferleitwerkes und aller Sohlgurte auf einer Länge von 300 m. Muren im Bereich des Rohntobels, einem Seitentobel des Laternsertales, verlegten sowohl die Verbindungswege ins Laternsertal, die Landesstraße L 51 als auch die Forstwege, die von Furx aus eine Notverbindung nach Latern ermöglichen (Plankensteiner und Wöhrer-Alge 2005). Die L51 und Bachleitwerke wurden auch durch den Garnitzabach bei Bad Laterns zerstört (Plankensteiner und Wöhrer-Alge 2005). Bei Bonacker kam es durch einen Murgang im Bärenfalltobel zur Verlegung und Beschädigung der Gemeindestraße, die zum Weiler Mazona führt. Es musste eine Behelfsbrücke durch das Bundesheer errichtet werden.

Region Walgau – Großes Walsertal – Gemeinden Düns und Dünserberg

In Düns und Dünserberg kam es zu keinen Schäden durch Hochwasser und Murgang; die Geschiebestausperre im Schnifisertobel wurde aber völlig verfüllt.

Zürsbach (Gemeinde Lech)

Hochwasser- und Geschiebeführung des Zürsbaches führten zur Überflutung und Übersarung des Zentrums von Lech und zur Zerstörung und Unterbrechung der Straßenverbindung über die L 198 nach Lech an mehreren Stellen, vor allem aber im Bereich des engen Mühletobels, einer Klamm des Zürsbaches knapp oberhalb des Kegelhalses. Weitere Details sind dem Kapitel 7.2 (Hochwasser Zürsbach) zu entnehmen.

7.2 Hochwasser Höllbach

7.2.1 Chronik (Ereignisse, Verbauungsmaßnahmen)

Der Höllbach mit einem Einzugsgebiet von $4,37\text{ km}^2$ ist ein rechtsufriger Zubringer der Bregenzerach in der Gemeinde Schnepfau / Vorarlberg. Schadenbringende Ereignisse waren bis zum Hochwasser vom 22.8.2005 am Höllbach aus den Jahren 1911, 1926, 1927, 1954 und 1965 bekannt. Entsprechend lange ist auch die Verbauungsgeschichte:

In den Jahren 1925 und 1926 wurden der Bachlauf umgeleitet, ein Absperrdamm und der Retentionsraum errichtet. In den Jahren darauf erfolgte der Bau zweier Geschiebestausperren (1. Bauwerk 1930, Erhöhung 1961, 2. Bauwerk 1998). Im Unterlauf konzentrierten sich die Verbauungsmaßnahmen auf die Erhöhung und Sicherung des Dammkörpers. Zum Schutz des Dammes wurden 1935 und 1961 zwei Betonmauern mit einer Länge von ca. 150 m errichtet, die später als Dichtkern in einem neuen Damm Verwendung fanden. Es zeigte sich, dass auch diese Maßnahmen nur eingeschränkt wirksam waren. Immer wieder sickerte Wasser großflächig durch den Dammkörper. Im Zuge der Verbauung 1998 wurde daher von hm 2,20 bis hm 5,15 eine 4m hohe Stahlbetonmauer als Dichtkern in den Dammkörper integriert. Zur Abdichtung von hm 5,15 bis hm 8,00 wurde in der Mitte des damals bestehenden Dammkörpers eine 1,5m starke und 3m tiefe mineralische Dichtschicht eingebaut und der Damm wasserseitig mit einer neuen stärkeren Steinschichtung versehen.

7.2.2 Ausgangssituation

Ab dem Nachmittag des 19.8.2006 gab es leichtere Vorregen mit kurzen Niederschlagspausen, Am Vormittag des 22. August gegen 9 Uhr setzten die Niederschläge erneut ein, wurden am Nachmittag intensiver und dauerten in dieser Intensität bis in die Morgenstunden des 23.8. an. Zu Mittag am 23.8. klangen die Niederschläge aus. Die Niederschlagsstation Andelsbuch (7,5 km nordwestlich von Schnepfau) zeichnete in diesen knapp 27 Stunden eine Niederschlagssumme von 235 mm auf, mit einer maximalen stündlichen Intensität von 21,5 mm zwischen 22⁰⁰ und 23⁰⁰.

Im Laufe des Niederschlagsereignisses sättigten sich die großteils vorverfüllten, schluffreichen Böden im Einzugsgebiet weiter auf. Der Porendruck in den



Abb. 7.2.2:
Links: Fluhgraben – Quellöffnung im Kalkfelsen;
Rechts: Sonnberg, Gemeinde Schnepfau - Maul einer Hangexplosion

Hangwassersäulen stieg enorm an. Unterirdisch konzentriert sich das Wasser in Karstsystemen. Im Gebiet, das geologisch der helvetischen Zone angehört, sind umfangreiche Kalke der Kreide vorherrschend. Die rechtsufrigen Zubringer Fluhgraben (Kessel-Tobelbach) und Sonnenbergbach sowie fünf weitere nur periodisch Wasser führende Gräben werden aus solchen Karstquellsystemen gespeist. Diese Quellen dürften gegen Mitternacht mit explosionsartiger Wucht angesprungen sein. Aus Öffnungen im Fels in der Größe von 1 m² ist das Wasser regelrecht aus dem Gebirgsstock geschossen (Abb. 7.2.2, linkes Bild). In den steilen, ca. 30 Grad geneigten Gräben erodierten die Bäche den abgelagerten Hangschutt. Der aus Linienzählanalysen erhobene mittlere Korndurchmesser liegt bei 4 cm, der d90 bei 60cm. Zunehmend brachen Rutschungen aus Seitenerosion in die Gräben nach. Fünf der insgesamt 42 im Einzugsgebiet des Höllbaches festgestellten Massenbewegungen sind durch Seitenerosion ausgelöste Rutschungen. Im vorderen Sonnenbergbach und im oberen Höllbach (Hirschbergbach), in deren Einzugsbereich die ausgedehnten Almflächen liegen, konzentrierten sich Oberflächen- und Zwischenabfluss aus Karstsystemen.

7.2.3 Ereignis und Schäden

Vielorts überstieg der Porendruck der Hänge die Stabilitätsgrenze, es kam im Almbereich nahezu flächig zu Hangexplosionen. Die Textur der Böden (vgl. Kapitel 6.2.9) begünstigte diese Entwicklung. Die Ablagerungsbereiche der Rutschungen waren je nach Geländemorphologie sehr unterschiedlich. 16 Rutsche mit einem gemeinsamen Volumen von ca. 8.000 m³ erreichten zumindest teilweise die Vorfluter. Drei Rutschungen lösten sich aus Blößen bzw. unterhalb von Blößen bzw. räumdig bestockten Flächen im Waldbereich.

An mehreren Stellen führten Rutschungen verbunden mit Wildholz zu zeitweiligen Verklauungen.

Das von den Rutschungen beeinflusste Areal umfasste etwa 5,5 Hektar, das durch die 42 Rutschungen (Lage siehe Abb. 7.2.3) mobilisierte Rutschvolumen lag bei ca. 10.000 m³. Die Almstraße zum Hirschberg wurde zerstört, ebenso eine Quellfassung. Die Brücke über den Höllbach zum Sonnberg-Vorsäß wurde ebenso wie eine weiter talwärts liegende Furt komplett vermurt, die Almstraße selbst an mehreren Stellen zerstört. Beide Geschiebestausperren wurden vollständig verfüllt. In der Folge

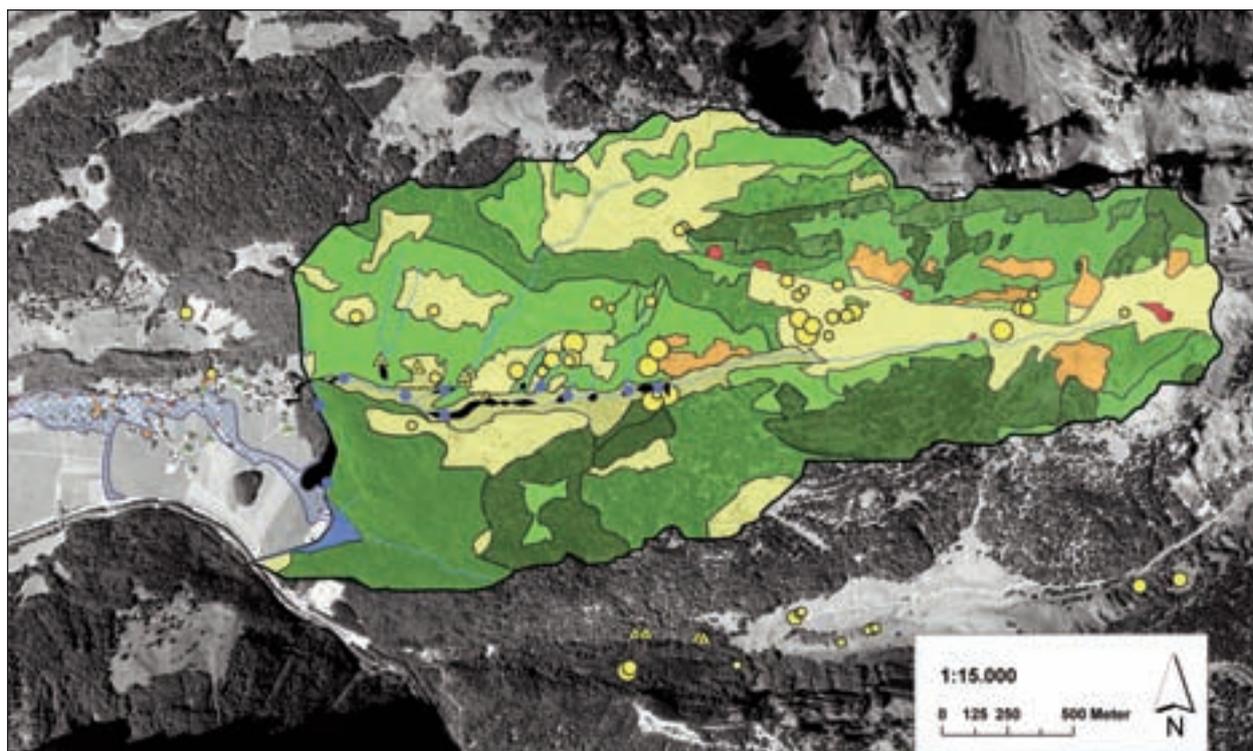


Abb. 7.2.3:
Abflussbeiwertkarte Höllbach – Schnepfau, aufgenommene Rutschungen (kartiert: gelbe Kreise; dokumentiert: gelbe Dreiecke), kartierte Geschiebeablagerung (schwarz), kartierter Überflutungsbereich (Schraffur blau), Profilaufnahmen (blaue Punkte).

Abflussbeiwertklasse	Farbe	Oberflächenabfluss
1	Dunkelgrün	0-10 %
2	Hellgrün	10-30 %
3	Gelb	30-50 %
4	Orange	50-75 %
5	Rot	75-100 %
6	Blau	100 %

verlandete das Geschiebe den Unterlauf. Oberhalb der Mündung ins Retentionsbecken, bei hm 7,4 schließlich brach das Geschiebe nach Augenzeugen gegen Mitternacht in den rechtsufrigen Waldbereich aus. Bis etwa 8 Uhr Früh wurde mittels Bagger versucht das Gerinne frei zu halten. Von den insgesamt ausgeferteten Massen mit einem geschätzten Gesamtvolumen von 5.500 m³ wurden 2.500 m³ im Waldbereich, 1.500 m³ im Bachbett und etwa 1.000 m³ in den angrenzenden Fluren abgelagert. Bei hm 5,0 wurde der Dammkörper offenbar von unterirdischen Quellsystemen aus den linksufrigen Felspartien ausgewaschen. Das Wasser spülte die Mauer im Dammkörper zuerst an der dem Bach abgewandten Seite frei, diese blieb schließlich auf einer Länge von 30 m frei im Bachbett stehen. Die Wassermassen uferten aus und ergossen sich in die Ortsteile Rimsen und Mitteldorf. Nachdem die intensiven Niederschläge auch weitere kleine Gerinne in Schnepfau anschwellen und ausufern ließen (Riesegraben, Rimsenbach) und zeitgleich die Bregenzerach stel-

lenweise überbordete, kann eine genaue Zuordnung der Überflutungsschäden nicht erfolgen. Der Anteil des Höllbachs an der Abflussfracht war jedoch beträchtlich.

7.2.4 Abflussberechnung

Basierend auf der in Abb. 7.2.3 angeführten Abflussbeiwertkarte wurde unter Verwendung des hydrologischen Modelles ZEMOKOST (Stepanek et al. 2001, 2004) eine Abflussganglinie berechnet (Abb. 7.2.4). Diese simulierte Abflussganglinie kann die aufgetretenen Abflussspitzen nur näherungsweise wiedergeben. Es ergibt sich eine Abflussspitze von ca. 12 m³ sec⁻¹. Auf Grund von Verkläuerungen, zeitlichen Überlagerungen von Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss in den obersten Schichten des Substrates (Profiltyp 2 nach Pirkl et al. 2000) und im unterirdischen Abflussgeschehen (tiefgründiger Abfluss – Profiltyp 3 nach Pirkl et al. 2000), sowie kurzzeitig sehr hohen Regenintensitäten dürfte das tatsächliche Abflussmaximum noch deutlich höher gewesen sein.

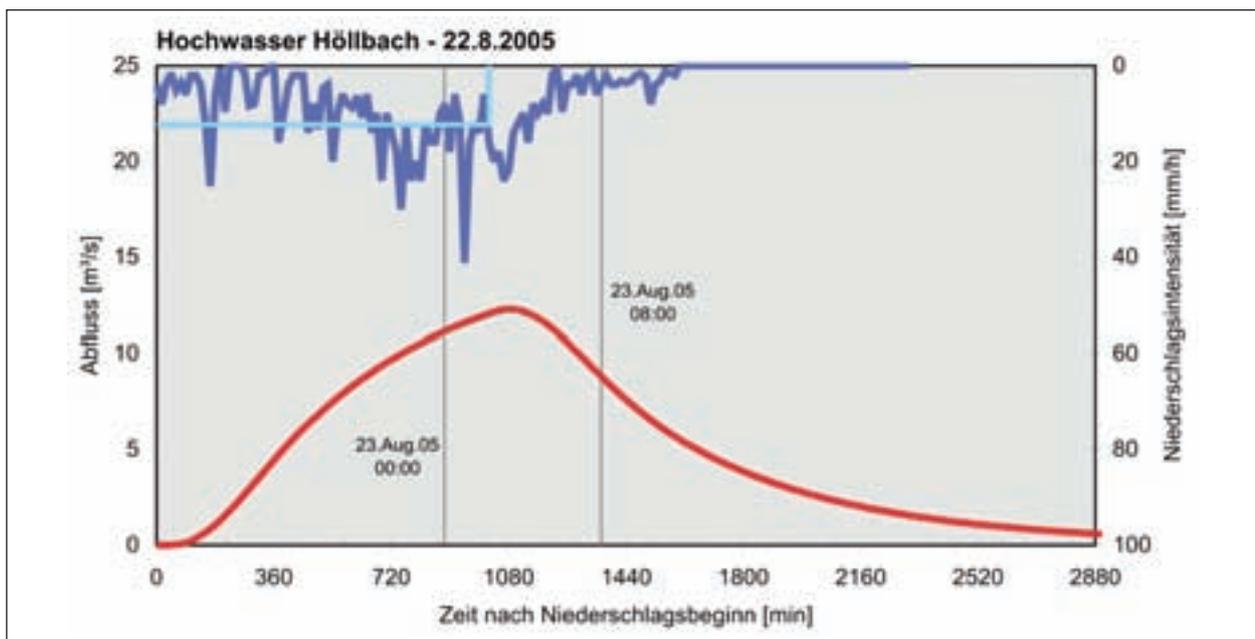


Abb. 7.2.4:

Rote Linie: Mit dem Modell ZEMOKOST (Stepanek et al. 2001, 2004) simulierte Abflussganglinie.

Hellblauer liegender Balken: Blockniederschlag (Dauer 18 Stunden, Intensität 12,4 mm).

Dunkelblaue Linie: Niederschlagsganglinie der Station Andelsbuch zum Zeitpunkt des Ereignisses (Hydrographischer Dienst Vorarlberg).

Zeitpunkt der Geschiebeausuferung 23.8.2005, 0 Uhr.

7.2.5 Verbleibendes Gefahrenpotential

Die Erhebungen des vorhandenen Geschiebepotentials im Höllbach selbst und seinen seitlichen Zubringern ergaben eine mobilisierbare Geschiebemenge in der Größenordnung von 4.000-6.000 m³. Es werden die Untersuchungsergebnisse von Lehmann (1993) in der Schweiz nach den Unwettern 1987 bestätigt: „Auch unmittelbar nach den Ereignissen sind im Gerinne genügend Feststoffvorräte vorhanden, so dass Ereignisse mit ähnlich großen Feststofffrachten jederzeit wieder auftreten können“.

7.3 Hochwasser Zürsbach

7.3.1 Das Ereignis

Die intensiven Niederschläge verursachten Hochwasser mit starkem Geschiebetrieb des Zürsbaches im Gemeindegebiet von Lech, Bezirk Bludenz, Land Vorarlberg. Die schwersten Schäden waren im Ortszentrum von Lech zu verzeichnen, das auf dem Schwemmfächer des Zürsbaches an der Einmündung in die Lech liegt.

Das in diesem Bereich kanalisierte Gerinne konnte in der Nacht vom 22. zum 23.08.2005 die Wasser- und Geschiebemassen mit einem Spitzenabfluss¹ von etwa 50-60 m³/s und die damit verbundene Ereignisfracht nicht mehr fassen. Das Ortszentrum wurde auf einer Fläche von ca. 4,5 ha überschwemmt und überschottert. 40 Gebäude, die meisten davon Fremdenverkehrsbetriebe, wurden vom Hochwasser- und Geschiebetrieb des Zürsbaches direkt betroffen, und zum großen Teil schwer beschädigt (vgl. Abb. 7.3.1.1). Durch Uferanbrüche an der Engstelle des „Mühlelochs“ wurde die Landesstraße L 198 auf ca. 320 m Länge schwer beschädigt – teilweise die halbe Fahrbahn abgerissen – und dadurch die Verbindung nach Lech für über 3 Monate stark erschwert. Bei der Hochwasserabwehr wurde eine Person schwer verletzt und musste mit Geländefahrzeugen der Bergrettung über eine schnell errichtete Notstraße nach Bludenz abtransportiert werden.

¹ Schätzung aus Gerinneprofilen und der Abflusssimulation. Infolge der Veränderungen des Bachprofils während des Geschiebetriebs und durch die Aufräumarbeiten in Verbindung mit den methodischen Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten und Verfüllungsgraden können nur ungefähre Richtwerte angegeben werden. Die Schätzungen von Experten schwanken zwischen 50 und 120 m s⁻¹ Spitzenabfluss.



Abb. 7.3.1.1:

Hauptschadensgebiet der Hochwasserführung des Zürsbaches im Ortsteil Lech: schwere Beschädigung der Landesstraße durch Uferabbrüche beim „Mühleloch“ und Überschwemmung und Überschotterung des Ortszentrums mit schweren Gebäudeschäden.



Abb. 7.3.1.2:
Detailansicht des Schadensbereiches im Ortsteil Unterlech (Ortszentrum), Hochwasser vom 22./23.08.2005;

Geschiebeablagerung – grau

Überflutungen Zürsbach – blau

Überflutungen von Zürsbach und Lechfluss – hellblau

durch Geschiebeablagerung beschädigte Gebäude – rot

Gebäude mit Überflutungsschäden im Bereich Zürsbach –rosa

Gebäude mit Überflutungsschäden im Bereich Lechfluss und Zürsbach – rosa-schraffiert.

Tab. 7.3.1:
Direkte Schäden durch Hochwasser und Geschiebe des Zürsbaches in der Gemeinde Lech.

Schadensart	Menge	Anmerkung
Verletzte Personen (schwer)	1	
Wohn-/Wirtschaftsgebäude [Stk]	40	davon 25 mit schwereren Schäden
Landesstraßen [lfm]	350	davon 30 lfm leicht
Güterwege zerstört [fm]	380	
Güterwege überschottert [lfm]	200	
Kanalisation/Leitungsanlagen [lfm]	200	nur in Zürs; Ortsteil Lech hier nicht berücksichtigt
Wanderwege (zerstört) [lfm]	50	
Landwirtschaftliche Fläche [ha]	5	überschotterte Viehweiden
Kleinbrücken/ Skistege [Stk]	7	davon 2 Skistege/Fußgängerübergänge zerstört

Neben diesen primären Schäden am Schwemmelkegel und am Kegelhalbs kam es auch im Einzugsgebiet des Zürsbaches zu Zerstörungen. Am Unterlauf des Zürsbaches wurden 3,5 ha Weideflächen bis zu 3 m hoch und 200 lfm Güterweg überschottert, die Landesstraße auf 30 m Länge beschädigt, 180 lfm Güterwege und 50 lfm Wanderwege zerstört.

Am Oberlauf bei der Ortschaft Zürs wurden 4 kleinere Brücken und Schistege leicht beschädigt und die am Bach liegende Baustelle der Trittkopfbahn-Talstation überschwemmt. Durch Ufererosion

wurden Güterwege, die Kanalisation und sonstige Leitungsanlagen auf ca. 200 m entlang des Gerinnes schwer beschädigt. In diesem Abschnitt kam es auch zu 3 Hangrutschungen; die größte hatte ein Volumen von ca. 2.000 m³ und beschädigte ein Hotel.

Die Gesamtschadensbilanz im Schadensbereich des Zürsbaches zeigt Tab. 7.3.1. Nur die Kosten für die Wiederherstellung und Sicherung der Straßenverbindung beim „Mühleloch“ (Baufauftragssumme) betragen 4,3 Millionen Euro (Quelle: FM 2005).



Abb. 7.3.1.3: Ortszentrum von Lech beim Hotel Post – der Zürsbach fließt durch das Zentrum von Unterlech über die L 198 und die Uferbegrenzungsmauer in den Lechfluss (Foto: Haus Jägerheim, Lech ©).

7.3.2 Abfluss- und Geschiebeführung - Ursachen und Dispositionsfaktoren

Schadensereignisse am Zürsbach waren bis zum Hochwasser vom 22.8.2005 keine bekannt. Der Hydrographische Dienst gibt für den 22.08.2005 eine Tagesniederschlagssumme für die Station „Zürs“ von 123 mm und für die Station „Lech Omesberg“ von 150 mm an (Hydrographischer Dienst Vorarlberg 2005). Der Reinwasserabfluss beim 150-jährlichen Ereignis wird mit $116 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ angegeben (Wöhler-Alge 2006, mündliche Mitteilung).

Das Einzugsgebiet des Zürsbaches bis zur Mündung in die Lech umfasst eine Fläche von 25,3 km^2 (25,2 km^2 bis zum Schwemmkegelhals). Das Tal verläuft Nord-Süd vom Flexenpass zum Vorfluter im Norden und hat ein mittleres Höhenniveau

(Median) von 2.082 m ü.A.; die Höhererstreckung reicht von 1.457 m ü.A. bis auf 2.809 m. ü.A. (Valluga). Der Median der Hangneigung beträgt 24° .

Nach den CORINNE Landcover Daten Level 2 des Umweltbundesamtes (1999) sind nur 65 ha bzw. rund 2 % des Einzugsgebietes bewaldet. Es überwiegen alpine Rasen und Strauchflächen (Latschen, Grünerle) mit einem Anteil von 63 %, gefolgt von Ödflächen (Fels, initiale Vegetation) mit 35 %. Die alpinen Rasen werden zum großen Teil als Almen genutzt. Vor allem im Bereich „Hexenboden“ und „Madloch“ bei Zürs werden diese Einheiten im Winter als Schipisten genutzt.

Zur Ansprache von Abflusskoeffizienten und Rauigkeiten bzw. zur Abflusssimulation wurden im Rahmen der BFW-Erhebungen in grober Auflösung

Landbedeckungs-/Vegetationseinheiten nach Markart et al. (2004) angesprochen. Daraus ergaben sich die relativen Anteile der Landbedeckungseinheiten nach Tab. 7.3.2.

Das Einzugsgebiet des Zürsbaches liegt im Bereich der Oberostalpinen Decke (Lechtaler Kreide, Plattenkalk, Hauptdolomit). Das Tal ist durch Seitengletscher entstanden, die am Talboden Moränenmaterial und fluvioglaziale Sedimente hinterlassen haben. An den Hangschutt über diesen Sedimenten schließen im Hangenden überwiegend homogene, stark verkarstete Kalkgesteine und wechselfeste Mergel- und Tonsteine an (Ruff 2005).

Daraus resultiert eine stark wechselnde, abschnittsweise nur temporäre Wasserführung des Zürsbaches und seiner Nebenbäche. Aufgrund der leichten Erodierbarkeit der Gesteine hat sich ein dendritisches Bachsystem gebildet (Ruff 2005). Die meisten Bäche sind inter-

Tab. 7.3.2: Landbedeckungs-/Vegetationseinheiten Zürsbach.

Code	Flächentyp	Anteil [%]
10000	Verbaute/versiegelte Flächen	
11000	Vollversiegelung (> 75 % der Fläche Beton, Asphalt, Dächer etc.)	0,0
12000	Halbversiegelung (25-75 % der Fläche Beton, Asphalt, Dächer etc.)	0,5
13000	Teilversiegelung (5-25 % der Flächen Beton, Asphalt, Dächer etc.)	0,9
20000	Vegetationslos/Initialvegetation (Fels, Schutt)	
21000	Vegetations-/Streubedeckung 0-30 %	12,6
22000	Vegetations-/Streubedeckung >30-50 %	2,9
30000	Rasenvegetation - Mähwiesen	
31000	Rasen (alpine Rasen, nicht Bürstling)	63,4
32000	Bürstling-Rasen	0,0
33000	Mähwiesen	0,0
34000	Feuchtwiesen und Niedermoore	0,2
40000	Zwergstrauchheiden	
41000	Alpenrose und Heidelbeere	0,0
42000	Besenheide/Erika	0,0
50000	Buschgesellschaften	
51000	Grünerlen- und Weiden-/Birkengebüsch	6,9
52000	Grauerlen- und Weiden-/Birkengebüsch	0,0
53000	Latschenkrummholz	9,2
60000	Hochstaudenfluren	
61000	Hochstauden, frische-nasse Standorte	0,0
62000	Hochstauden, trockene-frische Standorte	0,0
70000	Wälder	
71000	Nadelwälder (> 70 % NH)	2,1
72000	Laubwälder (> 70 % LH)	0,0
73000	Laub-/Nadel-Mischwälder	0,0
80000	Planien	
81000	Unversiegelte Verkehrsfläche (Güterweg/Forststraße/Lagerplatz/Deponie)	0,3
82000	Skipiste (planierte Skipiste)	0,4
83000	Planierte Weide	0,3
90000	Gewässer/Gletscher	
91000	Gewässer (Seen)	0,3
92000	Gletscher	0,0

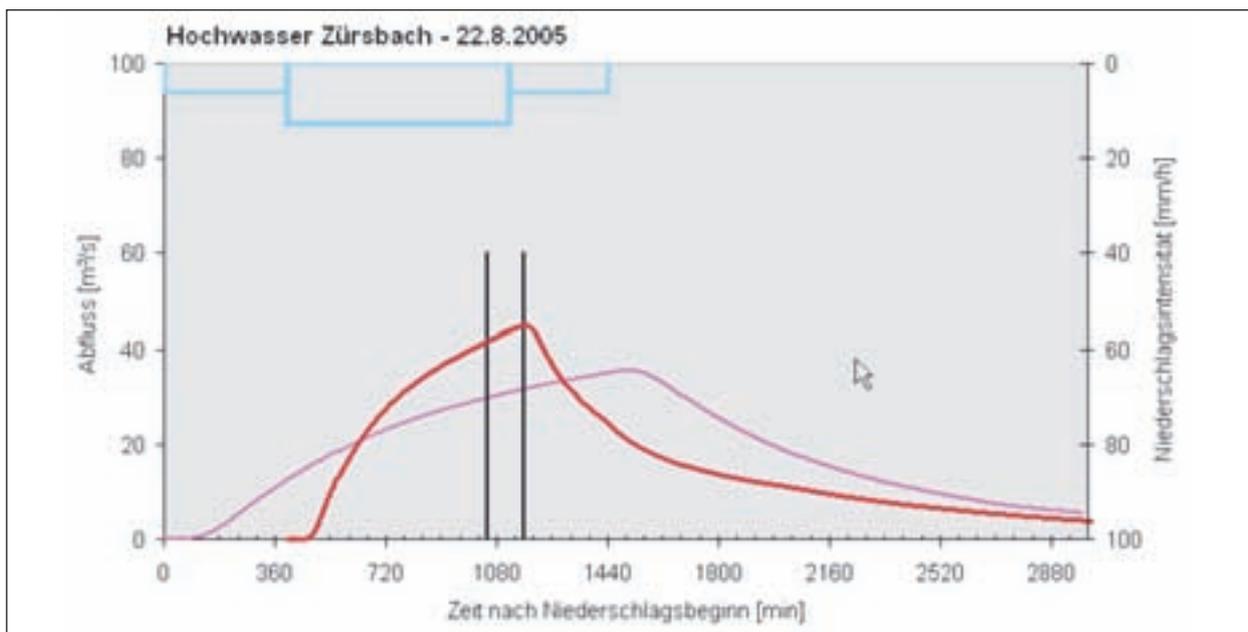


Abb. 7.3.2.1:

Simulation der Abflussganglinie für den Zürsbach mit dem Modell ZEMOKOST (Stepanek et al. 2001, 2004).

Magenta: Abflussganglinie bei Blockniederschlag von 24 Stunden, Intensität 6,25 mm h⁻¹.

Rot: Abflussganglinie bei zeitversetztem Blockniederschlag über 12 Stunden mit einer Intensität 12,5 mm h⁻¹.

Schwarze Linien: Zeitraum der größten Schäden am 23.8.05 zwischen zwei und vier Uhr.

mittierend und es kann durch die Sammelwirkung der Seitenbäche bei Regenfällen zur Kanalisierung großer Wassermengen kommen (Ruff 2005). An den Ausstrichen toniger Formationen findet kaum Versickerung der Niederschläge statt (Ruff 2005).

Niederschläge können fast nur in den Lockergesteinen (Hangschutt) und in den stark verkarsteten homogenen Festgesteinen mit geringmächtigen Bodendecken versickern. Diese Einheiten leiten aber das Wasser aufgrund ihrer geringen Speicherwirkung sehr schnell hangabwärts oder in Karstklüfte, wo es dann an mergeligen oder tonigen Formationen als Schichtquellen oder Karstquellen austritt. Vielfach liegen die Wasseraustritte oberhalb der verdichteten fluvio-glazialen Sedimente, die als Niederterrassen die Bäche umgeben. Ihre Stauwirkung wird durch die Jahrhunderte lange Beweidung verstärkt. Austretendes Wasser kann nicht mehr versickern. Es bildet sich bei Starkregen ein konzentrierter, schneller Oberflächenabfluss mit kurzem Fließweg. Die geringe, stellenweise durch die Beweidung gestörte alpine Vegetation hat bei Starkregen vermutlich keinerlei Retentions- bzw. Verzögerungswirkung.

Abflussbeiwerte und Oberflächenrauigkeiten wurden anhand der Erhebungen im Gelände in grober Auflösung gemäß der Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten nach Markart et al. (2004), modifiziert nach den in Abb. 7.4.3 angeführten

Abminderungskurven für Dauerregen, ausgewiesen. Unter Verwendung eines Geographischen Informationssystems wurden mittels digitalem Geländemodell und Orthofotos Hanglängen und Hangneigungen, sowie die entsprechenden Parameter für das Gerinne bestimmt und zugeordnet. Der mittlere Abflusskoeffizient des Gebietes oberhalb vom Kegelhals wurde mit 0,72 bestimmt.

Mit dem Modell ZEMOKOST (Stepanek et al. 2001, 2004) wurde das Ereignis über Blockniederschläge von 12 bzw. 24 Stunden Dauer simuliert (Abb. 7.3.2.1). Der Modellrechnung wurden die Tagesniederschlagssummen der Station „Lech-Omeshorn“ vom 22.08.2005 mit 150 mm als Blockniederschlag zugrunde gelegt. Dieser Wert entspricht bezogen auf 24 Stunden einer stündlichen Intensität von 6,3 mm, bezogen auf 12 Stunden einer Intensität von 12,5 mm h⁻¹. Die Modellläufe ergaben Abflussspitzen zwischen 30 und 50 m³ s⁻¹. Auf Grund von Verklausungen (Dammbrüche durch Geschiebeeinstöße von Uferabbrüchen mit bis zu 8.000 m³; Verklausungen oberhalb vom Heizkraftwerk und im Kanal im Ortsgebiet nach Zeugen und durch Spuren erkennbar) und Geschiebeführung dürften kurzfristige Abflussspitzen noch höher ausgefallen sein. Der Hydrographische Dienst Vorarlberg gibt für das Hochwasserereignis Mai 1999 am Pegel Zürsbach/Lech eine Abflussspitze von 17 m³ s⁻¹ an. Dieser Wert wurde beim Ereignis 2005 um das Dreifache überschritten. Die Gerinneprofile am



Abb. 7.3.2.2:

Lineare Erosion durch Oberflächenabfluss mit Feilenanbrüchen und frischer Uferanbruch (linkes Bild) mit ca. 80.000 m³. Das „Rinnsal“ im rechten Bild ist kein perennierender oder intermittierender „Bach“, sondern ein Hangwasseraustritt aus einer episodischen Quelle.

Schwemmkegelhals lassen auf eine Abflussspitze von etwa 60 m³ s⁻¹ schließen, bei Unterstellung einer Geschiebeverfüllung von etwa 50 % und eine Fließgeschwindigkeit von ca. 5 m s⁻¹.

Der starke Abfluss hat besonders im unteren und mittleren Gerinneabschnitt vor allem linksseitige aber auch auf der rechten Seite vorhandene Geschiebepotenziale aktiviert. Im Gerinneabschnitt zwischen der Einmündung des Pazüelbaches und der Umlagerungsstrecke beim „Wiesele“ und im Abschnitt unterhalb des „Wiesele“ bis zur felsigen Transitstrecke „Mühleloch“ knapp oberhalb von Lech (vgl. Abb. 7.3.2.2) ist auf 3.600 m Fließstrecke mit einem mittleren Gefälle von 5 (1-19) % ein großer Teil der Ereignis-Geschiebefracht durch massive, überwiegend linksseitige Ufererosion (Ufer- und Feilenan-



Abb. 7.3.2.3:

Geschiebeanbruch und Beschädigung der L 198 durch Uferanbruch beim „Wiesele“.

brüche, Seitenschurf) im Ausmaß von 150.000 m³ (bis zum Kegelhals) entstanden.

Die Geschiebeherde liegen vorwiegend im Altschutt (Grundmoränen bzw. fluvio-glaziale Sedimente, alte Hang- und Bachschuttkegel). Solche Geschiebeherde können lange Zeit steile und stabile Böschungen ohne laufende Abrasion ausbilden. Sie sind dadurch bei Extremereignissen sehr gefährlich und setzen dann große Geschiebemengen frei. Der konzentrierte und schnelle Oberflächenabfluss von den Hängen, der sich beim Starkregen aufgrund der Untergrund- bzw. Bodenverhältnisse bildete, hat die Altschuttkörper der Bachböschungen feilenartig erodiert. Durch die hohe Abflussintensität im Gerinne wurde auch der Böschungsfuß angegriffen. Dadurch ging die Stabilität der bis zu 40 m hohen Böschungen verloren und es bildeten sich rutschungsartig neue Uferanbrüche (Abb. 7.3.2.2). Ältere Anbrüche wurden aktiviert bzw. es entstanden Nachböschungen.

Von den Nebenbächen des Zürsbaches hat nur der Pazüelbach durch Erodierung des Schwemmkegels größere Geschiebemengen geliefert. Ein Teil des Geschiebes (ca. 70.000 m³) wurde entlang der Umlagerungsstrecke beim „Wiesele“ akkumuliert. Dort kam es auf etwa 3,5 ha Weidefläche zu Überschottierungen mit einer Mächtigkeit von bis zu 3 m (Abb. 7.3.2.3). Diese Gebirgsbachau hat als natürlicher Geschiebeablagerungsbereich noch schwerere Schäden bzw. Vermurungen in Lech verhindert.

Das aktuelle Geschiebepotenzial des Zürsbaches wurde mit ca. 70.000 m³ geschätzt.

7.4 Rutschungen – Kurze Diskussion der Auslöseursachen

Hoher Zeitdruck und limitierte personelle Ausstattung schränkten den Umfang der Aufnahmen und damit zwangsläufig die Aussagekraft der Ergebnisse ein. Beispielsweise konnten in keinem Arbeitsbereich die Rutschungen annähernd vollständig erfasst werden.

Im Folgenden werden einige Aspekte des Rutschungsgeschehens diskutiert, auch hier setzen der zeitliche Horizont, Datenumfang und –qualität Grenzen.

Einfluss des Niederschlages

Bis Ende Juli 2005 lag der Niederschlagsgenuss im Arbeitsgebiet mit Ausnahme der Station Au im Bregenzerwald (+ 31 mm) sogar um bis zu 137 mm (Station Zürs) unter dem langjährigen Mittel. Die Analyse der meteorologischen Vorbedingungen (Kapitel 4 und 5) zeigt deutlich, dass primär die Niederschlagsituation im August ausschlaggebend für die Schadereignisse war. Es erfolgte ein Vorbelastrung des Systems durch nur von kurzen Pausen unterbrochene Niederschläge zwischen 19. und 22.8.2005. Von 22. auf 23. August fielen dann die konzentrierten Niederschläge von 50-240 mm (Godina et al. 2005).

Der Niederschlagspeak von 22. auf 23. August fungierte dann als Auslöser für eine Reihe von Rutschungen z.B. im Höllbach am frühen Morgen des 23.8. (zwischen 4⁰⁰ und 5⁰⁰), wie aus Gesprächen mit Augenzeugen rekonstruiert werden konnte.

Rutschungsformen

Beim Niederschlagsereignis wurden primär postglaziale Sedimente aktiviert (Ess 2005, Mayerl 2005, Feldbeobachtungen). Das extreme Wasserangebot führte zu einer Erhöhung der Porenwasserdrucke und einer deutlichen Verminderung der Kohäsion der Böden. Das Festgestein und quartäre Talverfüllungen in Form von überkonsolidierter Moräne (im Allgemeinen bis etwa 1.500 m Ü.A.) stellten i.d.R. den Wasser stauenden Untergrund dar.

In den Bächen trug der Seiteneintrag durch Unterschneidungen der Einhänge zur Murtätigkeit bei, wiederholt kam es zu Murgängen als Folge massiver Verkläusungen.

Bei den Rutschungsformen dominierten Translationsrutschungen (n = 117), in zweiter Linie Rotationsformen (n = 50). Wiederholt traten diese Formen auch in Kombination auf. Die Rutschmassen

bestanden überwiegend aus gering- bis mittelmächtigen Bodenschichten, umgelagertem Hangschutt (Moränenmaterial, gelegentlich mit Blockwerk bis über 2 m) in einer schluffig bis teilw. sandig-kiesigen Matrix. Oberflächennahe Wasserzutritte konnten in der Mehrzahl der Anrisse beobachtet werden. Die Gleitflächen entsprechen meist hangparallelen (Tonschiefer-)Schichten der verschiedenen, oft wechselgelagerten Gesteinstypen.

Einfluss des Substrates

Überwiegend traten Rutschungen auf Standorten mit feinteiligen Böden mit ggf. in der Matrix eingebettetem Grobanteil (83 Standorte) oder bindig/dichtem Substrat (93 Standorte) auf. In den Gemeinden Au und Mittelberg wurden Rutschungen vor allem auf feinteiligem Substrat beobachtet. In Laterns, Schnepfau und Zwischenwasser waren Böden mit einem hohen Schluffanteil in besonderem Maße betroffen. Die ungünstige Zusammensetzung des Substrates dürfte auch mit die Ursache dafür gewesen sein, dass in Laterns mehrfach Rutschungen in Laubwäldern abgingen (vgl. Tab. 6.2.7).

Mehrfach wurden Häufungen von Rutschungen entlang schmaler Höhenbänder beobachtet, z.B. in Mittelberg zwischen 1.100 und 1.300 m ü.A. (Kapitel 6.2.1). Diese räumliche Konzentration legt einerseits eine geologische Prädisposition nahe. Andererseits erfolgt in diesem Höhengürtel eine konzentrierte Nutzung (Siedlungsband, Weidenutzung im Siedlungsband, geringerer Waldanteil, etc.). Zudem wurden im Rahmen der gegenständlichen Untersuchungen primär die siedlungsrelevanten Rutschungen ausgewertet. In diesem Höhenband liegen fast deckend überkonsolidierte Grundmoränen und kleinere Zonen mit Piesenkopfschichten. Nach Mayerl (2005) wirkten überkonsolidierte Grundmoränen in vielen Rutschhängen als Stauhorizonte. Mehrfach konnte beobachtet werden, dass überlagerndes weniger dichtes Lockergestein (Boden) auf hellgrauer Grundmoräne abgeglitten war. Im Kleinen Walsertal waren die beobachteten Grundmoränen Fernmoränen kalkalpiner Herkunft und wurden durch eiszeitliche Gletscherauflast überkonsolidiert. Sie unterscheiden sich durch ihre hellgraue Farbe, den hohen Anteil an sandig bis tonigem Schluff und dem Auftreten von kalkalpinen gekritzten Geschieben deutlich von anderen Lockergesteinstypen. Nach der ÖNORM B 4401(3) können die angetroffenen Grundmoränen folgendermaßen klassifiziert werden: hellgrauer, ungeschichteter, feinkörniger Boden. Schluff, sandig, (gering) tonig,

(gering) kiesig. Generell sind es gering plastische hellgraue, sandige bis tonige Schluffe, die verschieden starke, aber stets vorhandene Anteile von Kiesen, Steinen und auch Blöcken führen. Auch die Piesenkopfschichten, eine Wechselfolge von feinplattigen Tonen und Tonmergeln mit gebankten Kalken und Mergelkalken, begünstigen Rutschungen.

Effekte der Hangneigung

Die verschiedenen Substrate äußern sich auch in unterschiedlicher Rutschungsdisposition bei wechselnden Hangneigungen. In den Gemeinden Au und Schnepfau, mit Kalken und vermergelten Kalken der Säntisdecke als vorherrschender geologischer Grundlage, wurde ein Maximum in der Klasse 30-34°, beobachtet, in Laterns auf Leistmergel und vermergelten Kalken der Drusbergschichten lag das Maximum etwas niedriger (25-29°). Allerdings sind die Rutschungen in Au und in Schnepfau in den übrigen Neigungsklassen zwischen 20-39° in annähernd gleicher Anzahl verteilt (vgl. Tab. 6.2.4). In Laterns verteilen sich die größten Häufigkeiten auf die Klassen zwischen 25 und 39°. Für die Drusbergschichten merkt auch Rickli (2001) in Sachseln eine überdurchschnittliche Rutschungsaktivität an.

Eine direkte Übertragbarkeit der Rutschungsdisposition in Abhängigkeit von der Neigung auf andere Landesteile ist nicht zulässig, wie auch die Ergebnisse der Untersuchungen in der Schweiz nach den Ereignissen 1997 in Sachseln (Rickli 2001) und Melchtal (Hamberger 2000) zeigen. Im Wesentlichen bestätigen die im Rahmen der gegenständlichen Aufnahmen gemachten Beobachtungen die Ergebnisse von Springman und Teyseire (2001). Diese

berechneten zwei heterogen texturierte Moränenböden unterschiedlicher Neigung (31° und 42°) zwei Tage lang mit 8-22 mm/h, wobei bei der stärker geneigten Fläche ein flacher Rutsch ausgelöst wurde. Der Effekt der Neigung wird zusätzlich durch Qualität des Substrates und gegebenenfalls vorhandene impermeable Schichten bzw. Trennschichten, sowie anthropogene Einflüsse (Bewirtschaftung, Infrastrukturmaßnahmen) verstärkt.

Vegetationsbedeckung und Bewirtschaftung

Die Mehrzahl der Rutschungen erfolgte im Freiland auf Mähwiesen, Rasenflächen, oder Feuchtwiesen (70 % bzw. 128 Anbrüche von 181), wobei allein in den Gemeinden Au und Schnepfau 49 Rutschungen auf Mähwiesen erfasst wurden.

Eine der großen in Vorarlberg erfassten Rutschungen ereignete sich auf der Berbigen-Vorsäß oberhalb von Au im Bregenzerwald (Abb. 7.4.1 - linkes Bild). Die Massenbewegung weist eine geschätzte Kubatur von mindestens 15.500 m³ auf, die Größe der Rutschfläche liegt bei ca. 3 ha. Bei diesem Schadereignis wurden ein Alpgebäude zerstört und zwei weitere Gehöfte schwer beschädigt. Die aus der Rutschung frei werdenden Wassermassen lösten unterhalb Hangmuren und kaskadenartig acht weitere Folgerutschungen mit einem geschätzten Volumen von 2300 m³ und einer Gesamtanbruchfläche von ca. 1,5 ha aus. Diese Rutschungen hatten Auswirkungen bis in den Siedlungsraum am Talboden (Abb. 7.4.1 - rechtes Bild).

Rickli (2001) stellte bei der Analyse der Schadereignisse in Sachseln 1997 Unterschiede in der Rutschungsaktivität zwischen Wald und Freiland fest,



Abb. 7.4.1:

Großrutschung Berbigen bei Au im Bregenzerwald (linkes Bild). Im rechten Bild sind unterhalb des Waldstreifens die durch das vom Rutschungsmaterial befreite, linear konzentriert abfließende Wasser ausgelösten Folgerutschungen erkennbar.

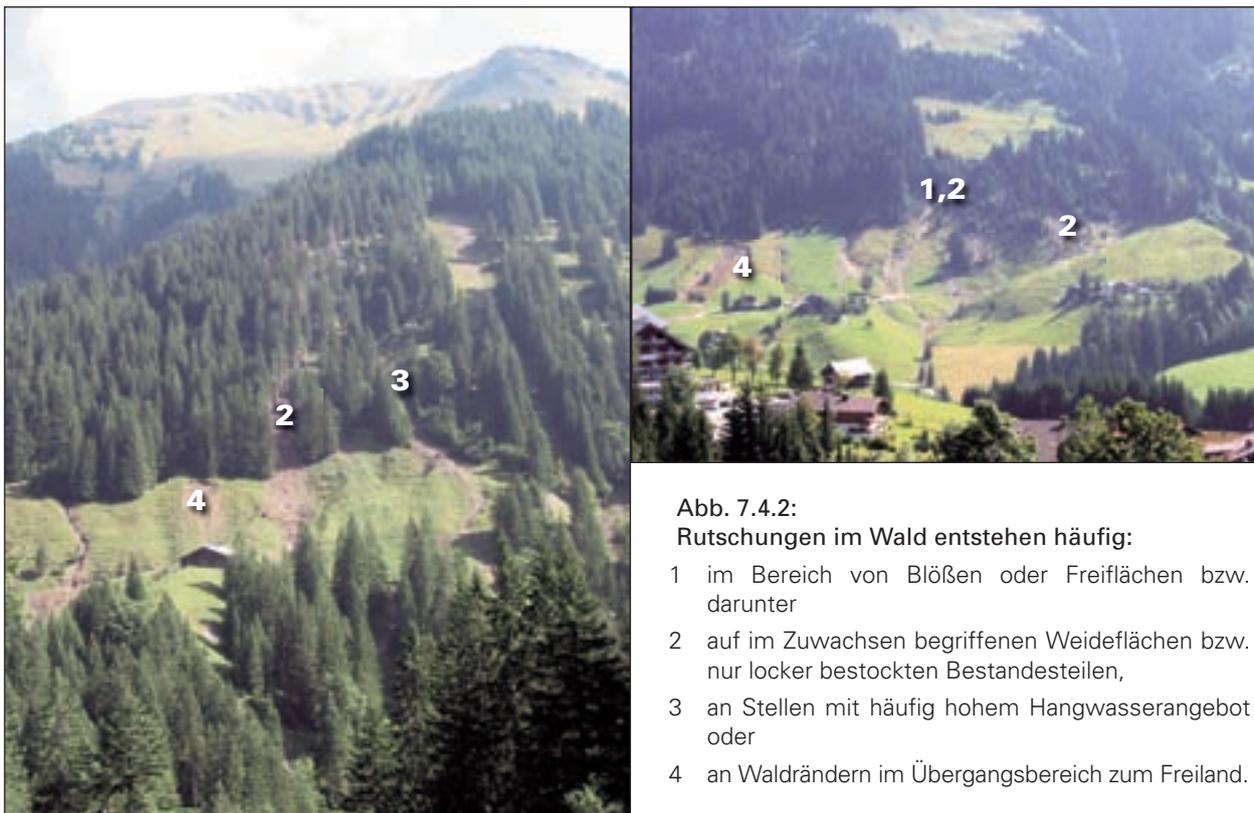


Abb. 7.4.2:
Rutschungen im Wald entstehen häufig:

- 1 im Bereich von Blößen oder Freiflächen bzw. darunter
- 2 auf im Zuwachsen begriffenen Weideflächen bzw. nur locker bestockten Bestandesteilen,
- 3 an Stellen mit häufig hohem Hangwasserangebot oder
- 4 an Waldrändern im Übergangsbereich zum Freiland.

als Abbrüche im Waldbereich durchschnittlich größere Kubaturen aufwiesen. Dagegen ergaben Mittelwertvergleiche (U-Test) an den gegenständlichen Daten ($n = 177$ Rutschungen) für die Parameter Neigung und Rutschungsvolumen keine Unterschiede in der Rutschungsdisposition ob Wald oder Freiland (vgl. auch Kapitel 6.2.7). Rickli geht in seinen Analysen der Waldwirkung auf Rutschungen davon aus, dass sich die Vegetation bei Rutschungen nur auswirken kann, wenn sich die Gleitfläche nicht wesentlich tiefer als die untere Grenze des Wurzelraumes befindet.

Nach Auswertung der vorliegenden Beobachtungen stimmt diese Aussage für die vom BFW in Vorarlberg untersuchten Gebiete (siehe Kapitel 1) nur bei Einwirkung von Oberflächen- oder Hangwasser aus überliegenden waldfreien Bereichen. In diese Richtung gehen auch die Ergebnisse von Stahr (1991). Er hat die bodenphysikalischen Ursachen von Waldabbrüchen in den Ostalpen untersucht (Prosegg in Osttirol 1966, Stiftsalm im Voldertal, Nordtirol 1985) und kommt zum Schluss, dass die Waldböden eine Feldkapazität von 200 bis 300 Lt m^{-3} aufwiesen und für die den Aufbau eines Abbruch auslösenden Hangwasserspiegels vielfach „Fremdwasser“ aus höher gelegenen Bereichen wahrscheinlich war.

Keppeler and Brown 1998, Rickli 2001 stellten bei Abbrüchen im Wald einen engen Zusammenhang

zwischen Waldzustand und Rutschungsaktivität fest. Auch Abb. 7.4.2 wird ersichtlich, wie stark Waldvegetation flachgründige Rutschungen beeinflussen kann und in welchem Maß das Auftreten von flachgründigen Rutschungen vom Waldzustand bzw. Zusatznutzungen beeinflusst wird. Anbrüche im Wald wurden z.B. in den Gemeinden Au und Schnepfau bevorzugt in Blößen, unterhalb von Blößen, auf und unterhalb von Rasenflächen, früher landwirtschaftlich genutzten und jetzt in nicht betreuter Sukzession befindlichen Einheiten, sowie in stark aufgelockerten Beständen beobachtet. Häufig waren auch flachgründige Anbrüche unterhalb von Waldflächen direkt am Waldrand, wie auch schon von Andres et al (2002) bei den Ereignissen 1999 in Laterns beschrieben. In diesen Einheiten ist das Wurzelwerk der Bäume jeweils weniger dicht und stark ausgeprägt, damit ist die Armierung des Bodens deutlich schwächer, als in optimal bestockten, ungleichartigen Mischbeständen aus standortsangepassten Baumarten.

Bischetti und Chiardia (2004) errechneten in einem norditalienischen Testgebiet bei Varese eine Scherkrafterhöhung der Böden durch Buche um 4-8 kPa und um 6-11 kPa durch Fichte. Die Bindekraft der Baumwurzeln spielt also eine signifikante Rolle in der Stabilität der Hänge, allerdings reicht die Kohäsion der Baumwurzeln nicht um den hohen

Porenwasserdruck bei extremen Niederschlagsereignissen in den Bodenhohlräumen auszugleichen (Bischetti et al. 2004).

Als Folge der intensiven Durchwurzelung ist im Waldbereich auf jeden Fall mit einem höheren Anteil an Sekundärporen im Vergleich zu umgebenden Nichtwaldflächen zu rechnen (Whipkey 1962). Untersuchungen des Abflussverhaltens in Böden nach der Schlägerung eines Koniferenbestandes in Caspar Creek (Kalifornien, USA) von Keppeler und Brown (1998) ergaben deutlich höheren und rascheren Zwischenabfluss bei Niederschlägen. Aufgrund des nach der Bestandesnutzung deutlich ansteigenden Sickerwasserangebotes agieren die Sekundärporen (Wurzelröhren, Tierröhren etc.) als eine Art Überdruckventil, über die das Hangwasser rasch dem Vorfluter zugeführt wird. Ist das „Ventil“ Sekundärporen nicht in ausreichendem Umfang vorhanden, steigt der Porenwasserdruck deutlich an, die Rutschungsbereitschaft ist höher.

Als lokal bedeutender rutschungsauslösender Faktor kann auch unkontrollierte Extensivierung auf ehemals intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen angesehen werden.

So trugen bei den Freilandstandorten Flächen mit dauernd hoher Vorfeuchte, wie z.B. Feuchtwiesen mit 10,5 % zur Rutschungsbilanz bei (19 von 181 Rutschflächen, vgl. Tab. 6.2.7). Über Jahrhunderte lange Almbewirtschaftung werden der Wasserhaushalt und die Wasserwege in Hängen massiv verändert. So weisen z.B. extensivierte landwirtschaftliche Flächen bzw. Brachflächen im Almbereich eine erhöhte Disposition für Rutschungen auf, wie z.B. im Rahmen des Projektes INTEGRALP (2001) im Tiroler Stubaital durchgeführte Untersuchungen zeigen.

Rutschungen und Abfluss

Im Zuge der Schadensaufnahmen wurden an vielen Nichtwald-Standorten Hinweise auf Oberflächenabfluss als Folge limitierter Infiltrationskapazität (Infiltration Excess Overland Flow – Beven 2002; Hortonscher Oberflächenabfluss – HOF1, HOF2, SOF1, SOF2 - Scherrer 2004, Sprafico et al. 2003), z.B. auf den überwiegend bindigen Almböden gefunden (Kapitel 6.2.9). Die Feldbeobachtungen decken sich mit den Ergebnissen

eines vom Lebensministerium (BMLFUW) beauftragten Forschungsprojektes zur Analyse der Abflusststehung bei Dauerregen. Durch Simulationen von Dauerregen konnten Mitarbeiter des Institutes für Naturgefahren und Waldgrenzregionen am BFW im Rahmen dieses Projektes zeigen, dass auf Standorten mit hoher Abflussbereitschaft bei Starkregen ($30 < i_N < 100 \text{ mm h}^{-1}$) auch bei Dauerregen ($i_N = 10 \text{ mm h}^{-1}$) ein hoher Anteil des Niederschlages als Oberflächenabfluss wirksam wird (Nachtnebel et al. 2005). Der Abflussbeiwert bei Starkregen ist bei $30 \text{ mm} < i_N < 100 \text{ mm}$ annähernd konstant (Abb. 7.4.3). Die Ergebnisse der ersten Dauerregensimulationen den BFW lassen für Dauerregen um $i_N = 10 \text{ mm h}^{-1}$ folgende grobe Rückschlüsse zu:

- Flächen, die bei Starkregen viel Oberflächenabfluss bringen, liefern auch bei Dauerregen in hohem Maße Abfluss; 1 bis maximal 2 Abflussbeiwertklassen nach Markart et al. (2004) tiefer als bei Starkregen.
- Auf Flächen mit geringer bis mittlerer Bereitschaft zur Bildung von Oberflächenabfluss bei Starkregen entsteht bei Dauerregen kein bis geringer Oberflächenabfluss (Abflussbeiwertklassen 0-2 nach Markart et al. 2004).

Je rauer die Oberfläche eines Standortes und je geringer die Verdichtung des Oberbodens, umso geringer ist der Anteil des an der Oberfläche abfließenden Wassers. Bei den hohen Niederschlagsmengen am 22.8.2005 - in 5 Stunden fielen ca. 90 mm Niederschlag, das entspricht einer Intensität von 18 mm/h (Kapitel 5.2) - dürfte insbesondere auf den Rasenstandorten ein großer Anteil unmittelbar an der Oberfläche abgeflossen und rasch Abfluss erhöhend im Vorfluter wirksam geworden sein. Daher

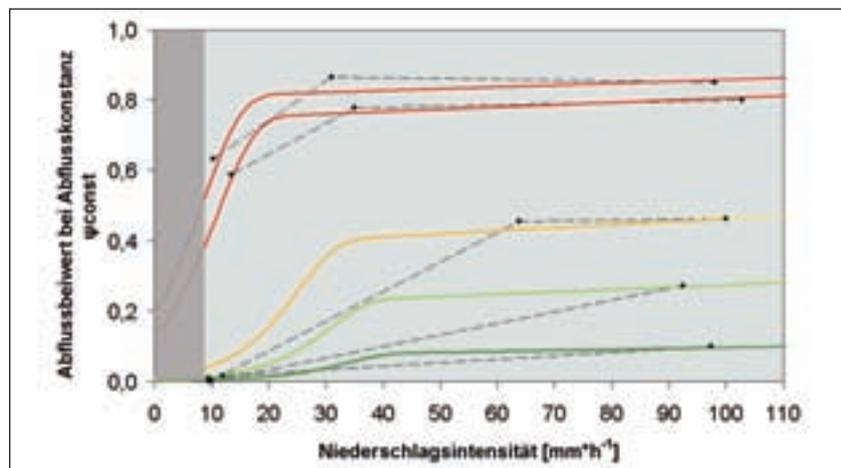


Abb. 7.4.3:
Abflussbeiwerte bei Stark und bei Dauerregen.

ist eine raue Oberfläche, wie z.B. von Waldökosystemen, ein wichtiges Element in der Verzögerung der Abflussspitze und für die dosierte Versickerung des sonst an der Oberfläche abfließenden Wassers.

Auch bei den Niederschlagsereignissen vom 22./23. August 2005 konzentrierte sich der Abfluss rasch in den Tiefenlinien und wurde insbesondere an Hangversteilungen und Wegböschungen erosiv wirksam. Auch anthropogen bedingter konzentrierter Wassereintrag, z.B. über Wegausleitungen oder aus Gründen besserer Befahrbarkeit zuplanierter Entwässerungsgräben war eine weitere mehrfach beobachtete Rutschungsursache. Wege, Straßen, Baum- und Gebüschreihen fungierten immer wieder als Auffangterrassen bzw. -dämme für die Rutschmassen. Durch das geschiebeentlastete Wasser wurden in der Folge mancherorts Folgrutschungen ausgelöst, allerdings gerade im Siedlungsraum mancher Schaden an Gebäuden gemindert bzw. verhindert (Abb. 7.4.1 - rechtes Bild).

Dank

Nach den dramatischen Schadereignissen des 22. und 23. August 2005 in Vorarlberg galt es in kurzer Zeit an einer Vielzahl von Standorten das Ausmaß der Schäden zu dokumentieren und die Ursachen zu analysieren. Die Autoren bedanken sich bei der Leiterin der Abt. IV/5 des Lebensministeriums, Frau MR Dipl.-Ing. Maria Patek und dem zuständigen Projektkoordinator im BMLFUW, Herrn Dipl.-Ing. Dr. Florian Rudolf-Miklau für die Erteilung des Auftrages und die unbürokratische Kooperation. Die Mitarbeiter der Sektion Vorarlberg des FTD f. WLIV, Herr Sektionsleiter Dipl.-Ing. Andreas Reiterer, die Stellvertreterin des Sektionsleiters, Frau Dipl.-Ing. Margarete Wöhrer-Alge, der Leiter der Gebietsbauleitung Bregenz, Herr Dipl.-Ing. Gerhard Brenner, sowie der Leiter der Gebietsbauleitung Bludenz, Herr Dipl.-Ing. Wolfgang Schilcher fanden trotz der schier überbordenden Arbeit immer wieder Zeit für die Abstimmung mit den Aufnahmeteams.

Frau Dipl.-Ing. Margarete Wöhrer-Alge danken wir zudem wertvolle Korrekturen und Anregungen zum gegenständlichen Bericht.

8. Literatur

- Aleotti, P., P. Baldelli and G. Polloni (1996): Landsliding and Flooding Event Triggered by Heavy Rains in the Tanaro Basin (Italy). Internationales Symposium INTERPRAEVENT 1996 – Garmisch-Partenkirchen, Tagungspublikation, Band 1, 435-446.
- Amt der Vorarlberger Landesregierung (2001): Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. Band I-III. Bregenz
- Amt der Vorarlberger Landesregierung (2005): Das Starkregen- und Hochwasserereignis des August 2005 in Vorarlberg. 53 Seiten.
- Andres, P., G. Markart, E. Lang, K. Hagen, B. Kohl und W. Bauer (2002): Untersuchung der Rutschprozesse vom Mai 1999 im Laternsertal (Vorarlberg). In: Beiträge zur Wildbachforschung, BFW-Bericht Nr. 127, 55-87.
- Beven, K.J. (2002): Rainfall-Runoff Modelling - The Primer. John Wiley & Sons, England.
- Bischetti, G.B., E.A. Chiaradia and T. Simonato (2004): The role of root reinforcement on May 2002 slope failures in St. Giulio creek catchment (Northern Italy). Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – Riva / Trient, Tagungspublikation, Thema IV, Band 2, 57-67.
- Bischetti, G.B. and E.A. Chiaradia (2004): Evaluation of the effect of root cohesion on slope failures in St. Giulio creek catchment. Book of Abstracts – International Conference on ECO-ENGINEERING “The use of vegetation to improve slope stability”. 13-17 Sept. 2004, Thessaloniki, Greece, p 39.
- BMLFUW (1984): 100 Jahre Wildbachverbauung in Österreich. 1884–1984, Wien.
- BMLFUW (2006 a): Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation, Teilbericht des Hydrographischen Dienstes. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser, Stubenring 1 - Wien.
- BMLFUW (2006 b): Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation, Teilbericht des Bundeswasserbauverwaltung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser, Stubenring 1 - Wien.
- BMLFUW (2006 c): Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation, Teilbericht der Wildbach- und Lawinenverbauung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Forst, Abteilung Wildbach- und Lawinenverbauung, Marxergasse 2 - Wien.
- Bunza, G. und Schauer, Th. (1989): Der Einfluss von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluss bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der Bayerischen Alpen. Informationsber. 2/89 d. Bayer. Landesamtes f. Wasserwirtschaft, München.
- Bunza, G., P. Jürging, R. Löhmannsröben, T. Schauer and R. Ziegler (1996): Abfluss- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten - Grundlagen zum integralen Wildbachschutz, in Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 27.
- Ess, B. (2005): Geologischer Bericht betreffend die Massenbewegungen aufgrund des Starkregens vom 22. und 23. 08. 2005 in den Gebieten Laternsertal, Dünserberg, Viktorsberg. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) – unveröffentlicht.

- FM (2005): Vorarlberg sichert Verbindungen in Wintersportorte. FM. Fachmagazin für Touristik, Gastronomie, Hotellerie und Großverbrauch/Industrie. Ausgabe 4/2005.
- Geologische Bundesanstalt (Hrsg., 1980): Der geologische Aufbau Österreichs. Wissenschaftliche Redaktion R. Oberhauser.
- Godina, R., P. Lalk, P. Lorenz, G. Müller und V. Weilguni (2005): Das Hochwasser in Österreich vom 21. bis 25. August 2005 – Beschreibung der hydrologischen Situation, Abt. VII/3 – Wasserhaushalt (HZB). Lebensministerium, Wien, 27 Seiten.
- Haneberg, W.V. and A. Onder Gocke (1994): Rapid water level fluctuations in a thin colluvium landslide west of Cincinnati, Ohio. US Geol. Surv. Bull. 2059 C, 1-16. Zit in: Van Asch, T.W.J., J. Buma and L.P.H. Van Beck (1999): A view on some hydrological triggering systems in landslides. *Geomorphology* 30, 25-32.
- Hamberger, M. (2000): Geologisch-geotechnische Untersuchungen im Melchtal, Schweiz. Diplomarbeit Inst. f. angewandte Geologie an der Universität Erlangen-München.
- HDÖ (1994): Die Niederschläge, Schneeeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1981 – 1991. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, Heft Nr. 52. Hydrographischer Dienst in Österreich (HDÖ). Herausgegeben vom Hydrographischen Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 529 Seiten.
- Hydrographischer Dienst Vorarlberg (2005): Hochwasser in Vorarlberg am 22./23. August 2005. Kurzbericht des Hydrographischen Dienstes Vorarlberg in der Abteilung Wasserwirtschaft vom 26.08.2005 (aktualisiert am 15.09.2005). Hydrographischer Dienst Vorarlberg (HDV), 9 Seiten.
- Hübl, J., H. Kienholz und A. Loipersberger (2006 – Hsg.): DOMODIS – Dokumentation alpiner Naturereignisse – Documentation of Mountain Disasters. Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT, Schriftenreihe 1, Heft 1, Klagenfurt (Österreich).
- INTEGRALP (2001): INTERREG II Projekt INTEGRALP – Abschlussbericht. Institut für Botanik, Abteilung Ökologie, Universität Innsbruck.
- Keller, O. (1995): Kleine Geologie und Landschaftsgeschichte Vorarlbergs. Sonderdruck aus: Die Käfer von Vorarlberg und Liechtenstein, Band 2.
- Keppeler E. and D. Brown (1998): Subsurface Drainage Processes and Management Impacts. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. General Technical Report PSW-GTR-168-Web.
- Kilian, W., F. Müller und F. Starlinger. (1994): Die Forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. Berichte Nr. 82. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien – Waldforschungszentrum, Wien, 60 Seiten.
- Lehmann, C. (1993): Zur Abschätzung der Feststofffracht in Wildbächen – Grundlagen und Anleitung. *Geographica Bernensia* G42, Geographisches Institut der Universität Bern.
- Löhmannsröben, R., O. Altfeld, G. Bunza, M. Eidt, A. Fischer, P. Jürging, T. Schauer und R. Ziegler (2000): Geländeanleitung zur Abschätzung des Abfluss- und Abtragsgeschehens in Wildbacheinzugsgebieten. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Materialien Nr. 87.
- Loib, W. und M. Schwarz (2001): Regionalisierung von Niederschlagsdaten mit Hilfe von neuronalen Netzen – Möglichkeiten und Grenzen der Generierung österreichweiter Karten. Deutsch – Österreichisch – Schweizer Meteorologentagung. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, ISSN Heft Nr. 27/Publ. Nr. 399, Wien 18.-21. September 2001.
- Markart, G., B. Kohl und P. Zanetti (1997): Oberflächenabfluss bei Starkregen - Abflussbildung auf Wald-, Weide- und Feuchtlflächen (am Beispiel des oberen Einzugsgebietes der Schesa - Bürserberg, Vorarlberg), Cblt. ges. Forstwesen, 114. Jg., Heft 2/3, 123-144.
- Markart G., B. Kohl, B. Sotier, T. Schauer, G. Bunza und R. Stern (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). BFW Dokumentation, Nr.3.
- Mayerl, J. (2005): Geologischer Bericht zu den durch den Starkregen vom 22. und 23. 8. 2005 im Kleinwalsertal verursachten Schadensereignissen. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) - unveröffentlicht.
- Müller, G. und R. Godina (2005): Das Augusthochwasser 2005 in Österreich. Hydrobrief Nr. 30, Dez. 2005, 1-4.
- Nachtnebel, H.P., K. Leroch, J. Fürst, H. Holzmann, G. Markart, B. Kohl, W. Bauer, H. Pirkel, R. Kirnbauer, P. Ramspacher (2005): Endbericht zum Projekt „Abflussverhalten von Einzugsgebieten verschiedener Größe bei Dauerregen“, GZ 58110-VC7/2000 an das BMLFUW, Abt.IV/4, Wien.
- Plankensteiner, E. und Wöhrer-Alge, M. (2005): 5W-Ereignismeldung Internetportal (nur interner Zugriff). Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLW).
- Richter, M. (1978): Vorarlberger Alpen. Sammlung geologischer Führer Nr. 49, 2. Aufl.
- Rickli, C. (2001 - Red.): Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern; Eidgen. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL.
- Ruff, M. (2005): Georisikokarte Vorarlberg. GIS-gestützte Risikoanalyse für Rutschungen und Felsstürze in den Ostalpen (Vorarlberg, Österreich). Universitätsverlag Karlsruhe. 132 Seiten mit Kartenanhang.
- Scherrer AG (2004): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Scherrer AG, Hydrologie und Hochwasserschutz, Stockacherstraße 25, CH-4153 Reinach.
- Schwarz, L. und Lexer, M. (2004): Bioklimatische Charakterisierung der forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine bioklimatische Ergänzung zur Wuchsgebietgliederung nach Kilian et al. (1994). CD, Institut für Waldbau, BOKU Wien.
- Spraefico, M., R. Weingartner, M. Barben und A. Ryser (Hsg. – 2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten – Praxishilfe. Bundesamt für Wasser und Geologie, Berichte des BWG, Serie Wasser.

- Springman, S. and P. Teysseire (2001): Artificially Induced Rainfall Instabilities on Moraine Slopes. Proceedings of the Int. Conf. on Landslides – Causes, Impacts and Countermeasures. Davos, Switzerland, 17-21 June 2001, 209-223.
- Stahr, A. (1991): Bodenphysikalische Ursachen von Waldabbrüchen im Zentralalpinen Raum. Allg. Forst- und J. Ztg., 162. Jg., (8), 150-154.
- STATISTIK AUSTRIA (1999): Agrarstrukturerhebung 1999. Betriebsstruktur. Schnellbericht 1.17. STATISTIK AUSTRIA, Wien, 36 Seiten.
- STATISTIK AUSTRIA (2005): Statistisches Jahrbuch Österreichs 2005. STATISTIK AUSTRIA, Wien.
- STATISTIK AUSTRIA (2006): Statistisches Jahrbuch Österreichs 2006. STATISTIK AUSTRIA, Wien.
- Stepanek L., B. Kohl und G. Markart (2001): Erfahrungen in der praktischen Anwendung der Laufzeitmethode nach ZELLER. Wildbach- und Lawinenverbau, 65 (146), 121-135.
- Stepanek, L., B. Kohl und G. Markart (2004): Von der Starkregensimulation zum Spitzenabfluss. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – Garda / Italien, Tagungspublikation, Bd. 1, Thema II / 101-112.
- Werlen, S. (2004): Hangmuren – Einflussfaktoren von Lockergesteinsrutschungen. Ein Vergleich der Anrisspunkte im Gelände und im Geographischen Informationssystem GIS auf Basis DHM 10 in den Untersuchungsgebieten Eggwil, Frutigen, Grindelwald und Napf. Diplomarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Universität Bern.
- Whipkey, R.Z. (1962): Subsurface Stormflow from Forested Slopes. ASAE - Drainage Research Committee: Measuring Saturated Hydraulic Conductivity of Soils. Spec. pub., Sp-Sw-0262, 74-87.
- ZAMG (1996): Klimadaten Österreichs 1961-1990. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Internet:

- DISALP (<http://www.dis-alp.org/>)
- DWD (2006): Deutscher Wetterdienst. Klimainfos. Mittelwerte der Periode 1961-1990: <http://www.dwd>
- STATISTIK AUSTRIA Website: <http://www.statistik.at/blickgem/index.jsp>. Ein Blick auf die Gemeinde. STATISTIK AUSTRIA, Wien.
- Umweltbundesamt (1990): CORINNE Landcover Datensatz 1990. Ebene 2. Umweltbundesamt (UBA), Wien. (<http://gis.umweltbundesamt.at/ü.A.op/index.jsp>).
- Weiss, M. (2005): <http://www.vorarlberg.at/pdf/presentationmartinweiss.pdf>
- Niederschlagsganglinie Station Andelsbuch (Hydrographischer Dienst Vorarlberg).

Geodaten:

- ÖK 50 Digital: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Landestopographie. Wien.
- CIR-Orthofoto Vorarlberg 2001/2002: Landesvermessungsamt Vorarlberg; bereitgestellt vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung, Sektion Vorarlberg. Bregenz.
- DEM Vorarlberg 5 m, konventionell generiert: Landesvermessungsamt Vorarlberg; bereitgestellt vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung, Sektion Vorarlberg. Bregenz.
- BFW-Klimadatenbank: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Landschaft und Naturgefahren. Wien.

Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. Dr.hc Gerhard Markart
Abteilung Gebietswasserhaushalt
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1 – Hofburg
6020 Innsbruck
Gerhard.Markart@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Frank Perzl
Abteilung Alpine Waldgrenzregionen
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1 – Hofburg
6020 Innsbruck
Frank.Perzl@uibk.ac.at

Mag. Bernhard Kohl
Abteilung Gebietswasserhaushalt
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1 – Hofburg
6020 Innsbruck
Bernhard.Kohl@uibk.ac.at

Mag. Roland Luzian
Abteilung Alpine Waldgrenzregionen
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1 – Hofburg
6020 Innsbruck
Roland.Luzian@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. Karl Kleemayr
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Rennweg 1 – Hofburg
6020 Innsbruck
Karl.Kleemayr@uibk.ac.at

Barbara Ess
Institut für Geologie und Paläontologie
Universität Innsbruck
Innrain 52
6020 Innsbruck
csac6243@uibk.ac.at

Josef Mayerl
Institut für Geologie und Paläontologie
Universität Innsbruck
Innrain 52
6020 Innsbruck

9. Anhang – Aufnahmeformulare

Aufnahmeort **Kennzahl Aufnahmenr**

Lage
 Gemeinde **Ortsteil**
 Aufnahme datum **Erheber**
 Uhrzeit

Lage in Orthofoto/Karte angegeben J N

Markante Punkte **Beschreibung**
Richtung
Entfernung

GPS N **HO** **SH** m

Anmerkungen

Flächeninfo
 Hangneigung (°) **Exposition (°)**

Geländeform/ Ruschung Umgebung

Großrelief (> 3m)	Kleinrelief (< 3 m)	Kleingerinnenetz
<input type="checkbox"/> Kuppe	<input type="checkbox"/> ausgeglichen	<input type="checkbox"/> nicht/ kaum ausgebildet
<input type="checkbox"/> Oberhang	<input type="checkbox"/> Rinnen/Gräben	<input type="checkbox"/> mittel
<input type="checkbox"/> Mittelhang	<input type="checkbox"/> Buckel	<input type="checkbox"/> Häufung Kleingerinne
<input type="checkbox"/> Unterhang	<input type="checkbox"/> Blockflur	
<input type="checkbox"/> Talboden	<input type="checkbox"/> Risse	
<input type="checkbox"/> Graben		
<input type="checkbox"/> Terrasse		
<input type="checkbox"/> Mulde/Kessel		
<input type="checkbox"/> Schwemm/Schuttkegel		

Anmerkungen

Vegetationsform

Wald **Überschirmungsgrad in 1/10**
Alter geschätzt

Fichte (Nudum bzw. geringe Bodenveg)

Fichte (mit Krautschicht)

Läche (auch Lärchenwiesen)

Laubmischwälder (beigemischt auch Nadelholz)

Hochstaudenfluren

Latsche (Beigemischt Zwercksträucher & Bäume)

Grünerlengebüsch

Sonstiges (Beschreibung)

Freiland

Vegetationslos/initiale Vegetationsstadien

Planien mit/ohne Ansaat

Mähwiese

Bürstlingrasen

alpiner Rasen (nicht Bürstling)

Feuchtwiese / (Nieder) Moor

Sonstiges (Beschreibung)

Beschreibung/Bemerkungen

Flächennutzung

Bewirtschaftung

Weide keine gering mittel stark

technische Eingriffe Wege/Böschungen Planien Linienförmig (Kanäle) Sonstige /Anführen

Bemerkungen

Prozess

Art des Prozesses

- Translationsrutschung
- Rotationsrutschung
- Absenkung
- Hangmure
- Erosion (Seiten/Tiefenersosion)
- Sonstiges

Ergänzende Beschreibung

Vermuteter Auslöser

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Natürlich | <input type="checkbox"/> anthropogen |
| <input type="checkbox"/> Hangwasser | <input type="checkbox"/> Gebäude |
| <input type="checkbox"/> Seitenerosion | <input type="checkbox"/> Straßen |
| <input type="checkbox"/> Tiefenerosion | <input type="checkbox"/> sonstiges |

Ergänzende Beschreibung
(z.B. Wasserausleitungen,...)

Stumme Zeugen vorangegangener Ereignisse

Beschreibung

Stumme Zeugen aktuelles Ereignis

Beschreibung

Foto

Beschreibung Anrisszone

Bodentyp Auflage Mächtigkeit/Art

Mineralboden

- skelettreich locker
- feinteilreich locker-bindig
- feinteilreich dicht

Vernässungen Quellaustritte J N

Beschreibung Transportstrecke/Ablagerung

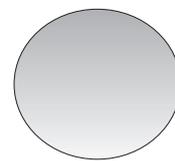
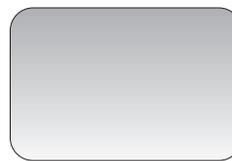
- | | | |
|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| Anrissbreite | <input type="checkbox"/> | (m) |
| Anrisshöhe | <input type="checkbox"/> | (m) |
| max. Rutschlänge | <input type="checkbox"/> | (m) |
| max. Rutschbreite | <input type="checkbox"/> | (m) |
| Neigung Rutschfläche | <input type="checkbox"/> | (°) |
| Rutschfläche | ~ <input type="checkbox"/> | (m ²) |
| max. Mächtigkeit | <input type="checkbox"/> | (m) |
| Rutschvolumen | ~ <input type="checkbox"/> | (m ³) |
| Faustformel Andrec | <input type="checkbox"/> | (m ³) |
| Breite Transportstrecke | <input type="checkbox"/> | (m) |
| Länge Transportstrecke | <input type="checkbox"/> | (m) |
| Neigung Transportstrecke | <input type="checkbox"/> | (°) |
| max. Erosionstiefe | <input type="checkbox"/> | (m) |
| Neigung Ablagerungsfläche | <input type="checkbox"/> | (°) |

Rutschform

lang ($L > 1,4B$)

breit ($B > 1,4L$)

symmetrisch
($0,78 < L < 1,4B$)



Sohle Transportstrecke

- % Stabil (Fels, künstl. Gerinne)
- % Lockermaterial
- % Vegetation

Profilform
(Murprofil?)

Geologische - geomorphologische - hydrogeologische Besonderheiten

Ablagerungen

wo

Gesamtmenge geschätzt
Davon abtransportiert

 m³
 m³

Vorfluter LKW

Wildholz keines sehr wenig wenig viel

Kornparameter dmax m ~ d90 m

Beschreibung
Materialsortierung
Kantenrundung,...
Zusammensetzung

Zeichnung

Zeugenbefragung

Ort

Name Funktion

Kontaktadresse

Tel./Mobil

Vorgeschichte (gab es schon Ereignisse vor dem aktuellen - wann, was)

Aktuelles Ereignis: Zeitpunkte, Ablauf, Wahrnehmungen (zB. Geschw., Reichweite,...)

Katastrophenmanagement (Warnanrufe, Evakuierungen - Zeitpunkte)

Soforthilfemaßnahmen (wer, was, wann)

Schäden (was), Schätzung €

Schutzbauten

J N Fotodok. Infos

Ausführung Holz Beton
 Naturstein trocken Stahlbeton
 ZMM sonstiges

Art **Querbauwerke** **Längsbauwerke**
 Grundschwelle Steinwurf Bauwerk rechtsufrig
 Konsolidierungssperre Steinschichtung Bauwerk linksufrig
 Rückhaltesperre Ufermauer Bauwerk Sohle
 Dosiersperre Buhne/Leitwerk Länge: m
 sonstiges sonstiges

Zustand unbeschädigt leicht beschädigt stark beschädigt zerstört
 Schäden Flügel unterspült Flügel sonstige Unterkolkung Abflusssektion sonstige
 Fotodok.
 sonstige Beschreibung

Funktion während des Ereignisses voll teilweise +/- 0 **Kommentar**
 für weitere Ereignisse voll teilweise +/- 0 **Kommentar**

Risiko

Risiko aktuell
 Art/Beschreibung (Risse,...)

Wahrscheinlichkeit hoch mittel gering unbekannt

Mögl./notwendige Sofortmaßnahmen

Risikopotenzial

Verfügbarkeit Lockermaterial durch Schätzung m³

- Rückschreitende Erosion (Lockergestein)
 Ablagerung in Rutschung
 Ablagerung Transportstrecke (Zwischenlagerung)
 Ablagerung (durch Ausbruch,...)
 Sonstiges

Identifizierung Anrisszonen
 Beschreibung

Mögliche/Vermutete Gefährdung

- öffentl. Gebäude
 Wohngebäude (Adresse)
 Nebengebäude
 Gewerbeflächen/Gebäude (Art, Adresse)
 Verkehrswege (welche, lm)
 Brücken
 sonstige Infrastruktur
 Landwirtschaftl. Flächen
 sonstiges

Adressen, Zusatzbemerkungen

Verklausung Vorfluter möglich J N
 Bemerkungen, wenn Verklausungen möglich - Folgen?