Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie

Band: 9 (2004)

Heft: 1

Artikel: Untersuchungen zu oberflächennahen Rutschungen des Jahres 2002 im Napfgebiet und in der Region Appenzell

Autor: Rickli, Christian / Bucher, Hansueli / Böll, Albert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-224990

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bull. angew. Geol. Vol. 9/1 Juli 2004 S. 37-49

Untersuchungen zu oberflächennahen Rutschungen des Jahres 2002 im Napfgebiet und in der Region Appenzell

Christian Rickli[1], Hansueli Bucher[1], Albert Böll[1], Hugo Raetzo[2]

Stichwörter
Oberflächennahe Rutschungen, Hangmuren, Gefahrenbeurteilung, Gefahrenkartierung, Prozessdokumentation

Zusammenfassung
Mehrere Unwetter führten in der Schweiz im Jahr 2002 zu zahlreichen oberflächennahen Rutschungen und grossen Schäden an Menschenleben und Sachwerten. Die Ereignisse boten jedoch auch Gelegenheit, die Kenntnisse bezüglich der Auslösung und dem Abfliessvorgang von oberflächennahen Rutschungen zu verbessern. Im Herbst 2002 wurde deshalb ein Forschungsprojekt in Angriff genommen mit dem Ziel, die während der Unwetter entstandenen Hangprozesse zu dokumentieren, zu analysieren und damit insbesondere die Grundlagen hinsichtlich der Beurteilung und Kartierung von oberflächennahen Rutschungen zu verbessern. In den zwei Schadengebieten «Napf» (16.7.02) und «Appenzell» (31.8.02) wurde je ein Untersuchungsperimeter definiert. Innerhalb dieser Perimeter wurden insgesamt 133 Rutschungen im Feld aufgesucht und analysiert. Dabei erfolgte eine Beurteilung sowohl geomorphologischer, geologischer und geotechnischer Parameter wie auch boden- und vegetationskundlicher Aspekte. Der vorliegende Artikel enthält einige Resultate der entsprechenden Untersuchung.

Abstract
In 2002, several heavy rainfall events triggered off hundreds of shallow landslides and caused vast damage in Switzerland. The events provided an opportunity to improve knowledge on the causes of shallow landslides and their run out distances. A research project was set up with the aim to document the landslide processes and to provide basics for hazard mitigation and assessment. The research was performed within the damaged areas of «Napf» (16.7.02) and «Appenzell» (31.8.02). For both regions a study area was defined and, totally, 131 landslides were analysed in the field. Following a standardised protocol, geomorphological, geological and geotechnical parameters were assessed for every landslide as well as aspects of soil and vegetation. This article shows selected results of the case studies.

1. Einleitung

Immer wieder ereignen sich in der Schweiz und anderen Gebirgsregionen Unwetter, bei denen jeweils viele oberflächennahe Rutschungen ausgelöst werden. Im Jahr 2002 waren in der Schweiz drei derartige Ereignisse zu verzeichnen (Fig. 1):

- Mitte Juli im Gebiet Napf,
- Ende August im Gebiet Appenzell und
- Mitte November 2002 im Kanton Graubünden.

[1] Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf
[2] Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, 2500 Biel

Zwar wird bei den einzelnen Hangprozessen meist nur ein geringes Materialvolumen verlagert. Trotzdem stellen oberflächennahe Rutschungen durch das plötzliche Auftreten und namentlich durch das murgangartige Abfliessen des Bodenmaterials eine erhebliche Gefährdung von Menschen und Sachwerten dar.

Die Beurteilung der Gefahr von spontanen, oberflächennahen Rutschungen ist schwierig, und insbesondere in Bezug auf eine an die Gefahr angepasste Raumnutzung stellen sich viele Fragen. Unwetter wie jene des Jahres 2002 bieten Gelegenheit, die Prozesskenntnisse zu erweitern und die Grundlagen

hinsichtlich einer Gefahrenkartierung zu verbessern. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) die eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) mit einer Untersuchung zu den oberflächennahen Rutschprozessen der Ereignisse des Jahres 2002 in den Schadengebieten Napf und Appenzell. Im vorliegenden Beitrag werden einige Aspekte der entsprechenden Untersuchung (Rickli & Bucher 2003) dargestellt.

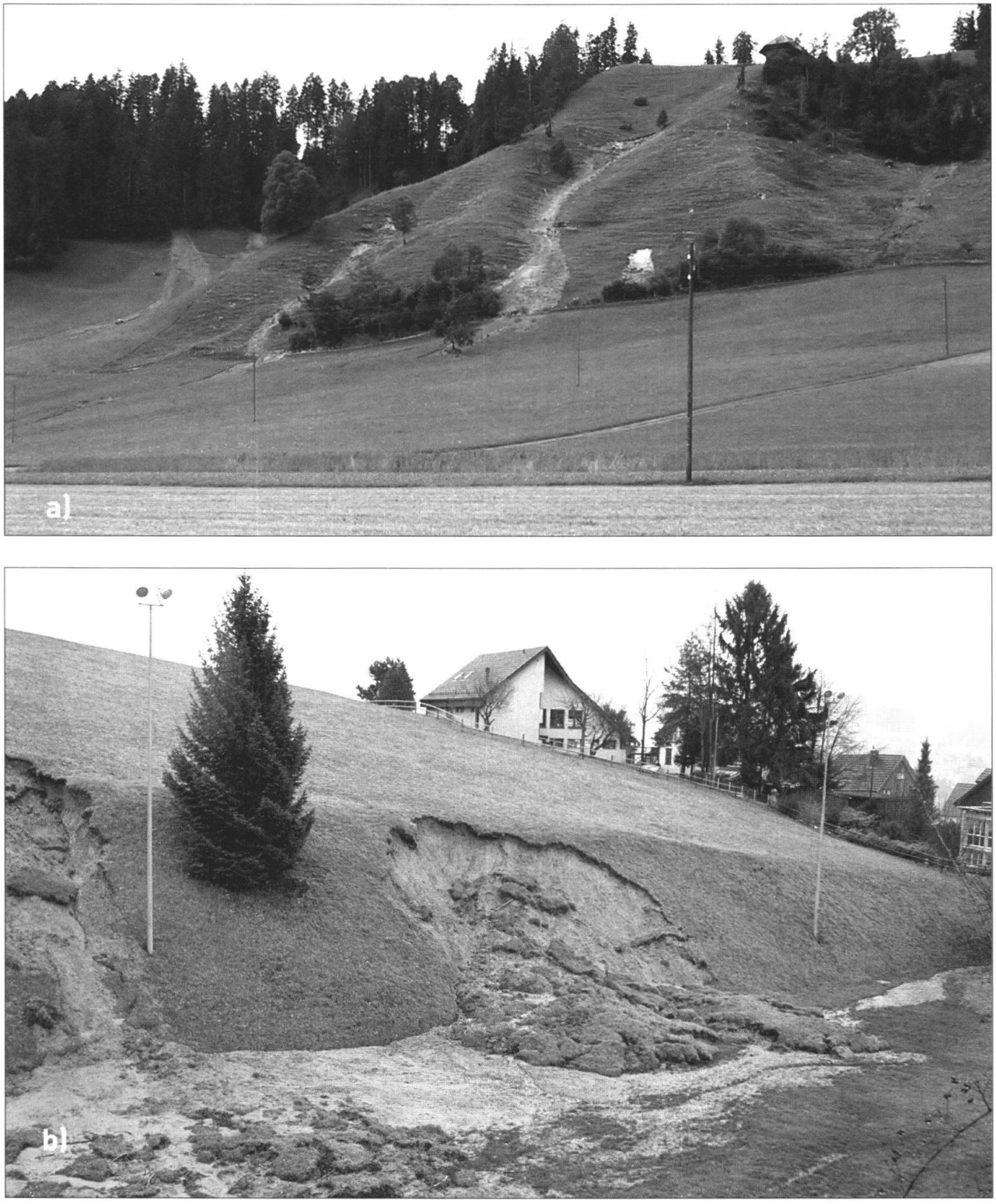


Fig. 1: Beispiele oberflächennaher Rutschungen, welche in der Folge intensiver Niederschläge im Sommer 2002 ausgelöst wurden. a) Region Napf; b) Region Appenzell.

2. Grundlagen und Methoden

Die im Folgenden dargestellte Untersuchung wurde in den Schadengebieten Napf und Appenzell des Jahres 2002 durchgeführt. Intensive Niederschläge hatten damals in beiden Regionen Überflutungen, Ufererosion und Schwemmholzprobleme an Fliessgewässern zur Folge. In steilen Lagen fanden zudem intensive Hangprozesse statt, insbesondere oberflächennahe Rutschungen. Nachfolgend einige Angaben zu den entsprechenden Niederschlägen:

Unwetterereignis im Gebiet Napf vom 15. bis 16. Juli 2002:
- 53 mm Regen in 24 Stunden bzw. 46 mm in 4 Stunden (Messstation Napf)
- ausgedehnte Niederschläge vor dem Schadenereignis
- Wiederkehrdauer für 4-Stunden-Wert ca. 10–30 Jahre

(Tergeso AG, 2002)

Unwetterereignis im Gebiet Appenzell vom 31. August bis zum 1. September 2002:
- bis zu 150 mm Regen in 24 Stunden bzw. ca. 100 m in 4 Stunden
- keine relevanten Niederschläge vor dem Schadenereignis
- Wiederkehrdauer für 4-Stunden-Wert ca. 30–50 Jahre

(gemäss Tergeso AG, 2003)

Im Zentrum der Schadengebiete Napf und Appenzell wurde je ein Untersuchungsperimeter definiert (Fig. 2). Innerhalb dieser Perimeter wurden alle oberflächennahen Rutschungen der Unwetter 2002 im Gelände beurteilt, welche ein Rutschvolumen von mehr als 30 m^3 umfassten und nicht durch klar erkennbare Ursachen wie Gerinneerosion, künstliche Böschungen oder Strassenentwässerungen ausgelöst wurden.
Bei jeder Rutschung wurden unter anderem die folgenden Parameter protokolliert:
- Standort: Neigungsverhältnisse, Geomorphologie, Vegetation, Nutzung
- Ausmasse: Länge, Breite, Mächtigkeit, Volumen
- Böden: Lockergestein, Festgestein, Durchlässigkeiten, Bodenentwicklung
- Rutschmechanismus: Ort der Gleitfläche, Materialbilanz, Länge und Pauschalgefälle der Auslaufstrecke

Zu den jeweiligen Untersuchungsperimetern wurden verschiedene Grundlagen wie Flächenanteile Wald/Freiland, Hangneigungen und Expositionen mittels GIS erarbeitet. Nachfolgend sind einige Angaben zu den Untersuchungsperimetern angegeben:

Perimeter Napf:
- Fläche: 2,5 km^2, zu 48% bewaldet
- Festgestein: Napfschichten der Oberen Süsswassermolasse (konglomeratische Abfolgen, durch sandig/siltige Abfolgen unterbrochen; Schichten nur wenig geneigt)
- Lockergestein: Verwitterungsmaterial der Molasse (in steilen Lagen Gehängeschutt)

Perimeter Appenzell:
- Fläche: 10,2 km^2, zu 23% bewaldet
- Festgestein: Untere Süsswassermolasse (granitische Sandsteine, Kalksandsteine und Mergel; Schichten mässig bis stark geneigt)
- Lockergestein: hauptsächlich Verwitterungsmaterial der Molasse (in steilen Lagen Gehängeschutt), vereinzelt auch Riss- und Würmmoräne

3. Ergebnisse

3.1 Rutschaktivität

Insgesamt 133 Rutschungen wurden im Gelände aufgesucht und detailliert beurteilt. Davon befinden sich 51 im Perimeter Napf und 82 im Perimeter Appenzell (Tab. 1). Die Anzahl Rutschungen (N) pro Flächeneinheit (ha) ist mit 0,21 N/ha im Perimeter Napf um den Faktor 2,5 grösser als im Perimeter Appenzell (0,08 N/ha).

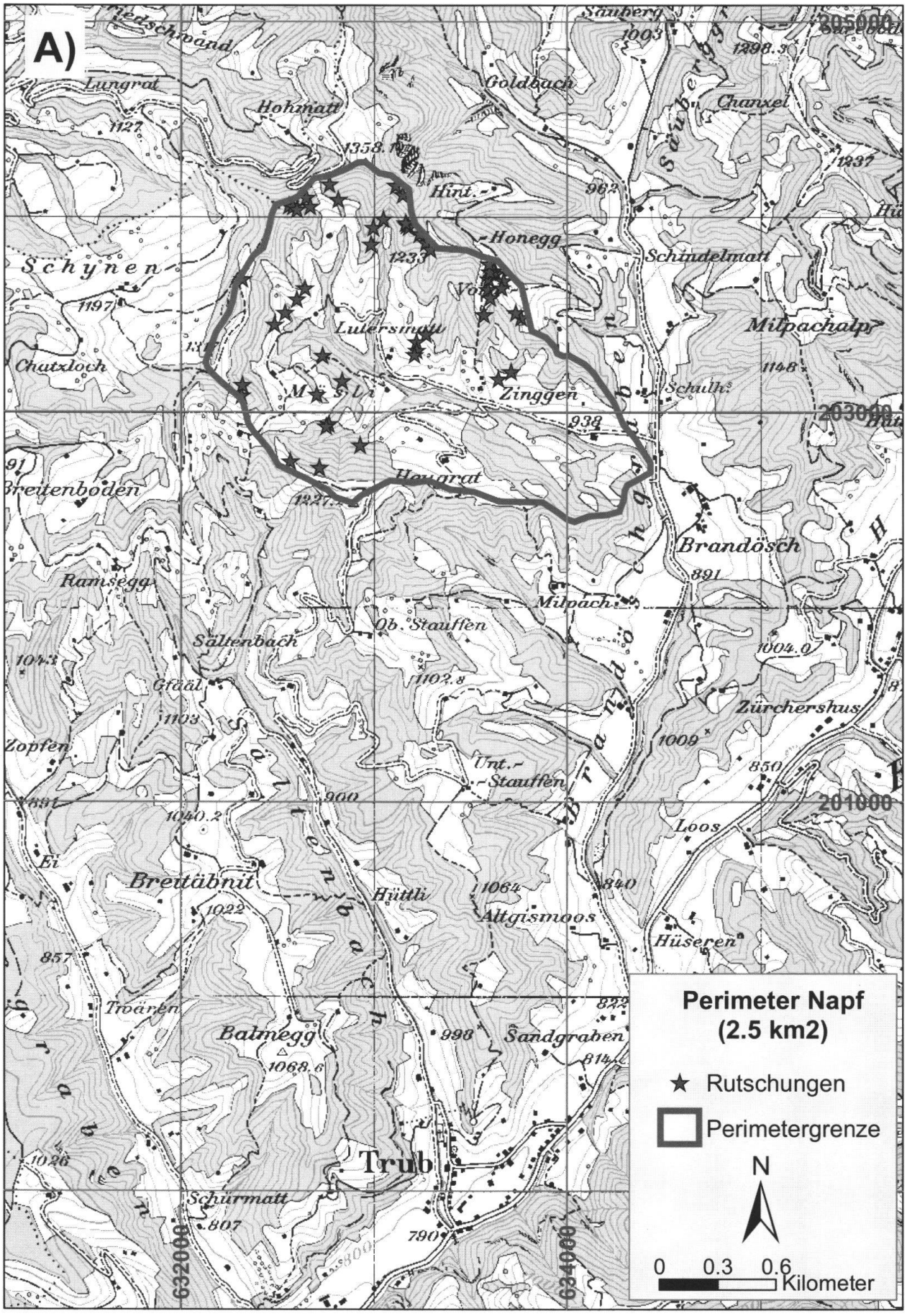
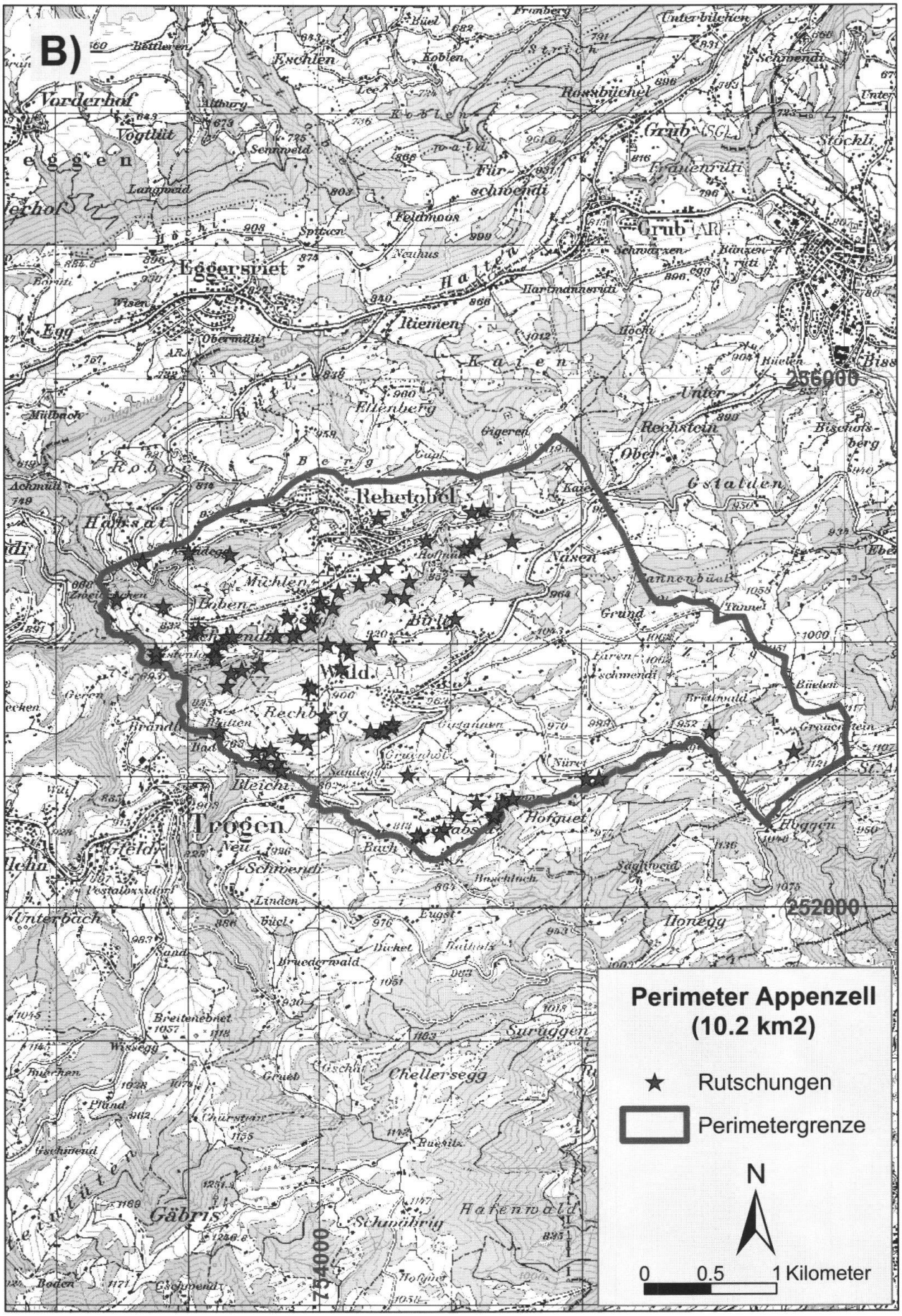


Fig. 2: Untersuchungsperimeter und analysierte Rutschungen der Unwetter 2002.
A) Perimeter Napf, B) Perimeter Appenzell. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA046134).


B)
Perimeter Appenzell
(10.2 km2)
Rutschungen
Perimetergrenze
N
0
0.5
1 Kilometer
256000
252000
754000
Eggersriet
Rehetobel
Trogen
Grub
Wald
Gäbris
Chellersegg
Hofguet
Gstalden
Rechstein
Riemen
Eschlen
Vorderhof
Vogtlüt
Feldmoos
Schwendi
Bleichi
Rechberg
Mühlen
Unterbach
Honegg
Suruggen
Hafenwald
Schwäbrig
Brüel
Nasen
Grund
Tannenbüel
Hartmannsrüti
Kaien
Ellenberg
Gigeren
Obermüli
Wissegg
Breitenebnet
Bruederwald
Linden
Neu
Gleich
Hoggen
Säglweid
Brettwald
Grauchstein
Nüret
Gutannen
Grueb
Gschwend
Pfund
Boden
Schwendi
Bach
Sandegg
Brändli
Blatten
Bad
Zweibächen
Achmüli
Mülbach
Egg
Wisen
Spitzen
Neuhus
Halten
Fürschwendi
Frauenrüti
Stöckli
Schwarzenbünzenrüti
Rossbüchel
Koblen
Lee
Sennweid
Langweid
Altburg
Vorderhof
Unterbilchen
Schwendi
Fronberg
Bissberg
Bischofsberg
Ebe
Büelen
Tunnel
Farenschwendi
Zelg
Unter
Ober
Hochi
Bühlen
Bühl
Hofmüli
Hobsat
Rohach
Berg
Eggen
Gigeren
Kaien
Gupf
Gstaden
Ebenwald
Schwendi
Wald
Rechberg
Gutannen
Grueb
Gschwend
Pfund
Boden
Chellersegg
Suruggen
Honegg
Hoggen
Säglweid
Brettwald
Grauchstein
Nüret
Hofguet
Bach
Sandegg
Bleichi
Trogen
Neu
Schwendi
Linden
Bücel
Unterbach
Bruederwald
Breitenebnet
Wissegg
Gäbris
Schwäbrig
Hafenwald
Gschwend
Boden
Gschwend
Pfund
Chellersegg
Suruggen
Honegg
Hoggen
Säglweid
Brettwald
Grauchstein
Nüret
Hofguet
Bach
Sandegg
Bleichi
Trogen
Neu
Schwendi
Linden
Bücel
Unterbach
Bruederwald
Breitenebnet
Wissegg
Gäbris
Schwäbrig
Hafenwald
Gschwend
Boden

Der Grund für diese unterschiedlichen Rutschaktivitäten (N/ha) in den beiden Gebieten ist schwierig zu erklären. Abgesehen von Zufälligkeiten bei der Definition der Untersuchungsperimeter dürften sich insbesondere die insgesamt steileren Geländeverhältnisse im Gebiet Napf ausgewirkt haben (vgl. Kap. 3.2). Einen Hinwies auf die unterschiedlichen Neigungsverhältnisse in den Untersuchungsperimetern geben die durchschnittlichen Neigungen bei den Rutschungen, welche im Gebiet Napf 37,4° beträgt und im Gebiet Appenzell 32,9° (Tab. 1). Der Einfluss der Niederschläge ist unklar, da im Gebiet Napf zwar während des Ereignisses geringere Regensummen gemessen wurden, jedoch in den Tagen zuvor mehr Regen fiel als im Gebiet Appenzell. Die im Jahr 2002 beobachteten Rutschaktivitäten waren weniger ausgeprägt als die Rutschaktivität anlässlich der Unwetter von Sachseln 1997 (0,31 N/ha, Rickli 2001).

Die Hangprozesse waren in beiden Untersuchungsperimetern im Wald intensiver als im Freiland. Gesamthaft für beide Untersuchungsperimeter betrug die Rutschaktivität im Wald 0,18 N/ha und Freiland 0,08 R/ha (Tab. 1). Innerhalb des Freilandes wurde die Nutzung nach «mehrheitlich beweidet», «mehrheitlich gemäht» und «einwachsend» unterschieden. 84% der Freilandrutschungen sind in mehrheitlich beweideten Flächen entstanden. Da die Flächenanteile der jeweiligen Nutzung im Freiland nicht bekannt sind, können die Rutschaktivitäten der unterschiedlich genutzten Freilandflächen nicht angegeben werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind wiederum die Neigungsverhältnisse in den entsprechenden Gebieten zu berücksichtigen. Die Hangneigungen sind bei den Rutschungen im Wald im Durchschnitt deutlich grösser sind als im Freiland, und im Freiland ist die Neigung der beweideten Flächen grösser als jene der gemähten Flächen (Tab. 1). Ähnliche Untersuchungen zeigen, dass bei vergleichbaren Hangneigungen im Wald weniger Rutschungen entstanden sind als im Freiland (Rickli 2001, Moser & Schoger 1989). Polloni et al. (1996) stellten zwar bei oberflächennahen Rutschungen im Piemont des Jahres 1994 einen höheren Anteil Rut-

Perimeter	Vegetation	Fläche (ha)	Rutschungen, Anzahl (N)	Rutschungen pro Hektare (N/ha)	[b] Neigung (°) [σ]
Napf	Wald	119	30	0.25	39.4 [4.0]
	Freiland	127	21	0.16	34.4 [3.3]
	Total	**247**	**51**	**0.21**	**37.4 [4.4]**
Appenzell	Wald	230	34	0.15	35.5 [5.0]
	Freiland	792	48	0.06	31.0 [4.3]
	Total	**1022**	**82**	**0.08**	**32.9 [5.7]**
Beide Perimeter	Wald	349	64	0.18	37.4 [4.9]
	Freiland, gesamt	919	69	0.08	32.0 [4.3]
	beweidet [a]		58	-	32.4 [4.2]
	gemäht [a]		7	-	29.7 [4.0]
	einwachsend [a]		4	-	30.1 [5.5]

Tab. 1: Angaben zu Vegetation, Rutschungen und Neigungsverhältnissen bei den Rutschungen in den Perimetern Napf und Appenzell. [a] Fläche nicht bekannt; [b] mittlere Neigung bei den Rutschungen sowie Standardabweichung σ [Werte in Klammern].

schungen im Wald fest, führten dies jedoch primär auf die grösseren Hangneigungen im Wald zurück. Die in der vorliegenden Untersuchung festgestellten intensiveren Hangprozesse im Wald werden primär auf die dort steileren Geländeneigungen zurückgeführt.

3.2 Neigungsverhältnisse bei den Rutschungen

Aus bodenmechanischen Überlegungen wird die Hangstabilität massgeblich durch die Geländeneigung beeinflusst. Die vorliegenden Ergebnisse der Untersuchung bestätigen dies. Die oberflächennahen Rutschungen wurden durch die Niederschläge in Gebieten mit Hangneigungen von 23 bis 50° ausgelöst (Fig. 3). 82% aller Rutschflächen weisen Hangneigungen von ≥30° auf, 93% der Rutschungen Neigungen von ≥28° und 97% der Rutschungen Neigungen von ≥26°. Bei Untersuchungen verschiedener Unwetterereignisse mit oberflächennahen Rutschprozessen in anderen Gebieten wurden zwar Neigungen in einem grundsätzlich ähnlichen Bereich beobachtet. Gewisse Abweichungen sind jedoch feststellbar. Beispielsweise wurden in Sachseln (Unwetter 1997) Neigungen zwischen 28 bis 45° gemessen (Rickli 2001), in Kärnten 1975 zwischen 22 und 52° oder im Tirol 1966 zwischen 18 und 48° (Moser 1980). Mögliche Ursachen für die beobachteten Differenzen bezüglich der Neigungsbereiche liegen namentlich in der Geologie, im auslösenden Niederschlagsereignis sowie in der Topographie der betroffenen Gebiete.

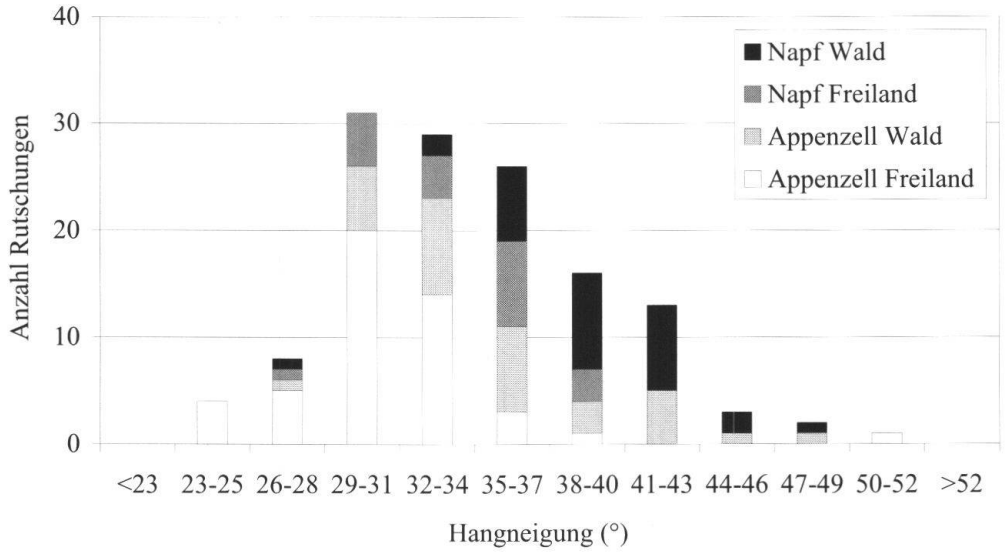


Fig. 3: Anzahl Rutschungen pro Neigungsklasse, unterschieden nach Untersuchungsperimeter und Vegetation.

3.3 Ausmass der Rutschungen

Das Volumen der Rutschungen wurde anhand von im Feld gemessenen Längen, Breiten und Mächtigkeiten abgeschätzt. Bei den Auswertungen wurden nur Rutschungen mit einem Volumen von mehr als 30 m^3 berücksichtigt. Die Anzahl der Rutschungen pro Volumenklasse nimmt mit zunehmendem Volumen ab (Fig. 4). Bei den untersuchten Objekten handelt es sich grösstenteils um kleine Rutschungen: mehr als 90% umfassen ein Volumen von weniger als 300 m^3. Bei der grössten Rutschung wurden ungefähr 1'100 m^3 Bodenmaterial umgelagert.

In beiden Untersuchungsgebieten sind Waldrutschungen kleiner als Freilandrutschungen: der Median der Volumina im Wald beträgt 60 m^3, jener für Freilandrutschungen 88 m^3 (Rickli & Bucher 2003). Anhand der Daten lässt sich eine leichte Abnahme des

Rutschvolumens mit zunehmender Hangneigung erkennen. Zusammenhänge zwischen dem Rutschvolumen und weiteren Faktoren wie der Höhenlage, der Geländeform oder der Exposition lassen sich nicht belegen. Die mittleren Mächtigkeiten der Rutschungen liegen bei etwa 0.5 bis 1.0 m, und damit fallen die Prozesse gemäss der Klassifikation in BRP, BWW, BUWAL (1997) in die Kategorie der flachgründigen Rutschungen (Kriterium: mittlere Mächtigkeit ≤2.0 m).

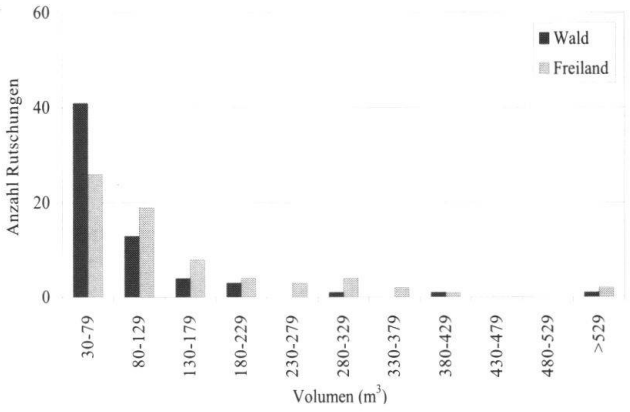


Fig. 4: Anzahl Wald- und Freilandrutschungen pro Volumenklasse.

3.4 Geomorphologie

Die Geomorphologie wurde ausgehend von den Anrisszonen auf einer Fläche von etwa 100 × 100 m beurteilt. In beiden Untersuchungsgebieten traten Rutschungen am häufigsten in der bezüglich Längenprofil konvexen Geländeform 6 auf, gefolgt von den Geländeformen 9 und 8 (Fig. 5). Die Geländeformen 1, 2, 4 und 7 kamen jeweils nur in Einzelfällen vor. Im Weiteren wurden bei 90% der Rutschungen deutliche Anzeichen früherer Hangbewegungen festgestellt, wie beispielsweise überwachsene Rutschnischen und Ablagerungsbuckel (Rickli & Bucher 2003).

Die Ergebnisse verschiedener anderer Untersuchungen weisen auf die Bedeutung von Mulden und Terrassenkanten als bevorzugte Auslösepunkte von oberflächennahen Rutschungen hin (z.B. Moser 1980, Polloni et al. 1996). Die Resultate der vorliegenden Studie deuten in eine ähnliche Richtung. Im Gegensatz dazu waren jedoch beim Unwet-

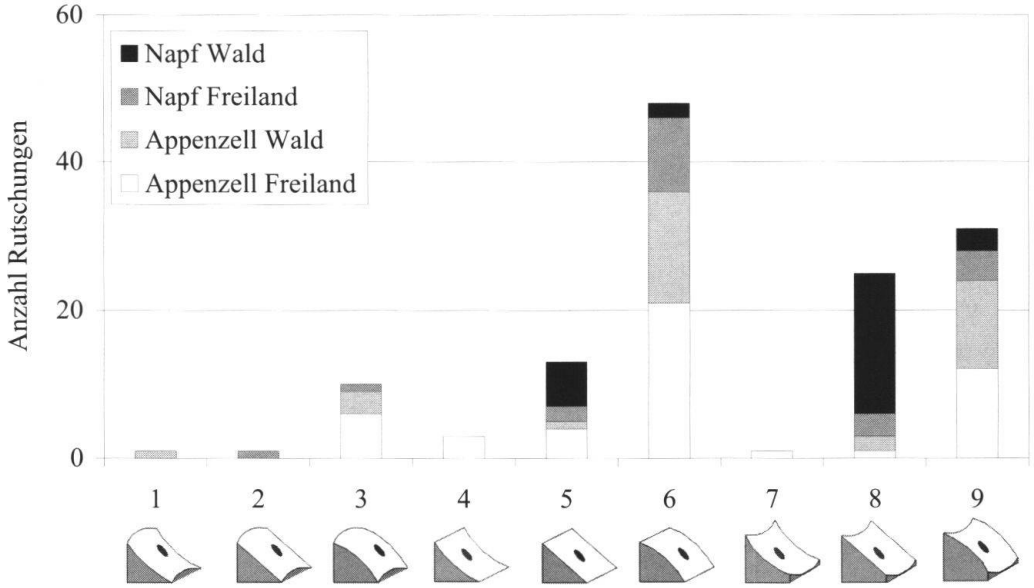


Fig. 5: Anzahl Wald- und Freilandrutschungen in den verschiedenen Geländeformen (1 bis 9). Typisierung der Geländeformen nach Geländewölbung sowohl in der Falllinie als auch senkrecht dazu. Die Geländeformen 3, 6 und 9 sind bezüglich der Hangfalllinie nach aussen gewölbt (Terrassen-/Buckelformen); die Geländeformen 7, 8 und 9 sind entlang der Höhenlinie nach innen gewölbt (Rinnen-/Muldenformen).

ter von Sachseln Mulden- oder Terrassenformen nicht besonders stark betroffen (Rickli 2001). Der Einfluss der Geländeform auf die Rutschaktivität scheint somit variabel zu sein in Abhängigkeit der Eigenheiten des betroffenen Gebietes und der Intensität der auslösenden Niederschlagsereignisse.

3.5 Geologie

Das Festgestein ist in rund 80% der beurteilten Rutschungen aufgeschlossen (Fig. 6). Wie erwähnt liegt der Perimeter Napf im Bereich der Oberen Süsswassermolasse mit hauptsächlich konglomeratischen Abfolgen und der Perimeter Appenzell im Bereich der Unteren Süsswassermolasse mit hauptsächlich Sandsteinen und Mergeln. Die bei den Rutschungen vorgefundenen Festgesteine entsprechen den Erwartungen, indem im Perimeter Napf namentlich Nagelfluh (31%) sowie Wechsellagerungen Nagelfluh–Sandstein (20%) bzw. Nagelfluh–Mergel (16%) beobachtet wurden. Im Perimeter Appenzell wurden vor allem Sandsteine (46%) und Wechsellagerungen Sandstein–Mergel (23%) vorgefunden.

In den untersuchten Gebieten setzen sich die Lockergesteine hauptsächlich aus Verwitterungsprodukten der örtlich anstehenden Festgesteine zusammen. Entsprechend dem unterschiedlichen Vorkommen dieser Festgesteine unterscheiden sich die beiden Untersuchungsperimeter deshalb auch in Bezug auf die Lockergesteine. Im Gebiet Napf wurden 43% der Lockergesteine im Feld als siltige Kiese und 39% als siltige Sande klassiert (Fig. 7). Im Perimeter Appenzell fehlen die kiesigen Lockergesteine fast vollständig und mit einem Anteil von 83% dominieren die siltigen Sande deutlich. In beiden Gebieten sind feinkörnige Lockergesteine wie siltige Tone und tonige Silte von untergeordneter Bedeutung.

Für die Untersuchungsgebiete liegen weder bezüglich der Locker- noch der Festgesteinen detaillierten Kartierungen vor. Damit sind keine quantitativen Aussagen zum Einfluss der Fest- und Lockergesteine auf die Rutschaktivität möglich.

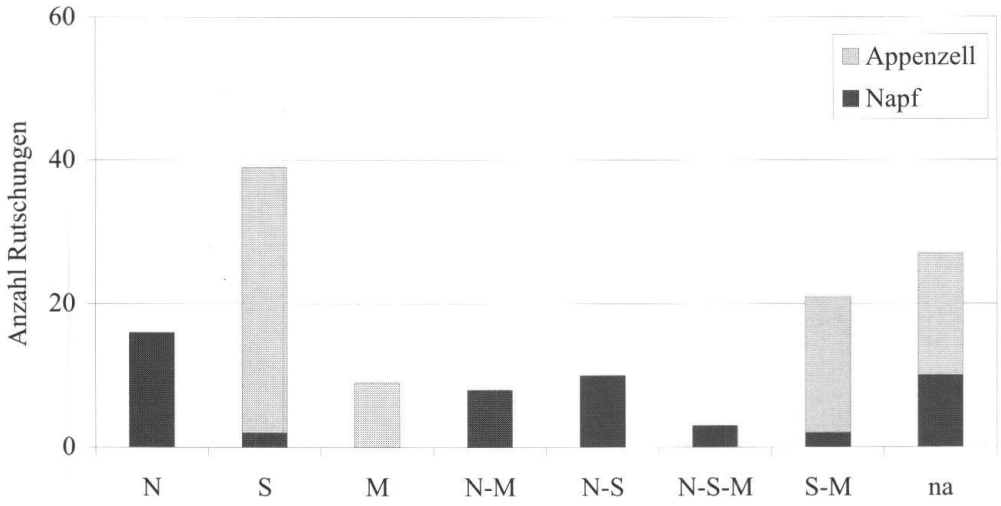


Fig. 6: Freigelegte Festgesteine in den Rutschflächen der Untersuchungsperimeter Napf und Appenzell. Abkürzungen: N = Nagelfluh, S = Sandstein, M = Mergel, N–M = Wechsellagerung Nagelfluh-Mergel, na = nicht aufgeschlossen.

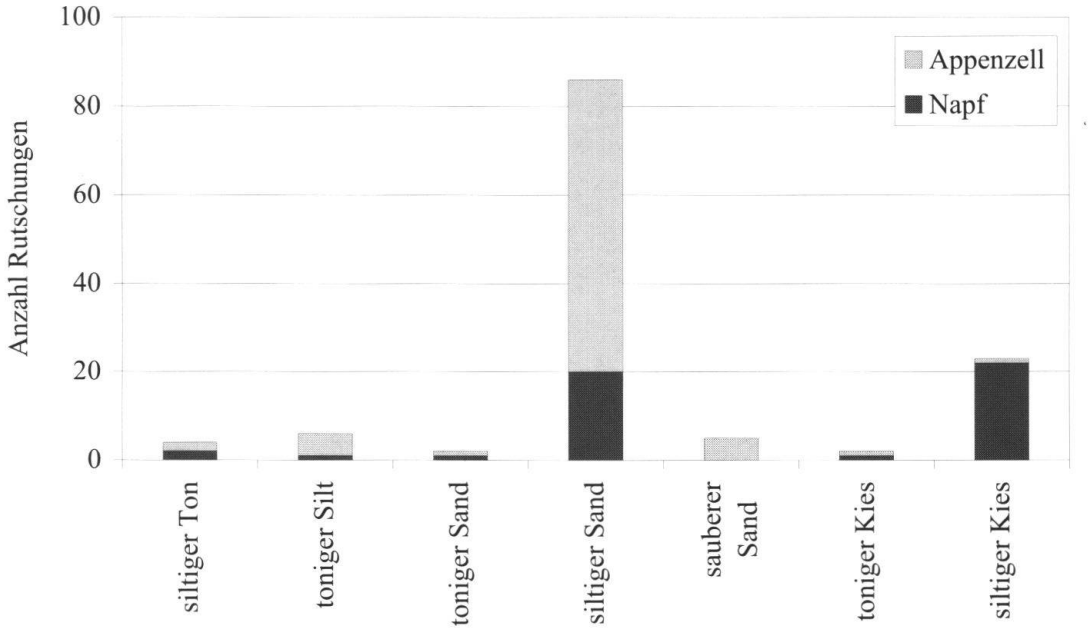


Fig. 7: Beurteilung der Lockergesteine im Feld nach VSS (1997a) am oberen Anrissrand der Rutschungen in den Untersuchungsbieten Napf und Appenzell.

3.6 Lockergesteinsproben

Aus dem Bereich der Gleitflächen von ausgewählten Rutschungen wurden insgesamt acht Lockergesteinsproben entnommen und im Labor analysiert (Fig. 8). Das Ziel bestand unter anderem darin, den Bereich der eher feinkörnigen, bodenmechanisch ungünstigen Lockergesteine zu untersuchen. Die Proben wurden nach USCS-Klassifikation (VSS 1997b) als magere Tone (CM), sandige Silte (CL) und tonige Sande mit Kies (SC) klassiert. Die entsprechenden Scherwinkel betragen gemäss VSS (1999) für CM-Böden 25° (Standardabweichung $\sigma = 5{,}1°$), für CL-Böden 31° ($\sigma = 4{,}1°$) und für SC-Böden 35° ($\sigma = 4{,}7°$).

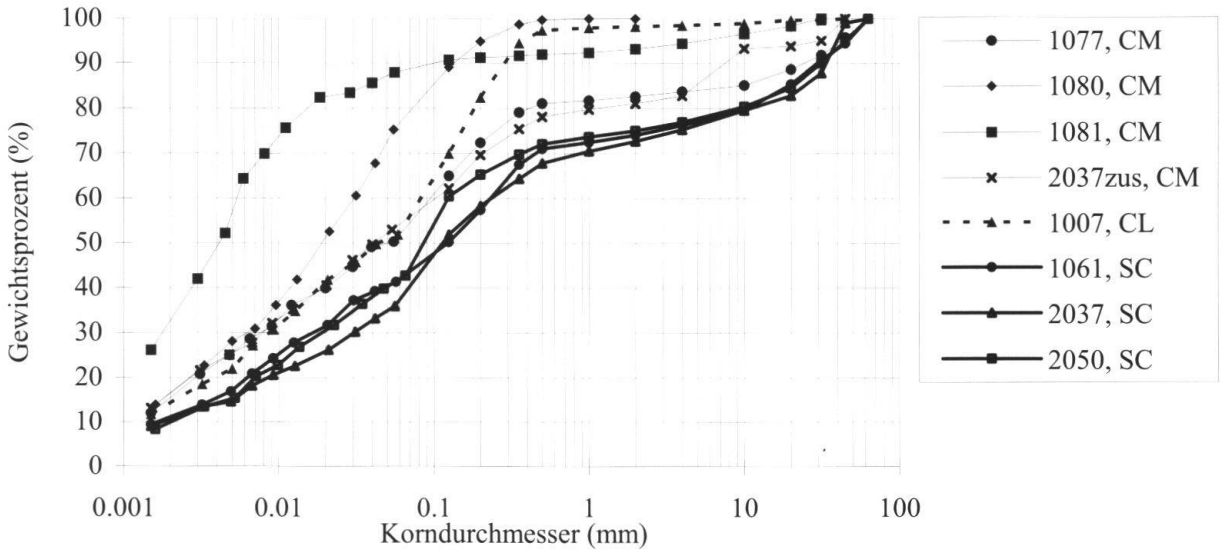


Fig. 8: Korngrössenanalyse von Lockergesteinsproben aus den Untersuchungsgebieten Napf und Appenzell. Legende: Angabe der Probennummer und Klassifikation nach USCS (VSS 1997b).

3.7 Boden- und Wasserverhältnisse

In einem Bodenprofil am oberen Anrissrand der Rutschungen wurden verschiedene Bodeneigenschaften wie die Entwicklung, Durchlässigkeit und Wassersättigung beurteilt. Im Weiteren wurden auch Wasseraustritte in der Rutschfläche sowie Vernässungsanzeichen in der Umgebung der Rutschung protokolliert. Die Auswertungen zeigen, dass die Böden – insbesondere die obersten Horizonte – im Allgemeinen gut durchlässig sind. Mit zunehmender Profiltiefe nimmt jedoch die Durchlässigkeit häufig ab (Rickli & Bucher 2003). Bei ungefähr 80% der Rutschungen wurden in der Rutschfläche während der Feldaufnahmen keine bzw. nur unbedeutende Wasseraustritte beobachtet. Lediglich in 5% der Fälle konnten in der Umgebung der Rutschung Vernässungsmerkmale festgestellt werden. Gemäss den vorliegenden Ergebnissen kann somit die Vernässung eines Standortes bei Gefahrenbeurteilungen nicht allein als massgebendes Kriterium für eine erhöhte Rutschanfälligkeit dienen; d.h. auch auf nicht vernässten Standorten sind Rutschungen zu erwarten. Vernässte Standorte müssen jedoch besonders kritisch beurteilt werden.

3.8 Rutschmechanismen

Bei der überwiegenden Mehrheit der Rutschungen (75%) bildete die Felsoberfläche bzw. die Grenze zwischen Fest- und Lockergestein die Gleitfläche (Rickli und Bucher 2003). Die Rutschbewegung erfolgte in neun von zehn Fällen translationsförmig. Bei den meisten Rutschungen floss ein grosser Teil des Rutschmaterials aufgrund der grossen Wassersättigung und der grossen Hangneigungen murgangförmig ab. Nur wenig Rutschmaterial verblieb im Kontakt mit der Gleitfläche. Der aus dem Bereich der jeweiligen Rutschflächen abgeflossene Anteil des Rutschvolumens aller Rutschungen wird auf etwa 80% geschätzt. Die Auslaufstrecke (Fig. 9) betrug in den meisten Fällen zwi-

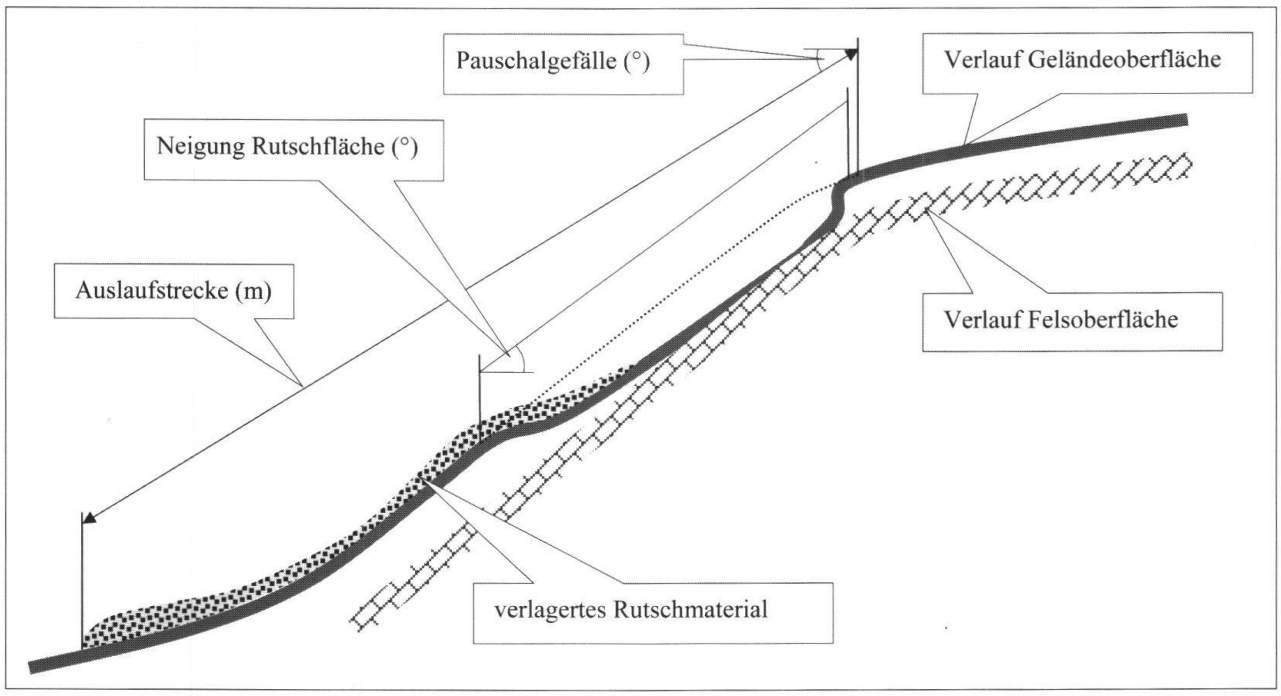


Fig. 9: Skizze eines Längenprofils durch eine Rutschfläche, wie sie besonders häufig im Perimeter Appenzell beobachtet wurde:
- Anriss im Übergang von oben flach zu unten steil
- steile Partien in der Regel beweidet
- flachere Stellen gemäht
- Felsoberfläche teilweise freigelegt

schen 20 und etwa 80 m, wobei die maximale Distanz zwischen Anriss und Ablagerung 150 m betrug. Die Pauschalgefälle schwanken zwischen knapp 20 und 40°.

4. Folgerungen

Durch extreme, kurzzeitige Niederschläge werden hauptsächlich spontane, oberflächennahe Rutschungen ausgelöst. Die verlagerten Volumina dieser Rutschungen sind in der Regel klein. Grössere Rutschungen bis über 1'000 m^3 kommen vor, sind in den untersuchten Gebieten jedoch selten. Trotzdem ist das Gefahrenpotential dieser Prozesse erheblich. Einerseits lässt sich der Entstehungsort nur schlecht prognostizieren, wodurch auch die Planung von Schutzmassnahmen erschwert ist. Andererseits erfolgt die Auslösung plötzlich, und das in der Regel murgangförmig und schnell abfliessende Bodenmaterial kann auch bei kleinen Volumina verheerende Schäden verursachen.

Die Beurteilung der Gefahr durch oberflächennahe Rutschungen ist mit grossen Problemen verbunden, sowohl was den Ort der Auslösung betrifft als auch die Länge der Auslaufstrecke. Besonders schwierig ist es, die Gefährdung über grössere Gebiete zu beurteilen (z.B. für Gefahrenkarten). Die Resultate der vorliegenden Untersuchung können nicht als einfache Rezepte zusammengefasst werden. Trotzdem tragen sie zu einem besseren Prozessverständnis bei. Nachfolgend werden einige Ergebnisse aufgeführt:

- Die Rutschungen in den Unwettergebieten Napf und Appenzell entstanden in Flächen mit Neigungen zwischen 23 und 50°. Vergleiche mit anderen Analysen zeigen, dass die betroffenen Neigungsbereiche von Gebiet zu Gebiet und von Ereignis zu Ereignis variieren. Diese kritischen Neigungen in Abhängigkeit der Lockergesteinseigenschaften (Scherwinkel) sind zentrale Eingangsgrössen bei Gefahrenbeurteilungen und müssen für jedes Gebiet separat festgelegt werden.
- Bei den meisten Rutschungen wurden Anzeichen früherer Hangbewegungen festgestellt. Bei einer Gefahrenbeurteilung sind deshalb Geländebegehungen unter anderem zur Identifikation solcher Anzeichen von zentraler Bedeutung. Mit einer entsprechenden Kartierung können grosse Teile der aktiven und potentiellen Rutschgebiete erkannt werden.
- Viele Rutschungen entstanden in konvexen oder rinnenförmigen Lagen. Dies stimmt mit den Ergebnissen einiger anderer Analysen überein. Im Gegensatz dazu waren bei den Unwetterereignissen von Sachseln 1997 diese Geländeformen nicht besonders stark betroffen.
- Die Rutschmassen wurden zum grössten Teil aus dem Bereich der Rutschfläche abtransportiert. Die gemessenen Pauschalgefälle liegen im Bereich von 17 bis 40°. Durch welche Faktoren das Pauschalgefälle gesteuert wird, konnte nur im Ansatz eruiert werden. Eingehendere Untersuchungen zum murgangartigen Abfliessen von Rutschmassen sind notwendig. Die Analyse der Ereignisse zeigt jedoch mit aller Deutlichkeit, dass bei Gefahrenbeurteilungen nicht nur der Ort der Rutschauslösung, sondern auch der Abflussweg des Bodenmaterials zu beurteilen ist.
- Im Wald entstanden in den Gebieten Napf und Appenzell mehr Rutschungen pro Fläche als im Freiland, und auf beweideten Flächen waren die Hangprozesse intensiver als auf gemähten. Diese Ergebnisse können jedoch nicht in dieser Form bei Gefahrenbeurteilungen verwendet werden, insbesondere da die Nutzung mit der Neigung korreliert ist, d.h. beweidete Flächen sind in der Regel steiler als gemähte, Wald ist steiler als Freiland. Verschiedene Untersuchungen weisen auf den positiven Einfluss von Wald auf die Hangstabilität hin (z.B. Rickli 2001).

- Die meisten Rutschungen ereigneten sich auf nicht vernässten Standorten. Die Vernässung eignet sich nicht als massgebender Faktor für die Identifikation von potentiellen Anrissgebieten. Wo Vernässung festgestellt wird, muss die Situation jedoch besonders gut untersucht werden.
- Bei der überwiegenden Anzahl der Rutschungen bildete die Felsoberfläche die Gleitfläche. Die Lockergesteinsüberdeckung ist in beiden Perimetern gering. Die Gleitfläche kann einerseits direkt auf der Felsoberfläche oder aber innerhalb der obersten Verwitterungsschicht liegen. Rutschungen, bei denen Nagelfluh und eher grobkörnige Lockergesteine beobachtet wurden, sind in grösseren Hangneigungen angebrochen als Rutschungen, bei denen Sandstein und Mergel mit vorwiegend feinkörnigen Lockergesteinen dominieren (Rickli & Bucher 2003). Da jedoch weder für die Fest- noch die Lockergesteine eine detaillierte Kartierung für die beiden Perimeter vorliegt, kann der Einfluss der Gesteine auf die Rutschaktivität im Rahmen dieser Arbeit nicht quantifiziert werden.

Wie erwähnt, wurden in der vorliegenden Untersuchung nur Rutschungen ohne erkennbare Auslösung durch Gerinneerosion oder Eingriffe des Menschen (insbesondere Strassenböschungen und -entwässerungen) berücksichtigt. Es ist jedoch wichtig festzuhalten, dass in der Regel ein sehr hoher Anteil aller Rutschungen, welche in einem Schadengebiet durch Starkniederschläge entstehen, massgeblich durch Gerinne und Strassen beeinflusst ist.

Die im Rahmen des Projektes erhobenen Daten eignen sich zur Eichung bestehender oder neuer Modelle im Bereich der Identifikation von Rutschprozessen. Allerdings ist im Zusammenhang mit oberflächennahen, spontanen Prozessen auf die grossen Schwierigkeiten für Modelle mit hohem Detaillierungsgrad hinzuweisen. Der Grund liegt hauptsächlich in der kleinflächigen Variation und damit der sehr aufwändigen Erfassung der massgebenden Einflussgrössen. Die digitalen Grundlagen stehen zum jetzigen Zeitpunkt in der erforderlichen (sehr detaillierten!) Auflösung nur in seltensten Fällen zur Verfügung.

Das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) analysiert die Resultate dieser Untersuchung und anderer Studien, um im laufenden Jahr methodische Vorgaben bei der Gefahrenbeurteilung von Rutschungen zu veröffentlichen. Aus der Analyse der Unwetter in den Gebieten Napf und Appenzell des Jahres 2002 geht hervor, dass für die Gefahrenbeurteilung Felduntersuchungen und Kartierungen (Identifikation der Lockergesteine und deren Mächtigkeit, Hangformen, potentielle Fliesswege) von Bedeutung sind. Kritische Hangneigungen in Abhängigkeit der Lockergesteinseigenschaften sind weitere wichtige Parameter bei der Beurteilung der Hangstabilität. In den untersuchten Gebieten weisen 82% der Rutschungen Hangneigungen von 30° oder mehr auf, und 97% der Rutschungen entstanden bei Neigungen von 26° oder mehr. Daraus wird ersichtlich, dass oberflächennahe Rutschungen und Hangmuren eine probabilistische Betrachtungsweise voraussetzen. Wie bei der Abschätzung von Hochwasserabflüssen oder von Niederschlagsintensitäten ist die Wahrscheinlichkeit auch bei der Beurteilung der Gefahr durch oberflächennahe Rutschungen ein wichtiges Element. Allerdings gelten derartige Neigungswerte ausschliesslich für geologisch/geotechnisch vergleichbare Gebiete. Weitere gebietsspezifische Datensätze sind notwendig, um die ganze Schweiz mit der gleichen Methode und vergleichbaren Sicherheitsstandards abzudecken.

Verdankung
Die Untersuchung der oberflächennahen Rutschungen des Jahres 2002 in den Gebieten Napf und Appenzell wurde unterstützt durch das Bundesamt für Wasser und Geologie BWG.

Literatur

Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten – Empfehlung. 42 S.

Moser, M. 1980: Zur Analyse von Hangbewegungen in schwachbindigen bis rolligen Lockergesteinen im alpinen Raum anlässlich von Starkniederschlägen. Proc. Int. Symp. Interpraevent 1980, Bad Ischl, Vol. 1, 121–148.

Moser, M. & Schoger, H. 1989: Die Analyse der Hangbewegungen im mittleren Inntal anlässlich der Unwetterkatastrophe 1985. Wildbach- und Lawinenverbau 110 (53), 1–22.

Polloni, G., Aleotti, P., Baldelli, P., Nosetto, A. & Casavecchia, K. 1996: Heavy rain triggered landslides in the Alba area during November 1994 flooding event in the Piemonte Region (Italy). Proc. 7th Int. Symp. on Landslides, Trondheim, Norway.

Rickli, C. (Red.) 2001: Vegetationswirkungen und Rutschungen – Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 97 S.

Rickli, Ch. & Bucher, H. 2003: Oberflächennahe Rutschungen, ausgelöst durch die Unwetter vom 15. bis 16. 7. 2002 im Napfgebiet und vom 31. 8. bis 1. 9. 2002 im Gebiet Appenzell – Projektbericht zuhanden des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG, 97 S. http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/pdf/uw2002ru.pdf (Mai 2004).

Tergeso AG 2002: Starkniederschlag am 15./16. Juli 2002 im Napfgebiet. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG, 8 S. (unveröff.)

Tergeso AG 2003: Der Niederschlag beim Unwetter vom 31. 8. bis 1. 9. 2002 im Raum Appenzellerland. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG, 21 S. http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/pdf/uw2002mo.pdf (Mai 2004).

VSS 1997a: Identifikation der Lockergesteine – Feldmethode. Schweizer Norm SN 670 005a. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, 6 S.

VSS 1997b: Identifikation der Lockergesteine – Labormethode mit Klassifikation nach USCS. Schweizer Norm SN 670 008a. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, 16 S.

VSS 1999: Bodenkennziffern. Schweizer Norm SN 670010b. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, 13 S.