D 6163 E

Die Geowissenschaften

Forschung und Praxis

Organ der Alfred-Wegener-Stiftung

3/'91



Schieferrutschung in Graubünden
Perspektiven der Geophysik
Statistik und Lagerstättenkunde

9. Jahrgang, Heft 3, März 1991 ISSN 0933-0704 GEOWEW 9 (3) 67–98 (1991)

VCH

André Lambert

Ein Berg auf Talfahrt

Die Schieferrutschung im Lugnez (Graubünden, Schweiz)

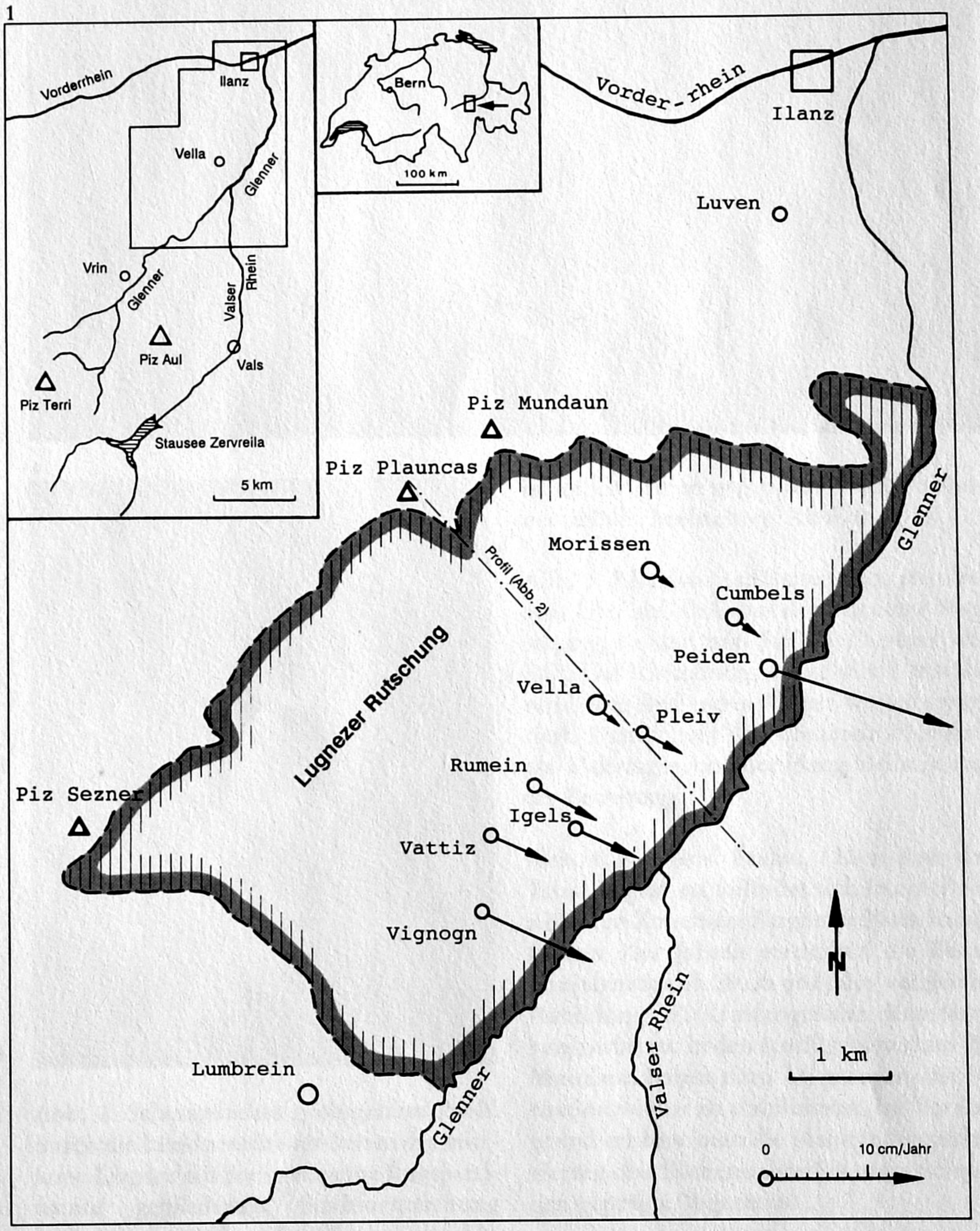


Abb. 1. Situation der Lugnezer Schieferrutschung im Graubündner Oberland. Die Pfeile bezeichnen die Richtungen und mittleren Verschiebungsraten der von 1887 bis 1989 durch wiederholte Vermessung bestimmten Bewegungen ausgewählter Kontrollpunkte.

Abstract

Several catastrophic floods in the Rhine valley, upstream from Lake Constance, have repeatedly been caused by excessive sediment accumulation on the river bed. One of the remedial measures decided towards the end of the 19th century was, therefore, the reduction of sediment yield by prevention of erosion in the catchment area, the majority of which is located in Canton Graubünden. First priority was given to regions with slope instabilities which release large amounts of sediment into the tributaries of the Rhine. Most of these instabilities occur in a schist formation called "Bündnerschiefer", a metamorphic marine sediment of predominantly detrital composition. Due to the high clay content it is subject to intensive weathering and gives rise to extensive creep slopes. The present article illustrates the creep behaviour of this rock formation in a case study of the Lugnez-slide, which covers an area of about 30 km² in a tributary valley of the Rhine. This example has been particularly well documented by repeated geodetic surveys since 1887. The creep rates vary significantly in particular zones, with values up to 28 cm per year. The movements are primarily due to progressive erosion of the slope toe by the river. However, creep behavior also depends on the water migration in fissures and in clay-rich zones, forming slip surfaces within and, especially, at the base of the moving mass.

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, W-6940 Weinheim, 1991
0933-0704/91/0303-0067 $ 03.50 + .25/0

1 Einleitung

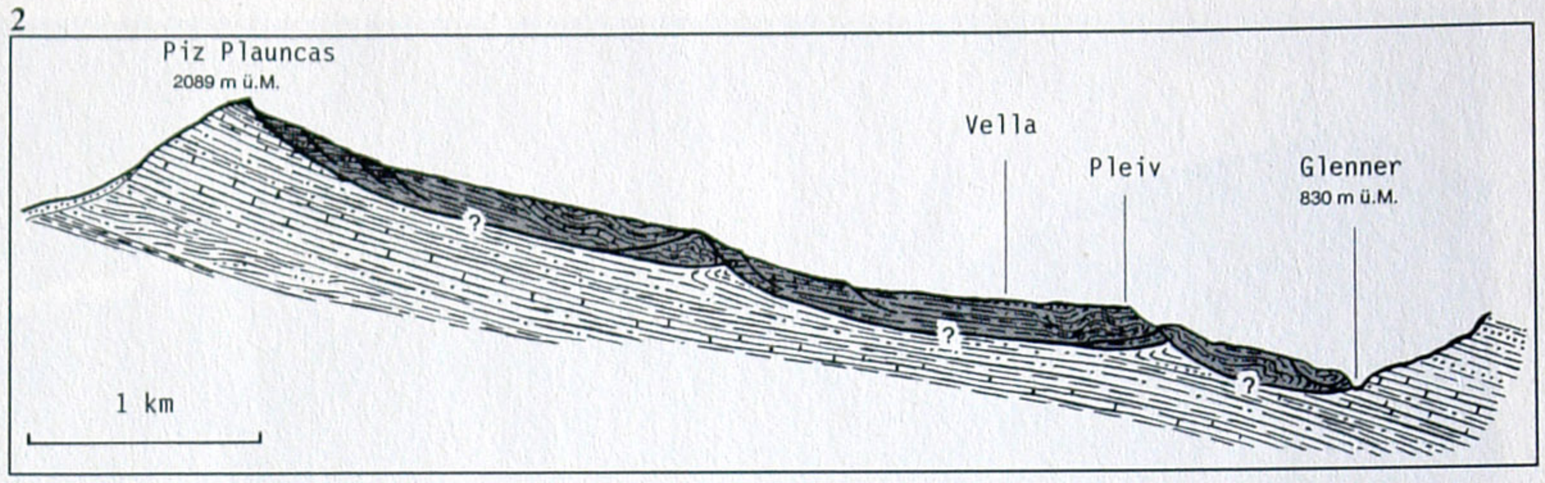
Der Alpenrhein, mit einem Einzugsgebiet von 6 140 km², schüttet jedes Jahr rund 3 Millionen Kubikmeter Feststoffe in den Bodensee. Der daraus resultierende flächenhafte Abtrag von 515 m³/km² pro Jahr im Einzugsgebiet erreicht damit etwa den doppelten Wert des aus verschiedenen Deltavermessungen für den schweizerischen Alpenraum ermittelten Durchschnittswertes [1].

In den inneren Alpentälern bewältigen der Rhein und seine Zuflüsse diese Geschiebefracht aufgrund ausreichenden Gefälles meist problemlos. Die Abnahme des Gefälles beim Übergang in das St. Galler Rheintal in der Gegend von Sargans, etwa 50 km vor der Einmündung in den Bodensee, hat zur Folge, daß der Rhein einen großen Teil seiner Schleppkraft einbüßt.

Noch in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wand sich der Alpenrhein in weit ausholenden Mäandern auf seiner Alluvialebene dem Bodensee entgegen. Dann griff der Mensch in dieses System ein: Zunächst zaghaft, dann mit immer massiverem Einsatz zwängte er den Rhein in ein Korsett aus parallelen Dämmen, um den Boden der Schwemmebene zu nutzen und sich gegen Hochwasser zu schützen. Aber auch in seinem eingeengten Gerinne deponierte der Fluß zeitweise mehr Geschiebe, als er zu transportieren imstande war, so daß die Sohle aufsedimentiert wurde. Als Folge überflutete der Rhein stellenweise die durch die Ablagerungen zu niedrig gewordenen Dämme und verursachte dadurch große Hochwasserschäden. Davon betroffen waren nicht nur das St. Galler Rheintal, sondern auch Vorarlberg und Liechtenstein [2].

Der Kampf gegen das Hochwasser war mithin auch ein Ringen gegen das Geschiebe. Im Rahmen des Staatsvertrages von 1892 zwischen Österreich und der Schweiz bemüht man sich deshalb unter anderem seit Jahrzehnten, die Geschiebezufuhr aus dem Einzugsgebiet zu verringern. Im Vordergrund stehen dabei naturgemäß die besonders erosionsgefährdeten Regionen. Dazu gehören neben den quartären Lockergesteinsmassen in erster Linie die mächtigen mesozoischen Schieferkomplexe Graubündens. Diese auch im übrigen Alpenraum, insbesondere aber im bündnerischen Rheingebiet vorkommende Formation, die entsprechend als *Bündnerschiefer* bezeichnet wird, neigt zu ausgesprochen

2



3



4

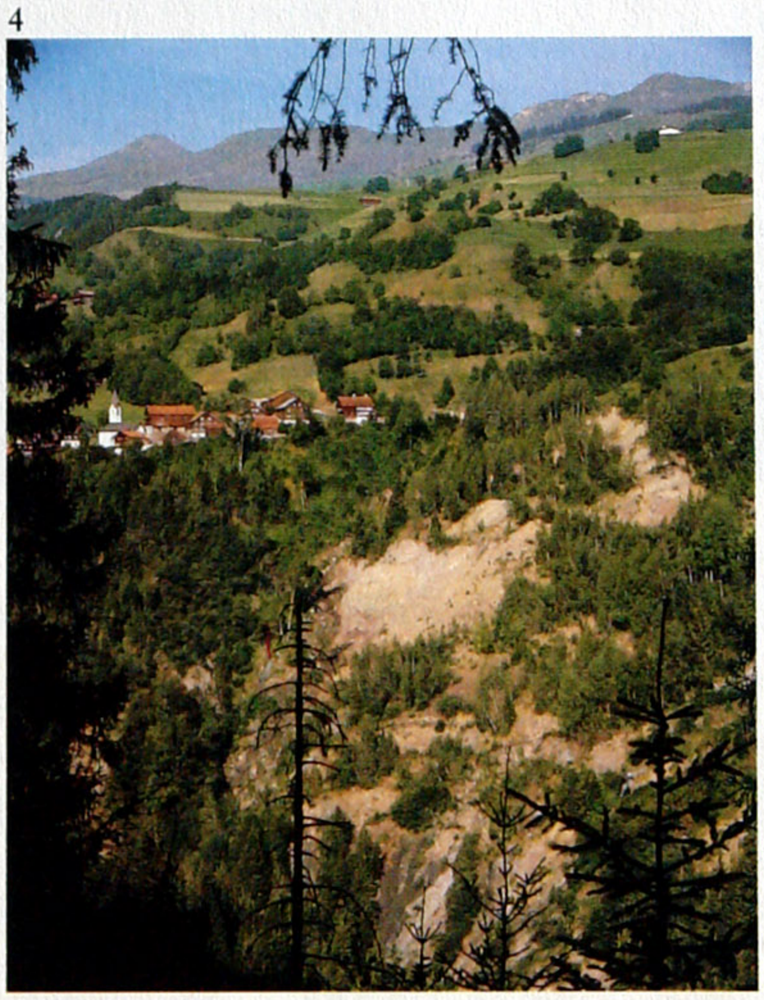


Abb. 2. Schematisches geologisches Profil durch die Bündnerschiefer-Serien des mittleren Lugnez mit der in einzelne Kompartimente gegliederten Schieferrutschung (gelb hervorgehoben; Profilspur siehe Abbildung 1). Die größten Bewegungsbeträge werden im untersten Kompartiment, das in steilen Stufen gegen den Talfluß Glenner abfällt, beobachtet (Abbildung 3).

Abb. 3. Blick vom rechtsseitigen, standfesten Ufer auf die Front der Lugnezer Rutschung, die steil zum Talfluß (Glenner) abfällt. Der Rutschungsschutt wird fortwährend vom fließenden Wasser wegtransportiert. Damit fehlt der stützende Hangfuß als Widerlager, und der Hang bleibt in steter Bewegung.

Abb. 4. Das Dorf Peiden, 120 m über der Talsohle gelegen, befindet sich in einer der aktivsten Zonen der Lugnezer Rutschung. In den 30er Jahren erreichten die Bewegungsbeträge bis 28 cm pro Jahr (vergleiche Abbildung 6). Umfangreiche Entwässerungsarbeiten in den Anrißgebieten am Piz Mundaun haben dazu beigetragen, die Situation wieder zu stabilisieren. Im Vordergrund erkennt man die von ständig reaktivierten oberflächennahen Schuttrutschungen geprägte Vegetation.

5



Abb. 5. Die Kirche St. Vincentius in Pleiv/Vella, lange Zeit religiös-kulturelles Zentrum des Tales, ist im karolingischen Reichsurbar als „Ecclesia plebeia ad S. Vincentium" erstmals urkundlich erwähnt. Die Spitze des aus der Zeit um 1100 n. Chr. stammenden Kirchturms dient als Kontrollpunkt für die Messung der Hangbewegung (siehe Abbildungen 1 und 6). Seit Beginn der Messungen im Jahr 1887 wurde dieser Punkt etwa um die Breite des Turms, d. h. knapp 5 m nach Südosten – im Bild nach rechts – verschoben. Grabungen mit Funden aus der Mittleren Bronzezeit bekunden eine Besiedlung dieses Ortes bereits um das 13. Jahrhundert vor Christus [6]; seither dürfte sich diese ehrwürdige Kultstätte um mehr als 150 m verschoben haben.

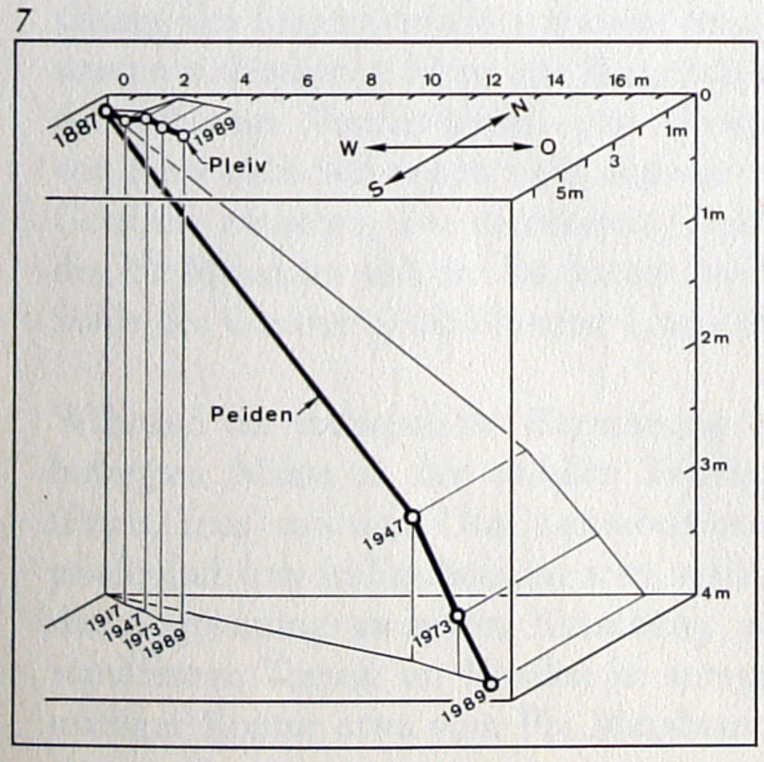
6



Abb. 6. In den tonreichen Schichten der mit bis zu 45° mehr oder weniger hangparallel einfallenden Bündnerschiefer bilden sich bei starker Durchfeuchtung Gleitflächen, auf denen der Hang in langsamer Bewegung talwärts kriecht.

Abb. 7. Stereometrische Darstellung der räumlichen Verschiebung der Vermessungskontrollpunkte Pleiv und Peiden von 1887 bis 1989. Der Vergleich der Trajektorien zeigt deutlich die unterschiedliche Bewegungsintensität in den mittleren und unteren Bereichen der Rutschung. Während sich der Kontrollpunkt Pleiv mit einem fast horizontal und vergleichsweise langsam kriechenden Kompartiment verschiebt, dokumentiert die Bewegung des Punktes Peiden die wahrscheinlich durch Solifluktion beschleunigte Talfahrt an der fortwährend der Flußerosion ausgesetzten Rutschungsfront.

7



großflächiger Rutschbildung. Da die Bündnerschiefer infolgedessen ein weiträumiges, kaum versiegendes Abtragungsreservoir darstellen, mußten sich die für den Hochwasserschutz verantwortlichen Instanzen konsequenterweise auch mit den Schieferrutschungen im Einzugsgebiet und möglichen Sicherungsmaßnahmen beschäftigen. Aus diesen langjährigen Untersuchungen resultierte eine umfassende Kenntnis der bündnerischen Rutschgebiete, deren Flächenanteil rund 300 km² umfaßt [3]. Der vorliegende Beitrag versucht, anhand einer der bekanntesten und bestuntersuchten Schieferrutschungen im Bündner Oberland einen Einblick in diesen Aspekt der alpinen Gegenwartsgeologie zu geben.

2 Die Schieferrutschung im Lugnez

2.1 Geographisch-geologische Situation

Lugnez ist die deutsche Bezeichnung für die im romanischen Sprachgebiet der Region Bündner Oberland liegende Talschaft Lumnezia. Der Talfluß Glenner (romanisch: Glogn) nimmt auf halbem Weg den Valser Rhein auf und mündet bei Ilanz (der ersten Stadt am Rhein) in den Vorderrhein (Abbildung 1). Während die Wasserführung des Valser Rheins seit 1956 durch die Kraftwerke Zervreila wesentlich beeinflußt wird, behielt der Glenner noch seinen ursprünglichen Wildbach-Charakter. Die großen Höhenun-

terschiede im Einzugsgebiet – von den höchsten Gipfeln Piz Terri und Piz Aul (3 149 und 3 121 m ü. M.) bis zum 25 km entfernten Ilanz auf 700 m ü. M. – dokumentieren die hohe Reliefenergie.

Am Gesteinsinventar des Glenner-Einzugsgebietes sind die Bündnerschiefer mit rund 80 % beteiligt. Sie gehören zu den Sedimenthüllen der Kristallineinheiten des Gotthard-Massivs, des Tavetscher Zwischenmassivs und der dem penninischen Faziesraum zuzuschreibenden Adula-Decke. Im südwestlichen Teil des Einzugsgebietes treten untergeordnet Gneise, Amphibolite und Marmore dieser Decke auf. Der Sammelbegriff *Bündnerschiefer* umfaßt eine Serie posttriadischer bis kretazischer, durch alpine Tektonik stark geschieferter und stellenweise intensiv gefalteter, meist fossilleerer Sedimente. Das petrographische Spektrum reicht von Tonschiefern über Mergel und Kalke zu Sandsteinen in stark wechselnder Zusammensetzung (Quarz, Calcit, Plagioklas, Muskovit, Chlorit, Tonmineralien und oft graphitisches Pigment). Der vor allem in den pelitischen Serien hohe Tonanteil ist eine der entscheidenden Ursachen für die ausgedehnten Bodenbewegungen in diesen Schiefergebieten, da die Tonschiefer tiefgründig verwittern und große Mengen Wasser binden.

2.2 Morphologische Merkmale

Eine weitere wesentliche Voraussetzung für die Entstehung der Rutschungen ist die Schrägstellung der Schichten. Damit ergeben sich häufig auf der einen Talseite steile, von Runsen durchzogene, aber infolge der bergeinwärts geneigten Schichtung meist standfeste Flanken, auf der gegenüberliegende Seite, mehr oder weniger der Schichtneigung folgende Hänge, die zu tiefgründigen Rutschungen Anlaß geben (Abbildung 2). Die Rutschung des Lugnez erfaßt praktisch den gesamten südöstlichen Hang des Bergrückens, der zwischen Vorderrheintal und Glenner von Ilanz nach Südwesten zieht und von der Gratlinie zwischen den markanten Gipfeln des Piz Mundaun und des Piz Sezner bis zur Sohle des Glenner (Abbildungen 1 und 2).

Während die südwestliche Begrenzung der bewegten Masse in der stabilen Felsrippe (Perm, Trias) mit dem Dorf Lumbrein morphologisch klar in Erscheinung tritt, verläuft die Abgrenzung zwischen Rutschung und standfestem Terrain im Norden in unregelmäßiger Kontur etwa vom Piz Mundaun in östlicher Richtung bis zur Talsohle des Glenner. Die Hangbewegung umfaßt somit eine Fläche von rund 30 km². Die mittlere Neigung beträgt etwa 15°. Der Hang zeigt aber eine deutliche Aufteilung in Terrassen, die ihrerseits durch Sackungsbewegungen in treppenartig gestufte oder bucklige Schollen aufgelöst werden.

Die Abrißkerben am oberen Rand der Rutschmasse fallen praktisch mit der Gratlinie zusammen. Zwischen bewegtem und anstehendem Terrain entstehen durch Felssackungen stellenweise Nackentälchen. Namentlich im mittleren Teil des Rutschgebietes führen Sackungsbewegungen zu einer Unterteilung des abgleitenden Felsverbandes in einzelne Kompartimente (Abbildung 2), an deren Rändern infolge differentieller Bewegung der Blöcke talwärts gerichtete Aufschiebungen und Stauchwülste entstehen. Der Fuß der Rutschung, der als Steilböschung zum Glenner abfällt, ist über weite Strecken gekennzeichnet durch bewegte Morphologie und stellenweise chaotische Zustände der Vegetation (Abbildung 3).

Neben den durch die differentiellen Bewegungen der Rutschungskompartimente hervorgerufenen großräumigen Geländewellen sind die häufig anzutreffenden oberflächennahen Schuttrutschungen von relativ geringer Flächenausdehnung gewissermaßen die äußeren, sekundären Merkmale der ausgedehnten, tiefgründigen Kriechbewegung, welche den gesamten Hang erfaßt. Diese Schuttrutschungen beeinträchtigen lokal die landwirtschaftliche Nutzung. Sie treten meist in jenen, meist höher gelegenen Regionen häufiger auf, wo das Gras nicht mehr regelmäßig gemäht wird, sondern (der Einfachheit halber) der Abweidung durch Schafe und Ziegen überlassen wird. Die Tiere scheinen dabei durch Huftritt die ohnehin empfindliche Grasnarbe zu verletzen, was der Erosion vermehrte Angriffspunkte verschafft.

Es mag auf den ersten Blick erstaunen, daß auf dem ausgedehnten Rutschungskomplex seit einigen Jahrhunderten größere Siedlungen bestehen, ohne daß – zumindest im mittleren Höhenbereich – größere Schwierigkeiten baulicher Art zu verzeichnen wären. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die einzelnen Schollen, welche sich gewissermaßen als mechanische Einheiten verhalten, als verhältnismäßig starre Platten guten Baugrund hergeben, obwohl die gesamte Masse in Bewegung ist. Demgegenüber sind im unteren, aktivsten und steilsten Teil der Rutschug zeitweise schwerwiegende Probleme aufgetreten. Das Dorf Peiden, 120 m über der Talsohle inmitten der aktivsten Rutschzone gelegen (Abbildung 4), geriet in den Jahren 1928 bis 1932 in akute Bewegung mit jährlich bis zu 28 cm Horizontalverschiebung. Damals wurde ernsthaft erwogen, die Bevölkerung zu evakuieren. Nach Beruhigung der Lage trieb man mit einem umfassenden Entwässerungsprojekt die Sicherung dieser besonders rutschgefährdeten Zone energisch voran.

Nach den neuesten Messungen betrug die durchschnittliche Horizontalverschiebung von 1973 bis 1989 noch rund 10 cm pro Jahr.

2.3 Geodätische Bewegungsmessungen

Im gesamten Rutschgebiet werden etwa 50 Kontrollpunkte zur Erfassung der Terrainbewegungen geodätisch vermessen, wobei sich die Beobachtungen über Zeiträume von unterschiedlicher Länge erstrecken. Die erste Lagebestimmung – gewissermaßen als Nullmessung – erfolgte im Jahr 1887 [4]. Die gemessenen Bewegungsbeträge erreichten im Zeitraum von 1887 bis 1989 im Mittel etwa 5 cm/Jahr mit Maximalwerten von 28 cm/Jahr bei einer mittleren Verschiebungsrichtung von 116° (ESE). Abbildung 1 zeigt eine Auswahl der Meßpunkte und ihre Verschiebungsvektoren. Die Bewegungen können allerdings größere Schwankungen aufweisen, sowohl in bezug auf die Verschiebungsbeträge als auch der Richtung. Einige Punkte verzeichnen gelegentlich auch aufwärts gerichtete Bewegungen, was mit Aufschiebungen am Rande kollidierender Rutschkompartimente zusammenhängt.

Am Beispiel des Vermessungskontrollpunktes Kirche Pleiv (Abbildung 5) läßt sich die Unregelmäßigkeit der Terrainbewegung dokumentieren. Während die Schwankungen in der horizontalen Verschiebungsrichtung nur wenige Grad betragen, zeigen sich in der vertikalen Richtung deutliche Änderungen. Von 1887 bis 1917 war die Bewegung leicht abwärts gerichtet; bis 1947 hob sich der Punkt dann um 13 cm und weist seither erneut eine talwärts gerichtete Komponente auf (Abbildung 7). Die größten Bewegungsbeträge werden erwartungsgemäß in den Sackungsmassen an der Front der steil gegen den Glenner abfallenden Kompartimente gemessen (Abbildungen 4 und 7). Hier zeigt sich die erodierende Wirkung des Talflusses sehr ausge-

prägt, indem das wegtransportierte Material am Hangfuß fortlaufend durch nachrutschende Schollen ersetzt wird (siehe Abbildung 3).

3 Bewegungsanalyse

Die Analysen der verschiedenen Kontrollpunkt-Verschiebungen lassen folgende Schlüsse in bezug auf das Bewegungsverhalten der Lugnezer Rutschung zu:

– In den Anrißpartien und oberen Kompartimenten herrschen abwärts gerichtete Vertikalkomponenten vor, was auf das Vorherrschen von Felssackungen schließen läßt.

– In den mittleren Abschnitten überwiegen horizontale Bewegungen. An Kompartimentsgrenzen kommen infolge von Aufschiebungen und/oder Stauchungen auch aufwärts gerichtete Bewegungen vor. Die kompetenteren Schichten (v. a. Sandsteine) werden dabei zerbrochen, was lokal zu Anhäufungen von Blöcken führt.

– In den Steilböschungen gegen den Talfluß sind die größten Bewegungsbeträge – durchweg abwärts gerichtet – zu verzeichnen.

– Häufige Richtungswechsel des Bewegungsvektors deuten darauf hin, daß innerhalb des kriechenden Gesteinsstapels, als Funktion des variablen Spannungsfeldes und der veränderlichen Porenwassergehalte, unterschiedliche Gleitflächen aktiviert werden können.

Auf die Frage nach der Mächtigkeit der Rutschmasse oder der Lage der Grenzfläche zum anstehenden, nicht kriechenden Gestein geben die Bewegungsmessungen nur eine indirekte Antwort. Ziegler [4] hat aufgrund der vorliegenden felsmechanischen Parameter Gleitkreisberechnungen durchgeführt. Nach diesen Berechnungen liegen die Hauptgleitflächen in einer mittleren Tiefe von rund 130 m. Dies steht im Einklang mit den aus dem Profil in Abbildung 2 ersichtlichen Höhenverhältnissen, namentlich der Lage der Flußsohle des Glenners, wo die Hauptbewegungsfläche aus dem Hang streichen muß.

Die großen Bewegungsbeträge der Steilböschungen in den unteren Kompartimenten der Rutschung sind allerdings gemäß Huder [5] nur unter Einbeziehung von Solifluktion zu erklären.

4 Ursachen der Kriechbewegung und Auswirkungen technischer Eingriffe

Aufgrund der langjährigen Beobachtungen der Lugnezer Schieferrutschung läßt sich in bezug auf die Ursachen ein plausibles Bild skizzieren. Als wichtigste Voraussetzungen sind zu nennen:

– Neigung der Schicht- und Schieferungsflächen etwa zwischen 10° und 40°, ungefähr hangparallel (Abbildung 6);

– heterogener lithologischer Aufbau mit tonreichen Horizonten als potentielle Gleitflächen;

– große Wasseraufnahme-Kapazität des Gesteins, d. h. hoher Ton- und Glimmeranteil.

Bei großer Durchfeuchtung werden unter dem Einfluß der Schwerkraft Schichtkomplexe unterschiedlicher Mächtigkeit entlang der ton- und wasserreichen (d. h. gering kohäsiven) Schicht- und Schieferungsflächen in differentielle, chronische Bewegung versetzt. Der Hang kriecht talwärts.

Nach den Untersuchungen von Ziegler [4] besteht im Lugnez eine eindeutige Proportionalität zwischen Niederschlagsintensität und den Verschiebungsgeschwindigkeiten der Hangbewegung. Je nach Durchsickerung können örtlich auch kurzfristige Beschleunigungen der Kriechbewegung auftreten.

Am Beispiel der Lugnezer Schieferrutschung läßt sich zeigen, daß durch menschliche Tätigkeit die Hangbewegung an sich nicht gestoppt, aber die Intensität der Kriechprozesse merklich beeinflußt werden kann. Dies wird zum einen am Umstand erkennbar, daß die seit 1944 eingeleiteten Maßnahmen zur großräumigen Hangentwässerung (bis 1970 über 50 km Drainageleitungen) zu einem deutlichen Rückgang der Verschiebungsbeträge, wie in den akut gefährdeten Gebieten der Gemeinde Peiden (Abbildung 4), geführt haben. Ein anderer, von der Rutschungsproblematik unabhängig durchgeführter Eingriff im Gewässernetz hatte einen ebenso merkbaren – wenn auch nicht unmittelbar beabsichtigten – Einfluß auf die Intensität der Kriechbewegung. Durch den Bau der Talsperre Zervreila zwecks Aufstau des Valser Rheins zu einem der Stromproduktion dienenden Speichersee oberhalb von Vals (Abbildung 1) wurde der Abfluß des Glenners nachhaltig vermindert. Seit Betriebsaufnahme des Kraftwerks im Jahr 1956 ging die mittlere Wasserführung um etwa 40 % zurück. Entscheidend für den Rückgang der Abtragungsleistung und damit der Geschiebefracht ist allerdings der Rückhalt der erosionswirksamen Hochwasser-Abflüsse im Speicherbecken. Die Rutschmasse im Lugnez reagierte auf den verminderten fluviatilen Abtrag ihres Hangfußes mit verlangsamtem Kriechen. In der gleichen Zeitspanne reduzierte sich die mittlere Verschiebungsgeschwindigkeit von 5,5 auf etwa 4,5 cm/Jahr.

Auch wenn der fluviatile Abtrag des Hangfußes nicht notwendigerweise die primäre Ursache der Destabilisierung des Gesteinsverbandes sein muß, so besteht doch unbestreitbar eine Wechselbeziehung zwischen Rutschung und Flußerosion. Bei fortdauerndem fluviatilen Abtrag des stützenden Hangfußes kann die Rutschung nicht zum Stillstand kommen. Der Fluß verschafft der Hangbewegung gewissermaßen stetig neuen Freiraum und entsprechende Kontinuität – und sich selbst eine der Schleppkraft proportionale Geschiebefracht.

5 Zusammenfassung

Die ausgedehnten Hangbewegungen in den Schieferformationen Graubündens gehören zu den wichtigen Geschiebeherden im Einzugsgebiet des Alpenrheins. Erhöhte Aktivität in den Rutschgebieten verstärkt deshalb auch die Feststofffracht des Rheins, was lange Zeit auf der gefällsschwachen Strecke des St. Galler Rheintales oberhalb des Bodensees zur Aufschotterung des Flußbettes führte. Weil die damit einhergehende Reduktion des Gerinnequerschnitts aber eine Einschränkung der Hochwassersicherheit bedeutet, wird den Geschiebeherden, insbesondere den Rutschgebieten, im Rahmen des Hochwasserschutzes nach wie vor besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Am Beispiel der Lugnezer Rutschung lassen sich die Eigentümlichkeiten dieser Geländebewegungen in den Bündnerschiefer-Serien besonders deutlich illustrieren; die Bewegungsabläufe sind seit über hundert Jahren durch geodätische Vermessung dokumentiert. Neben den geologisch-petrographischen Gegebenheiten (schiefrig-tonige Gesteinsserien in geneigter, hangparalleler Lagerung) ist die Wasserführung das maßgebende stabilitätsmindernde Element, das insbesondere in tonreichen Lagen unter Mitwir-

kung der Schwerkraft zur Gleitflächenbildung führt. Hinzu gesellt sich der Abtrag des stützenden Hangfußes durch fluviatile Erosion. Dieser Prozeß steuert gewissermaßen die Geschwindigkeit des Kriechvorgangs. Dies kann durch die hydrologischen Auswirkungen nach dem Bau eines Speicherbeckens für ein Wasserkraftwerk aufgezeigt werden. Verminderte Wasserführung und vor allem das weitgehende Ausbleiben der erosionswirksamen Hochwasserabflüsse hatten eine signifikante Reduktion der Verschiebungsbeträge der Rutschmasse zur Folge.

Lokal beschleunigte Rutschungen mit entsprechendem Schadenspotential, wie beispielsweise auf dem Gebiet der Gemeinde Peiden, konnten mit aufwendigen Entwässerungsmaßnahmen soweit stabilisiert werden, daß die Bewegungen auf unbedenkliche Werte (etwa 10 cm/Jahr) zurückgingen. Vergleichbare Stabilisierungsmaßnahmen und der Bau verschiedener Speicherbecken für Wasserkraftwerke im gesamten Einzugsgebiet des Rheins haben zur Reduktion der Geschiebezufuhr ins St. Galler Rheintal und damit zur Gewährung der Hochwassersicherheit in diesem oftmals von schweren Überflutungen betroffenen Gebiet beigetragen.

Literatur

[1] A. Lambert: Sanduhren der Erdgeschichte; Geowissenschaften in unserer Zeit *5* (1987) 10–18.
[2] A. Lambert: Hochwasser im Alpenraum, Pulsschläge der Erosion; Die Geowissenschaften *6* (1988) 206–211.
[3] H. Jäckli: Geologische Eigentümlichkeiten der Geschiebeherde des bündnerischen Rheingebietes; Wasser- und Energiewirtschaft (1953) Nr. 8–9 (Zürich).
[4] H.-J. Ziegler: Die Hangbewegungen im Lugnez, am Heinzenberg und bei Schuders (Graubünden), Geologie und Geomechanik, Diss. Univ. Bern, 1982.
[5] J. Huder: Creep in Bündner Schist; Mitt. Inst. Grundbau und Bodenmechanik der Eidg. Techn. Hochschule Zürich Nr. 107, 1973.
[6] D. Capaul, L. Degonda, P. Egloff: Lumnezia und Valsertal. Verlag Paul Haupt. Bern 1988.

Dr. André Lambert, Dipl.-Geologe ETH, Ziegelhaustraße 19, CH-5400 Baden.