

Kinematische Analyse der Bergzerreißung Hornbergl – Reutte (Tirol)

M. MOSER*), T.A. WUNDERLICH**) & H. MEIER*)

14 Abbildungen, 2 Tabellen

*Tirol
Massenbewegung
Bergzerreißung
Bewegungsanalyse*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 115*

Inhalt

| | |
|---|-----|
| Zusammenfassung | 177 |
| Abstract | 177 |
| 1. Einführung | 178 |
| 2. Geologische Übersicht | 178 |
| 3. Die hangtektonischen Elemente und ihre Aktivität | 180 |
| 3.1. Spaltenzonen im Bereich des Felssturzes von 1976 am Faulen Schrofen im Herrenbach | 183 |
| 3.2. Die Blockschutthalde südöstlich vom Gipfel des Hornbergl | 183 |
| 3.3. Die großen Bewegungszonen beiderseits des Kammes vom Hornbergl in südöstlicher Richtung | 183 |
| 3.3.1. Die Grabenstruktur anschließend an die Felsabstürze zum Murenbach bis zum Kammrücken des Faulen Schrofen | 183 |
| 3.3.2. Die Bewegungszone westlich des Kammes mit deutlichen Bewegungsanzeichen zum Herrenbach | 183 |
| 3.4. Die Turmbereiche zum Murenbach und die Frage der Felssturzgefahr | 183 |
| 3.5. Die steuernden Faktoren der kinematischen Prozesse | 184 |
| 3.6. Geodätische Bewegungsanalyse | 185 |
| 4. Zusammenfassende Bemerkungen | 191 |
| Dank | 193 |
| Literatur | 193 |

Zusammenfassung

Geotechnische Untersuchungen über 20 Jahre im Bereich Hornbergl – Reutte (Tirol) erlauben eine Analyse von Bergzerreißungen. Das Gebiet Hornbergl – Fauler Schrofen mit den Wildbächen Murenbach und Herrenbach liegt in den Nördlichen Kalkalpen, ca. 10 km SW Reutte in der Bergkette, die das Becken von Reutte über eine Länge von 6 km einrahmt. Der untersuchte Bereich befindet sich an der Stirn der Lechtaldecke, die über der Allgäu-Decke liegt. Gebänderter Kalk („Oberer alpiner Muschelkalk“) der Lechtaldecke baut das Gebiet der Bergzerreißung auf; er ist charakterisiert durch scharf abgegrenzte und gleichmäßig einfallende Schichtflächen. Zwischen die mächtigen Kalkbänke sind dünne Mergellagen (einige cm) eingeschaltet, die aber nicht aushalten, sondern durch dünne Felsbrücken zwischen den über- und unterlagernden Kalkbänken zerteilt sind. Zusätzlich gibt es zwei senkrecht auf die Schichtflächen stehende Kluftsysteme. Die Öffnung von Klüften, die Bildung von Zerreißungszonen, von Schuttströmen begleitete Bergstürze (solche Ereignisse fanden in den Jahren 1975, 1982 und 1983 statt) und auch Felsgleitungen (1976) sind klare Indikationen für Bergzerreißungsmechanismen.

Durch intensives Monitoring der Kinematik mit Hilfe periodischer geodätischer und Extensometer-Messungen konnten das spezifische Bewegungsverhalten, die Bewegungsraten und die vielfältigen Einflüsse externer Faktoren erfasst werden.

Kinematic Analysis of the Mountain Splitting Area of Hornbergl – Reutte (Tyrol)

Abstract

Owing to geotechnical studies over a period of twenty years the process of spreading of mountain ridges could be analysed. The kinematical studies were carried out on the mountain splitting area Hornbergl – Reutte/Tyrol. The Hornbergl – “Fauler Schrofen” area with the “Murenbach and Herrenbach” torrent is situated in the Northern Calcareous Alps approx. 10 km southwest of Reutte in a chain of mountains, which frames the Reutte basin at a length of 6 km. The investigated study area is located in the forehead of the “Lechtaldecke” nappe, which has been overthrust onto the “Allgäu-Decke” nappe. Layered limestone (“oberer alpiner Muschelkalk“) of the “Lechtaldecke” nappe builds up the mountain splitting area. The limestone packages of the “oberer alpiner Muschelkalk” are characterized by clearly marked and persistent dipping downhill bedding surfaces. Between the thick bedded limestones there are embedded semiindurated marl layers (thickness some cm) which alternate with small rock connections which bridge the

*) Prof. Dr. M. MOSER, Dipl.-Ing. (FH) H. MEIER, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg.

**) Prof. Dr. T.A. WUNDERLICH, Lehrstuhl für Geodäsie, Technische Hochschule München.

ductile marl layers. Additionally we have two joint systems perpendicular to the bedding surfaces. Opening of cracks, formation of spreading zones, and rock falls accompanied by debris flows (e. g. events taking place in 1975, 1982 and 1983) as well as rockslides/cliff falls (1976) clearly indicate mountain splitting mechanisms.

With the aid of comprehensive monitoring of the kinematics, which included periodic geodetic and extensometer measurements, the specific movement behaviour, displacement rates and the varying influence of external factors could be detected.

1. Einführung

Die zunehmende infrastrukturelle Belastung durch steigenden Siedlungsdruck, Fremdenverkehr und Ausbau der Transport-Verkehrswege haben in reliefbetonten Regionen (z. B. Alpentäler, Flusstäler im Mittelgebirgsraum) zu einem Vordringen des Menschen in potentiell gefährdete Bereiche geführt, in denen der Abbau bestehender, relief- und materialbedingter Instabilitäten durch morphogenetische Prozesse wie Erosion und Hangbewegungen erfolgt (PO-SCHINGER, 1992). Plötzliche Massenbewegungen wie Felsstürze und Felsgleitungen gehören i. d. R. zu natürlichen Hanginstabilitäten mit längerer Vorgeschichte. Deren ursächliche Faktoren sind in der Morphologie, geologischen Struktur, in Verwitterungs- und Entspannungsvorgängen und u. U. im Wasserhaushalt der Hänge zu suchen. Sie bereiten sich meist über einen langen Zeitraum vor und können aufgrund fehlender Aufnahme und Überwachung oder falscher Interpretation der Vorgänge zu einer unerwarteten Gefährdung von Menschen und Sachwerten führen.

Die Höfener Wildbäche im Bereich der Bergzerreißung Hornberg – Reutte/Tirol sind sowohl hinsichtlich Instabilitäten im Fels (große Felsgleitungen) als auch Lockergesteinsbewegungen (Muren) als besonders aktiv zu bezeichnen.

Der Wildbachchronik sind u. a. folgende Ereignisse zu entnehmen (DRAGOSITS, 1996):

- Mure 1975 im Herrenbach
- Felssturz 1976 im Herrenbach mit einem Volumen von ca. 100.000 m³
- Murereignis 2.–5. Mai 1986 im Murenbach (Mobilisierung von 60.000 m³ im Ober- und Mittellauf mit meterhohen Vermurungen im Unterlauf, s. Abb. 1).

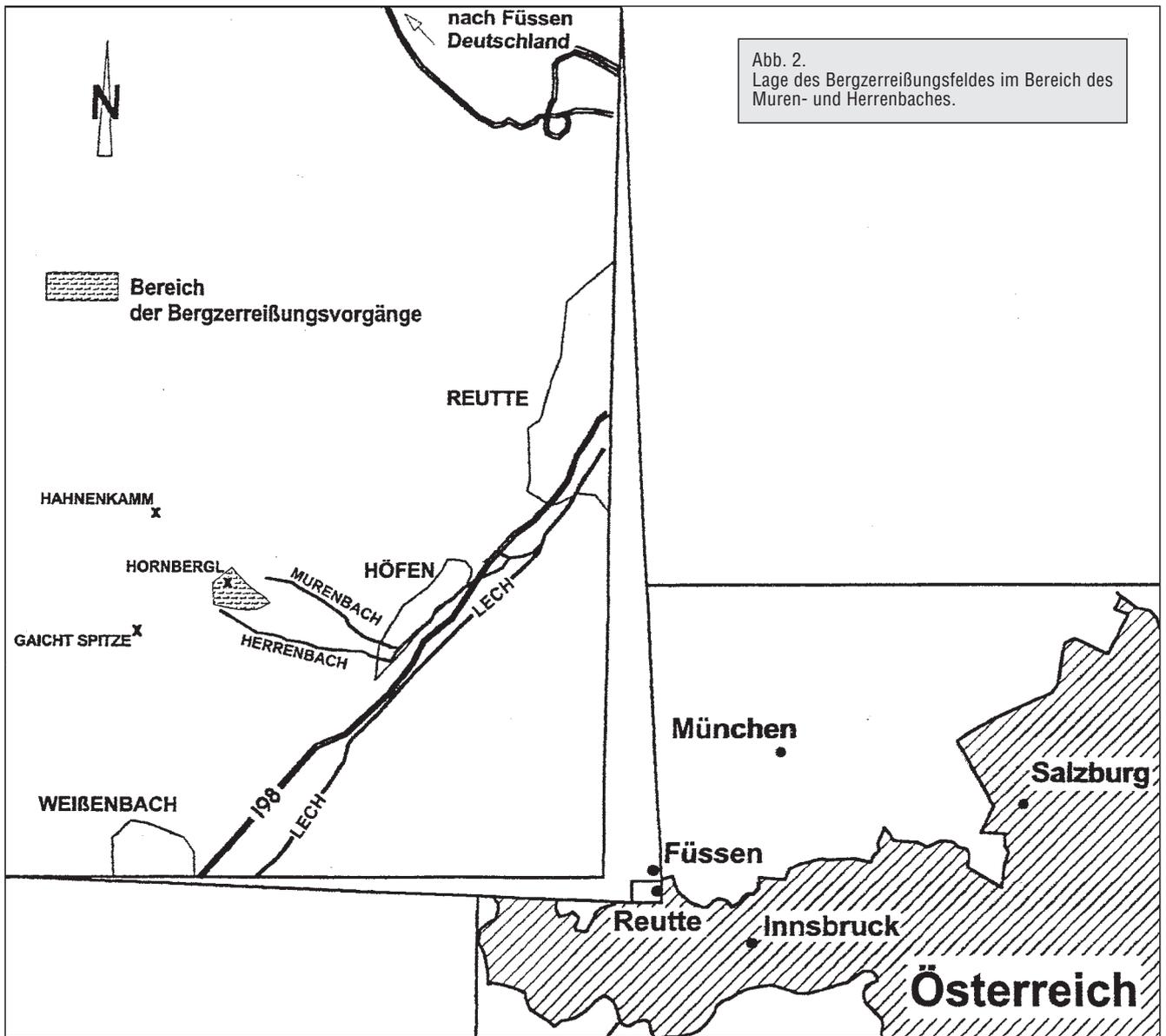
2. Geologische Übersicht

Das Gebiet liegt im westlichen Teil der Nördlichen Kalkalpen im Stirnbereich der hochbajuwarischen Lechtaldecke, die nach N auf die hauptsächlich jurassische, tiefbajuwarische Allgäudecke überschoben ist.

Für die Bergzerreißungsvorgänge sind die Reichenhaller Formation, die alpine Muschelkalkgruppe sowie die jüngeren Schichten der Allgäudecke und die Mylonitzone im Bereich der Überschiebungsbahn verantwortlich.



Abb. 1.
Murereignis vom 2.–5. Mai 1986 im Murenbach.
Am Unterlauf wurden 4 ha landwirtschaftliche Fläche verwüstet.
Foto: Dr. DRAGOSITS – Wildbach- und Lawinverbauung, Gebietsbauleitung Außerfern.



Die an der Grenze Skyth–Anis abgelagerten Reichenhaller Schichten bilden die Basis der karbonatischen Trias. Sie sind gekennzeichnet durch ein seichtes inter-supratidales Ablagerungsmilieu mit einem Wechsel von transgressiven und regressiven Phasen. Dadurch bedingt setzen sie sich aus einer Wechselfolge von dünn-schichtigen Kalken, Wurstelkalkbänken, kalkhaltigen Dolomiten, sandigen Mergel-einschaltungen und z. T. sehr mächtigen Rauwacken zusammen (TOLLMANN, 1976).

Aufgrund z. T. hypersalinerer und evaporitischer Ablagerungsbedingungen kommt es auch zu Gips- und Anhydritabfolgen, die gute Bewegungshorizonte darstellen (B. PLÖCHINGER, 1967). Die Reichenhaller Schichten erreichen in ihren Hauptverbreitungsgebieten eine Mächtigkeit von bis zu 300 m (TOLLMANN, 1976).

Im Bereich der Bergzerreißungszone sind die Reichenhaller Schichten in Form von schmutzig-grauen Dolomiten in einem sehr kleinen Bereich bei der Überschiebungsbahn, orographisch rechts vom Murenbach, aufgeschlossen.

Die alpine Muschelkalkgruppe umfasst die Virgloria-Formation und die Reiflinger Knollenkalke. Die im U.-Anis und Pelson (TOLLMANN, 1976) abgelagerte Virgloria-Formation setzt sich aus Mudstones und Mikriten zusammen, die im energetisch niedrigen Flachwasserbereich (Lagune) mit wenig Biogenanteil abgelagert wurden. Im Bergzer-

reißungsfeld treten die Virgloria-Kalke als dünn-schichtige, hell-dunkelgraue Mikrite mit charakteristischen Mergelzwischenlagen auf. Sie bilden im Bereich des Faulen Schrofen die Wandabhängigkeit zum Murenbach mit einer Wandmächtigkeit von bis zu 130 m.

Im Arbeitsgebiet tritt der Reiflinger Knollenkalk in Form von hell- bis braungrauen dünnbankigen Mikriten mit z. T. knollig, wellig-schichtiger Bankoberfläche auf. Charakteristisch ist die Wechsellagerung mit cm- bis dm-mächtigen Mergelzwischenlagen sowie Einschaltungen von ockergelben und rötlichen Peliten. Die selten auftretenden Hornsteinknuern wittern deutlich aus den Schichtoberflächen heraus. Der Übergang zu den Partnachmergeln wird durch eine Zunahme der Mergelzwischenlagen sowie durch eine Abnahme des Karbonatgehaltes repräsentiert.

Die Deckenüberschiebungsgrenze im Murenbach weist im Muschelkalk mächtige Mylonit-zonen auf. Diese sind auf die tektonische Aufbereitung und Durchbewegung des Muschelkalkes mit den daraus resultierenden Trennflächen zurückzuführen. MOSTLER (1978) und ANGERER (1985) beschreiben das Auftreten von Raibler Gipsen in diesem Bereich der Überschiebungsbahn, die im Rahmen dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden konnten. Zwischen den Kalkmyloniten konnte jedoch ein Span mit verwitterten Tonschiefern auskartiert werden.

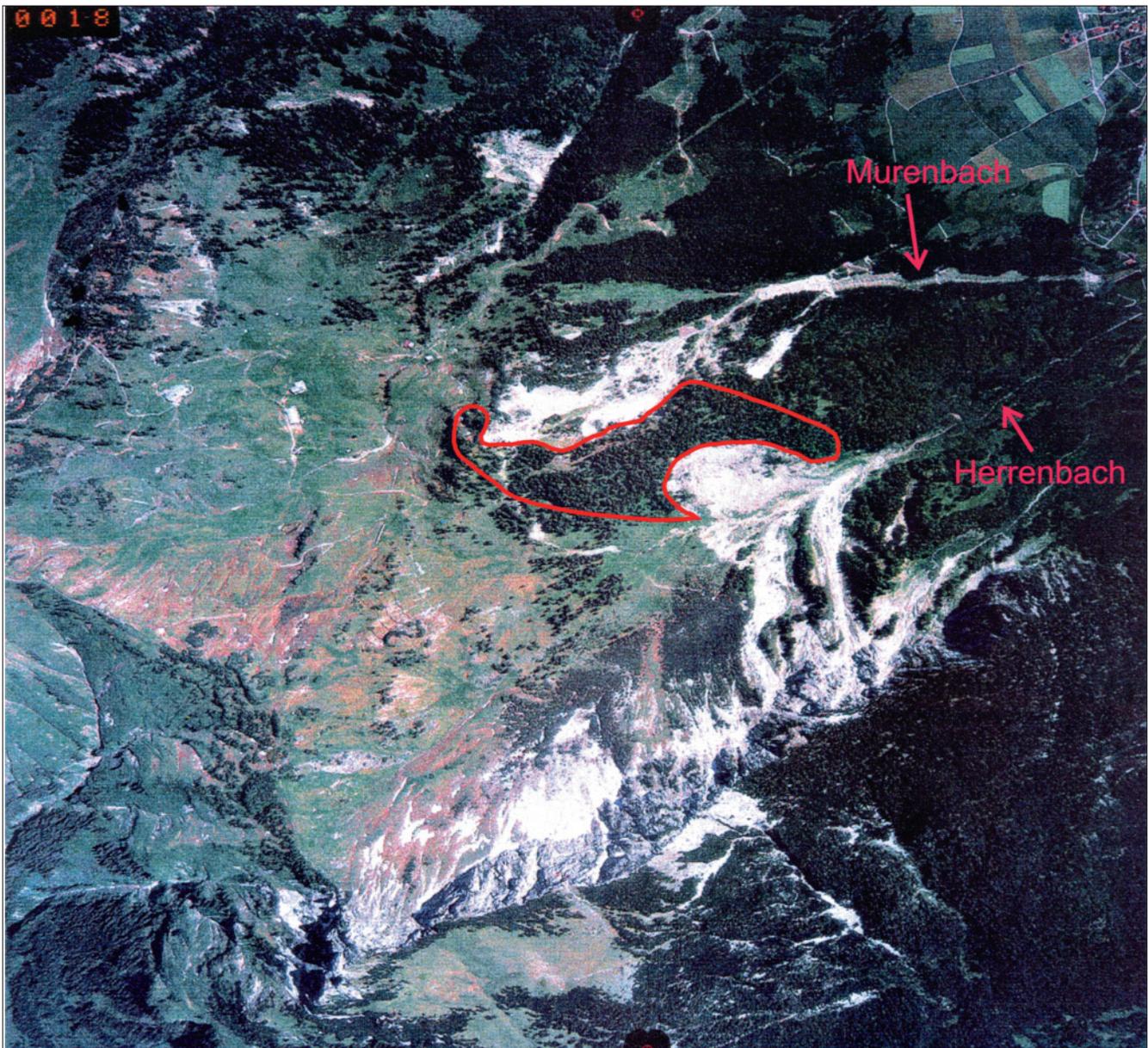


Abb. 3.
Luftbild im Bereich des Einzugsgebietes Muren- und Herrenbach mit Lage des Bergerzerrungsfeldes.

Orographisch rechts oberhalb der alten Geschieberückhaltesperre (1.355 m) im Murenbach werden die Mylonite durch hellgraue bis fast weiße, stark zerscherte Kalkmylonite repräsentiert. Sie sind stark mehlig und zerfallen bei der kleinsten mechanischen Beanspruchung in kleine (ca. 5 cm) Bruchstücke.

Durch die rückschreitende Erosion kommt es hier zu zahlreichen Nachbrüchen, die sich zumeist durch eine muschelförmige Anbruchform auszeichnen.

3. Die hangtektonischen Elemente und ihre Aktivität

Vorbemerkung

Der Begriff der Bergerzerrung („spreading of mountain ridges“, „mountain splitting“) umfasst eine Vielfalt von morphologisch-geologischen Interpretationsmöglichkeiten. Diese gehen zunächst von einer qualitativen Beschreibung bestimmter hangtektonischer Kennzeichen innerhalb instabiler Hänge und in den Kammregionen von Bergen aus.

Wie AMPFERER (1940) schon hervorhob, erfolgt die hangtektonische Zerlegung des Gebirges im Zerzerrungsfeld an

vorgezeichneten tektonischen und lithologischen Trennflächen.

Auch wurde hervorgehoben, dass das Auflagern spröder, relativ harter Gesteine (z. B. Kalkstein, Quarzit) über einem duktilen, relativ weichen Untergrund (z. B. Tone, Mergel) eine ursächlich typische geologische Konstellation für die Entstehung von Bergerzerrungen darstellt.

Das Gefahrenpotential ist demnach in erste Linie durch eine potentielle Felssturzgefahr (Kippbruch) am Rand spröder Deckplatten, aber auch durch eine Mobilisierung der weichen Gesteinsmassen und des auflagernden Blockschutts in Form von Schuttströmen und Murgängen, insbesondere bei einem mächtigen duktilen Unterlager, gegeben.

Für die Bergerzerrung Hornbergl – Reutte bieten sich nach den Untersuchungen folgende geotechnische Typisierungen an:

Im Bereich des Faulen Schrofens zum Herrenbach

Zerlegung einer spröden Abfolge über geringmächtigen, geneigten duktilen Zwischenschichten bzw. einer Wechsel-

folge relativ harter und weicher Gesteine; Ausbildung von Bergzerreibungen mit Blockbewegungen („block type slope movements“ (z. B. PASEK [1972]; MALGOT et al. [1974]; GLAWE & MOSER [1993]; LOTTER et al. [1998]), Felsstürze unterschiedlichster Dimension durch Kippbruch oder Abgleiten an exponierten Hangbereichen. Die duktilen Zwischenlagen liegen nur im cm-Bereich.

Im Bereich der Felswände und -türme zum Murenbach

Zerlegung einer spröden Deckplatte über einem mächtigen, duktilen Unterlager („Hart auf Weich“ i. S. v. POISEL & EPPENSTEINER [1989]); Bergzerreibungen, Felsstürze durch Kippbruch am Rand der Deckplatte, sekundäre Massenbewegungen (Muren, Schuttströme) im Lockermaterial des Sockels. Als duktiler Unterlager fungieren die Mylonite der Überschiebungsbahn und die jüngsten Allgäuschichten im Murenbach.

Aufgrund der geologisch-geotechnischen Situation lassen sich vier kinematische Homogenbereiche ausscheiden:

- die Spaltenzonen im Bereich des Felssturzes von 1976 am Faulen Schrofen im Herrenbach mit nur geringer derzeitiger Aktivität.
- die Blockschutthalde südöstlich vom Gipfel des Hornbergl mit starker Aktivität (teilweise >20 cm/a).
- die großen Bewegungszonen beiderseits der Kammlinie mit Öffnungs- und Schließungstendenzen mit 5–10 cm/a.
- die Felssturzbereiche zum Murenbach mit Sackungerscheinungen.

Seit 1996 konnte in den verschiedenen Zonen der Bergzerreibung der Aktivität mit Präzisionsmaßbandmessungen (Konvergenzmessstrecken KVM) nachgegangen werden. Insgesamt wurden 30 Messstrecken installiert (teilweise erst 1997), um das Bewegungsverhalten von Spal-

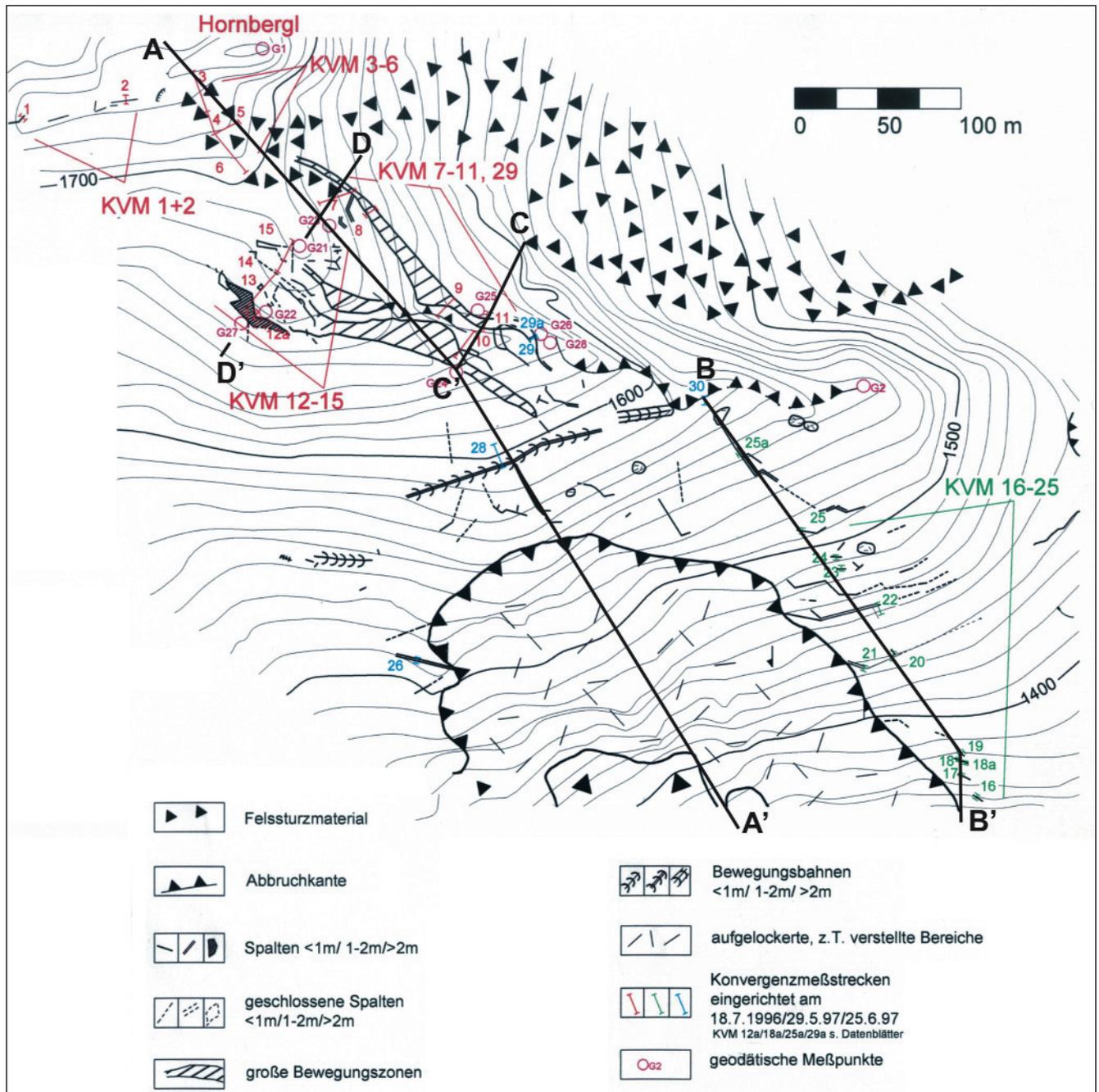


Abb. 4. Bewegungszonen und Spalten im Bergzerreibungsfeld mit Lage der Präzisionsmaßbandmessungen, der geodätischen Messpunkte und der Lage der Profile.

Tabelle 1.
Erscheinungsform, Verlauf und Größenordnung der Bewegungen an den Spalten und Bewegungszonen (Präzisionsmaßbandmessungen).

| Messfeld Hornbergl bei Reutte / Tirol | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|-------------|
| Erscheinungsform, Verlauf und Größenordnung der Bewegungen | | | | | | | | | | | |
| zur Lage der Messstrecken siehe Abbildung 4 | | | | | | | | | | | |
| Bearbeitungsstand : 19.07.2008 | | | | | | | | | | | |
| Messstrecken | Erscheinungsform | Erstmessung | Bewegungsverlauf | | | Bewegungsrate Messperiode | | Bewegungsrate seit Erstmessung | | | |
| | | | Datum | | | | November 2006 bis November 2007 | cm/a | bis zum | Jahre | Bemerkungen |
| KVM 01 | Spalte | 18.07.1996 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | | 12,0 | | nicht signifikant | 0,0 |
| KVM 02 | Spalte | 18.07.1996 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | | 12,0 | | nicht signifikant | 0,0 |
| KVM 03 | Großblockschutthalde | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 23.04.2007 | 10,5 | 10,8 | | | 16,9 |
| KVM 03a | Großblockschutthalde | 23.04.2007 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Ersatz für KVM 03 | 17.07.2008 | 8,5 | 1,2 | | | 8,5 |
| KVM 04 | Großblockschutthalde | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 17.07.2008 | 8,1 | 12,0 | | | 11,1 |
| KVM 05 | Großblockschutthalde | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | | 17.07.2008 | 0,2 | 12,0 | | | 1,9 |
| KVM 06 | Großblockschutthalde | 18.07.1996 | << | lineares Schließen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 17.07.2008 | -5,3 | 12,0 | | | -6,0 |
| KVM 07 | große Bewegungsbahn | 18.07.1996 | << | lineares Schließen | | 17.07.2008 | -2,2 | 12,0 | | | -3,2 |
| KVM 08 | große Bewegungsbahn | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | | 17.07.2008 | 1,8 | 12,0 | | | 1,8 |
| KVM 09 | große Bewegungsbahn | 18.07.1996 | << | lineares Schließen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 17.07.2008 | -3,1 | 12,0 | | | -3,9 |
| KVM 10 | große Bewegungsbahn | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 17.07.2008 | 5,1 | 12,0 | | | 8,0 |
| KVM 11 | große Bewegungsbahn | 18.07.1996 | << | lineares Schließen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 17.07.2008 | -2,3 | 12,0 | | | -3,9 |
| KVM 12 | Spalte | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Messung bis 1998, Nachfolge KVM 12a | 26.11.1998 | | 2,4 | | | 3,1 |
| KVM 12a | Spalte | 12.10.1999 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Ersatz für KVM 12 | 17.07.2008 | 1,6 | 8,8 | | | 2,1 |
| KVM 13 | Bewegungszone | 18.07.1996 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Messung bis 2004, Nachfolge KVM 13a | 30.09.2004 | | 8,2 | | | 4,5 |
| KVM 13a | Bewegungszone | 13.07.2005 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Ersatz für KVM 13 | 17.07.2008 | 3,3 | 3,0 | | | 3,7 |
| KVM 14 | Bewegungszone | 18.07.1996 | >< | Schließen t.w. vom Öffnen überlagert | | 17.07.2008 | -0,9 | 12,0 | | | -0,3 |
| KVM 15 | Bewegungszone | 18.07.1996 | << | Schließen | Beschleunigung nach Schneeschmelze | 17.07.2008 | -1,6 | 12,0 | | | -2,2 |
| KVM 16 | Spalte | 29.05.1997 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | | 11,1 | | nicht signifikant | 0,0 |
| KVM 17 | Spalte | 29.05.1997 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | | 11,1 | | nicht signifikant | 0,0 |
| KVM 18 | Spalte | 29.05.1997 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | Messung bis 1999, Nachfolge KVM 18a | 13.05.1999 | -4,9 | 2,0 | | | -2,6 |
| KVM 18a | Spalte | 27.05.2000 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | Ersatz für KVM 18 | 17.07.2008 | 0,3 | 8,1 | | | 0,4 |
| KVM 19 | Spalte | 29.05.1997 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | 0,2 | 11,1 | | nicht signifikant | 0,3 |
| KVM 20 | Bewegungszone | 29.05.1997 | >> | Öffnen | | 17.07.2008 | 0,7 | 11,1 | | | 0,8 |
| KVM 21 | Bewegungszone | 29.05.1997 | >> | Öffnen | | 17.07.2008 | 1,2 | 11,1 | | | 1,7 |
| KVM 22 | Bewegungszone | 29.05.1997 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | 0,2 | 11,1 | | nicht signifikant | 0,1 |
| KVM 23 | Spalte | 29.05.1997 | >< | Öffnen t.w. von Schließen überlagert | | 03.06.2008 | 0,3 | 11,0 | | | 0,3 |
| KVM 24 | Spalte | 29.05.1997 | >< | Öffnen t.w. von Schließen überlagert | | 17.07.2008 | 0,3 | 11,1 | | | 0,4 |
| KVM 25 | Spalte | 29.05.1997 | >< | geringfügiges Öffnen und Schließen | nicht signifikant | 17.07.2008 | | 11,1 | | nicht signifikant | 0,0 |
| KVM 25a | Spalte | 27.05.2000 | > | geringfügiges Öffnen | | 17.07.2008 | 0,2 | 8,1 | | | 0,2 |
| KVM 26 | große Spalte | 24.06.1997 | >> | vorwiegend lineares Öffnen | | 03.06.2008 | 1,3 | 11,0 | | | 2,0 |
| KVM 28 | große Bewegungsbahn | 24.06.1997 | << | Schließen | | 17.07.2008 | -0,2 | 11,1 | | | -0,6 |
| KVM 29 | große Bewegungsbahn | 25.06.1997 | >> | Öffnen | | 17.07.2008 | 1,5 | 11,1 | | | 1,9 |
| KVM 29a | große Bewegungsbahn | 29.11.2000 | >> | Öffnen | | 17.07.2008 | 1,4 | 7,6 | | | 2,1 |
| KVM 30 | Spalte | 25.06.1997 | >> | Öffnen | | 17.07.2008 | 0,4 | 11,1 | | | 0,5 |

ten, Ausstrichen von Bewegungsbahnen und breiten Bewegungszonen quantitativ zu erfassen (s. Abb. 4, Tab. 1).

Aus einem Lageplan (Abb. 4) und einem Profil A–A' (Abb. 5) können die geologisch-geotechnischen Verhältnisse entnommen werden.

3.1. Spaltenzonen im Bereich des Felssturzes von 1976 am Faulen Schrofen im Herrenbach

Die geologisch-geotechnische Situation

Östlich des großen Anbruches weisen SW–NE-streichende Spalten auf eine aktive Hangtektonik hin. Die südlichsten im Arbeitsgebiet vorhandenen Anzeichen der Bergzerreißung findet man auf 1.335 m bis 1.400 m. Es handelt sich um relativ kurze Spalten (4–10 m) mit geringen Öffnungsweiten bis maximal 1 m. Oberhalb 1.400 m verlaufen die Spalten entlang der NNE–SSW- und WSW–ENE-streichenden Kluftsysteme. Der Muschelkalk ist zumeist weit geklüftet und zeigt sehr glatte Kluftflächen ohne das Auftreten von Harnischstriemungen. Die Spalten sind direkt an der Anbruchkante 1–2 m geöffnet und gehen nach E in ca. 100 m lange Spalten über, welche teilweise geschlossen sind. Vereinzelt treten am westlichen Rand der Hauptabbruchkante Bergzerreiungsspalten mit zum Teil über 10 m Tiefe auf. Die Spalte bei KVM 26 auf der Westseite des Anbruches öffnet sich zur Abbruchkante hin bis auf 5 m Breite.

Die kinematischen Verhältnisse

Die Messeinrichtungen bestehen nur aus Präzisionsmaßbandstrecken mit folgenden Nummern:

KVM 28, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17 und 16 auf der östlichen, und 26 auf der westlichen Seite. Die Aktivität bei den meisten Spalten ist gering und beschränkt sich auf ein geringfügiges Öffnen und Schließen im mm-Bereich (KVM 16, 19, 22, 23). Stärkere Aufzerrungserscheinungen werden nur an der großen Spaltenzone bei KVM 20 und 21 beobachtet. Die große Spaltenzone (KVM 26) an der westlichen Begrenzung des Anbruches zeigt Öffnungsbeträge in der Größenordnung von 2 cm/a. Insgesamt ist eine Aktivitätsabnahme von der ehemaligen Anbruchkante des großen Felssturzes von 1976 nach Osten zu beobachten (siehe auch Abb. 6, Profil und Messstrecken).

3.2. Die Blockschutthalde südöstlich vom Gipfel des Hornbergl

Die Blockschutthalde, die sich südöstlich an den Gipfelaufbau des Hornbergl anschließt (zur Lage s. Abb. 4 und Abb. 5), zeigt im gesamten Untersuchungsgebiet die größten Bewegungen, die zwischen knapp 30 cm/a und 15 cm/a liegen. Die Bewegungen der Grobblockschutthalde dokumentieren entweder Bergzerreiungsvorgänge im Untergrund oder spiegeln das Abrutschen der Blöcke auf den unterlagernden Partnachsichten wider (siehe KVM 3, Abb. 5).

3.3. Die großen Bewegungszonen beiderseits des Kammes vom Hornbergl in südöstlicher Richtung

3.3.1. Die Grabenstruktur anschließend an die Felsabstürze zum Murenbach bis zum Kammrücken des Faulen Schrofen

Geologisch-morphologische Situation

Diese Bewegungszonen, die sich über eine Länge von 180 m von 1.680 m in südöstlicher Richtung bis 1.630 m erstreckt, stellt eine Grabenstruktur dar, die den Kammbereich von den Felssturzänden des Murenbaches trennt.

Die Breite dieser Zone schwankt zwischen 5 und 20 m (Abb. 4, Abb. 7).

Die kinematischen Verhältnisse

Zur Deutung der kinematischen Verhältnisse stehen folgende Messeinrichtungen zur Verfügung:

- Geodätische Vermessungspunkte: G 25, G 26, G 28 auf nordöstlicher Felsrippenbegrenzung zum Murenbach.
- Konvergenzmessstrecken: 7, 8 im nordwestlichen, 9 und 11 im mittleren und 29 im südöstlichen Bereich.

Im mittleren Bereich können die geotechnischen und kinematischen Verhältnisse aus der Abb. 8 und im nordwestlichen Bereich aus der Abb. 9 entnommen werden.

Die sich in ihrer Form im Gelände vorweg als Zerrungserscheinung präsentierende Form weist zur Zeit ein sehr komplexes differenziertes Verhalten auf, dessen Deutung noch nicht ganz abgeschlossen ist. Bis in den mittleren Bereich haben wir Schließungstendenzen mit Bewegungsraten von ~ 3 cm/a (KVM 7) bis 4 cm/a (KVM 9). Die Erklärung liegt in der starken Auflösung und im Nachrücken der bergseitigen Rippe.

3.3.2. Die Bewegungszone westlich des Kammes mit deutlichen Bewegungsanzeichen zum Herrenbach

Die geologisch-geotechnische Situation

Diese Zone erstreckt sich ca. 150 m von 1.600 m bis 1.680 m mit einer starken Auffächerung im Bereich des Profiles D–D' (Abb. 9) und einer Verjüngung auf 4–5 m an ihrem südöstlichen Ende ca. 50 m südöstlich des Profiles C–C' (Abb. 8). Im Auffächerungsbereich findet sich auch der große Spaltenbereich.

Die kinematischen Verhältnisse

Besonders die Extensometermessungen (KVM 10, 12/12a, 13/13a) zeigen eine deutliche Öffnungstendenz zum Herrenbach. Die große Spaltenzone im Auffächerungsbereich weist über den 10-jährigen Messzeitraum eine Öffnungsrate von 2 cm/a auf, die sich bis zum Profil C–C' auf ca. 8 cm steigert.

Die geodätischen Messpunkte G 24 und G 27 belegen mit ihren Bewegungsraten (~9 cm/a bzw. ~14 cm/a) und den Bewegungsrichtungen von ca. 200° auch die starke Aktivität zum Herrenbach (siehe Kap. 3.6.).

3.4. Die Turmbereiche zum Murenbach und die Frage der Felssturzgefahr

Hinsichtlich einer Felssturzgefahr ist der Bereich bei den geodätischen Punkten G 26, 28 und den Präzisionsmaßbandstrecken KVM 29, 29a besonders gefährdet.

Lage des instabilen Felsbereiches

Die Lage wird bestimmt durch aktive Spalten- und Bewegungszonen im Bereich der geodätischen Messpunkte G 26 und G 28, wobei bei einem Bruch sicher noch die hintere Instabilitätszone mobilisiert wird (bis zum bergseitigen Verankerungspunkt von KVM 29). Letztgenannte Zone stellt eine stark verstürzte und aufgeblockte Bewegungszonen von etwa 40 m Länge dar, die – wie auch der talseitig anschließende Felsturmbereich bei G 26 – starke Sackungserscheinungen zeigt (räumlicher Bewegungsvektor: 249/82° mit einer Bewegungsrate von ca. 11 cm/a). Diese deutlich ausgeprägte Ablösezone lässt sich auch mit wechselnder Mächtigkeit und Ausbildung auf der NE-Seite des Felsturmes verfolgen.

Tiefe der entstehenden Bruchnische, Volumen

Das Volumen ist im Wesentlichen vorgegeben durch den Verlauf der Bruchzone ausgehend von der breiten, z. T.

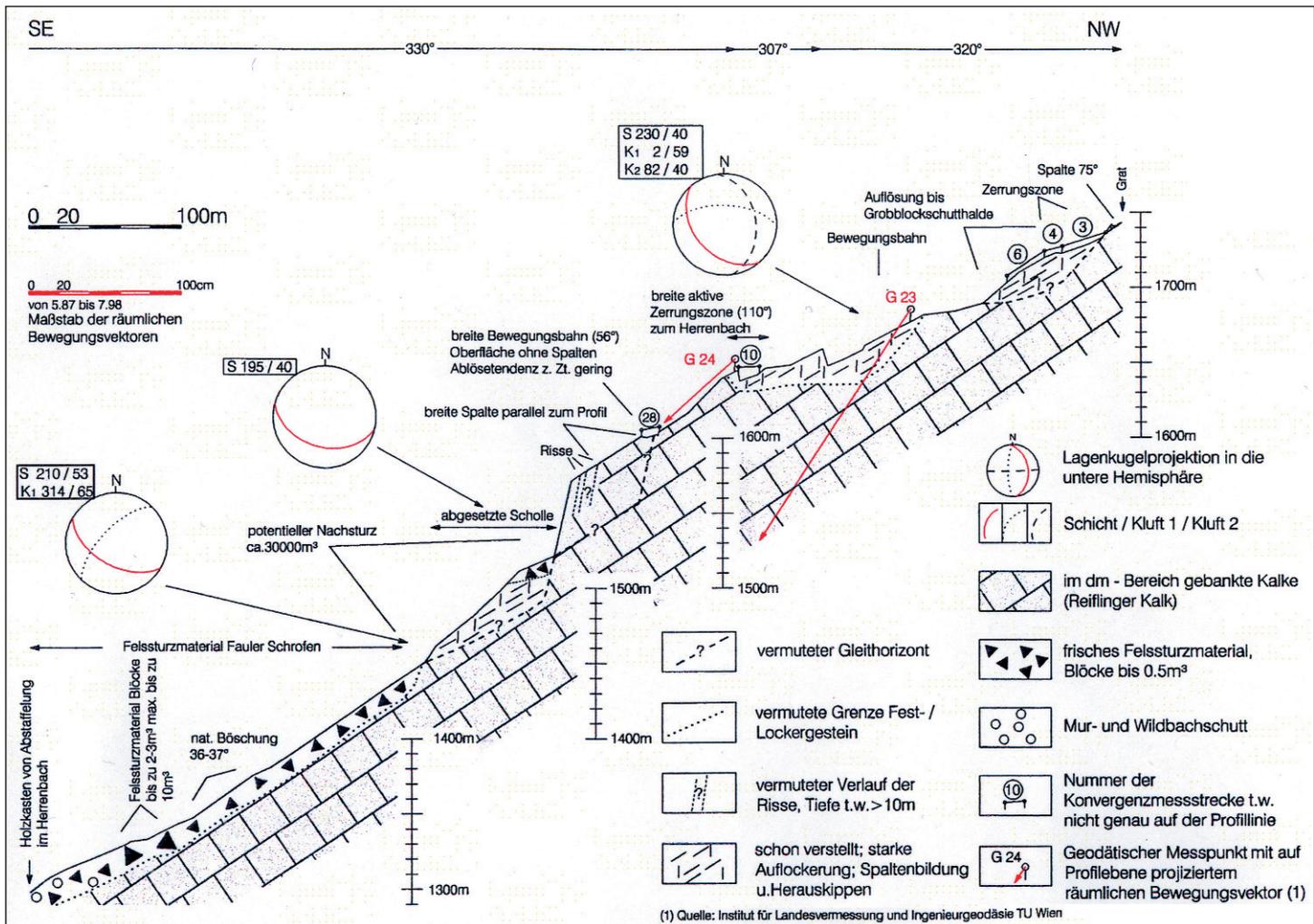


Abb. 5 (diese und nächste Seite). Geologisch-geotechnischer Längsschnitt vom Herrenbach (1.295 m) über die alte Felssturzniche zum Grat des Hornbergl. Profil A-A'; zur Lage s. Abb. 4; modifiziert nach T. ALBRECHT (1999).

verstärkten Bewegungszone bei KVM 29, die sich nach den bisherigen Aufnahmen in die Tiefe bis zum Wandfuß verfolgen lässt.

Aufgrund der Lage von Bewegungs- und Verlauf der Bruchzonen nach der Tiefe ergeben sich verschiedene Volumina:

- Breite ca. 20 bis 25 m (näherer Bereich um G 26 und G 28) mit einem Ausbiss der Bruchfläche schon im oberen Wandbereich: Volumen ca. 10.000 m³.
- Breite ca. 40 m, Ausbiss der Bruchfläche am Wandfuß: Volumen ca. 40.000 m³.
- Ausbiss einer Bruchfläche an der großen Zerrungszone bei G 24: Volumen >100.000 m³. Letztgenannte Variante dürfte als im Ganzen und in nächster Zeit sich vollziehender Prozeß nicht wahrscheinlich sein.

Reichweite

Die Reichweite eines Felssturzes ist sehr schwierig zu beurteilen. Nach den Erfahrungen mit zahlreichen Felssturzereignissen kann man davon ausgehen, dass einzelne Felsblöcke von den untersten Abrissbereichen noch einen Schattenwinkel von 27° erreichen. Dies bedeutet in unserem Fall, dass die Bereiche der Geschieberückhalte-sperre (ca. 1.340 m) flächendeckend getroffen werden, dass aber einzelne Blöcke durchaus wesentlich weitertransportiert werden und die oberste Sperrenabstufelung bei 1.180 m erreichen.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf die Entstehung von Muren in den Felssturzhalde, den Myloniten

der Überschiebungsbahn und den verwitterten Allgäuschichten unterhalb des Wandfußes durch das rasche Aufbringen einer Auflast in Form der Felssturzmasse.

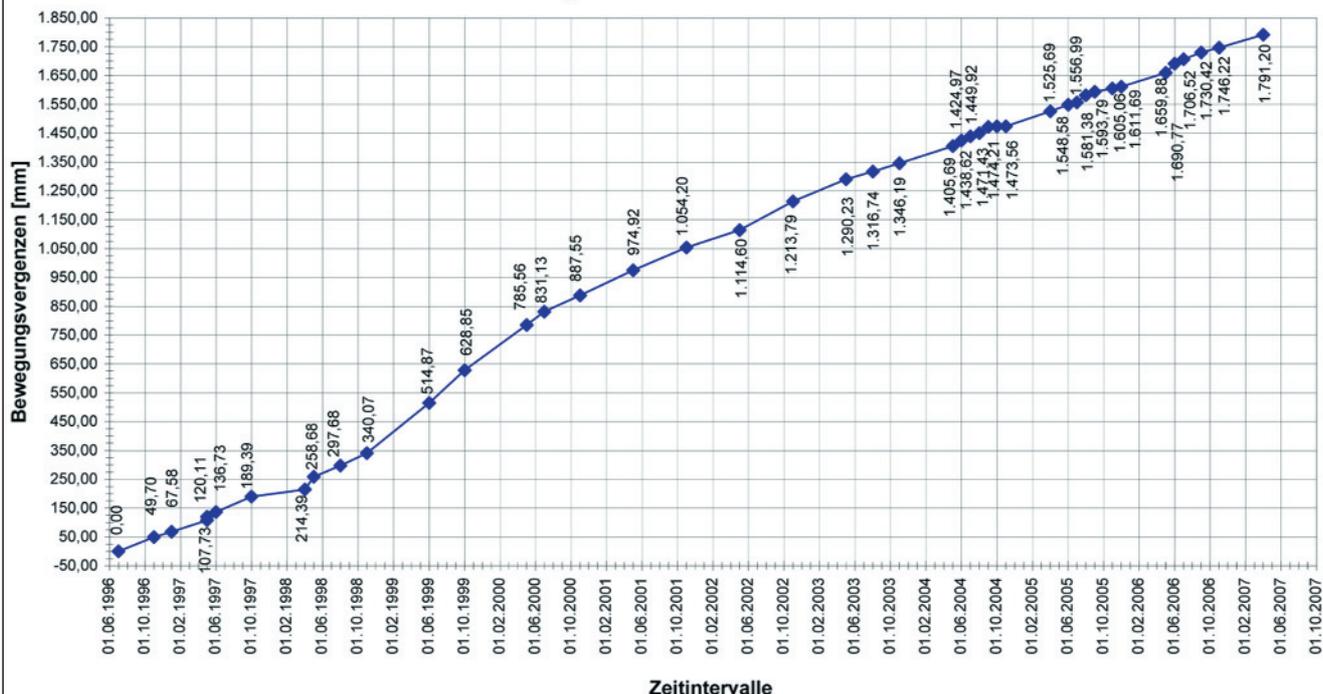
Zeitpunkt

Den genauen Zeitpunkt eines Felssturzereignisses vorzusagen ist nur in Sonderfällen möglich, besonders dann, wenn das Ereignis in die finale Phase geht. In diesem Fall werden z. B. an einer Ablösezone exponentiell zunehmende Öffnungsbeträge beobachtet. Dies ist zur Zeit an der schon beschriebenen Bewegungszone bei KVM 29 nicht der Fall. Es ist ein langsames, unregelmäßiges Öffnen zu verzeichnen (ca. 2 cm/a). Trotzdem muss im Fall der beschriebenen Felssturz-Konstellation bemerkt werden, dass aufgrund der starken Auflockerungserscheinungen, der kräftigen Absackungstendenz in der Ablösezone bei KVM 29 und durchgehender Schwächezonen in die Tiefe Felsstürze der angegebenen Konfiguration und Größenordnung in nächster Zeit nicht auszuschließen sind.

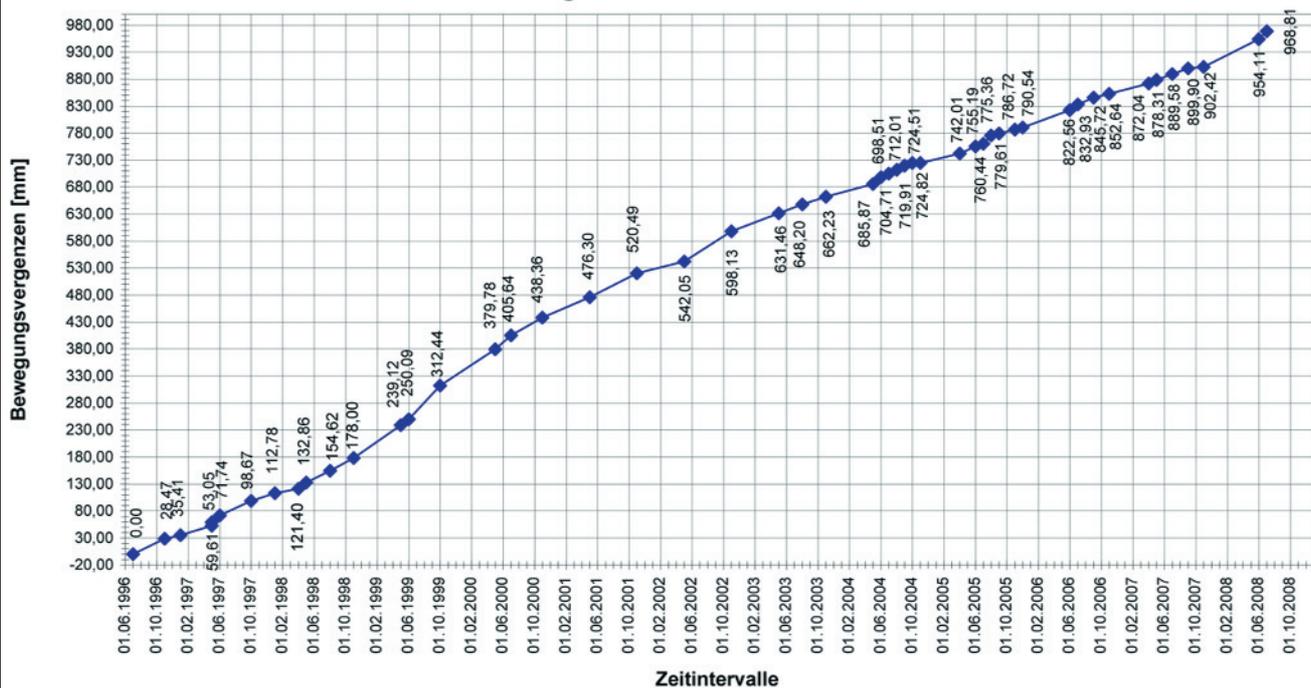
3.5. Die steuernden Faktoren der kinematischen Prozesse

Ohne hier ins Detail zu gehen, lassen sich zusammenfassend aufgrund einer nun 11 1/2-jährigen Messperiode und auch aufgrund 3-jähriger Kurzintervallmessungen folgende Aussagen hinsichtlich der Steuerung der Kinematik von Spalten- und Bewegungs-zonen treffen (siehe Tab. 1) :

Hornbergl - Höfen / Tirol - KVM 03



Hornbergl - Höfen / Tirol - KVM 10



- Starke Schneerücklagen machen sich signifikant in einer Beschleunigung der Öffnungs- bzw. Schließungstendenz bemerkbar:
z. B. in den Frühlommer- und Sommermonaten
KVM 9 ~ 2,3 cm/Monat; Durchschnitt ~ 0,4 cm/Monat
KVM 10 ~ 1,1–1,5 cm/Monat; Durchschnitt ~ 0,7 cm/Monat (s. Abb. 10)
KVM 11 ~ 2,3 cm/Monat; Durchschnitt ~ 0,4 cm/Monat
- Sehr geringe Bewegungen ergeben sich in den Wintermonaten:
z. B. KVM 11 10. 01. 1997 bis 04. 05. 1997 0,1 cm/Monat; Durchschnitt 0,4 cm/Monat
KVM 10 30. 11. 2004 bis 28. 04. 2005 0,4 cm/Monat; Durchschnitt 0,7 cm/Monat (s. Abb. 10)

KVM 3 26. 10. 1997 bis 10. 04. 1998 0,4 cm/Monat; Durchschnitt 1,5 cm/Monat mit Höchstwerten im Frühling von 3,4 cm/Monat (10. 04. 1998 bis 20. 05. 1998).

Ob weitere hydrographische Gegebenheiten wie Gewitterregen und ausgeprägte Landregen einen Einfluss auf das kinematische Verhalten haben, wurde in dieser Studie nicht weiter geprüft.

3.6. Geodätische Bewegungsanalyse

Zusätzlich zu den relativen Messungen über Spalten und Bewegungszonen konnten die seit 1987 durchgeführten geodätischen Messungen der absoluten Bewegungsbeträge und Richtungen zur Überwachung der Bergzerrei-

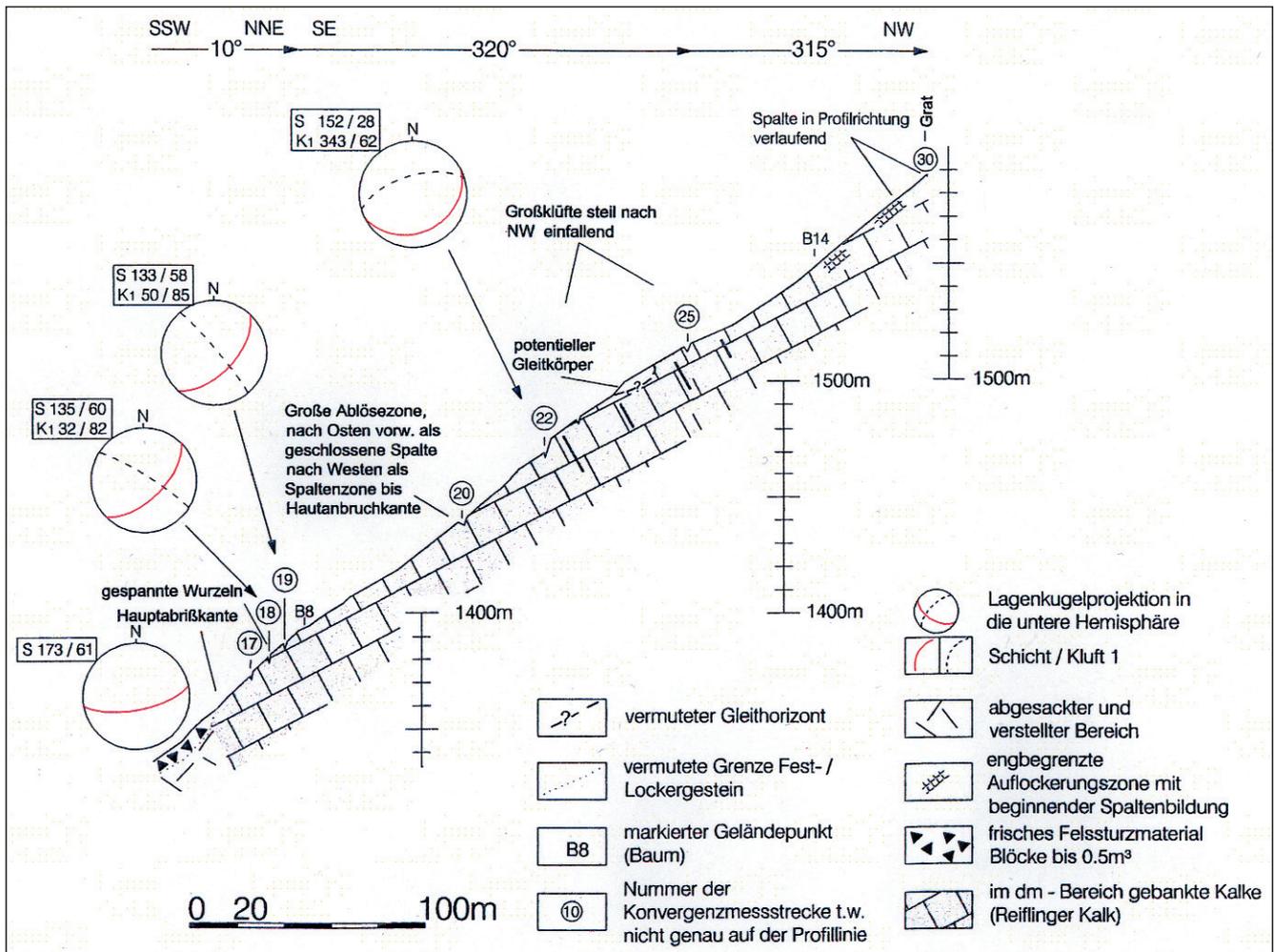


Abb. 6 (diese und nächste Seite).
Geologisch-geotechnischer Längsschnitt über die Hangbereiche östlich der alten Felsbruchnische des Faulen Schrofen.
Profil B-B', zur Lage s. Abb. 4, modifiziert nach T. ALBRECHT (1999).

Bungsvorgänge im Umfeld des Hornbergl in die Auswertung miteinbezogen werden. Es wurde ein 11 Punkte umfassendes Hauptnetz mit den Punkten G 1 (direkt am Gipfel des Hornbergl) und G 2 (am Kamm zwischen dem Her-

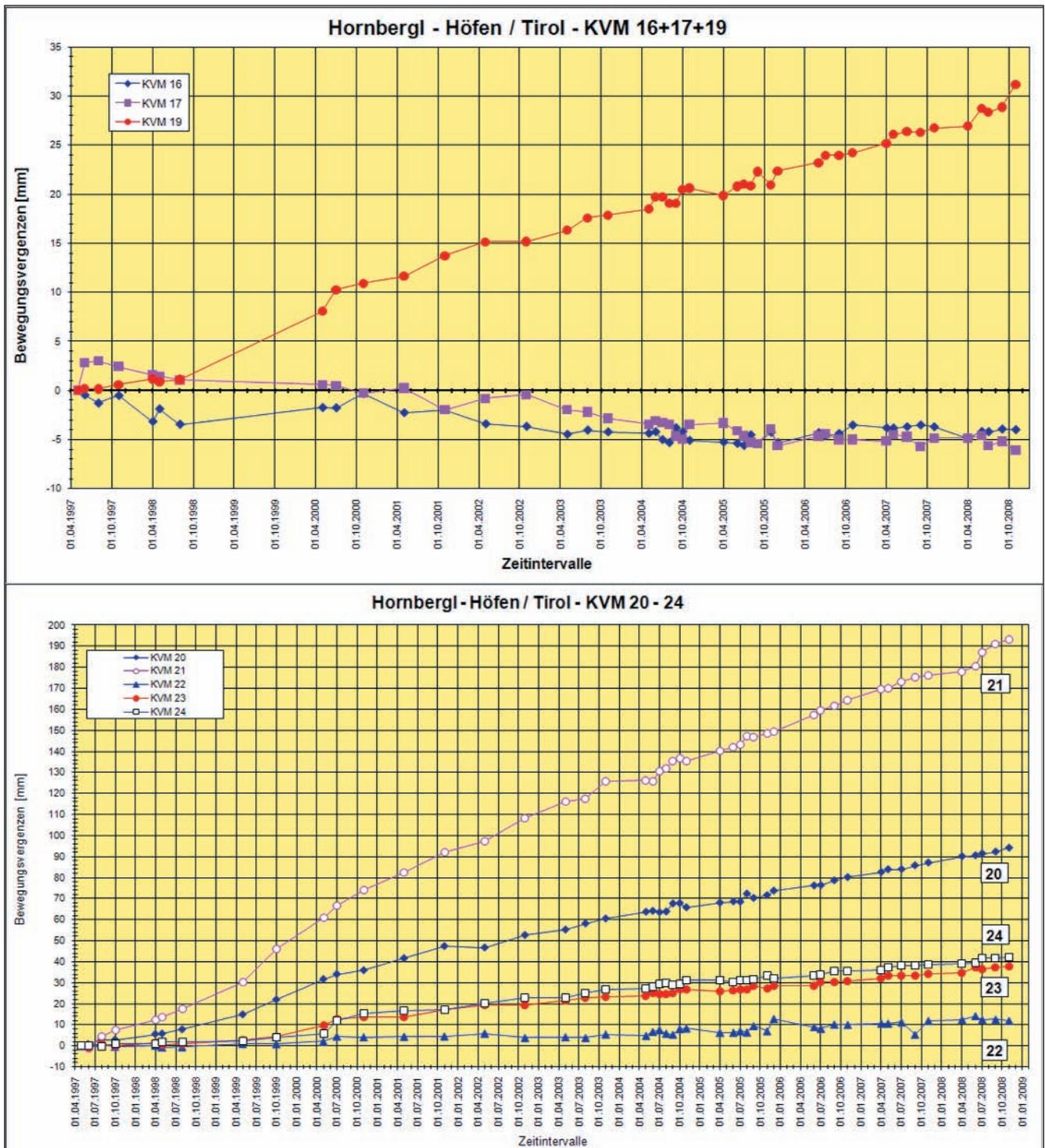
renbach und dem Murenbach auf 1.558 m) vermessen. Zwischen diese Punkte wurde ein Subnetz mit den Punkten G 21 bis G 28 eingehängt, welche alle ebenfalls in der Kammzone liegen (WUNDERLICH, 1995).

| Messpunkt Höhe | Änderung der | | Bewegungs- richtung [°] | Räumlicher Bewegungsvektor | | |
|-------------------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------|
| | Höhe [cm] | Lage [cm] | | Betrag [cm] | Geschwindigkeit [cm/a] | Neigung [°] |
| G21 1692 m | -165,4 -301,7 | 114,0 203,7 | 162,5 162,5 | 200,9 364,2 | 18,2 18,0 | -55,4 -55,9 |
| G 22 1672 m | -128,8 -236,0 | 96,2 176,8 | 174,6 174,2 | 160,8 294,9 | 14,6 14,6 | -53,2 -53,1 |
| G23 1677 m | -154,3 -277,9 | 107,1 190,5 | 155,4 154,8 | 188,0 337,3 | 17,1 16,7 | -55,2 -55,5 |
| G24 1643 m | -45,5 -72,1 | 85,2 157,2 | 204,6 205,3 | 96,8 173,5 | 8,9 8,9 | -28,0 -24,5 |
| G25 1629 m | -29,3 -42,5 | 37,4 55,1 | 121,2 120,9 | 48,1 70,1 | 4,4 4,4 | -37,6 -37,3 |
| G 26 1635 m | -124,5 -228,9 | 13,5 8,4 | 248,8 308,4 | 125,7 230,8 | 11,4 11,4 | -82,2 -82,7 |
| G 27 1671 m | -97,7 -178,4 | 120,9 219,9 | 202,3 202,5 | 155,4 283,2 | 14,1 14,1 | -38,9 -39,0 |
| G28 1634 m | -77,5 | 86,7 | 127,3 | 118,9 | 11,0 | -40,7 |

Aus der Tab. 2 kann entnommen werden, dass sich die Werte für die Teilperiode 1987 bis 1998 und für die Gesamtperiode 1987 bis 2007 kaum unterscheiden. Eine nähere Analyse erlaubt folgende Schlüsse:

- Die geodätischen Messungen belegen Bewegungen aller Punkte in Richtung zum Herren-

Tabelle 2.
Räumlicher Bewegungsvektor, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit geodätischer Messpunkte (zur Lage s. Abb. 4).
Periode 1987-1998 bzw. 1987-2007 (unterer Wert), G-28-Werte nur bis 1998, G-25-Werte nur bis 2001.



bach und auch der Punkte, die jenseits der Kammlinie im Einzugsgebiet des Murenbaches liegen.

- Die geodätischen Messungen lassen sich hinsichtlich Richtung und Neigung in 4 Gruppen aufteilen (Abb. 11).
- Die Richtung der Bewegungsvektoren stimmt mit der Fallrichtung der Schichtflächen weitgehend überein und deutet auf Kriech- und Gleitbewegungen der Reiflinger Kalke in den cm-mächtigen Zwischenschichten hin. Das ca. 10° steilere Einfallen der Bewegungsvektoren lässt sich mit einem steileren Einfallwinkel der Schichtflächen in größeren Tiefen – wie am Hang unterhalb von G 27 aufgeschlossen – begründen.
- G 21, G 22, G 23: Die geodätischen Bewegungsvektoren fallen einheitlich mit 55° nach SSE zum Herrenbach ein (G 23 liegt schon jenseits der Kammlinie auf der Muren-

bachseite) und deuten ebenfalls auf die Existenz einer gemeinsamen Gleitzone hin. Eine Korrelation mit den oberflächennahen Lagerungsverhältnissen des Trennflächengefüges ist hier aufgrund der stark verfalteten und verstellten Felsbereiche nicht möglich.

- G 25 und G 28: Die beiden an den Felsabstürzen zum Murenbach liegenden geodätischen Punkte zeigen besonders bei den Horizontalbewegungen starke Schwankungen, die die exponierte Lage widerspiegeln. Punkt 28 ist 2001 verlorengegangen (Messungen nur bis 1998). Die vorherrschende ESE-Richtung der Punkte lässt sich durch die exponierte Lage an den Felstürmen zur Murenbachseite erklären.
- G 26: Dieser auf einem Felsturm zum Murenbach gelegene geodätische Punkt zeigt die stärksten Streuungen



Abb. 7.
Blick von der HornbergI-Südostseite auf den SE verlaufenden Kamm mit den Vermessungspunkten G 25, G 26 und G 28.
Deutlich ist die starke Zerlegung in Felstürme und lang durchhaltende Zerrungszone zu sehen.

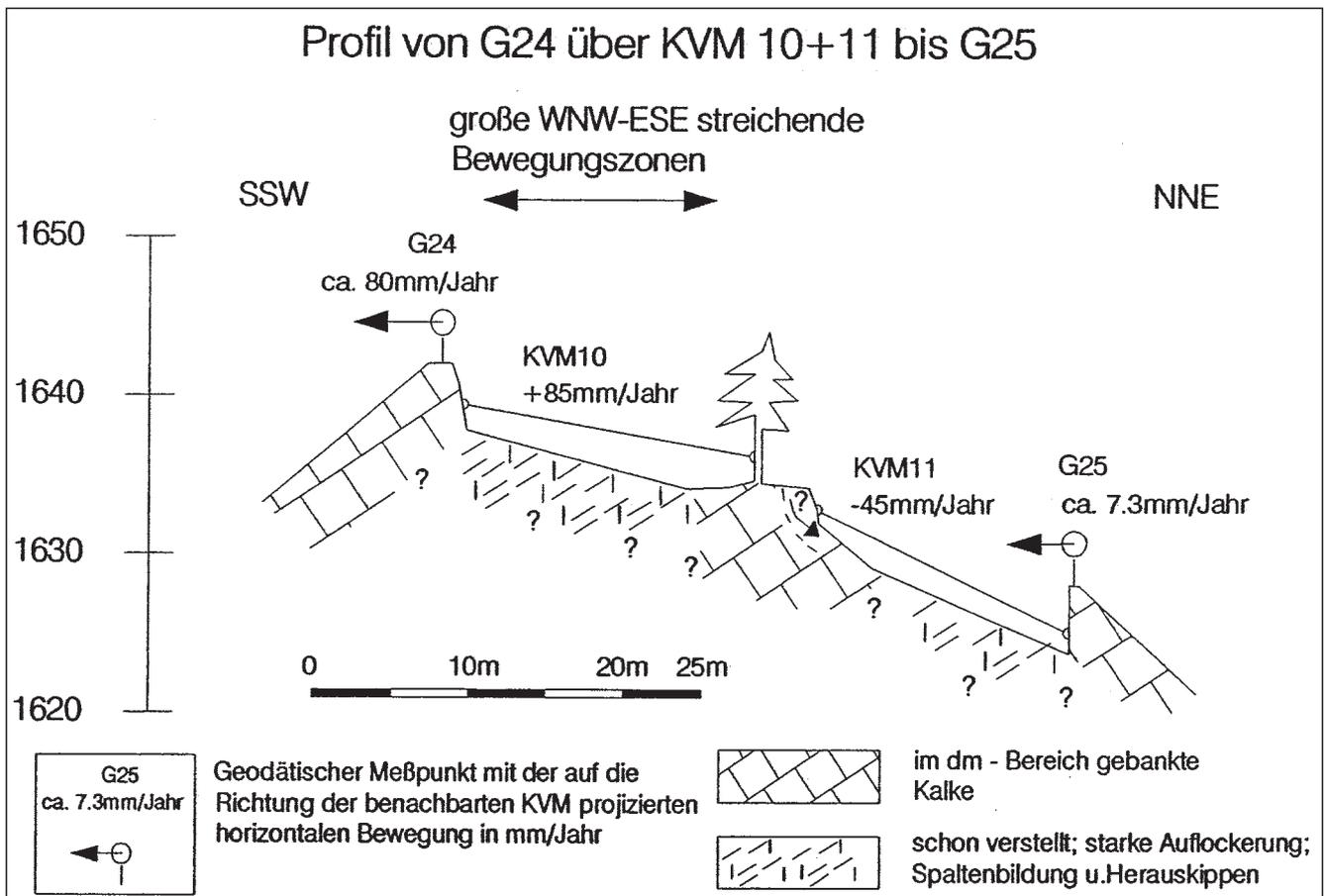


Abb. 8.
Detailprofil (C-C') von G 24 über KVM 10 und KVM 11 bis G 25.
Zur Herrenbachseite ergibt sich in der großen Bewegungszone eine Öffnungstendenz von ca. 8 cm/a, dagegen zeigt die Grabenstruktur in Richtung Murenbach eine Schließungstendenz von ca. 4 cm/a (zur Lage s. Abb. 4).

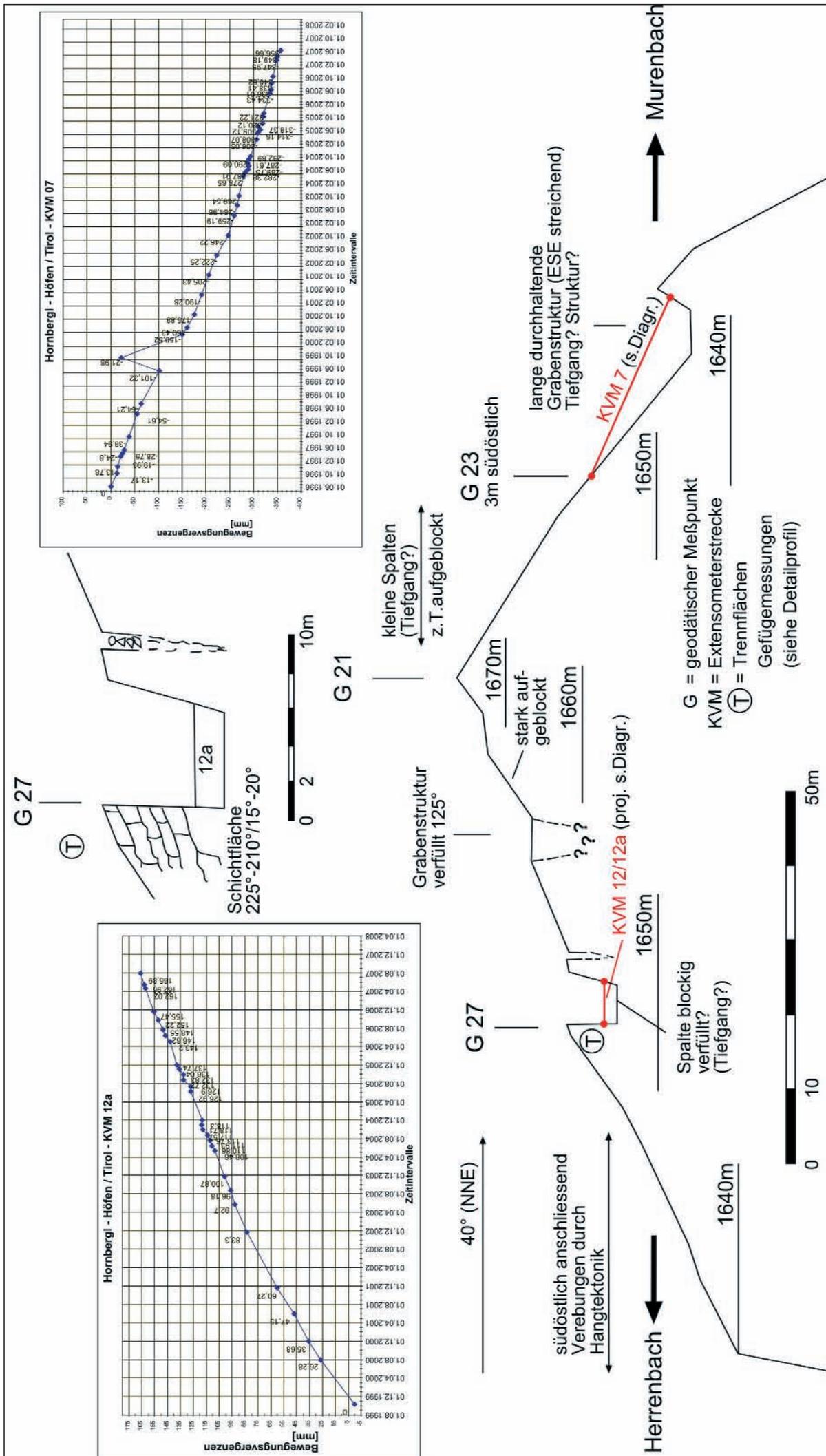


Abb. 9. Detailprofil D-D' im Kammereich über die geodätischen Messpunkte G 27, G 28 und G 23. Die Zerrungszone zum Herrenbach äußert sich in einer großen Spaltenzone mit Öffnungsbeträgen von ca. 2 cm/a (zur Lage s. Abb. 4).

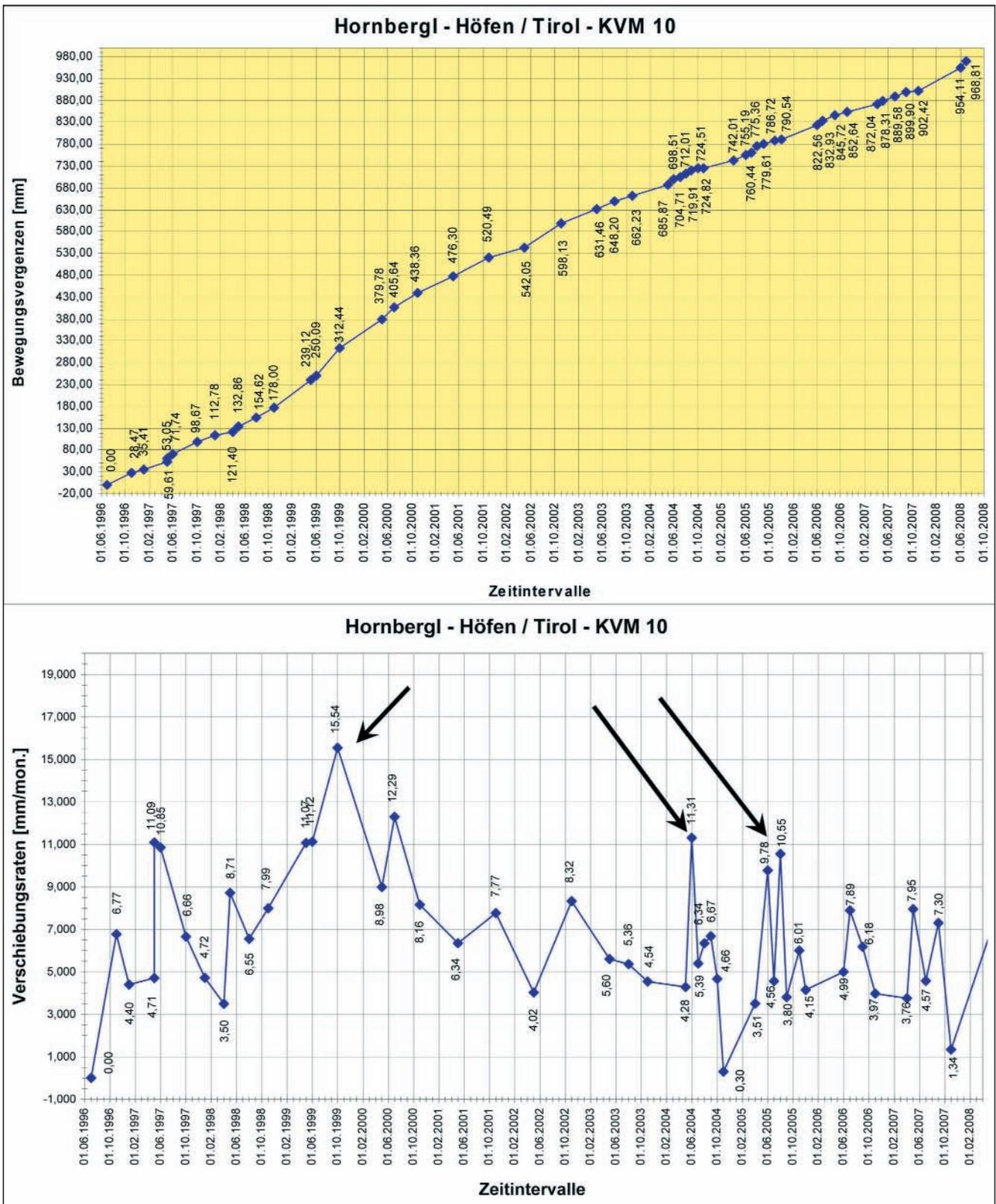


Abb. 10. Verschiebungsraten (mm/Monat) an der Präzisionsmaßbandstrecke KVM 10. Deutlich ist ein Anstieg in den Bewegungsraten infolge starker Schneerücklage (z. B. 1999) und auch in etwas abgeschwächter Form in den anderen Jahren in den Frühlings- bis Frühsommermonaten zu beobachten.

in den Horizontalbewegungen und die größten Höhenänderungen (125 cm/11a, 229 cm/20a), die die Horizontalbewegungen bei weitem übertreffen. Dies äußert sich auch in steilen Bewegungsvektoren (Neigung ca. 82°). Offenbar vollziehen sich an steil stehenden ca. ESE-

streichenden listrischen Flächen vorwiegend Sackungstendenzen.

- Die Geschwindigkeiten liegen zwischen 4 und 18 cm/a, wobei in einzelnen Perioden (s. z. B. Periode 8. 7. 98 bis 18. 10. 01) Geschwindigkeiten über 25 cm/a erreicht wer-

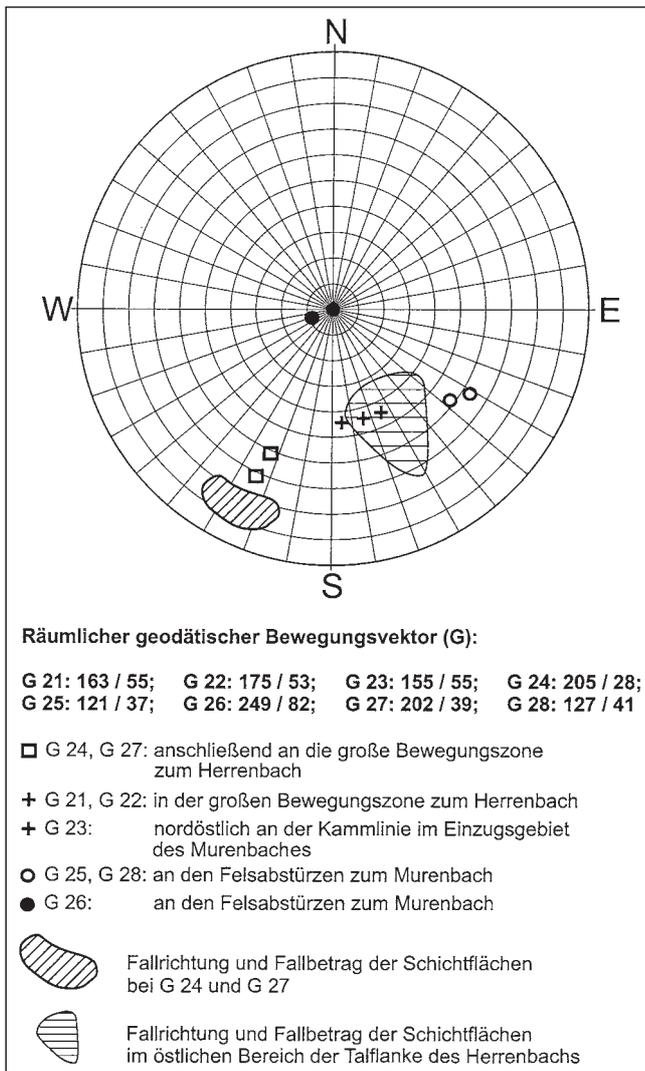


Abb. 11. Vergleiche der räumlichen Bewegungsvektoren mit dem Trennflächengefüge. Deutlich ist die Abhängigkeit von Fallrichtung und Fallbetrag der Schichtflächen zu beobachten.

den (Abb. 14). Die hohen Geschwindigkeiten letztgenannter Periode dürften durchaus mit den meteorologischen Gegebenheiten des Jahres 1999 zusammenhängen. In diesem Zeitabschnitt werden auch in den Bewegungszonen erhöhte Bewegungsraten gemessen (s. Kap. 3.5.).

4. Zusammenfassende Bemerkungen

Aufgrund von geologisch-geotechnischen Untersuchungen und ca. 20-jährigen Bewegungsmessungen konnten die kinematischen Verhältnisse im Bereich der Bergzerreibung Hornbergl – Reutte/Tirol näher beleuchtet werden. Die kinematische Analyse stützt sich auf relative Präzisionsmaßbandmessungen über Bewegungszonen und Spalten und auf einzelne absolute geodätische Messungen, die im Kammbereich zwischen Herren- und Murenbach durchgeführt worden sind.

- Insgesamt gesehen sind die geotechnischen Verhältnisse dem System „Hart auf Weich“ zuzuordnen. Als duktile Horizonte wirken feinschichtige Mergelzwischenlagen der alpinen Muschelkalkgruppe an den Einhängen des Herrenbaches und mächtige Mylonitzonen an der Überschiebungsbahn im Murenbach.

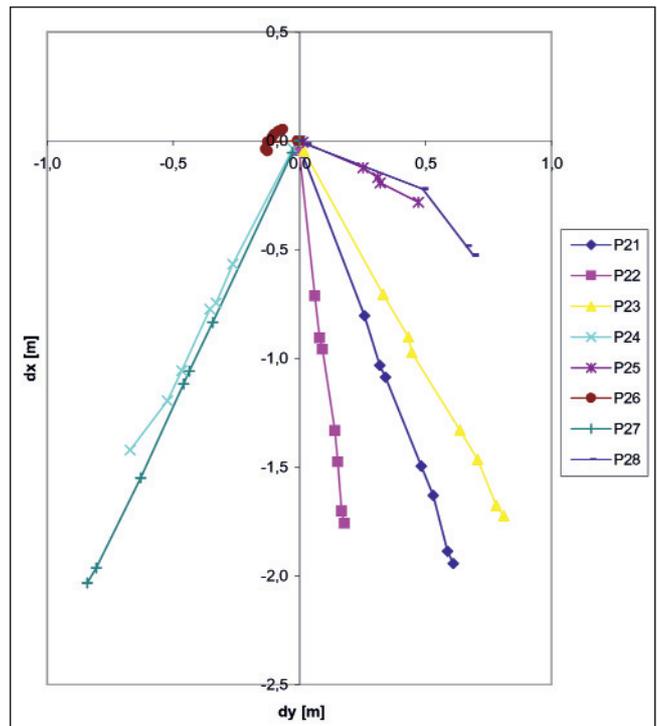


Abb. 12. Horizontalbewegungen der geodätischen Messpunkte für die Messperioden 11. 11. 87, 15. 07. 95, 18. 09. 97, 08. 07. 98, 18. 10. 2001, 27. 06. 2003, 01. 12. 2006, 12. 09. 2007. G-28-Werte nur bis 1998, G-25-Werte bis 2001. Für die Punkte G 25, G 26 und G 28 ergeben sich starke Schwankungen in den einzelnen Messperioden (bes. G 26), während G 21, G 22, G 23, G 24 und G 27 ein konstantes Verhalten zeigen (zur Lage der Messpunkte s. Abb. 4).

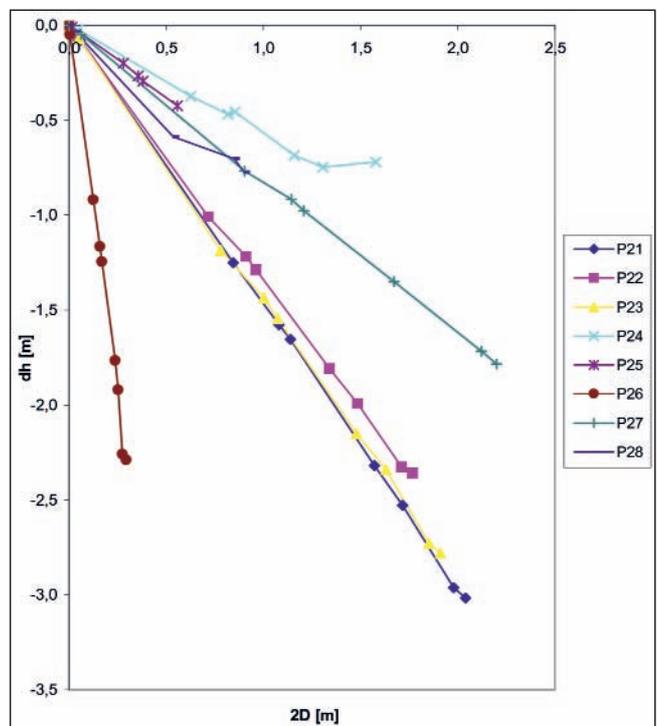


Abb. 13. Vertikalbewegungen der geodätischen Messpunkte für die in Abb. 12 angegebenen Messperioden. Bei den Neigungen ergeben sich Gruppierungen um 55° (G 21, G 22, G 23), um 30–40° (G 24, G 25, G 27 und G 28) und G 26 mit einem sehr steilen Bewegungsvektor.

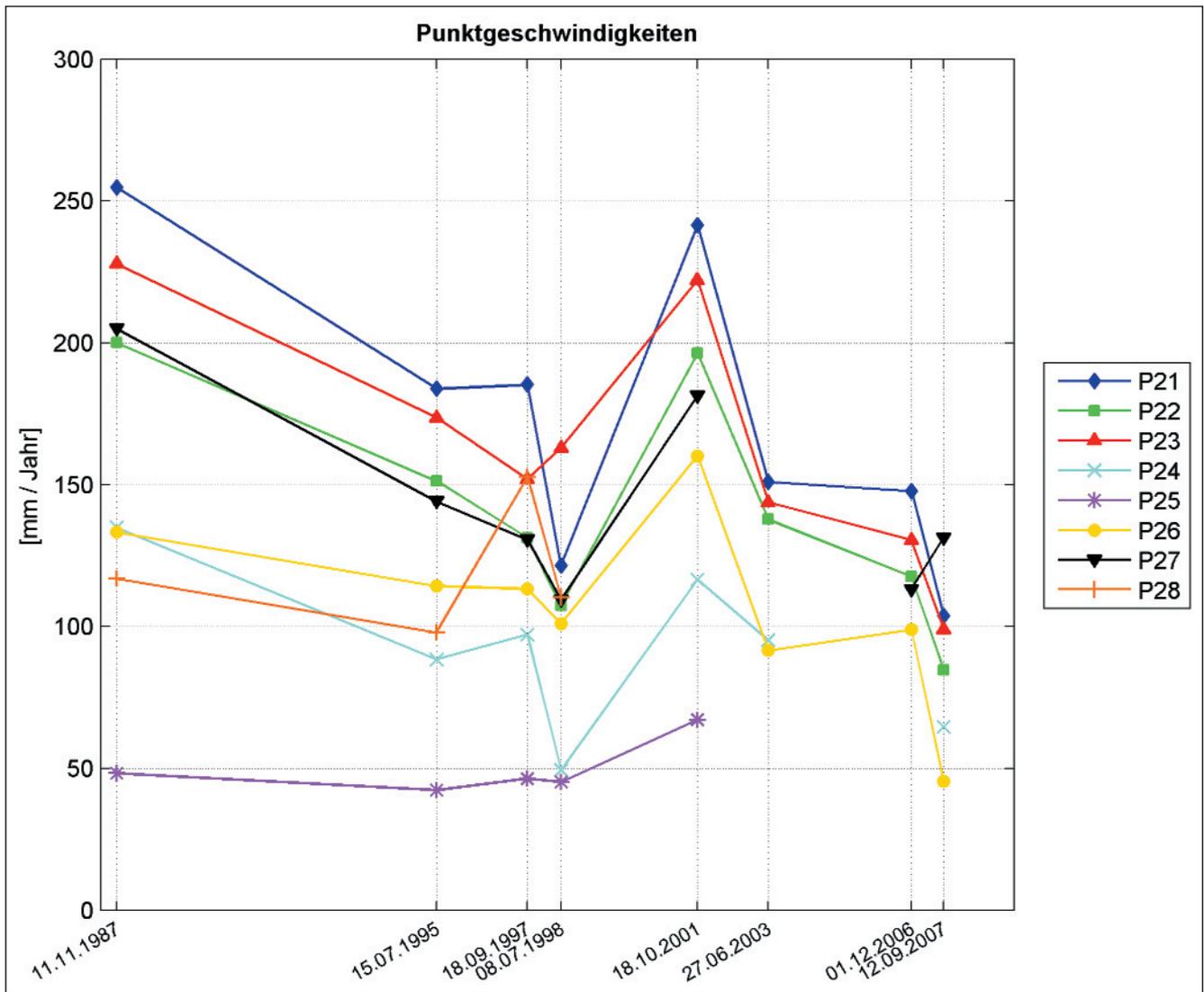


Abb. 14. Geschwindigkeiten (mm/Jahr) geodätischer Messpunkte im Kambereich Hornbergl – Fauler Schrofen. Auffällig sind die hohen Geschwindigkeiten in der Periode 08. 07. 1998 bis 18. 10. 2001 (z. T. > 200 mm/Jahr).

- Hinsichtlich der Ausbildung und Aktivität des Bergerreißungsfeldes können vornehmlich völlig in ein Haufwerk aufgeblockte Felsbereiche und lang durchhaltende Bewegungszonen im Kambereich und Spaltenbildungen an den Einhängen des Herrenbaches beobachtet werden.
- Die z. T. in eine Grobblockschutthalde aufgelösten Felsbereiche südöstlich anschließend an den Gipfel des Hornbergl zeigen Bewegungsraten bis zu 25 cm/a.
- Bei den großen, z. T. >100 m lang durchhaltenden Bewegungszonen beiderseits der Kammlinie liegen die Bewegungsbeträge teilweise >5 cm/a.
- Die Messungen im Bereich des Felssturzes am Faulen Schrofen von 1976 zeigen sehr deutlich die Abnahme der Bewegungsraten von der Hauptanbruchkante zu den anschließenden Hangbereichen. An der Hauptanrisskante werden an Spalten Öffnungsbeträge von ca. 2 cm/a beobachtet, in der Fortsetzung ergibt sich nur mehr ein Oszillieren im mm-Bereich.
- Obwohl die Messergebnisse keine unmittelbaren Felssturzereignisse signalisieren (exponentielle Zunahme) können Felsstürze zum Murenbach aufgrund geologisch-geotechnischer Bedingungen nicht ausgeschlossen werden. Eine besondere Gefährdung bis in die Tallagen ist durch die Kausalkette: Felsstürze bis in den 50.000-m³-Bereich – Mobilisierung der Lockermaterialien am Fuß

- (Schutthalde, stark durchbewegte Mylonitzone) – Bildung von Muren gegeben.
- Durch Messungen teilweise im 1-monatigen Abstand konnte der Frage der Steuerung der Prozesse durch externe Faktoren nachgegangen werden. Eine erste Analyse deutet auf eine Aktivierung der Prozesse anlässlich von Schneeschmelzvorgängen hin.
- Die geodätischen Messungen im Kambereich zeigen mit ihren Richtungen (SSW bis SE) deutlich und konstant zur Herrenbachseite, wobei auch Punkte, die jenseits der Kammlinie liegen, diese Richtungen bevorzugen. Insgesamt korrelieren die ebenen Bewegungsvektoren weitgehend mit der Fallrichtung der Schichtflächen des Muschelkalkkomplexes an der Talflanke des Herrenbaches.
- Auch die räumlichen Bewegungsrichtungen der geodätischen Messungen besonders auf der Herrenbachseite zeigen deutlich die Abhängigkeit von der Stellung des Trennflächengefüges. Die räumlichen Bewegungsvektoren mit ~200/30–40° zeichnen die Schichtlagerung nach.
- Sowohl die Präzisionsmaßbandmessungen als auch die geodätischen Messungen zeigen über längere Zeiträume eine Konstanz der Bewegungsrichtung und Bewegungsgeschwindigkeit, die aber besonders in den Frühsummermonaten durch Beschleunigungsphasen gekennzeichnet ist.

Dank

Unser Dank gilt der Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Außerfern (Dr. DRAGOSITS, Dipl.-Ing. IHRENBERGER) für die Überlassung von Unterlagen und die finanzielle Unterstützung.

Literatur

- ALBRECHT, T. (1999): Die geologisch-geotechnischen Verhältnisse im Einzugsgebiet des Herrenbaches. – Reutte/Tirol, Dipl.-Arbeit, 135 S., Univ. Erlangen-Nürnberg.
- AMPFERER, O. (1940): Zum weiteren Ausbau der Lehre von Bergzerreissungen. – Sitzungsber. Akad. Wiss. Abt. I, **149**, Wien.
- ANGERER, J. (1985): Bericht zu den geologischen Erhebungen im Murenbach und im Herrenbach. – Internes geologisches Gutachten für die Wildbach- und Lawinerverbauung Gebietsleitung Außerfern, Salzburg.
- DRAGOSITS, F. (1996): Technische, forstliche und vorbeugende Schutzkonzepte im Bereich der Höfener Wildbäche bei Reutte (Tirol, Österreich). – Exkursionsskript Interpraevent Garmisch-Partenkirchen.
- GLAWE, U. & MOSER, M. (1993): Messtechnische und theoretische Bearbeitung von Bergzerreissungen und Blockbewegungen. – Felsbau, **11/5**, 235–250, Essen.
- LOTTER, M., MOSER, M., GLAWE, U. & ZVLEBIL, J. (1998): Parameters and kinematic processes of spreading of mountain ridges. – Proc. 8th Int. Congress IAEG, Vancouver, II, 1251–1257, Rotterdam (Balkema).
- MALGOT, J., PASEK, J. & STELLA, R. (1974): The activity of the block type slope movements in the Handlová Basin. – Proc. 10th Congress CBGA, GÚDS, 176–184, Bratislava.
- MOSER, M., LOTTER, M. & MEIER, H. (2003): Großhangbewegungen des Hallstätter Raumes – Geotechnik – Kinematik – Bewegungsmechanismus. – Gmundner Geo-Studien, 343–352, Gmundner.
- MOSTLER, H. (1978): Felszerlegungen im Bereich Hornbergl – Fauler Schrofen – Herrenbach bzw. Einbindung der Geschieberückhaltesperren im Herrenbach, Gemeinde Höfen. – Internes geologisches Gutachten für die Wildbach- und Lawinerverbauung Gebietsbauleitung Außerfern, Innsbruck.
- PASEK, J. (1972): Gravitationsprozesse an Felshängen. – Neue Bergbautechnik, **2/6**, 427–432, Leipzig.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegung am Rand des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **7/1**, 16–29, Essen.
- ROHN, J., RESCH, M., SCHNEIDER, H., FERNÁNDEZ-STEGER, T.M. & CZURDA, K. (2004): Large scale lateral spreading and related mass movements in the Northern Calcareous Alps. – Bulletin of Engineering Geology and the Environment, **63**, 71–75.
- ROHN, J., EHRET, D., MOSER, M. & CZURDA, K. (2005): Prehistoric and recent mass movements of the World Cultural Heritage Site Hallstatt, Austria. – Environmental Geology, **47**, 702–714.
- TOLLMANN, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums – Monographie der Nördlichen Kalkalpen, Bd II. – Wien.
- VAN DEN HAM, G., ROHN, J., MEIER, T. & CZURDA, K. (2006): A method for modeling of a creeping slope with a visco-hypoplastic material law. – Mathematical Geology, **38**, 711–719.
- WUNDERLICH, T.A. (1995): Die geodätische Überwachung von Massenbewegungen. – Felsbau, **13**, 414–419, Essen.