

Erste Untersuchungsergebnisse zur Kinematik der Bergzerreißung Treßdorfer Höhe (Karnische Alpen)

Von ULRICH GLAWE & MICHAEL MOSER*)

Mit 12 Abbildungen

*Kärnten
Karnische Alpen
Naßfeldgebiet
Bergzerreißung
Blockbewegungen
Kinematik
Mikroseismizität*

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 198

Inhalt

Zusammenfassung	629
Abstract	629
1. Einführung	630
2. Bergzerreißung vom Blocktyp	630
3. Bergzerreißung Treßdorfer Höhe	632
3.1. Geologische Situation an der Treßdorfer Höhe	632
3.2. Geotechnische Zonierung des Bergzerreißungsfeldes	632
3.2.1. Abrißbereich	632
3.2.2. Blockfeld	636
3.2.3. Schutthalde	636
3.3. Die Untersuchungen zur Kinematik	636
3.3.1. Konvergenz- bzw. Divergenzmessungen	636
3.3.2. Bewegungserfassung mit dem Präzisionsextensometer	637
3.3.3. Korrelation der Bewegungsaktivitäten mit Niederschlagsmessungen	638
3.3.4. Interpretation der Meßergebnisse	641
3.4. Nachweis der mikroseismischen Aktivität im Blockfeld	641
4. Ausblick	643
Dank	643
Literatur	643

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über mögliche Bergzerreißungsformen der geotechnischen Konstellation „Spröde Deckplatte auf nachgiebiger Unterlage“ und stellt erste Ergebnisse meßtechnischer Untersuchungen an einem Fallbeispiel vor. Die Ausführungen beziehen sich auf das Bergzerreißungsfeld Treßdorfer Höhe – Naßfeldgebiet (Kärnten). An der Westabdachung kriechen bzw. gleiten mächtige karbonatische Blockmassen auf einer inkompetenten Schichtserie der Unteren Pseudoschwagerinen-Schichten abwärts. Es treten großflächige Gebirgsbewegungen vom Block-Typ auf, wobei innerhalb des Bergzerreißungsfeldes geotechnische und kinematische Homogenbereiche unterschieden werden können. Die Bergzerreißung gliedert sich in eine Abrißzone, ein Blockfeld und eine von Felsstürzen herrührende Schutthalde. Die mittels kontinuierlicher Messungen ermittelten Zeitdeformationskurven zeigen eine Überlagerung einer scheinbar stetigen Gebirgsbewegung mit Beschleunigungsphasen, die sich direkt mit dem Einsetzen und der Intensität der Niederschläge korrelieren lassen. Die Auswertungen über den gesamten bisherigen Meßzeitraum sprechen für primäre Kriechbewegungen, die einem jährlichen Zyklus von fröhsum-

merlicher positiver Beschleunigung und anschließender Geschwindigkeitsabnahme bis in die Wintermonate unterworfen sind. Untersuchungen zum Nachweis der mikroseismischen Aktivitäten im Bereich des Blockfeldes ließen zwei Typen von Mikrobeben erkennen, die auf einen einheitlichen Beanspruchungsplan hinweisen.

Abstract

This paper summarises possible forms of mountain splitting of the geotechnical constellation "brittle slab upon yielding base" and presents the first results of gauging surveys with the help of a typical example. The expositions refer to the area of mountain splitting called Treßdorfer Höhe (Carinthia, Austria). On the western slope are creeping or sliding hill-downwards or massive carbonate blockmasses upon a yielding series of stratum of the Unteren Pseudoschwagerinen-Schichten. There are extensive block type slope movements, in which within this area of mountain splitting can be distinguished geotechnical as well as cinematal homogeneous areas. The mountain splitting subdivides into a so-called "rifting zone", a "block field" and a "debris field" resulting from rock falls. The graphs of deformation which were determined by continuous gaugings show an overlying of an apparently steady rock movement inclusive phases of acceleration, which correlate directly with the starting and intensity of precipitation. The evaluations about the whole period of time of gauging up to now are evidence of primary creeping which is

*) Anschrift der Verfasser: Dipl.-Geol. ULRICH GLAWE, Prof. Dr. MICHAEL MOSER, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Schloßgarten 5, D-8520 Erlangen.

subjected to an annual cycle of an early summer positive acceleration and an ensuing decrease in velocity until the winter month. Surveys for the proof of microseismical activities within the area of "block-field" made two types of micro-earthquakes discernable, which refer to an unified plan of use.

1. Einführung

Sowohl in alpinen Bereichen als auch in Mittelgebirgen stellen Bergzerreibungen eine weitverbreitete Form von Massenbewegungen dar. Trotzdem wurde diesem Phänomen von geotechnischer Seite bisher nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Dazu trägt einerseits die Abgelegenheit, die meist unmerkliche Bewegungsgeschwindigkeit (mit Ausnahme resultierender Bergstürze) und die geologisch-geotechnische Komplexität bei. Auf der anderen Seite steht der nötige erhebliche meßtechnische und zeitliche Aufwand zur Erkundung von Kinematik, Dynamik und letztendlich der Mechanik der Bergzerreibungsvorgänge. Sind jedoch infolge großflächiger und tiefgreifender Massenbewegungen Siedlungen oder infrastrukturelle Einrichtungen wie beispielsweise in der Slowakei (ZARUBA & MENCL, 1969) gefährdet, so wird dem Phänomen näher nachgegangen (PASEK & KOSTAK, 1977).

Bereits Ende der dreißiger Jahre befaßte sich AMPFERER (1939, 1940, 1941) mit Bergzerreibungen indem er aus geologisch-morphologischen Beobachtungen erste Rückschlüsse auf die Mechanik dieser meist großflächigen Massenbewegungen zog. Vor allem in jüngerer Zeit wandte man sich der Untersuchung von Bergzerreibungen vom Block-Typ zu ("block-type mountain splitting") bzw. mit den sich anschließenden Hangbewegungen vom Block-Typ ("block-type slope movements", PASEK & KOSTAK, 1977), wobei geodätische (z.B. CACON & KOSTAK, 1974), allgemein ingenieurgeologische (z.B. NEMČOK & SVATOS, 1974) und Untersuchungen mittels Modellversuchen (z.B. KOSTAK, 1977; POISEL & EPPENSTEINER, 1988 u. 1989) erste Ergebnisse zum Verständnis der Mechanik von Bergzerreibungen vom Block-Typ brachten.

Basierend auf einer geologisch-geotechnischen Geländeaufnahme, meßtechnischen und mikroseismischen Untersuchungen werden in der vorliegenden Arbeit erste Ergebnisse zur Erkundung der geotechnischen Verhältnisse und der Kinematik einer Bergzerreibung vom Block-Typ am Beispiel der Treßdorfer Höhe (Kärnten) vorgestellt.

2. Bergzerreibungen vom Block-Typ

Unter dem Begriff „Bergzerreibungen vom Block-Typ“ lassen sich alle atektonischen Zerlegungserscheinungen in den Gipfel- und Kammregionen zusammenfassen, wobei diese Zerlegung durch das Auftreten mächtiger, blockiger Felskörper charakterisiert ist. An diese eigentlichen Bergzerreibungsvorgänge im Sinne AMPFERER's schließen sich häufig übergangslos Hangbewegungen vom Block-Typ an.

Massenbewegungen vom Block-Typ lassen sich folgenden Extremfällen zuordnen:

① Geotechnische Konstellation: „Duktile Unterlage – Spröde Deckplatte“

Die Kausalkette „Duktile Unterlage – Spröde Deckplatte – Zerlegung der Deckplatte zu Blöcken – Massenbewegung vom Block-Typ“ wurde bereits häufig phänomenologisch beschrieben, wobei die Arbeit von ACKERMANN (1959) stellvertretend genannt werden soll. Die Genese und das Erscheinungsbild dieser Massenbewegungen bei der geotechnischen Konstellation „Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988) läßt sich wie folgt beschreiben:

In den Mittelgebirgsbereichen setzt die Gebirgsbewegung mit dem erosiv-fluviatilen Anschnitt der fließfähigen Unterlage ein. Im nun freigelegten Unterlager wird der allseitig gleiche Druckzustand geändert, es treten Scherspannungen auf und das Gebirge reagiert mit dem Fließen und Auspressen der duktilen Gesteinsabfolge (PASEK & KOSTAK, 1977). In alpinen, glazial überprägten Arealen ist mit der Aktivierung der Bergzerreibungsvorgänge bzw. Blockbewegungen nach dem Rückzug der Gletscher zu rechnen, worauf bereits AMPFERER (1939) besonders hingewiesen hat. Da Täler fast immer entlang tektonischer Schwächezonen angelegt sind, die von einer Schar parallelstreichender Trennflächen (Störungen, Brüche, Klüfte) begleitet werden, ist die Ablösung von Blöcken von der spröden Deckplatte begünstigt bzw. vorgezeichnet.

Da der duktil reagierende Gebirgskörper zu Beginn nur einen Freiheitsgrad besitzt, nämlich die Translation zur freigelegten Talseite, ist mit einer anfänglichen translativen Bewegung der Blöcke zu rechnen. „Die sich vom Massiv loslösenden und durch Abrißspalten begrenzten Blöcke führen zunächst nur horizontale, also Translationsbewegungen aus“ (JOHNSEN & KLENGEL, 1973:242). Es sei jedoch bemerkt, daß bei waagrechter Schichtlagerung nur vertikal gerichtete Kräfte (Gewicht) angreifen und sich die horizontale Bewegung nur mit einer extrem tiefgreifenden Sockeldeformation erklären läßt. In diesem Zerlegungsstadium ("block rifts"; MALGOT et al., 1974:179) findet man im Gelände frischgeöffnete Klüfte, die im Verlauf der Bewegungen zu „Trockenklammen“ (MÜLLER, 1963:411) bzw. „Riesenkluftgassen“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988:190) erweitert werden. Im weiteren Verlauf der Blockbewegungen entsteht durch fortwährende Auflockerungsprozesse ein Blockfeld ("block field"; MALGOT et al., 1974:179) in dem die Gebirgskörper unterschiedlichsten Bewegungsformen (Translationen- und Rotationen) unterworfen sind. Talwärts schließt meist ein Bereich sekundärer Rutschungen an, die sich im bindigen bis schwach bindigen Hang- und Verwitterungsschutt einstellen.

Vor allem aus den Mittelgebirgen des süddeutschen Juras, Thüringens und der Slowakei sind diese Formen der Bergzerreibung vielfach beobachtet und beschrieben worden, aber auch aus den Alpen wird von ähnlichen Massenbewegungen berichtet.

Sowohl aus rein wissenschaftlichem Interesse, als auch zur Erkundung einer möglichen bautechnischen Nutzung wurden bei diesem geotechnischen System verschiedene Untersuchungsmethoden zur Erfassung der Kinematik angewandt. Hierbei stehen die geodätische Überwachung (z.B. MALGOT et al., 1974) und die relative Bewegungserfassung mittels Targetmeter TM 71 (z.B. KOSTAK, 1988) und Bandextensometer (z.B. JOHNSEN & KOSTAK, 1980) im Vordergrund. Auch ver-

BEISPIELE:

Wellenkalkstufe (DDR); z.B. ACKERMANN 1959
 Malmkalkstufe (D); z.B. TSCHIERSCHE 1987
 Handlová (ČSSR); z.B. ZÁRUBA & MENCL 1969

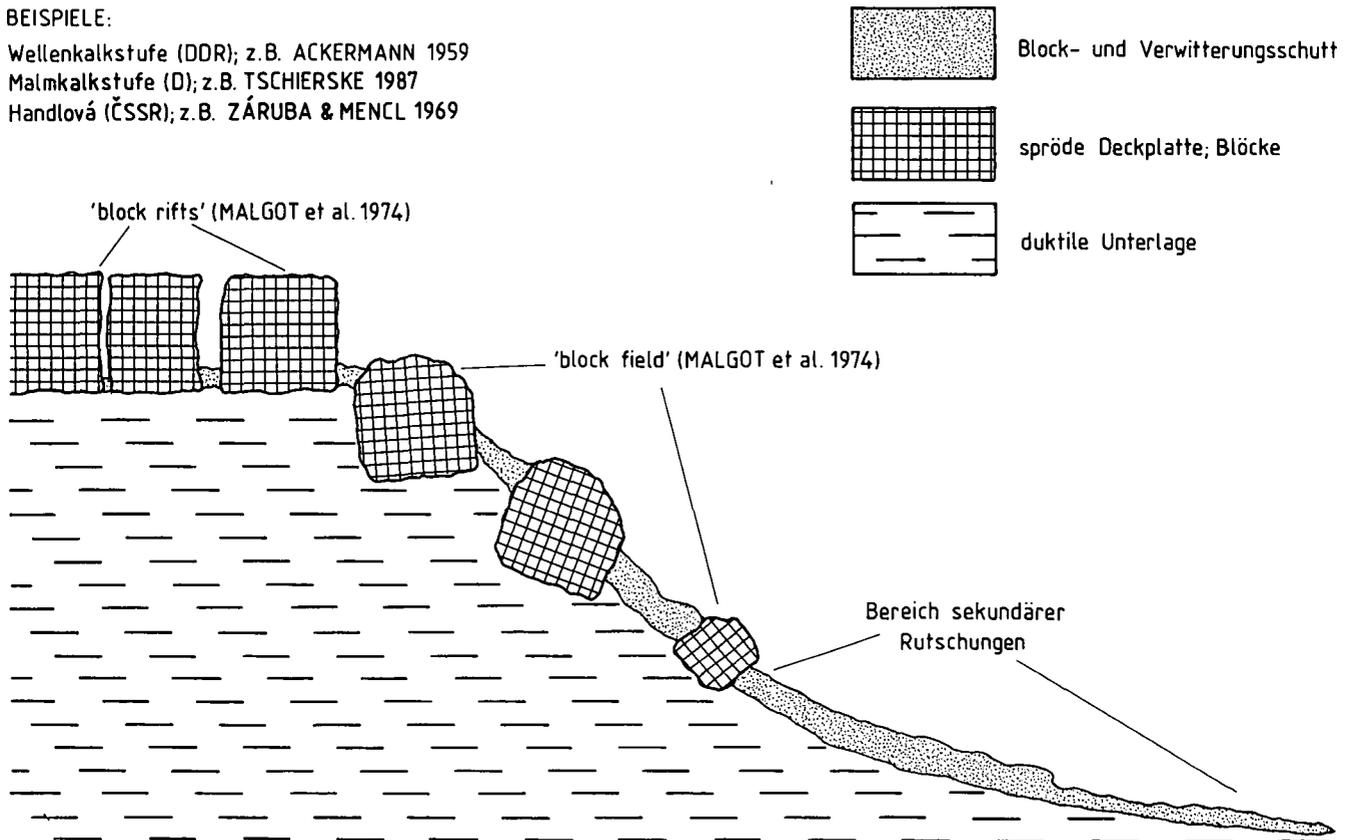


Abb. 1. Schematische Darstellung der geotechnischen Konstellation „Hart auf Weich“ mit auftretenden Bergzerreiungserscheinungen und anschließenden Hangbewegungen vom Block-Typ. Talwärts schließt sich ein Bereich mit sekundären Rutschungen im Hang- und Verwitterungsschutt an.

BEISPIELE:

Drevenik (ČSSR); z.B. NEMČOK & SVATOŠ 1974
 Sivý vrch (ČSSR); z.B. NEMČOK & BALIAK 1977
 (?)Treffdorfer Höhe (A)

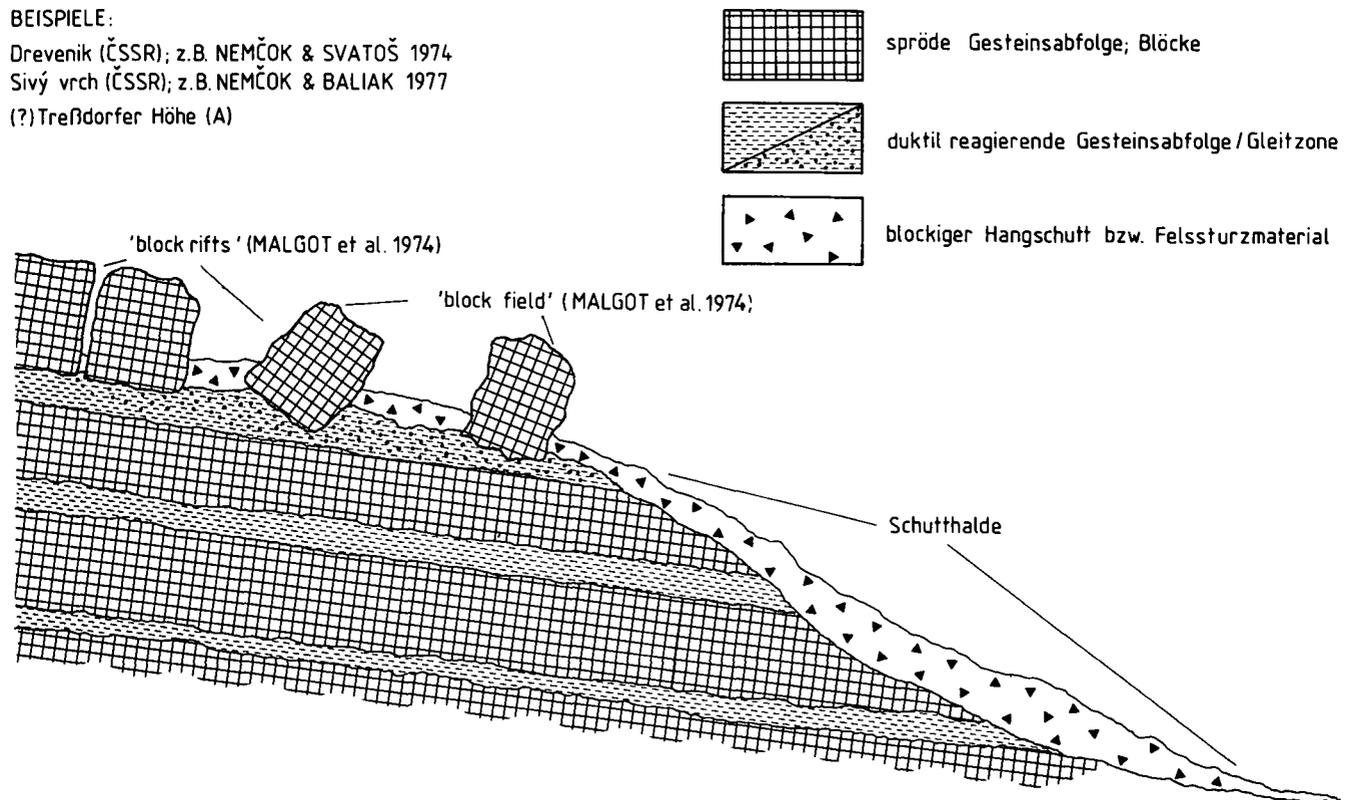


Abb. 2. Schematische Darstellung der geotechnischen Konstellation „Geringmächtige duktil reagierende Gleitzone - Spröde Deckplatte“ mit auftretenden Bergzerreiungserscheinungen, einer anschließenden Hangbewegung vom Block-Typ und der Anlage einer Blockhalde durch abstürzende Blöcke.

suchte man bereits mittels Modellversuchen (z.B. KOSTAK, 1977; POISEL & EPPENSTEINER, 1988 u. 1989) und theoretischer Überlegungen (z.B. TSCHERSKE, 1987) die Mechanik dieser Gebirgszerlegungen zu erforschen.

② Geotechnische Konstellation: „Geringmächtige, duktil reagierende (geneigte) Gleitzone – spröde Deckplatte“

Diese geotechnische Variante, bei der es zu einer Ausbildung einer duktil reagierenden Gleitzone kommen kann, ist in der Natur weit weniger verbreitet, da die geologischen Voraussetzungen stark spezifiziert sind. Anders als bei dem System „Hart auf Weich“ können hier die Blockbewegungen bereits bei einem vollständigen erosiven Anschnitt der spröden Deckplatte einsetzen. Ursache ist nicht eine „plastische Deformation“ der zur Gleitzone prädestinierten unterlagernden Gesteinabfolge, sondern das Einsetzen eines Kriech- bzw. Gleitvorganges von Felsblöcken entlang der mechanisch schwächsten Schicht in dieser Abfolge.

Dieses Zerlegungsstadium läßt sich dem von MALGOT et al. (1974) als „block rifts“ bezeichneten gleichsetzen. Mit den rein translationsförmigen Bewegungsvorgängen ist eine ständige Änderung des Spannungsfeldes in den unterlagernden Schichten verbunden. Daraus können im Bereich der auflastenden Blöcke Brüche resultieren (z.B. Grundbrüche unter deren Rändern) und sukzessive schließt sich eine fortwährende hangtektonische Zerlegung des Unterlagers zu einer Gleit- bzw. Kriechzone an („shear zone“; NEMČOK & BALIAK, 1977). Zudem ist diese Schichtabfolge zwischen den Blöcken einer verstärkten Erosion ausgesetzt, „Selbstverstärkungseffekt“ im Sinne POISEL's & EPPENSTEINER's (1988). Mit dem Zerschneiden dieser nachgiebigen Gesteinsabfolge sind die ersten Blockrotationen verbunden, die jedoch von der Mächtigkeit der Scherzone beschränkt sein können. Beißt die Gleitzone an der Talflanke aus, schließen sich an die Gleit- und Kriechbewegungen Fels- und Bergstürze des Blockfeldes an, die zur Anlage von Blockhalden führen können. Vor allem aus der ČSSR wird von dieser geotechnischen Konstellation berichtet, wobei jedoch nur wenige Arbeiten dieses Phänomen eingehend beschreiben (z.B. NEMČOK & SVATOS, 1974). Auch hier standen Untersuchungen mit dem Targetmeter (FUSSGÄNGER, 1985) und eine phänomenologische Beschreibung im Vordergrund.

3. Bergzerreißung Treßdorfer Höhe

Im Bereich des Naßfeldes (Karnische Alpen) können zahlreiche Großhangbewegungen beobachtet werden (MOSER et al., 1988; GLAWE & MOSER, 1989), die von sehr schnellen (Reppwandberg- und felsstürze) bis hin zu langsamen Massenbewegungen reichen (Reppwand-Gleitung, Schlanitzenalm-Gleitung). An der Westflanke des nord-/südverlaufenden Rückens der Treßdorfer Höhe finden sich sehr langsame Hangbewegungen in Form von Blockbewegungen, an die sich rasch ablaufende Berg- bzw. Felsstürze anschließen.

Bereits FELSER & KAHLER (1956:206) beschrieben geologisch-morphologisch dieses Phänomen und stellten dabei fest, daß „man alle Stadien des Verbruches beobachten kann“. Auch KAHLER & PREY (1963:75) weisen auf die Zerreißungserscheinungen hin: „Die Treßdorfer Höhe vor allem zeigt das Zerfallen einer Kalkplatte auf nachgiebiger Unterlage und Abrutschung oder Absturz der losgetrennten

Teile. Die ausgedehnten Blockmassen des Westhanges sind ein Ergebnis dieser Vorgänge“. Auf der geologischen Karte von Österreich Blatt 198 Weißbriach werden die Blöcke treffend mit „Große Wanderblöcke“ beschrieben (SCHÖNLAUB, 1987).

3.1. Geologische Situation an der Treßdorfer Höhe

Die Treßdorfer Höhe wird im Bereich des Bergzerreißungsfeldes von den unterpermischen Unteren Pseudoschwagerinen-Schichten aufgebaut. Dieser Schichtkomplex besteht aus vier Sedimentationszyklen, die jeweils mit einer „klastischen“ Abfolge einsetzen und im Hangenden von mächtigeren Karbonaten abgelöst werden (HOMANN, 1972):

- Die „klastischen“ Abfolgen bestehen aus geringmächtigen Karbonaten, Sandsteinen, Siltschiefern und unverfestigten max. 30 cm mächtigen siltigen Tonsteinen. Die härteren rein klastischen Schichtanteile sind häufig engständig geklüftet. Die Gesamtmächtigkeit der „klastischen“ Abfolgen kann bis in den 10 m-Bereich reichen.
- Die karbonatischen Abfolgen dagegen sind bedeutend mächtiger und treten an der Ostflanke der Treßdorfer Höhe als markante Steilstufen hervor. Die S_0 -Flächen sind wellig-rauh ausgebildet, treten im dm- bis m-Bereich auf und weisen bisweilen pelitische Schichtbesteige auf. Bei der massigen Ausbildung handelt es sich um Riffkörper („algal mud mounds“, E. FLÜGEL, 1987), die Mächtigkeiten bis zu 30 m erreichen können.

Aufgrund einer intensiven alpidischen, bruchhaften Deformation der Schichtabfolgen des Naßfeldgebietes besteht das Trennflächengefüge der Unteren Pseudoschwagerinen-Schichten an der Treßdorfer Höhe aus vier Trennflächen; drei Klufscharen und den S_0 -Flächen. An der Ostflanke der Treßdorfer Höhe beträgt die Schichtlagerung ca. 270/10–20. Die Existenz der Klufscharen läßt sich ausschließlich tektonisch erklären, d.h. sie sind nicht hangtektonischen Ursprungs. Auffällig tritt eine etwa NNE–SSW-streichende Klufschare in Erscheinung, auf die schon KAHLER & PREY (1963) hingewiesen haben. Ebenfalls findet sich in den Erläuterungen der Geologischen Karte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes für die WNW–ESE- und die SSE–NNW-streichenden Klufscharen eine tektonische Erklärung.

Aus den an der Schipiste „Leiternabfahrt“ anstehenden Unteren Pseudoschwagerinen-Schichten kriechen bzw. gleiten mächtige Blockmassen nach W. Die Gebirgsmassen werden im Lauf der Hangbewegungen verstellt und zerlegen sich dabei. In Höhe 1670 m ist eine konvexe Hangkante ausgebildet, die das Blockfeld (mittlere Hangneigung 12°) von der Felssturzhalde (mittlere Hangneigung bis 30° trennt (s. Abb. 4). Die Bergzerreißungsvorgänge charakterisieren die Westflanke der Treßdorfer Höhe von 1440 m bis 1750 m.

3.2. Geotechnische Zonierung des Bergzerreißungsfeldes

3.2.1 Abrißbereich

Dieses Areal ist durch das Aufgehen von Klüften gekennzeichnet. Sie werden verbreitert und mit nachbrechendem Blockschutt der Begrenzungswände erfüllt.

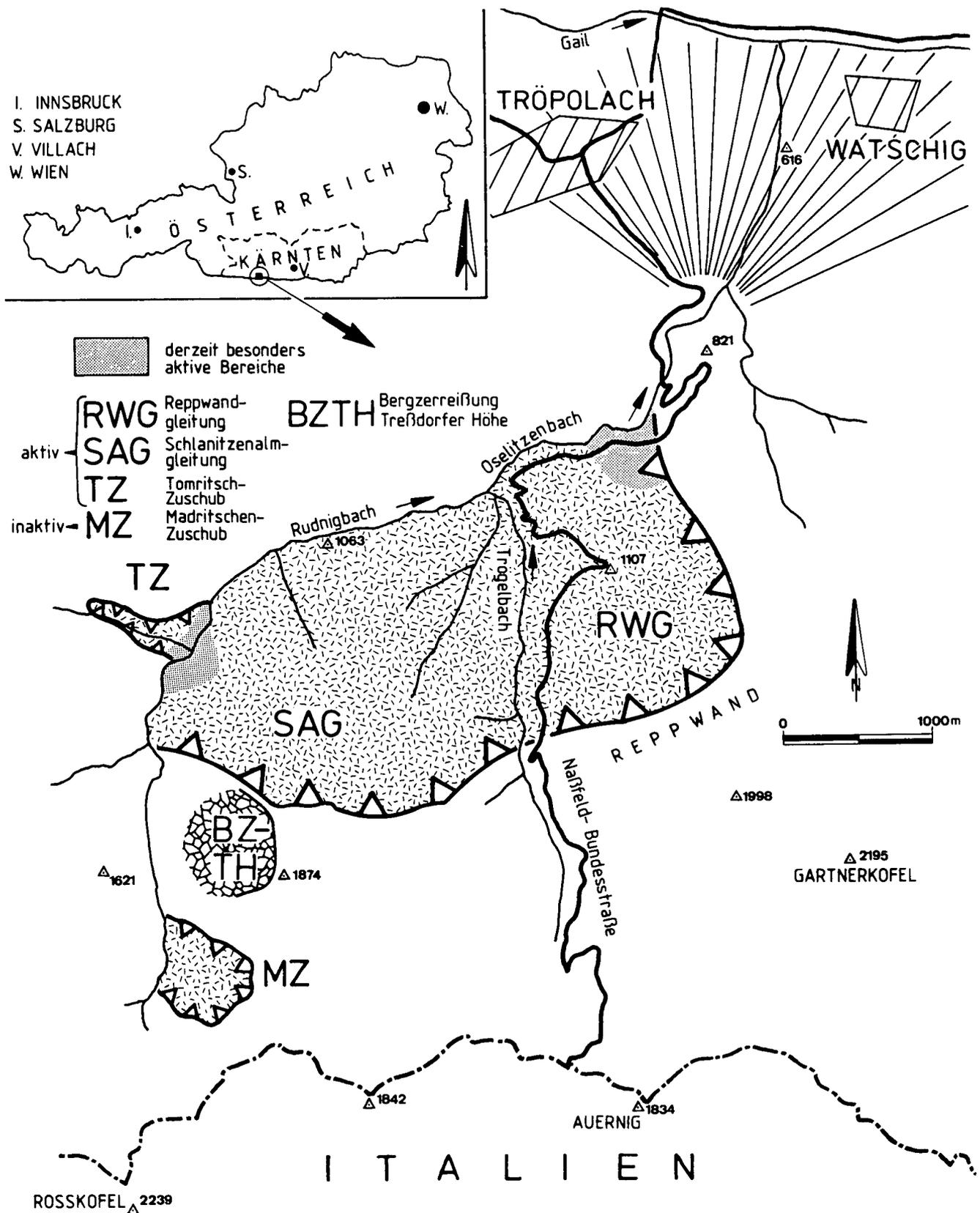
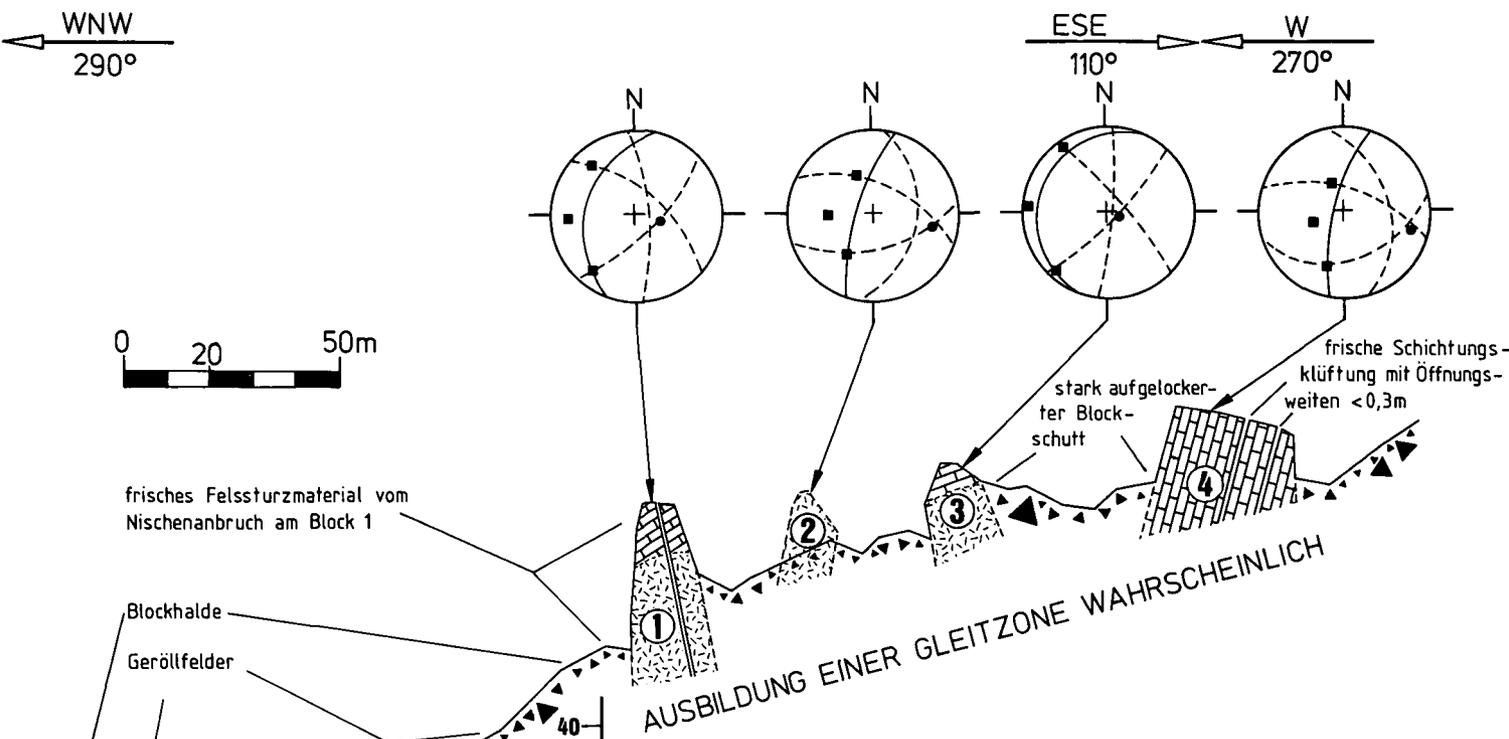


Abb. 3. Übersicht über die wichtigsten großflächigen Massenbewegungen im Naßfeldgebiet (Kärnten).

Es entstehen sogenannte „Trockenklammen“. Die Raumstellung der Trennflächen an den entstandenen Blockzügen entspricht etwa dem des anstehenden, nicht bewegten Gebirges. Die oberste „Trockenklamm“ ist 300 m lang, mit Blockwerk erfüllt und von bis zu 15

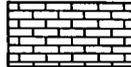
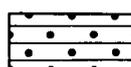
m hohen Steilabbrüchen begrenzt. Im Bereich des geotechnischen Profils ist die Abrißkluff nur undeutlich ausgebildet (s. a. Abb.4). Die derzeitigen Klufföffnungsbeiträge liegen nach den bisherigen Messungen unter der Signifikanzgrenze.

GEOTECHNISCHER LÄNGENSCHNITT ÜBER DIE TRESSDORFER HÖHE / BERGZERREISSUNGSVORGÄNGE / BLOCKBEWEGUNGEN IN DEN UNTEREN

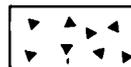


AUSBILDUNG EINER GLEITZONE WAHRSCHEINLICH

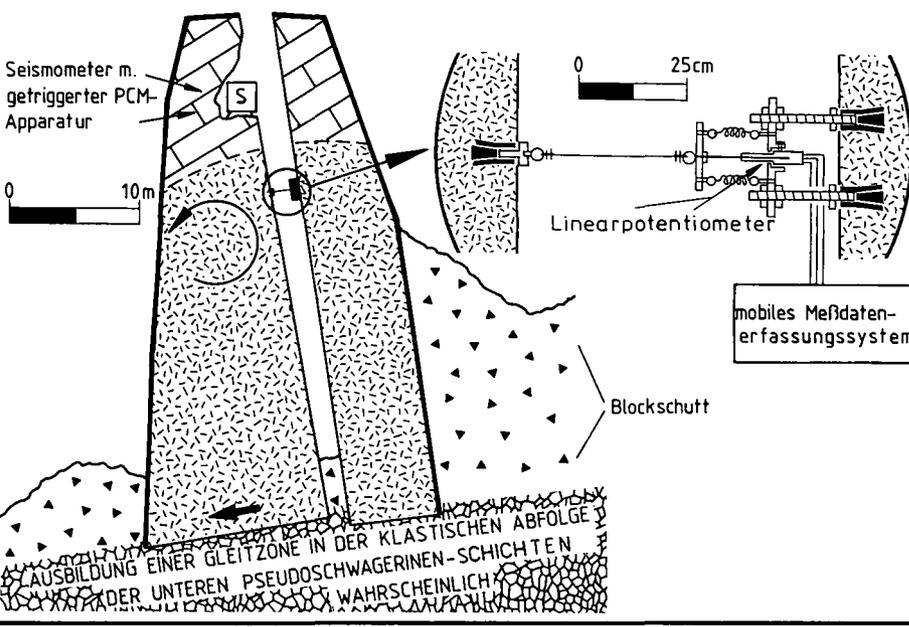
LEGENDE ZUM GEOTECHNISCHEN FESTGESTEINE

-  karbonatische Abfolge der UPK; gebankt, Trennflächenengefüge deutlich
-  karbonatische Abfolge der UPK; massig, Trennflächenengefüge falls vorhanden undeutlich
-  klastische Abfolge des Zyklus 3 der UPK

LOCKERGESTEINE

-  $\approx 0,05\text{m}^3$
 -  $\approx 0,5\text{m}^3$
 -  $\approx 10\text{m}^3$
 -  $> 10\text{m}^3$
 -  steinig-blockiger Hangschutt
- Blockschutt der UPK

DETAILANSICHT BLOCK 1; PRÄZISIONSEXTENSOMETER



AUSBILDUNG EINER GLEITZONE IN DER KLASTISCHEN ABFOLGE
 AUSBILDUNG EINER GLEITZONE IN DEN UNTEREN PSEUDOSCHWAGERINEN-SCHICHTEN
 WAHRSCHEINLICH

NASSFELDGEBIET / KARNISCHE ALPEN PSEUDOSCHWAGERINEN - SCHICHTEN; U - PERM

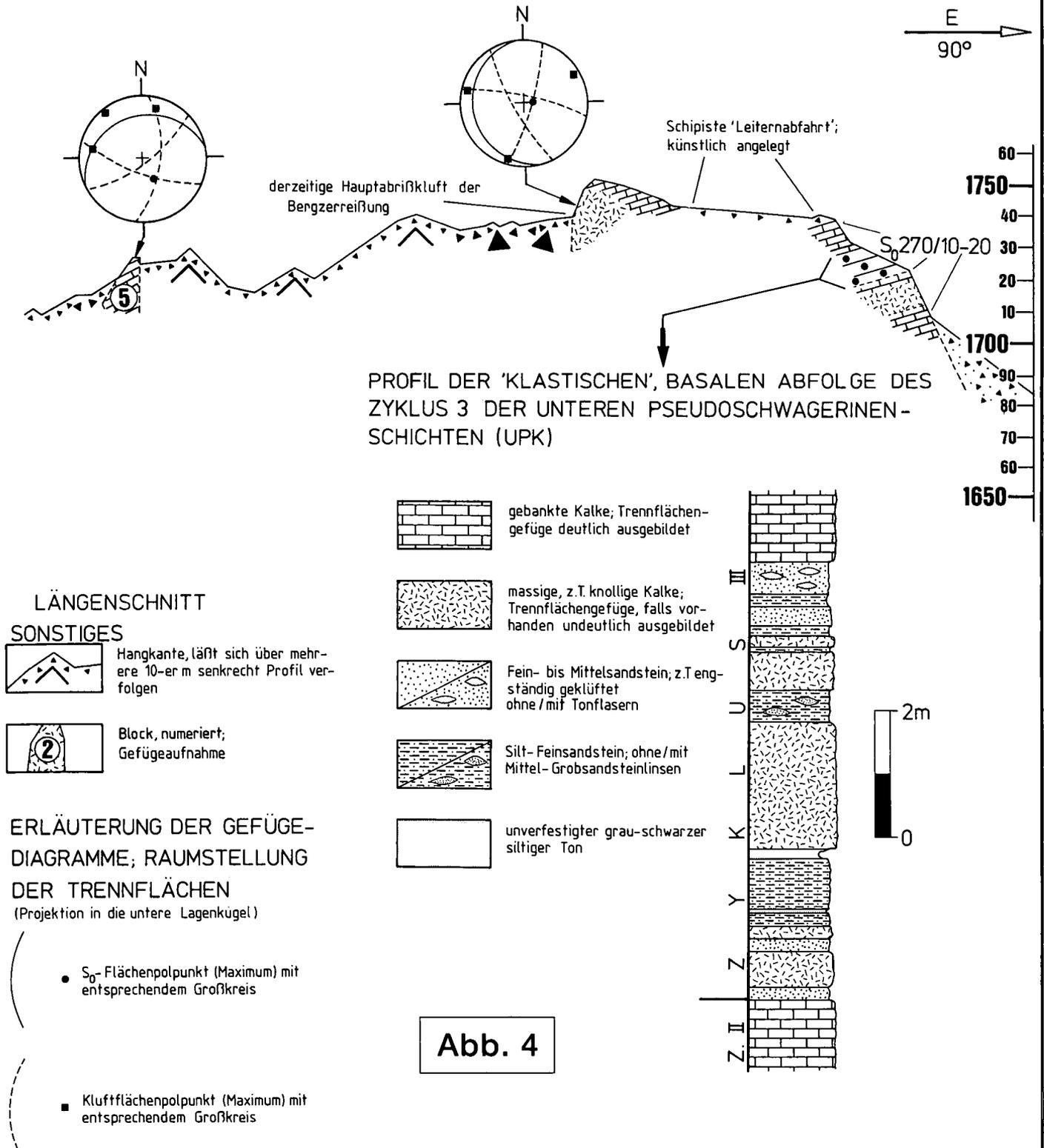


Abb. 4

U. GLAWE & M. MOSER 1989

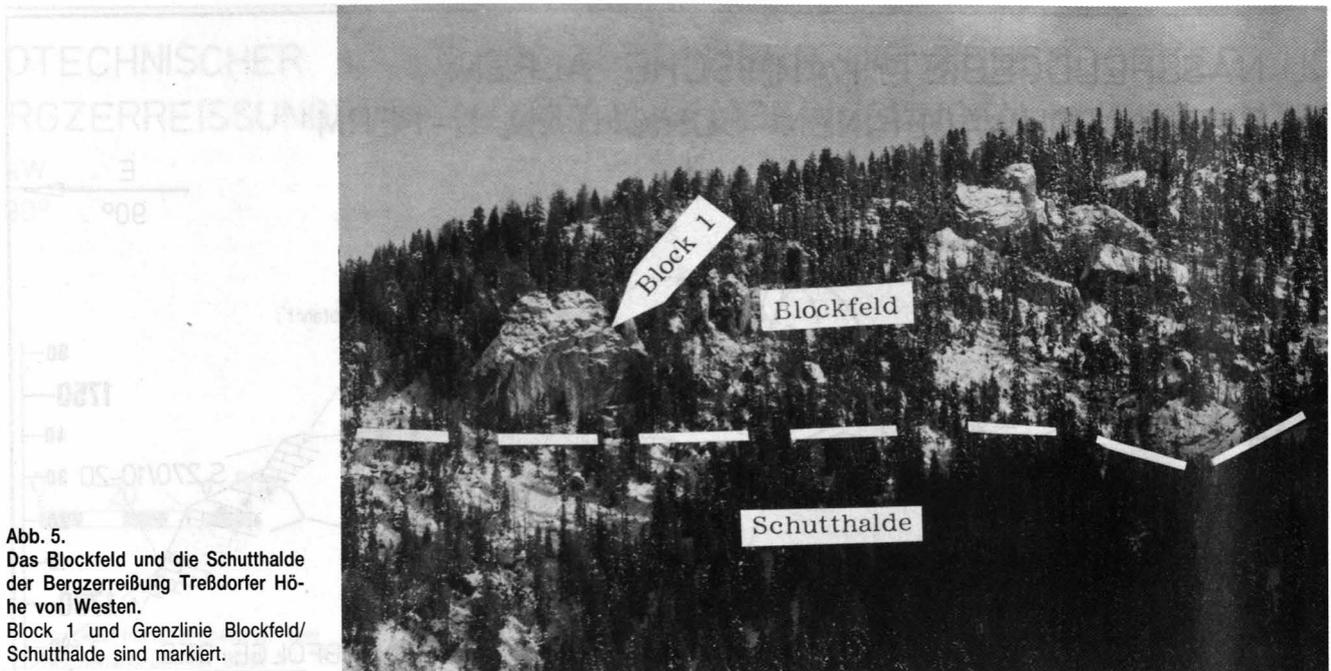


Abb. 5.
Das Blockfeld und die Schutthalde der Bergzerreißung Treßdorfer Höhe von Westen.
Block 1 und Grenzlinie Blockfeld/Schutthalde sind markiert.

3.2.2 Blockfeld

Unterschiedliche Bewegungsraten in den Blockzügen bedingen das Auflösen der Blockzüge zu Einzelblöcken; es entsteht ein Felslabyrinth. Die isolierten Blöcke (häufig massig ausgebildet) drehen sich und kippen. Die Kippbewegungen sind vorwiegend als Externrotationen im Sinne PUTSCHER's et al. (1978) zu bezeichnen. Als Folge der Kippungen resultieren planare Rutschungen entlang der S_0 -Flächen. Vor allem kleine Blöcke weisen z.T. erhebliche Rotationsbeträge auf; sie haben sich vermutlich von ihrer Unterlage gelöst und führen ein Eigenleben im Blockschutt (s. Abb. 4, Block 5). Bei gebankten Blöcken ist die Raumstellung des Trennflächengefüges gut zu erkennen und dient bereits im Gelände der Abschätzung des Rotationsbetrages bzgl. des anstehenden, unbewegten Gebirges. Die isolierten Blöcke werden infolge der Gebirgsbewegungen weiter zerlegt, so daß sich im Blockfeld nur noch vereinzelt größere Blöcke ($>10.000 \text{ m}^3$) befinden, außerdem verbleiben Blockstümpfe. Bei stark verstellten, gebankten, noch im Verband befindlichen Blöcken brechen ganze Schichtpakete an den S_0 -Flächen ab. Im Bereich der konvexen Hangkante kippen noch vorhandene Großblöcke in die darunterliegenden Hänge. Das Blockfeld „kalbt“. Bemerkenswert ist das Bewegungsverhalten des Blockes 1. Der an der Hangkante (Höhe 1670 m) befindliche, absturzgefährdete Großblock (s. Abb. 4) weist eine etwa 40 m hohe Talseite auf und stellt derzeit einen Teil der Grenzlinie Blockfeld/Schutthalde dar. Der Block wird von massigen und gebankten Karbonaten aufgebaut; er weist eine Kubatur von ca. 50.000 m^3 auf.

Der Großblock spaltet sich entlang einer mächtigen N-S-verlaufenden, mit der Hangkante streichenden Kluft auf, wobei der talseitige Teil talwärts kippt. Dies belegt die V-förmig geöffnete Kluft.

3.2.3. Schutthalde

Die Felsblöcke werden bei den auftretenden Felsstürzen bis zur Kluftkörpergröße zerlegt. Die durch

postglaziale Fels- und Bergstürze angelegte, rein steinig-blockige Schutthalde erstreckt sich von der Hangkante über 230 Höhenmeter bis an die Sohle des Rudnigrabens (Höhe 1440 m).

3.3. Die Untersuchungen zur Kinematik

3.3.1. Konvergenz- bzw. Divergenzmessungen

Bei den durchgeführten Distanzmessungen wurde die Länge der Strecke zwischen zwei im Fels befestigte Bolzen mit einem im Tunnelbau zur Konvergenzmessung verwendeten Stahlband-Extensometer der Marke ROCK INSTRUMENTS (Tape-Extensometer MK II) ermittelt. Die Ablesegenauigkeit beträgt 10^{-2} mm ($= 10 \mu\text{m}$), die effektive Genauigkeit etwa $\pm 0,3 \text{ mm}$.

An der Bergzerreißung Treßdorfer Höhe wurden zwei besonders geeignete Gebiete für die Einrichtung von Meßstrecken bestimmt. Mit sechs im Bereich der obersten Abrißkluft angebrachten Meßstrecken soll in erster Linie das Ablösen des obersten Blockzuges vom anstehenden Massiv erfaßt werden. Um erste Aussagen über die Kinematik des Blockfeldes oberhalb der Hangkante Höhe 1670 m treffen zu können, wurden dort 16 Meßstrecken angelegt.

In der Zeit von Oktober 87 bis Mai 89 waren im Bereich der obersten Abrißkluft keine die Meßgenauigkeit wesentlich übersteigenden Distanzänderungen zu verzeichnen. Dagegen sind die relativen Bewegungsbeiträge im Bereich der Hangkante signifikant. An fast allen Meßstrecken wurden relative Dislokationen im mm-Bereich/Monat festgestellt. Lediglich Meßstrecken, die etwa im Streichen des Hanges liegen, weisen keine meßbaren Distanzänderungen auf. Markant ist der Öffnungsbetrag der Großkluft, die den Block 1 (s.a. Abb. 4) spaltet. Die Distanzmessungen, die in unregelmäßigen Abständen durchgeführt wurden und einen Zeitraum von ca. 19 Monaten umfaßten, zeigen einen Kluftöffnungsbetrag von 100 mm (s. Abb. 6). Bei Betrachtung der Zeit-Deformationskurve kann eine gewisse Linearität abgelesen werden mit einer durchschnittlichen Kluftöffnungsgeschwindigkeit von $0,17 \text{ mm/d}$. Die Beziehung zu den Niederschlägen kann nur sehr bedingt

hergestellt werden. Auffällig ist von Ende Mai bis Ende Juni 1988 die hohe Öffnungsrate von 0,25 mm/d. Erst mit dem Einsatz eines kontinuierlich aufzeichnenden Präzisionsextensometers wird eine sachgerechte Auflösung der Gebirgsdeformation erfolgen und ein erster Bezug zu den steuernden externen Faktoren hergestellt werden können (s. Kap. 3.3.3). Dies wiederum wird die Aussagemöglichkeit hinsichtlich der Mechanik der Bergerreißungsvorgänge wesentlich erleichtern.

Mit den festgestellten relativen Dislokationsbeträgen (ca. 0,17 mm/d = 62 mm/a) sind die Gebirgsbewegungen wesentlich größer als sie z.B. KOSTAK (1988) von horizontal gelagerten, etwa in der gleichen Dimension auftretenden Blockbewegungssystemen auf duktiler Unterlage an der Schwarzmeerküste (Bulgarien) mitteilt (0,25 bis 0,7 mm/a). Weitgehende Übereinstimmung besteht dagegen mit den max. Bewegungsbeträgen an der Wellenkalkstufe (Nordthüringen), wo von JOHNSEN (1981) Werte von ca. 50 mm/a ermittelt wurden.

3.3.2. Bewegungserfassung mit dem Präzisionsextensometer

Um die Frage nach dem Bewegungsablauf (kontinuierlich, Beschleunigungsphasen, Korrelation mit externen Faktoren etc.) klären zu können, wurde von den Autoren ein kontinuierlich aufzeichnendes Präzisionsextensometer konstruiert und an der Großkluft am Block 1 installiert (s.a. Abb. 4).

Als Weggeber dient ein Linearpotentiometer mit 5 cm Hub und einer Abweichung von der Linearität von 0,1 %. Der analoge Abgriff erfolgt relativ (prozentual), d.h. es werden genauigkeitsmindernde Einflüsse wie Temperaturänderung und Spannungsänderungen gerätintern kompensiert. Anschließend werden die Meßwerte mit einer Auflösung von 12 bit digitalisiert (A/D-Wandler) und in einem handlichen mobilen Datenerfassungssystem abgespeichert. Die Genauigkeit der Elektronik liegt im 10 μ -Bereich. Die Messungen vom Juni 88 bis Mai 89 erfolgten im Zweiminutentakt; in zehnmütigen Abständen wurde ein arithmetisch gemittelter Wert dem Speicher zugeführt, wobei eine kontinuierliche Meßreihe gewonnen werden konnte. Die tem-

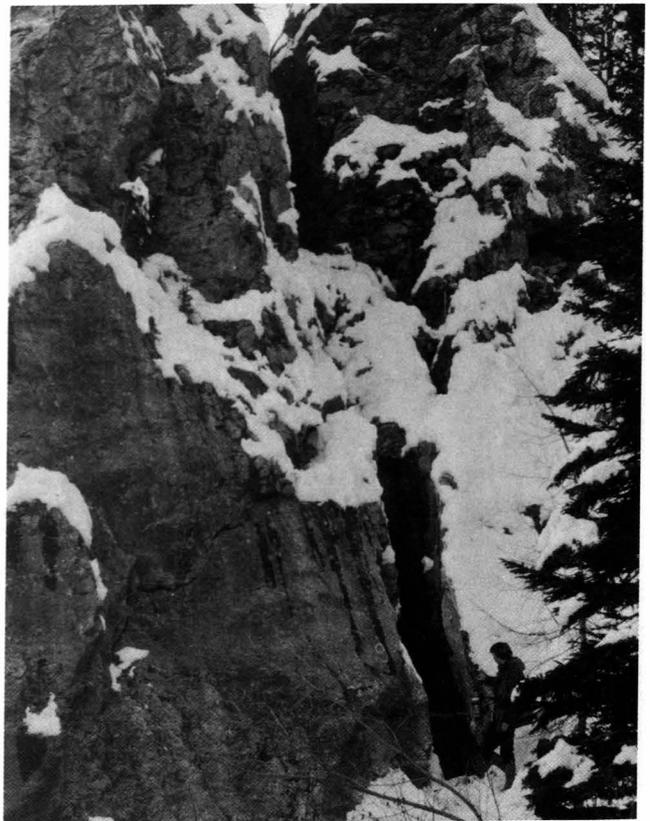


Abb. 7. Blick von Süden auf den oberen Teil des Blockes 1, der von einer mächtigen sich öffnenden Kluft gespalten wird. Die Divergenzmeßstrecke 9/10 befindet sich ebenso wie das Präzisionsextensometer im rechten unteren Bildteil, knapp links der als Größenvergleich dienenden Person.

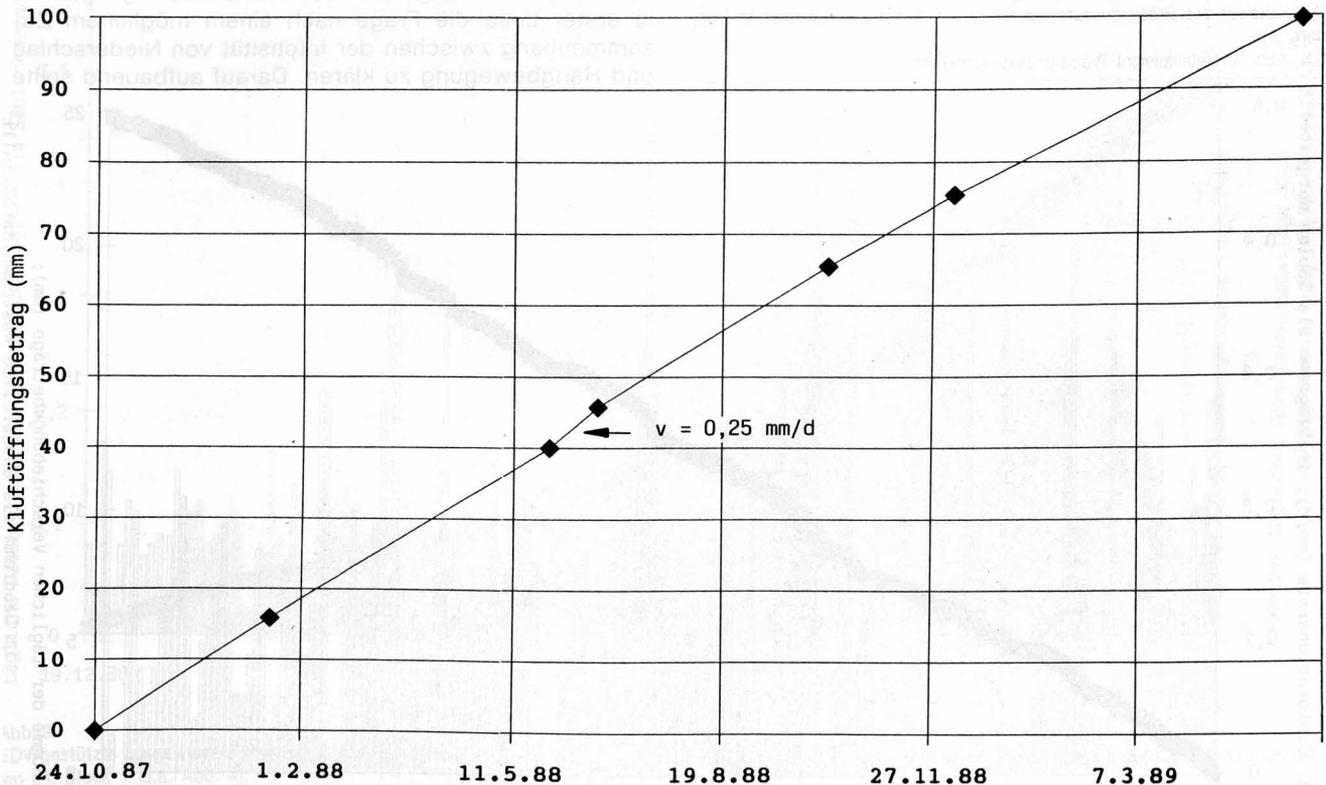


Abb. 6. Ergebnisse der Stahlband-Extensometermessungen an der Großkluft des Blockes 1. Die Meßpunkte sind als Rauten dargestellt.



Abb. 8.
Detailansicht des Präzisionsextensometers mit dem Datensammler im Vordergrund.
S.a. Abb. 4; Detailansicht Präzisionsextensometer..

peraturabhängigen Längenänderungen der Geräteaufhängung und des Gebirges wurden bislang nicht herausgefiltert; dies wird aber die Aussagekraft der Messungen über längere Zeiträume (Bewegungsbeträge im mm- bis cm-Bereich) nicht sonderlich beeinflussen. Die Meßwerte werden vor Erreichen der Speicherkapazität (224 kB, ca. 150.000 Werte) mittels portablen PC abgegriffen und können noch vor Ort weiterverarbeitet werden.

Für den Meßzeitraum (Juni 88 bis Mai 89) ergibt sich nun folgendes Bewegungsbild:

Wie aus Abb. 9a ersichtlich schwanken die täglichen Dislokationsbeträge während der Sommermonate z.T. erheblich, sie belaufen sich zwischen 0 und 0,5 mm/d. Dies bedeutet, ein linearer Bewegungsablauf, wie eventuell infolge der Konvergenzmessungen angenommen werden könnte, ist zumindest für kleine Zeitintervalle widerlegt. Betrachtet man jedoch die Zeitspanne von Juni bis Oktober 88, so läßt sich die Kurve der Klufföffnungsgeschwindigkeit als Gerade mit durchschnittlichen täglichen Bewegungsbeträgen von 0,16 mm deuten. Mit dem Einsetzen der Wintermonate im November sinken die durchschnittlichen Bewegungsbeträge um 0,05 auf 0,11 mm/d (s. Abb. 9b) und weisen im Januar/Februar 1989 mit 0,086 mm/d den tiefsten Stand des Jahres auf (s. Abb. 9c). Gerade während dieser Zeitspanne fällt die Linearität der Summenkurve der Verschiebungsraten besonders auf. Mit dem Beginn der Schneeschmelze im März steigen die Dislokationsbeträge erheblich an und erreichen von Mitte März bis Mitte Mai einen Betrag von 0,225 mm/d.

3.3.3. Korrelation der Bewegungsaktivitäten mit Niederschlagsmessungen

Mit Hilfe der Niederschlagsmeßwerte der meteorologischen Station am Naßfeldpaß und der EDV-gestützten Analyse der täglichen Dislokationsbeträge galt es in erster Linie die Frage nach einem möglichem Zusammenhang zwischen der Intensität von Niederschlag und Hangbewegung zu klären. Darauf aufbauend sollte

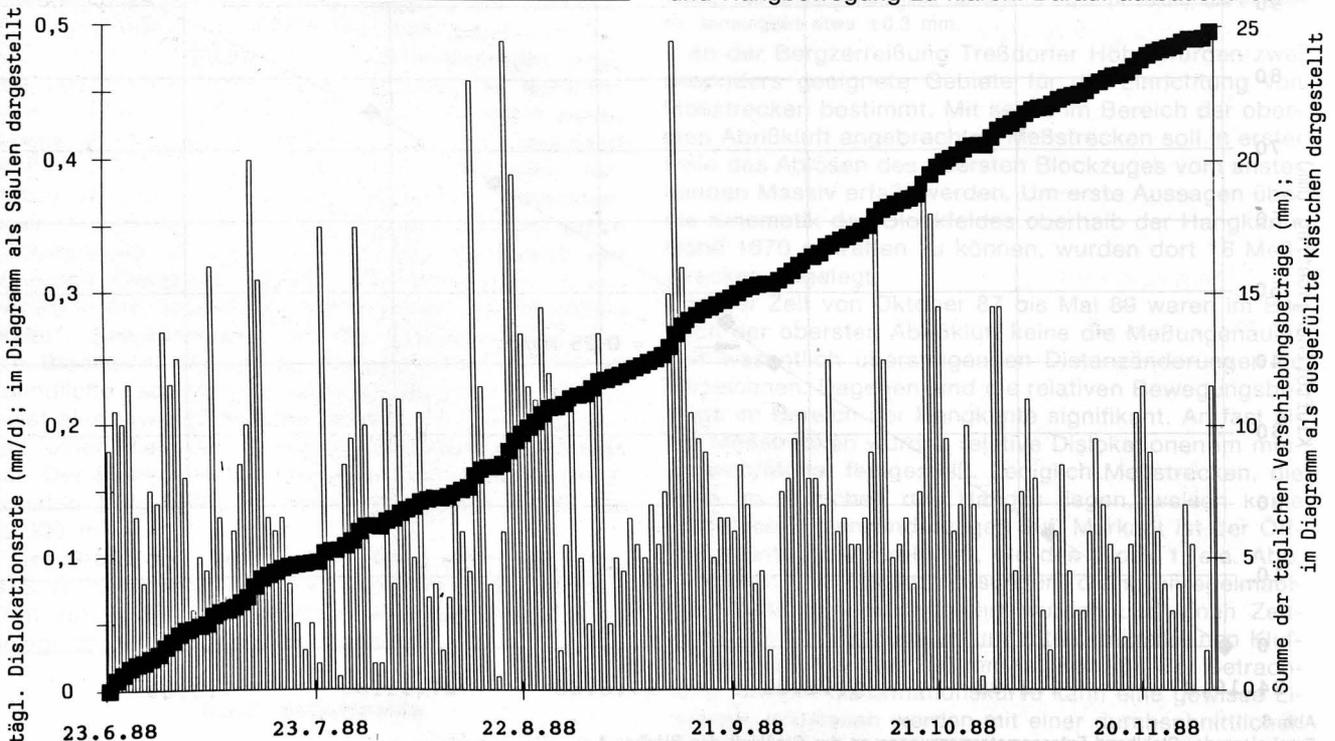
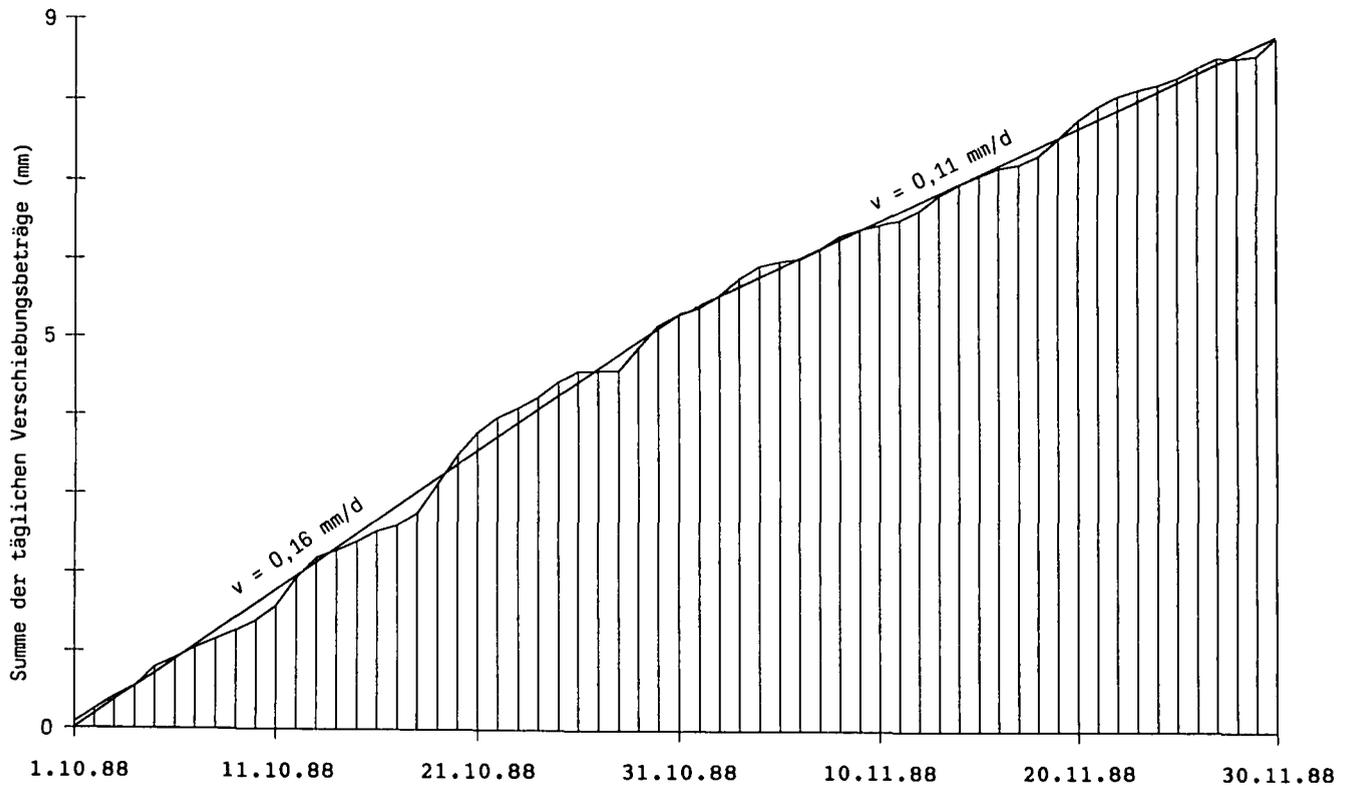


Abb. 9a ▲



▲ b

c ▼

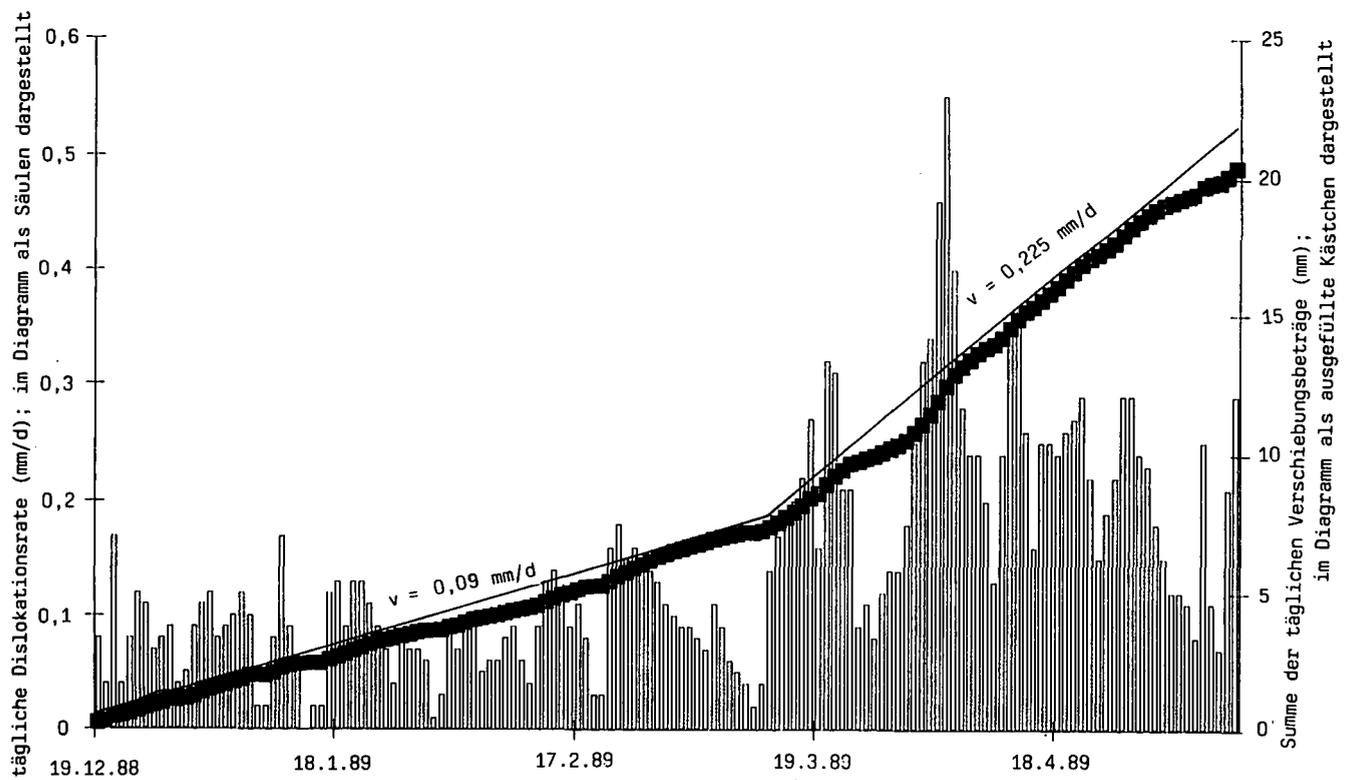


Abb. 9.
 EDV-gestützte ausgewertete Meßergebnisse der Präzisionsextensometer-Messungen zur Erfassung der Dislokationsbeträge entlang der Klüftflächennormalen am Block 1 (s.a. Abb. 4).
 a) Zeitraum vom 23. 06. 1988 – 30. 11. 1988 (ca. 23.000 Meßwerte).
 b) Zeitraum vom 01. 10. 1988 – 30. 11. 1988 (ca. 8.600 Meßwerte).
 c) Zeitraum vom 19. 12. 1988 – 10. 05. 1989 (ca. 20.000 Meßwerte).

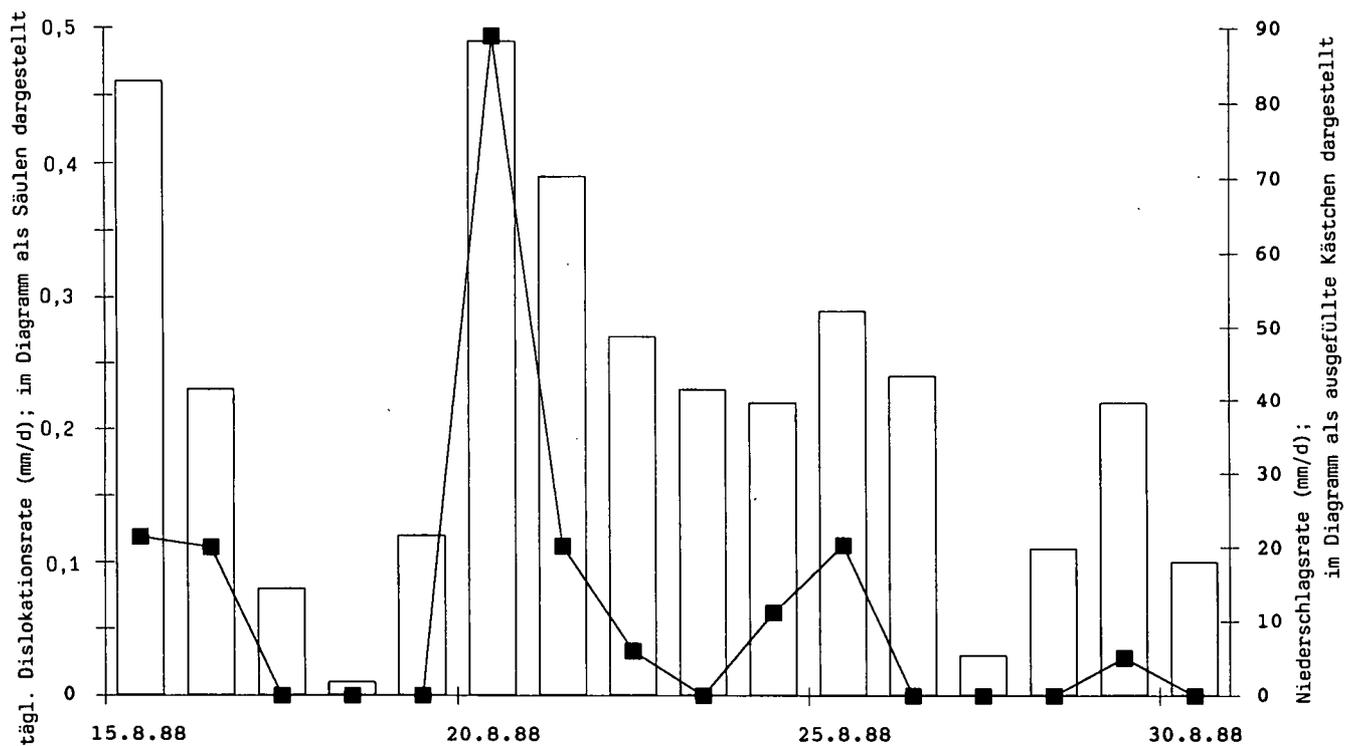
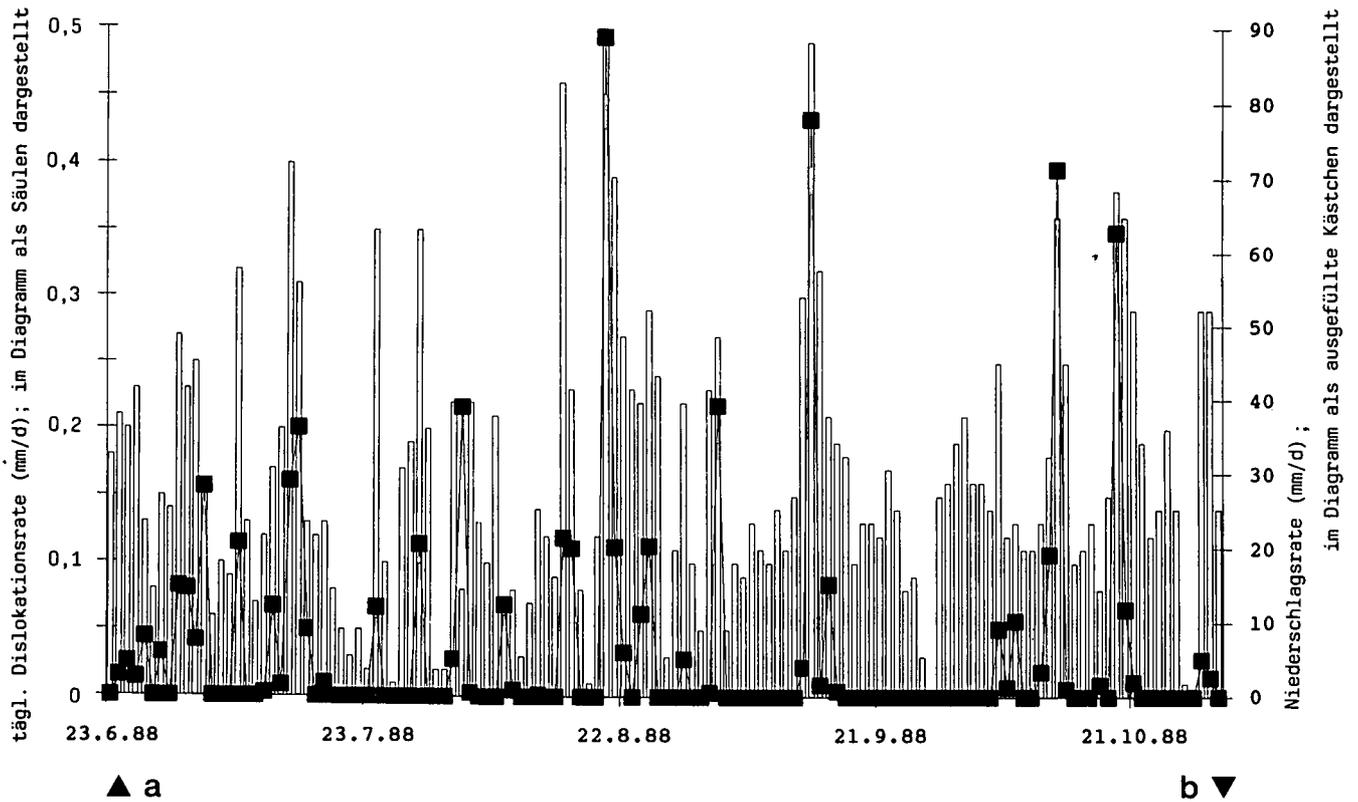


Abb. 10. EDV-gestützte ausgewertete Meßergebnisse der Präzisionsextensometer-Messungen und der Niederschlagsmessungen der meteorologischen Station am Naßfeldpaß.
 a) Zeitraum vom 23. 06. 1988 - 30. 11. 1988.
 b) Zeitraum vom 15. 08. 1988 - 30. 08. 1988.

der zeitliche Versatz zwischen dem Einsetzen des Niederschlags und der Beschleunigung der Hangbewegung erkundet werden. Es wurde der Zeitraum von 23. 06. 1988 bis 20. 11. 1988 für die Untersuchungen ausgewählt, da in dieser Zeit der Niederschlag ausschließlich als Regen fiel. Wie aus Abb. 10a ersichtlich, treten

hohe Verschiebungsbeträge offensichtlich zeitgleich mit großen Niederschlagsmengen auf. Die positive Beschleunigung der Hangbewegung setzt umgehend, zumindest am selben Tag ein. Die erhöhten Gebirgsbewegungen klingen langsam in den Tagen danach ab (s. Abb. 10a u. 10b).

Da die Niederschläge an der Meßstation am Naßfeldpaß nicht kontinuierlich, sondern nur die Tagessummen aufgezeichnet werden, konnte der zeitliche Versatz zwischen dem Einsetzen des Niederschlags und der Erhöhung der Hangbewegung, d.h. das temporäre Einsetzen der externen Aktivierung der Gleit- bzw. Kriechprozesse, nicht weiter präzisiert werden.

Bewegungsmessungen und ihre Korrelation zu externen Faktoren (z.B. Niederschlag) wurden innerhalb des Typs „Blockbewegungen“ nur selten durchgeführt. Für die Interpretation hinsichtlich des Einflusses externer Faktoren wirkt sich bei den bekannt gewordenen Untersuchungen die Tatsache ungünstig aus, daß sowohl bei den Niederschlags- als auch bei den Bewegungsmessungen keine kontinuierlichen Aufzeichnungen erfolgten. So sind nur Aussagen allgemeiner Natur möglich. In diesem Zusammenhang muß die Arbeit von JOHNSON & KOSTAK (1980) erwähnt werden. Es wird berichtet, daß an der Wellenkalkstufe (Kraja/Nordthüringen) die mit Hilfe eines Stahlband-Extensometers ermittelten Bewegungsbeträge bei überdurchschnittlichen Niederschlagssummen auf den doppelten Betrag anstiegen. Dabei wird jedoch deutlich darauf hingewiesen, daß die Erhöhung der Verschiebungsgeschwindigkeit phasenverschoben zur Periode der überdurchschnittlichen Niederschläge einsetzt.

3.3.4. Interpretation der Meßergebnisse

Obwohl bei den Konvergenzmessungen nur eine 19-monatige und bei den Präzisionsextensometer-Messungen nur eine elfmonatige Beobachtungszeit vorliegt, lassen sich doch hinsichtlich der Kinematik der talseitigen Begrenzung des Bergerzerrungsfeldes gewisse Aussagen treffen.

Bei Betrachtung des zeitlichen Verlaufes der Gebirgsdeformation mit Hilfe diskontinuierlicher Meßmethoden (Konvergenzmessungen) ergeben sich im Bergerzerrungsfeld linear ablaufende Bewegungen, die in der Größenordnung von 5 mm/Monat liegen (s.a. Abb. 6). Bei einer kontinuierlicher Auflösung der Klüftöffnungsgeschwindigkeit am Block 1 erhält man dagegen ein weit differenzierteres Bild, das Zeiträume mit ver-

schieden großen, weitgehend linearen Bewegungsabläufen umfaßt („Wintergeschwindigkeit“ = 0,086 mm/d, „Frühjahrs- und Frühsommergeschwindigkeit“ = 0,225 mm/d; s.a. Abb. 9 a-c). Deutlich wird aber auch, daß sich besonders innerhalb kürzerer Zeiträume Beschleunigungsphasen (mit Deformationsgeschwindigkeiten bis 0,5 mm/d) beobachten lassen, die an Niederschläge stärkerer Intensität gebunden sind. Ein Anstieg der Dislokationsrate setzt dabei fast zeitgleich mit den Niederschlägen ein (s.a. Abb. 10b). Die nun fast zweijährige Meßreihe läßt unter Vorbehalten erste Aussagen zur Deutung des Bewegungsvorganges zu. Die Hangbewegung befindet sich insgesamt gesehen vermutlich in einer primären Kriechphase, die einem jährlichem Zyklus unterworfen ist. Nach einem relativ plötzlichem Anstieg in den Frühjahrs- und Frühsommermonaten nehmen die Kriechgeschwindigkeiten zu den Wintermonaten hin ab. Von Anfang Dezember an stellt sich eine ziemlich konstant anhaltende Bewegungsgeschwindigkeit von ca. 0,086 mm/d ein, die in den Frühjahrsmonaten von erhöhten Dislokationsraten abgelöst wird. Sowohl die Phasen relativ konstanter Geschwindigkeiten, als auch die Beschleunigungsphasen können sinnvoll mit externen Faktoren in Zusammenhang gebracht werden. Aus Kriechversuchen (HÖWING 1984) ist bekannt, daß neben dem Tongehalt, Wassergehalts- bzw. Konsistenzänderungen die größten Auswirkungen auf das Kriechverhalten gefüllter Gesteinstrennflächen haben.

3.4. Nachweis der mikroseismischen Aktivität im Blockfeld

In der Zeit von 17. bis 22. Juni 1988 wurde eine ereignisgetriggerte 3-Komponenten-PCM-Station am Block 1 (s.a. Abb. 4) betrieben. Dabei konnte eine Rei-

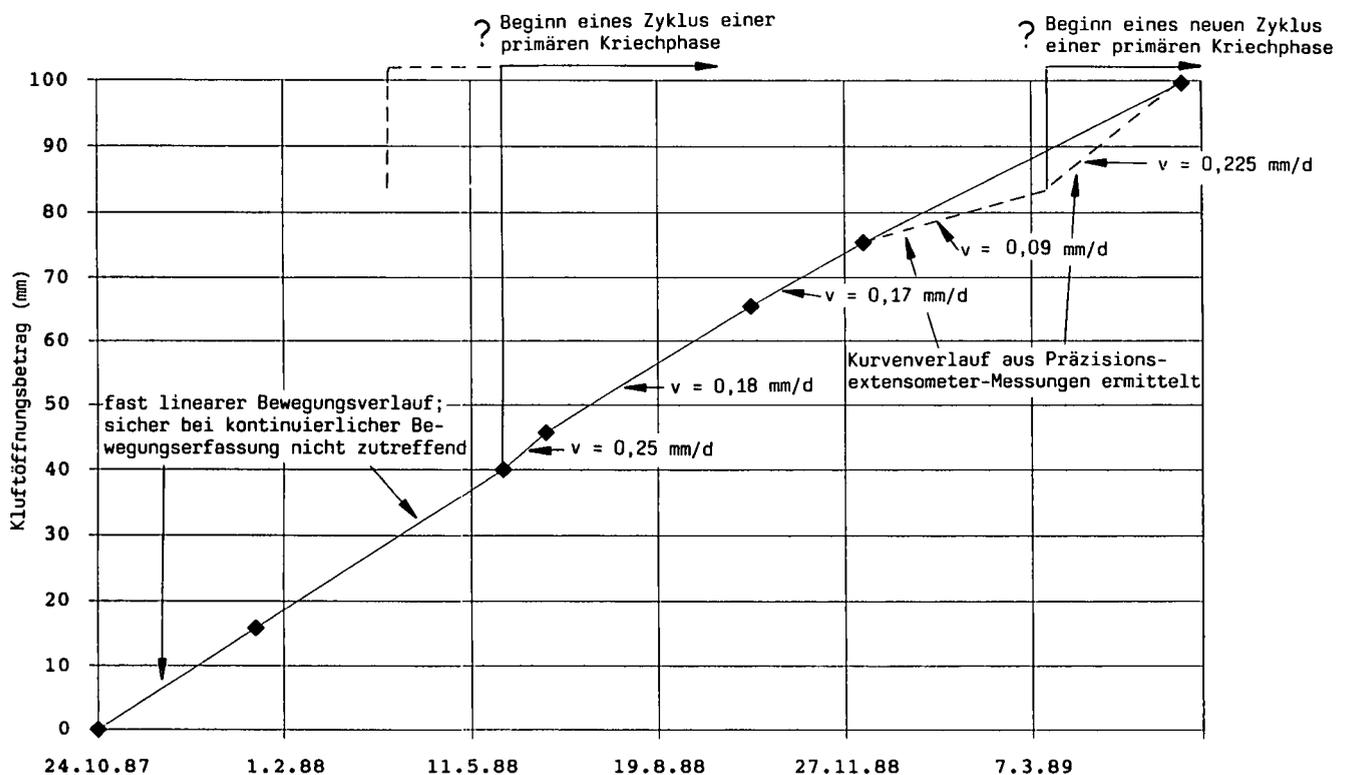


Abb. 11. Mittels Konvergenzmessungen und Präzisionsextensometer ermittelte Kriechverschiebungen und Kriechgeschwindigkeiten. Die Meßpunkte der Konvergenzmessungen sind als Rauten dargestellt.

he verschiedener seismischer Ereignisse registriert werden. Überraschenderweise sind darunter einige Lokalbeben mit Herden im Umkreis von ca. 10 km verzeichnet worden.

Interessanter ist jedoch der Nachweis einer lokalen Mikrobeben-Aktivität im Bereich des Blockfeldes. Möglicherweise handelt es sich dabei um Bruchvorgänge innerhalb der Blöcke oder um Dislokationsvorgänge an

ihrer Basis. Aufgrund des Erscheinungsbildes der Seismogramme und der Polarität ihrer Ersteinsätze ist eine solche Deutung für den Ereignis-Typ 1 naheliegend, der auf Abb. 12a dargestellt ist. Insgesamt wurden 20 solche Ereignisse beobachtet, die untereinander sehr große Ähnlichkeit aufweisen und auf einen einheitlichen Beanspruchungsplan schließen lassen. Charakteristisch sind scharfe Ersteinsätze, die von gedämpften

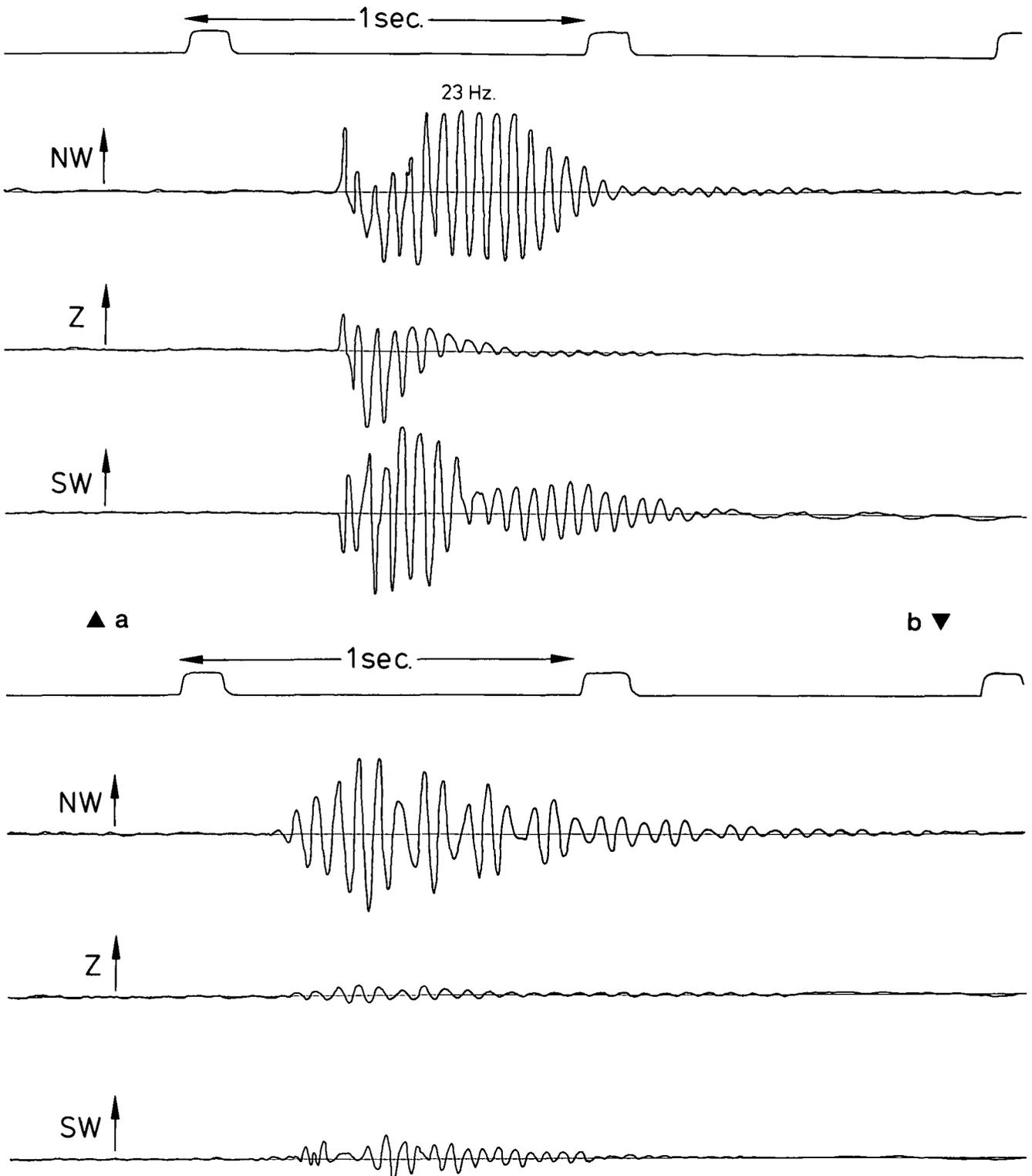


Abb. 12.

Mikroseismische Ereignistypen 1 und 2 .

- a) Den mikroseismischen Ereignistyp 1 charakterisiert ein scharfer Ersteinsatz, der von einer gedämpften Schwingung (ca. 23 Hz.) gefolgt wird (vermutlich Eigenschwingungen des Blockes 1 senkrecht zu seiner Längsachse).
- b) Der Ereignistyp 2 wird durch ein nicht exakt zu definierendes Ersteinsetzen gekennzeichnet. Ähnliche Ausschwingfrequenz wie beim Ereignistyp 1.

Schwingungen mit einer Frequenz von ca. 23 Hz gefolgt werden; möglicherweise handelt es sich dabei um Eigenschwingungen des Blockes 1 senkrecht zu seiner Längsachse (NS-Richtung). Man kann vermuten, daß sich die Eigenfrequenz mit fortschreitender Labilität und Auflockerung des Blockes ändern wird.

Neben den Ereignissen vom Typ 1 gibt es in vergleichbarer Zahl andere seismische Ereignisse, die anscheinend auch lokalen Ursprungs sind, sie weisen aber keine scharfen Ersteinsätze auf (Typ 2; Abb. 12b). Diese Ereignisse sind seismologisch weniger leicht zu verstehen. Sie zeigen untereinander auch größere Unterschiede als die Ereignisse vom Typ 1; d.h. sie bilden eine weniger definierte Klasse. Gemeinsam ist ihnen aber mit diesen, daß sie Ausschwingungsvorgänge mit ähnlichen Frequenzen anregen. Windböen oder Steinerschlag kommen als Ursachen in Betracht. Eine Lokalisierung der Herde der Mikrobeben ist mit dem vorliegenden Beobachtungsmaterial nicht möglich. Um die Frage aufzuklären, ob sich die Gesamtbewegung als Summe vieler kleiner diskontinuierlicher seismischer Bewegungen ergibt oder ob es daneben noch einen kontinuierlichen aseismischen Anteil gibt, wurde während des Meßzeitraumes die Abtastfrequenz des Präzisionsextensometers auf einen Sekundentakt erhöht, um eventuell sprunghafte Dislokationen bei der Klüftöffnung mit beobachteten Mikrobeben korrelieren zu können. Dieser Versuch scheiterte, da aufgrund eines mangelhaften Zeitzeichenempfangs das zeitliche Auftreten der Mikrobeben nicht absolutiert werden konnte.

4. Ausblick

Die weiteren Untersuchungen werden vor allem eine detaillierte Auflösung der Kinematik und der Erarbeitung der geotechnischen Parameter der Gleitzone im gesamten Bergzerreibungsfeld zum Ziel haben. Hierzu gilt es, neben der Erstellung eines Meßnetzes zur absoluten Bewegungserfassung, das ein Festpunkt- und Objektpunktnetz erfordert, die meßtechnischen Untersuchungen an den einzelnen Blöcken in Form von weiteren Extensometerstationen und Horizontalinklinometern auszubauen. Desweiteren soll die Art und der zeitliche Verlauf der externen Faktoren erkundet werden, um deren Einflüsse auf den Bergzerreibungsprozess herausfiltern zu können. Hinsichtlich der Abklärung der Mechanik der Gebirgsdeformationen sind Bohrungen im Bergzerreibungsfeld vorgesehen, da nur mit einer quantitativen Erfassung der felsmechanischen Parameter der unterlagernden Gleit- bzw. Scherzone die derzeit noch offenen Fragen bezüglich der Mechanik von Bergzerreibungen vom Block-Typ einer Lösung zugeführt werden können.

Dank

Für bereitgestellte Meßgeräte und die Übernahme von Reisekosten sind wir der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu Dank verpflichtet. Herr Dr. H. GEBRANDE vom Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München war maßgeblich bei der Auswertung der geophysikalischen Messungen beteiligt. Weiterhin gilt unser Dank der Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Kärnten, für die Überlassung von topographischen Unterlagen.

Literatur

- AMPFERER, O.: Über einige Formen der Bergzerreibung. – Sitzber. Akad. Wiss., Mathem.-naturwiss. Kl., **148**, Wien 1939.
- AMPFERER, O.: Zum weiteren Ausbau der Lehre von Bergzerreibungen. – Sitzber. Akad. Wiss., Mathem.-naturwiss. Kl., **149**, Wien 1940.
- AMPFERER, O.: Bergzerreibungen im Inntalraume. – Sitzber. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl., **150**, Wien 1941.
- ACKERMANN, E.: Der Abtragungsmechanismus bei Massenverlagerungen an der Wellenkalkstufe. – Z. Geom., N.F., **3**, Berlin 1959.
- CACON, S. & KOSTAK, B.: Displacement registration of sandstone blocks in the Stolowe Gory Mountains, Poland. – Bull. IAEG, No. **13**, Krefeld 1974.
- FELSER, K. & KAHLER, F.: Die Bildung schmaler Felskämme durch Bergzerreibung und Talzuschub. – Mitt. Geogr. Ges., Bd. **98**, Wien 1956.
- FLÜGEL, E.: Reef Mound-Entstehung: Algen-Mounds im Unterperm der Karnischen Alpen. – Facies, **17**, Erlangen 1987.
- FUSSGÄNGER, E.: Poznatky z terenneho vyskumu plazivych svahovych pohybov travertinovych blokov na Spisskom hrade. – Mineralia slov., **17**, Bratislava 1985.
- GLAWE, U. & MOSER, M.: Geotechnische Untersuchungen an den Großhangbewegungen im Hinteren Rudniggraben. Naßfeldgebiet/Kärnten. – i. Druck, Carinthia II, Klagenfurt 1989.
- HOMANN, W.: Unter und tief-mittelpermische Kalkalgen aus den Rattendorfer Schichten, dem Trogkofel-Kalk und dem Treßdorfer Kalk der Karnischen Alpen (Österreich). – Senck. leth., **53**, 3/4, Frankfurt 1972.
- HÖWING, K.D.: Das Kriechverhalten gefüllter Gesteinstrennflächen und dessen Auswirkung auf die Langzeitstabilität von Felsböschungen. – Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **13**, Bochum 1984.
- JOHNSEN, G.: Bewegungsmessungen im Bereich von Blockrutschungen an der Röt/Wellenkalkschichtstufe Thüringens. – Z. Angew. Geol., Bd. **27**, Berlin 1981.
- JOHNSEN, G. & KLENGEL, J.: Blockbewegungen an der Wellenkalkstufe Thüringens in ingenieurgeologischer Sicht. – Eng. Geol., **7**, Amsterdam 1972.
- JOHNSEN, G. & KOSTAK, B.: Ucinky srazek na aktivitu svahovych deformaci. – Mereni v oblasti Kraja v severnim Durynsku; Zusammenhang zwischen den Niederschlägen und den Aktivitäten der Hangdeformation. – Messungen im Gebiet Kraja (Nordthüringen). – Cas. Min. Geol., **25**, (in tschechischer Sprache, deutsche Zusammenfassung), Prag 1980.
- KAHLER, F. & PREY, S.: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes in den Karnischen Alpen. – Geol. B.-A., Wien 1963.
- KOSTAK, B.: Photoplastic slope deformation models. – Bull. IAEG, No. **16**, Krefeld 1977.
- KOSTAK, B.: Instability detection in rock. – In: BALASUBRAMANIAM, A.S. et al. (eds): Environmental Geotechnics and problematik Soils and Rock, 555–564, Rotterdam (Balkema) 1988.
- MALGOT, J. et al.: The activity of the blocktype slope movements in the Handlova Basin. – Proc. of the 10th Congress CBGA, Bratislava 1974.
- MOSER, M. et al.: Geotechnische Untersuchungsergebnisse im Rahmen des Verbauungsprojektes Oselitzenbach/Kärnten. – Int. Symp. Interpraevent, Tagungspubl., Bd. **3**, Graz 1988.
- MÜLLER, L.: Der Felsbau. – Bd. 1, XXIV + 624 S., Stuttgart (Enke) 1963.
- NEMČOK, A. & BALIAK, F.: Gravitational deformation in mesozoic rocks in the Carpathian Mountain Ranges. – Bull. IAEG, No. **16**, Krefeld 1977.

- NEMČOK, A. & SVATOS, A.: Gravitačný rozpad Drevenika. – Geogr. cas., **26**, Bratislava 1974.
- PASEK, J. & KOSTAK, B.: Svahové pohyby blokoveho typu (English Summary). – Rozpr. Cs. Akad. Ved, R. Mat. prír. Ved, **87**, Academia, Prag 1977.
- PUTSCHER, S. et al.: Zur Methodik der Dokumentation von Hangbewegungen. – Z. Angew. Geol., Bd. **24**, Berlin 1978.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 1: Geomechanik des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **6**, 4, Essen 1988.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **7**, 1, Essen 1989.
- SCHÖNLAUB, H.P.: Geologische Karte der Republik Österreich, 1 : 50.000, Blatt 198 Weißbriach. – Geol. B.-A., Wien 1987.
- TSCHIRSKE, N.: Quantitative Erfassung der langsamen Bewegung geklüfteten Tongesteins. – Felsbau, **5**, 3, Essen 1987.
- ZARUBA, Q. & MENCL, V.: Landslides and their control. – Amsterdam (Elsevier) 1969.
- Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 25. August 1989.