

# Die hydrogeologischen Verhältnisse und ihre Beziehungen zur Kinematik im Bereich der Talzuschubsmasse Gradenbach/Kärnten

*Hydrogeological Conditions and their Relation to the Kinematics in the Slope Area Creeping towards the Gradenbach Valley, Carinthia*

M. MOSER & J. KIEFER<sup>1)</sup>

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung .....	95
2. Geologischer und geomorphologischer Überblick im Bereich der Talzuschubsmasse .....	96
3. Die struktur- und hydrogeologischen Einheiten innerhalb der Talzuschubsmasse .....	99
4. Die physikalischen und hydrochemischen Eigenschaften der Quellwässer ...	101
5. Der kombinierte Markierungsversuch .....	103
5.1. Einspeisung, eingesetzte Markierungsmittel und Beprobung .....	103
5.2. Nachweismethoden und Ergebnisse .....	105
6. Die Beziehungen Niederschlag – Bergwasserspiegel – Hangbewegung ...	110
7. Abschließende Betrachtungen .....	114
Literatur .....	115
Summary .....	115

## 1. Einleitung

In Form von Kriechprozessen sich vollziehende Großhangbewegungen scheinen besonders durch Art und Intensität der Niederschläge und als Folge davon von den Bergwasserverhältnissen gesteuert zu werden.

Besonders seit der Katastrophe von Vajont/Italien im Jahre 1963 (L. MÜLLER, 1967) ist es klar geworden, daß die Bergwasserverhältnisse eine instabile Talflanke sehr stark beeinflussen. Gerade dieses Beispiel hat aber auch gezeigt, wie schwierig es ist, die einzelnen Einflußfaktoren im Hinblick auf die Stabilität eines kriechenden Gebirgs-

<sup>1)</sup> Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. M. MOSER, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Schloßgarten 5, D-8520 Erlangen, Dipl. Geol. J. KIEFER, DVGW Forschungsstelle Engler Bunte Institut, Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, D-7500 Karlsruhe.

körpers abzuschätzen. Auch die umfangreichen geotechnischen und geodätischen Untersuchungen, die am Institut für Wildbach- und Lawinerverbauung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, und dem Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Karlsruhe, in Zusammenarbeit mit der Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Oberes Drau- und Mölltal, im Bereich des Talzuschubes Gradenbach durchgeführt worden sind, zeigen, daß die Art der Kriechbewegung besonders mit dem Verlauf des Bergwasserspiegels in Zusammenhang zu bringen ist.

Der Talzusub Gradenbach stellt durch immer wiederkehrende Vermurungen einen akuten Gefahrenherd im oberen Mölltal dar. Anlässlich der Hochwasserkatastrophen 1965 und 1966 verfrachtete der Gradenbach vorwiegend aus dem Bereich der Talzuschubsstirn ca. 1,3 Mill. m<sup>3</sup> Material. Der Schwemmkegel wurde bis über 12 m über das frühere Niveau aufgebaut. Dies führte schließlich zur Aufgabe und Umsiedlung eines Teiles der Ortschaft Putschall. Durch diesen starken Geschiebeeinwurf stellt der Gradenbach auch eine Bedrohung der abwärts gelegenen Ortschaften des Mölltales selbst dar (G. KRONFELLNER-KRAUS, 1974).

Um den Einfluß der hydrogeologischen und hydrologischen Gegebenheiten auf das Kriechverhalten festzustellen, wurde neben geotechnischen und geodätischen Aufnahmen von 1975 bis 1983 eine umfangreiche hydrogeologische Geländeaufnahme in den Jahren 1981 und 1982 mit dem Ziel durchgeführt, die Eigenschaften der Grundwasserleiter und die Funktion des Gebirges für die Wasserführung innerhalb des Talzuschubskörpers zu bestimmen. Zur Klärung der Wasserzirkulation wurde eine Markierung des Bergwassers durch Fluoreszenztracer mit einer Salzung kombiniert, um damit die Resultate der geotechnischen Geländeaufnahme zu ergänzen und zu überprüfen. Außerdem sollte der Markierungsversuch eine Ergänzung der 1971 durchgeführten Untersuchungen (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1975) darstellen, da damals der Einsatz der Fluoreszenzfarben und des Indiums negativ verlief.

## 2. Geologischer und geomorphologischer Überblick im Bereich der Talzuschubsmasse

Der Talzusub Gradenbach liegt in der östlichen Schobergruppe/Kärnten und umfaßt penninische, unterostalpine und mittelostalpine Einheiten im Bereich der südöstlichen Rahmenzone des Tauernfensters. Die instabile Talflanke liegt in den Gesteinsserien der Matreier Zone, die im allgemeinen E-W verläuft, im Bereich Döllach-Heiligenblut aber in die NW-SE Richtung umschwenkt (s. Fig. 1). Typisch für den kritischen Bereich am Ausgang des Gradentales sind mittelsteile nach SW fallende Schichtverbände.

Die petrographischen Verhältnisse sind durch paläozoische und mesozoische Phyllitserien der Matreier Zone gekennzeichnet. In dem von der Hangbewegung betroffenen Bereich lassen sich als Hauptgruppen karbonatführende Metasedimente, karbonatfreie Metasedimente und Abkömmlinge basischer Effusiva unterscheiden. Innerhalb der karbonatführenden Metasedimente können Karbonatphyllite und Marmore (linsige, rasch auskeilende Einschaltungen in den Karbonatphylliten) unterschieden werden. Die karbonatfreien Metasedimente sind durch serizit-, chlorid- und graphitreiche Phyllite gekennzeichnet (R. STOLL, 1981). Hauptverbreitungsgebiet der karbonatführenden Metasedimente ist der östliche, für die karbonatfreien Metasedimente der mittlere und westliche Bereich der instabilen Talflanke.

Die labile SE-orientierte Talflanke am Ausgang des Gradenales weist eine Höhe von ca. 1.100 m und eine Durchschnittsneigung von 25 bis 27° auf. Die Breite der betroffenen Zone ist etwa 1.000 m. Das morphologische Bild ist sehr deutlich durch die Hangbewegung geprägt. Die orographisch linke instabile Grabenseite im Bereich

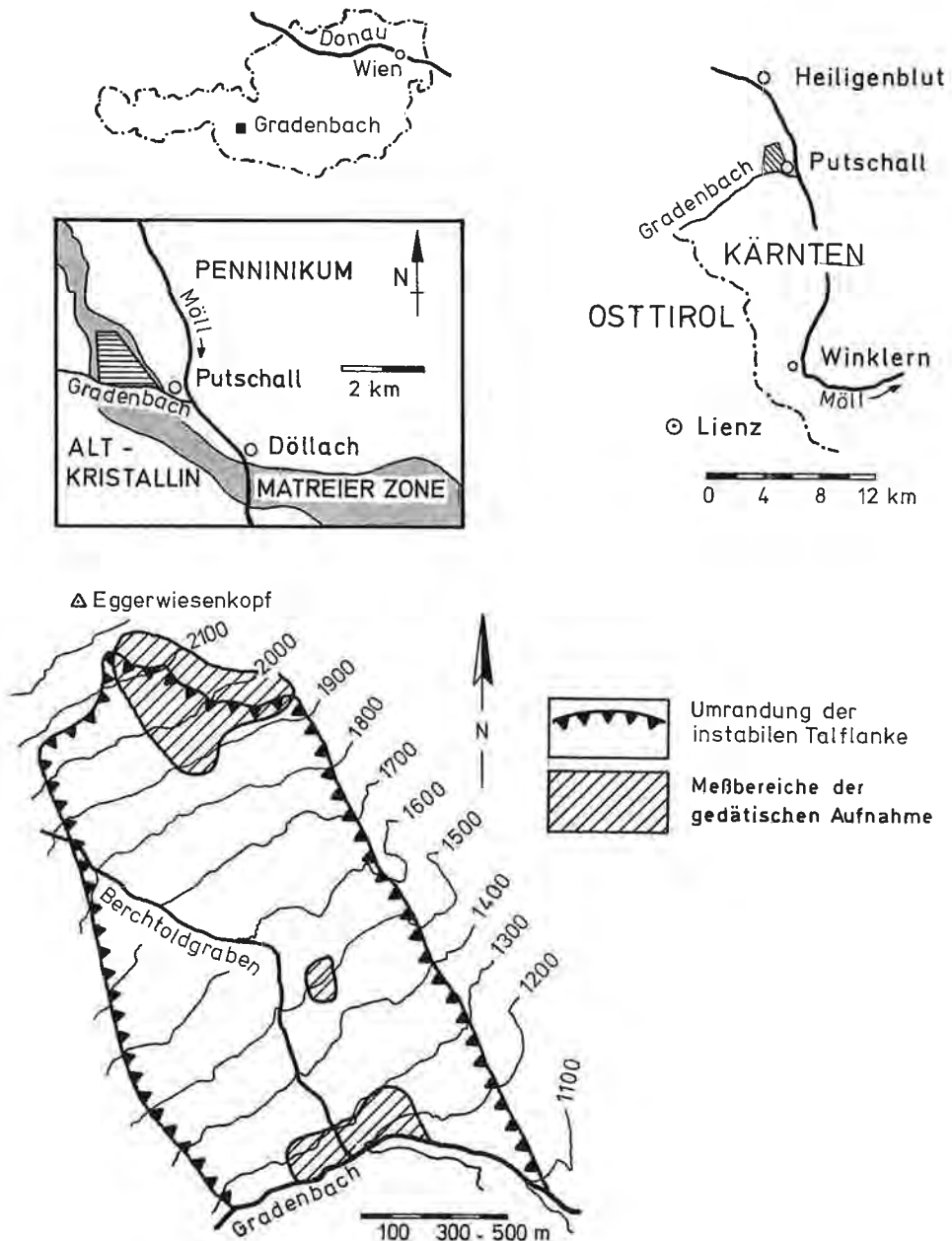


Fig. 1: Geologische Lageskizze des Untersuchungsgebietes.



der Talzuschubsstirn ist zunächst durch die aktiven Felsanbrüche übersteilt (z.T. über  $50^\circ$ ), im weiteren Verlauf ist das Relief im 100 m-Bereich sehr unruhig und weist immer wieder Versteilungen und Flachzonen auf (s. Fig. 2).

Das Gefüge und damit auch die Möglichkeit der Hangbewegung und der Wasserzirkulation werden durch die Schieferungsflächen (Maximum der Poldichteverteilung  $210-240/30-60^\circ$ ) und zwei Kluftscharen ( $k_1$   $40-0/90-70$  und  $k_2$   $120-140/70-90^\circ$ ) geprägt (s. a. Fig. 5).

Bezüglich eines deutlich ausgeprägten B-Achsen-Gefüges  $130/10^\circ$  sind  $k_2$  als ac-Klüfte anzusprechen, entsprechend ihrer Entstehung haben sie häufig glatte Kluftwandungen und sind als Großklüfte ausgebildet. Besonders im mittleren Teil der Talzuschubsmasse sind sie für Spaltenzonen mit Öffnungsbeträgen von teilweise  $> 5$  m verantwortlich. Die Kluftscharen  $k_1$  zeigen meist unebene und unregelmäßige Bruchflächen und sind als Kleinklüfte ausgebildet. Aufgrund der Luftbildauswertung sind diese Trennflächenscharen auch für Störungssysteme verantwortlich, die als bevorzugte Wasserbahnen in einem tieferen Stockwerk der unteren Talzuschubsmasse dienen (s. a. Fig. 5).

### 3. Die struktur- und hydrogeologischen Einheiten innerhalb der Talzuschubsmasse

Besonders durch die Untersuchungen von U. ZISCHINSKY (1969) hat sich gezeigt, daß durch tiefgreifende Hangbewegungen Deformationen und damit auch Gefügeveränderungen des ursprünglichen Gebirgsverbandes zu erwarten sind. Die beobachteten strukturellen Veränderungen sind zum großen Teil mit der Position innerhalb eines mobilen Gebirgskörpers zu sehen. Innerhalb eines potentiell einheitlich teilbeweglichen Gebirgskörpers können Bereiche verschiedener effektiver Teilbeweglichkeit unterschieden werden. Diese effektive Teilbeweglichkeit äußert sich sehr signifikant in einer verschiedenen Ausbildung der Kluftkörperform und -größe. Hierdurch werden strukturelle Einheiten geschaffen, die auch hydrogeologisch wirksam sind (Fig. 3).

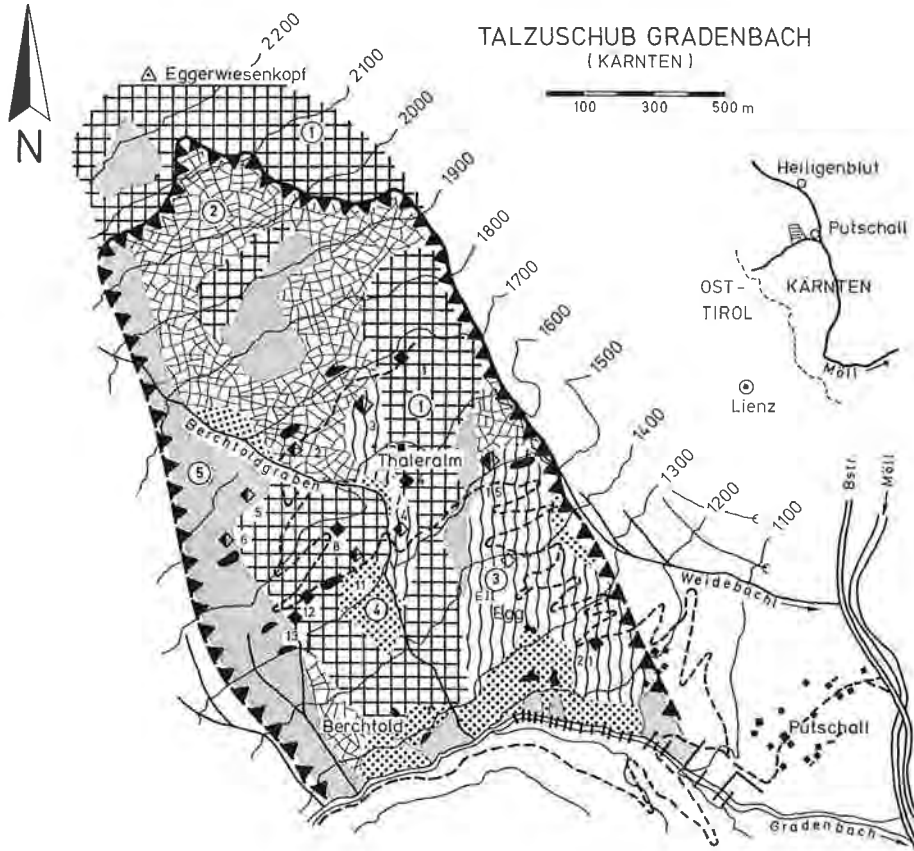
a) Bereiche mit großer Wasseraufnahmefähigkeit und großer Gebirgsdurchlässigkeit

Zonen oberhalb der Hauptabrißkante:










Durch Ausstriche von Bewegungsbahnen liegt ein teilweise sehr stark zerlegter aber noch im Verband befindlicher Felskörper in quaderig-bankiger Gebirgsfazies vor. Das Öffnen des Gebirgsverbandes äußert sich durch Muldenzonen und kleinere Spaltenzonen, die Ausstriche von Bewegungsbahnen markieren (struktur- und hydrogeologische Einheit 1). Das sich entwickelnde Bruchmuster paßt das Trennflächengebirge durch, wobei die Scherklüfte und Störungssysteme (ESE-streichend) des Phyllit-Verbandes für die Auflockerung und die Öffnung des Gebirgsverbandes besonders verantwortlich sind. Entsprechend der geotechnischen Verhältnisse ist der Bergwasserspiegel sehr tief liegend ( $> 50$  m, s. Kap. 6).

Zonen innerhalb der aktiven Talzuschubsmasse:

Besonders unterhalb der Hauptabrißkante kann ein Gebirgskörper beobachtet werden, der durch die Vorgänge der Hangtektonik weitgehend nicht mehr im Verband ist und Großblockverstellungen mit großen Spaltenzonen zeigt, wo ein schnelles



I STRUKTURGEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE EINHEITEN

- ①  Gebirge im Verband, vorw. quaderig - bankige Gebirgsfazies, Ausrisse von Bewegungszone, teilweise starke Zerlegung durch Spalten und Spaltensysteme; Wasseraufnahmefähigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit groß
- ②  Gebirge nicht mehr im Verband, Großblockverstellungen; Wasseraufnahmefähigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit groß
- ③  Gebirge nicht mehr im Verband, vorw. blättrige Gebirgsfazies, in der Größenordnung des betrachteten Bereiches i. wes. bruchlose Verformung; Wasseraufnahmefähigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit klein
- ④  Bereiche der Talzuschubsstirn an der sich teilweise bedingt durch die Versteilerung mächtige Felspartien ablösen; untergeordnet instabile Bereiche innerhalb der Talzuschubsmasse an übersteilten Gerinneabhängungen
- ⑤  Mächtige Lockerüberlagerung
- ⑥  Hauptabrißkante  deutlich  undeutlich
-  Hauptquellhorizonte

II BERGWASSERSPIEGEL




-  <sup>1</sup> Bergwasserspiegel sehr tief liegend > 40 m große Schwankungen
-  Bergwasserspiegel tief liegend 40 - 15 m große Schwankungen
-  Bergwasserspiegel flach liegend < 15 m geringe Schwankungen

Fig. 3: Strukturgeologische und hydrogeologische Einheiten

Versitzen und Abführen der Niederschläge erfolgt (struktur- und hydrogeologische Einheit 2). Im Mittelteil herrscht ein stark grobblockiger zerlegter und Spaltenzonen bis > 5 m aufweisender Gebirgskörper vor (struktur- und hydrogeologische Einheit 1), der für ein schnelles Eindringen aber auch für einen sofortigen Abtransport der Wasser sorgt. Ein deutliches Verdrehen des regionalen Trennflächengefüges ist nicht zu beobachten. Eine Abtrennung von Großschollen erfolgt nach steil stehenden ac-Klüften und mittelsteil einfallenden Scherklüften, die teilweise als Störungsflächen ausgebildet sind. Wie der Markierungsversuch (s. Kap. 6) gezeigt hat, ist die hydraulische Wirksamkeit der Zone 1 in größerer Tiefe der Talzuschubsmasse sehr schwer abzuschätzen. Durch die hangtektonischen Prozesse wird durch die Mylonitisierung ein erheblicher Feinanteil im Phyllit-Material bereitgestellt, der auch in den stark durch Spalten aufgelockerten Hangpartien zu weniger durchlässigen Zonen in den tieferen Bereichen der Talzuschubsmasse führt. Die Folge davon wird sein, daß bei Starkniederschlägen oder sehr raschen Schneeschmelzvorgängen (z.B. Witterungsverhältnisse im Jahre 1975) auch in dieser Zone der Aufbau eines hydrostatischen Kluftwasserschubes möglich ist.

b) Bereiche mit kleiner Wasseraufnahmefähigkeit und kleiner Gebirgsdurchlässigkeit

Diese Zonen sind durch eine feinblättrige Gebirgsfazies mit sehr viel Feinanteil und geringer Spaltenbildung gekennzeichnet. Bevorzugt sind solche Gebirgspartien im unteren Teil der Talflanke zu finden (struktur- und hydrogeologische Einheit 3). Kleinere derartig ausgebildete weniger durchlässige Bereiche finden sich auch im Mittelteil der Talzuschubsmasse, die für das Entstehen größerer Quellhorizonte und ebenso für Zonen mit starken Bergwasserspiegelschwankungen verantwortlich sind.

#### 4. Die physikalischen und hydrochemischen Eigenschaften der Quellwässer

Neben Schüttungsmessungen, pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit und Temperatur wurden an 79 Quellen Proben entnommen und 30 Teil- bzw. 49 Vollanalysen durchgeführt. Durch die Verhältnisse der Lösungsinhalte zueinander unterscheiden sich 4 Bergwasserbezirke signifikant in ihrer Beschaffenheit. Die Grenzen zwischen diesen hydrochemisch ermittelten Bereichen konnten zum Teil auf engstem Raum gezogen werden, in einzelnen Fällen existiert eine Überlappung der Randzonen (Fig. 4).

- Bezirk I:
- geringe Gesamtmineralisation (max. 3 mval/l)
  - vorherrschende Kation:  $\text{Ca}^{++}$  (max. 1 mval/l)
  - vorherrschendes Anion:  $\text{HCO}_3^-$  (max. 1 mval/l)
  - Kieselsäuregehalt: max. 7 mg/l
  - Bemerkung: Das Wasser stammt aus der diaphoritischen Basis des Mittelostalpins (Altkristallin)
- Bezirk II:
- Gesamtmineralisation max. 10 mval/l
  - vorherrschende Kation:  $\text{Ca}^{++}$  (max. 5 mval/l)
  - vorherrschendes Anion:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$
  - Bemerkung: das austretende Wasser entstammt den gut durchlässigen Bereichen mit hauptsächlich Glimmer-Quarz- und Chloritphylliten

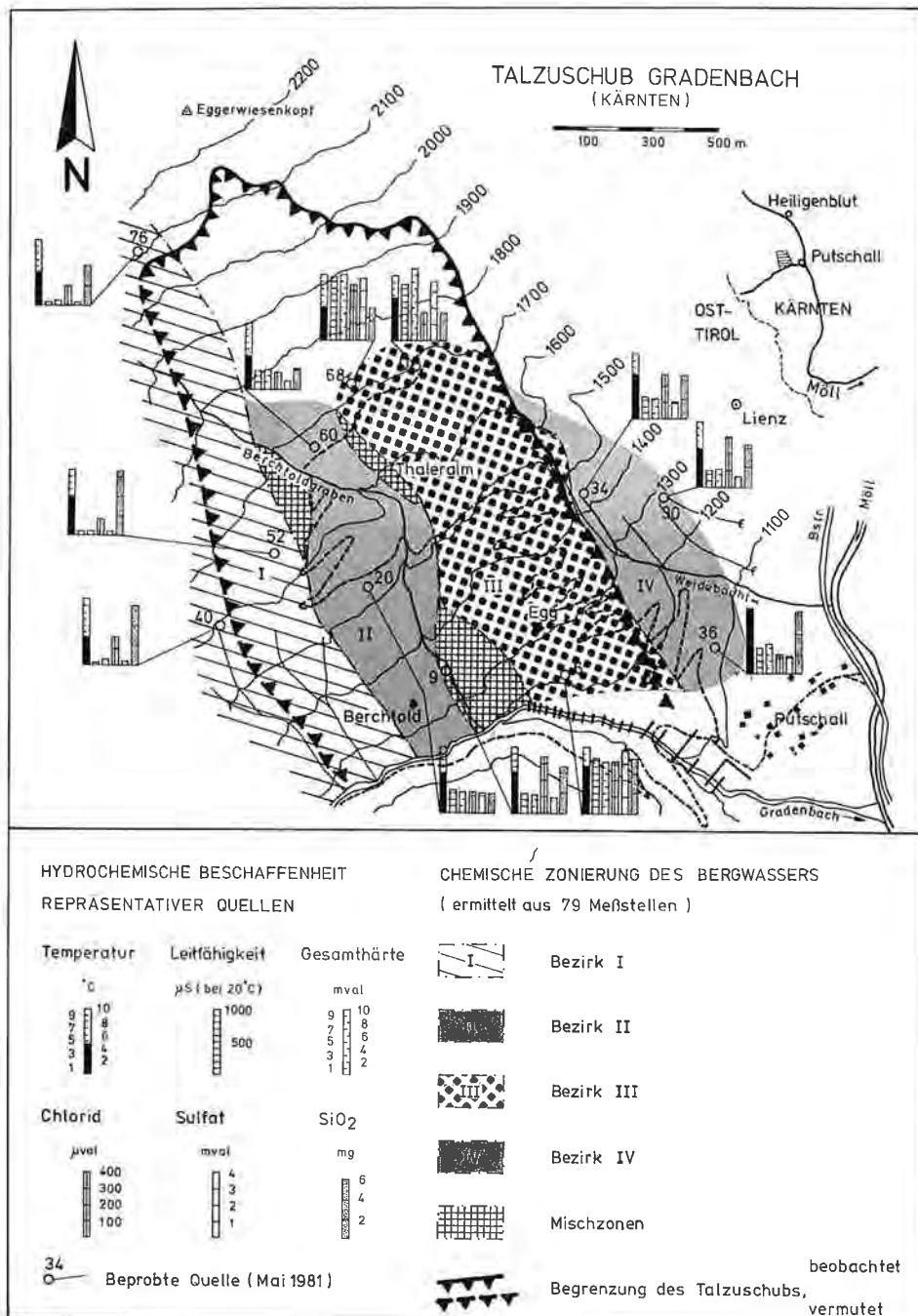


Fig 4: Hydrochemische Beschaffenheit und chemische Zonierung des Bergwassers



- Bezirk III: Gesamtmineralisation max. 22 mval/l  
 - vorherrschendes Kation:  $\text{Ca}^{++}$  (max. 10 mval/l)  
 - vorherrschendes Anion:  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$   
 - Kieselsäuregehalt: max. 7 mg/l  
 - Bemerkung: das Wasser tritt aus Kalkphylliten mit Marmor- und Gipseinschlüssen im östlichen Teil des Talzuschubs aus.
- Bezirk IV: Gesamtmineralisation max. 10 mval/l  
 - vorherrschendes Kation:  $\text{Ca}^{++}$  (max. 4 mval/l)  
 - vorherrschendes Anion:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$   
 - Kieselsäuregehalt: max. 6 mg/l  
 Bemerkung: Bezirk IV steht über Klüfte und Störungen mit Bezirk II im zentralen Teil des Talzuschubs in Verbindung.

Vergleicht man die für den Quellbezirk IV erhaltenen Ergebnisse mit denen aus Bezirk II, so fällt die signifikante Übereinstimmung an dissoziierten Stoffen besonders für den topographisch höher gelegenen Teil auf. Diese signifikante Verteilung der physikalischen und hydrochemischen Eigenschaften der Quellwässer kann mit tektonischen Strukturen und hangtektonischen Prozessen in Verbindung gebracht werden. Wie Fig. 4 zeigt, sind ESE streichende und über größere Erstreckung durchhaltende Störungen und Lineationen für das Kommunizieren der beiden nicht angrenzenden Bereiche II und IV verantwortlich. Durch den Markierungsversuch konnten diese Beobachtungen noch dahingehend präzisiert werden, daß diese zwischen  $120^\circ$  bis  $140^\circ$  streichenden Strukturen für eine Entwässerung in einem tieferen Stockwerk der Talzuschubsmasse sorgen.

## 5. Der kombinierte Markierungsversuch

Im Rahmen der hydrogeologischen Untersuchungen wurde in den Jahren 1981 bis 1982 ein Färbe- und Salzungsversuch durchgeführt, um Aussagen über Verweilzeit der Niederschlagswässer und über Abzugsbahnen im Talzuschubkörper und damit auch weitere Anhaltspunkte zur Steuerung der kinematischen Prozesse des mobilen Gebirgskörpers zu erhalten. Insbesondere sollte der hydraulischen Wirksamkeit der einzelnen Bewegungsflächen und der durch Gebirgszerreißung entstandenen Spaltenzonen nachgegangen werden.

### 5.1. Einspeisung, eingesetzte Markierungsmittel und Beprobung

Die Markierung erfolgte bei ansteigender Tendenz des Bergwasserspiegels am 30. Mai 1981, ca. ein Monat vor Erreichen der höchsten Bergwasserspiegelstände. Zum parallelen Einsatz wurden fünf verschiedene Tracer ausgewählt, um unter den gleichen hydrogeologischen Bedingungen das unterirdische Abflußverhalten weitgehend erfassen zu können. Zur Anwendung kamen folgende Markierungsmittel (Fig. 5):

- Eosin FB 10 kg, Eingabestelle A
- Rhodamin FB 10 kg, Eingabestelle B
- Uranin AP 10 kg, Eingabestelle C
- Amidorhodamin G extra 10 kg, Eingabestelle D
- Kaliumdüngesalz 400 kg, Eingabestelle E

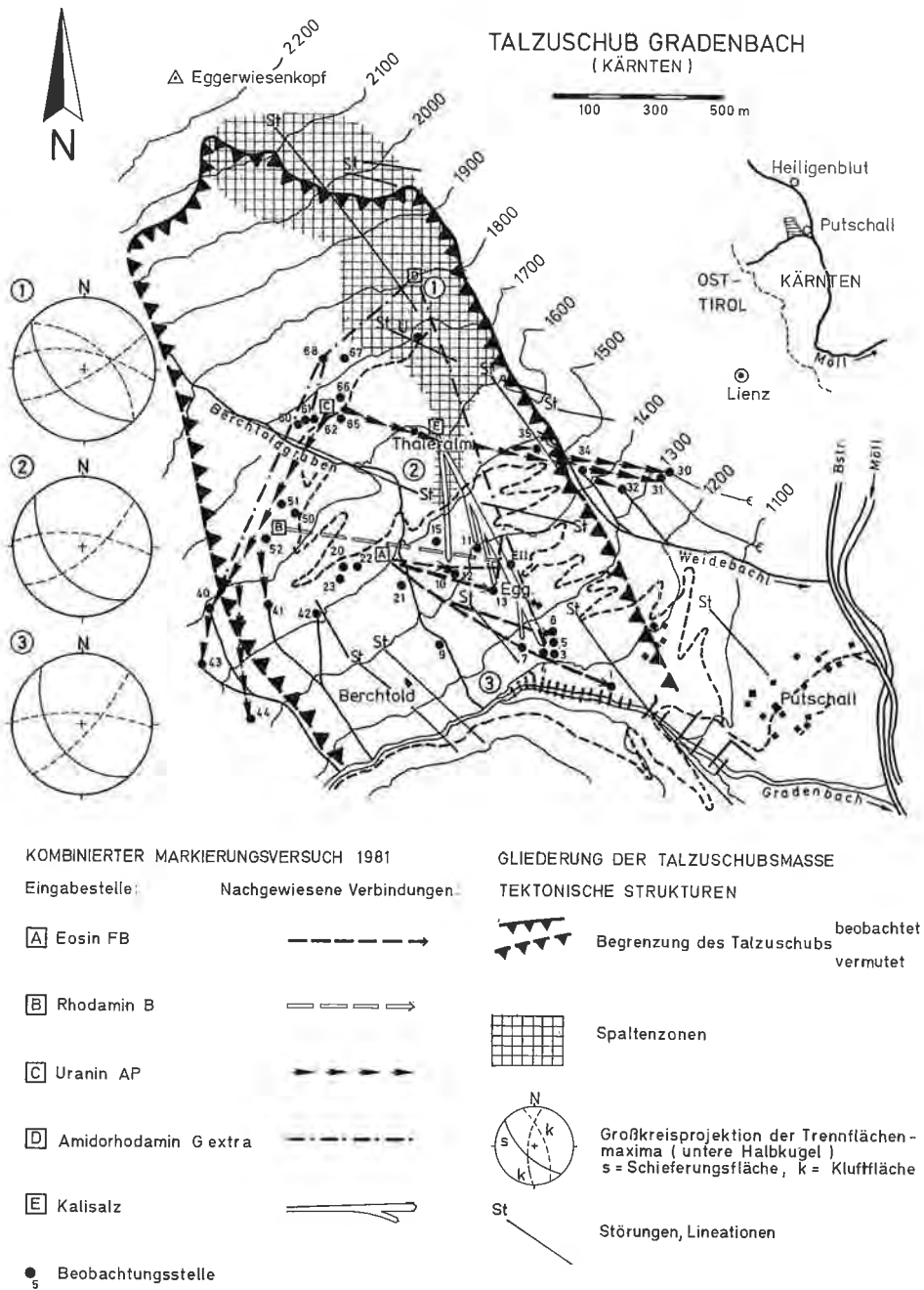


Fig. 5: Ergebnisse des kombinierten Markierungsversuches 1981.

Um Beziehungen zum Markierungsversuch von 1971 herstellen zu können, (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1975) wurden zwei der damals verwendeten Eingabestellen (E1 und E3) mit zur Einspeisung ausgewählt. Mit wenigen Ausnahmen konnten sämtliche natürliche Wasseraustritte im mittleren und unteren Talzuschubskörper zur Beobachtung herangezogen werden, um alle möglichen Wasseraustritte der eingespeisten Nachweisstoffe zu erfassen. Zur Festlegung des negativen Rahmens wurden auch westlich und östlich des Talzushubes weitere Beobachtungsstellen eingerichtet. Die Beobachtung begann vor der Einspeisung und endete am 30. Juni 1982, zur Beprobung kamen Aktivkohlesäckchen und Probeflaschen zum Direktnachweis der Tracer zum Einsatz. Insgesamt wurden 1092 Wasserproben genommen und 1442 Aktivkohlesäckchen eingesetzt.

## 5.2. Nachweismethoden und Ergebnisse

Der Nachweis der vier eingesetzten Fluoreszenzfarbstoffe erfolgte spektralphotometrisch durch Direktbestimmung und durch Eluation der Aktivkohlefilter, Kalium wurde aus Direktprobenreihen spektralphotometrisch bestimmt.

### 5.2.1. Uranin

Einspeisung: knapp oberhalb des Güterweges in 1670 m Höhe auf der Thaler-Alm (Eingabestelle C, Fig. 5).

Für Uranin konnten deutlich die ESE- und SW-Richtung als Abzugsbahnen nachgewiesen werden.

Zur ESE-Richtung:

Hauptaustritte waren die Beobachtungsstellen Q 35 und Q 34 (s. Fig. 6). Der erste Nachweis gelang in Q 35 in der Direktprobe vom 12. Juni 1981, ebenfalls positiv verlief der Nachweis in der Probe vom 13. Juni, ab 16. Juni sank die Konzentration wieder unter die Nachweisgrenze. Das erste Auftreten in Q 34 am 20. August brachte gleich die höchste Konzentration, mit Unterbrechungen blieben Uraninspuren bis zur Probe vom 8. Oktober nachweisbar.

In Aktivkohleproben der Q 32, 31 und 30 wurde diese Abflußrichtung bestätigt, wobei die Durchgänge alle im Zeitraum von Anfang September bis Oktober lagen. Der Zeitunterschied zu Q 35 und Q 34 kann bei konstanter Abstandsgeschwindigkeit durch die exponierte Lage der Quellen erklärt werden. Aus der Fig. 5 kann entnommen werden, daß besonders ESE-streichende Störungssysteme hydraulische Wirksamkeit besitzen. Für die Strecke von ca. 800 m zwischen Eingabestelle C und Q 34 ergibt sich somit eine Fließgeschwindigkeit von ca. 10 m/Tag. Auch die Temperaturbeobachtungen und die Ergebnisse der hydrochemischen Analysen der Quellgruppe 30 belegen eindeutig einen tiefgreifenden Entwässerungstypus an WNW-ESE gerichteten Kluft- und Störungssystemen. Da sich die Abzugsbahnen von Kalium und Uranin überschneiden (s.a. Fig. 5), muß für den Ostteil des Talzushubes die Existenz von zwei voneinander unabhängigen Grundwasserstockwerken angenommen werden.

Zur SW-Richtung:

Die zweite Abflußrichtung wird durch den Uraninaustritt in Q40 dokumentiert. Die Quelle reagierte am 6. August 1981 zum ersten Mal positiv, die höchste Konzentration ergab sich in der Probe vom 17. September 1981 (s. Fig. 6). Die SW-Richtung

muß einerseits mit einer weiteren deutlich ausgeprägten Kluftchar und andererseits mit der Einfallrichtung der Schieferungsflächen gesehen werden. Wie Geländebeobachtungen zeigen, dürften Öffnungen nach den Schieferungsflächen bei hangtektonischen Prozessen besonders im oberen und mittleren Teil des sich in Bewegung befindlichen Gebirgskörpers wirksam sein.

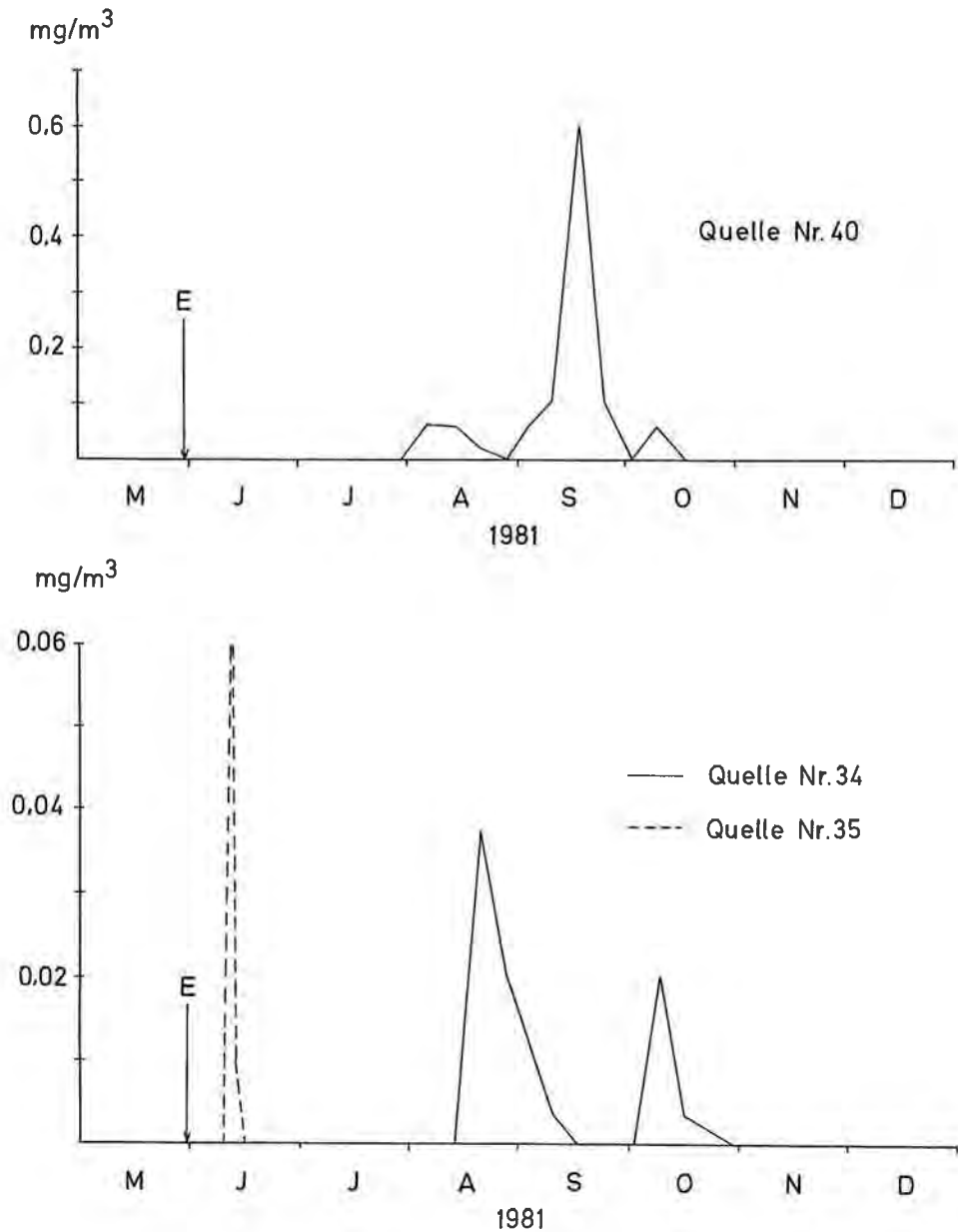


Fig. 6: Durchgangskurven von Uranin in den Quellen Nr. 34, Nr. 35 und Nr. 40 (Ergebnisse der spektralfluorimetrischen Direktmessung).

### 5.2.2. Eosin

Einspeisung: Bohrung Nr. 11 in 1510 m, ca. 100 m westlich des Berchtoldbaches (Eingabestelle A, Fig. 5).

Die Hauptausbringung erfolgte in den Quellen der Talzuschubsstirn, hier vor allem in Q 4. Eosinpositive Direktproben lieferten auch die Meßstellen Q 10 und Q 13,

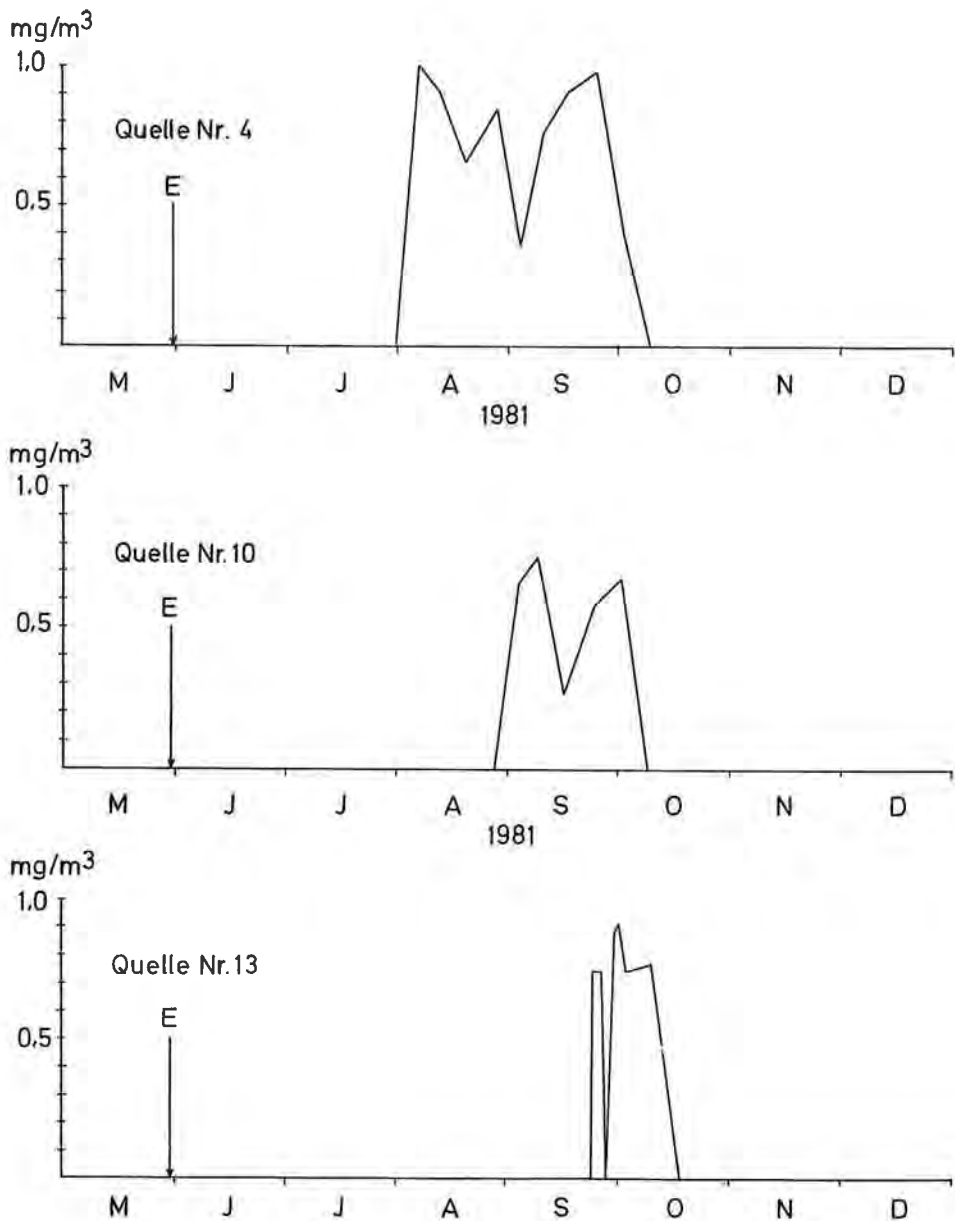


Fig. 7: Durchgangskurven von Eosin in den Quellen Nr. 4, Nr. 10 und Nr. 13 (Ergebnisse der spektral-fluorimetrischen Direktmessung).

während bei den Quellen Nr. 1, 3, 6, 7 und 11 der Eosinnachweis mit der Aktivkohlemethode gelang.

In der Quelle Nr. 4 wurde beim Erstnachweis am 6. August 1981 auch gleich die höchste Konzentration gemessen ( $1 \text{ mg/m}^3$ , s. Fig. 7), daraus ergibt sich eine errechnete Abstandsgeschwindigkeit von ca.  $9 \text{ m/Tag}$ . Q 10 zeigte zum erstenmal in der Probe vom 3. September einen Eosingehalt, die höchste Konzentration wurde in der nächsten Probe am 10. September gemessen, wobei sich bei dieser am nächsten zur Eingabestelle gelegenen Quelle eine Geschwindigkeit von  $2 \text{ m/Tag}$  ergibt. Q 13 wurde erst ab 25. September direkt beprobt und war sofort eosinpositiv, die höchste Konzentration wurde am 30. September bestimmt, die ersten Eosinspuren in den Aktivkohleproben erschienen schon zwischen 30. Juli und 6. August. Als Hauptabzugsbahn hat sich also auch für das Eosin im unteren Bereich der Talzuschubsmasse die ESE-Richtung erwiesen, Hauptträger der Wasserbewegung sind wie beim Uranin  $100$  bis  $130^\circ$  streichende Klüfte und Störungszonen.

### 5.2.3. Amidorhodamin und Rhodamin

Einspeisung: Amidorhodamin oberhalb des Umkehrplatzes in eine größere Spaltenzone bei  $1800 \text{ m}$ , Eingabestelle D; Rhodamin in der Bohrung Nr. 6 in  $1640 \text{ m}$ , Eingabestelle B.

Insgesamt verlief die Markierung mit Amidorhodamin recht unbefriedigend, ein Hauptaustritt war nicht festzustellen. Spuren des Farbstoffes in Q 68 und Q 40 würden die Ergebnisse bestätigen, die sich aus der Markierung mit Uranin ergeben haben, Q 61 zeigte lediglich Spuren im unteren Grenzbereich der Nachweisempfindlichkeit in einer einzigen Probe, so daß die Aussagekraft gering eingeschätzt werden muß. Der Nachweis in den Quellen im unteren Teil des Talzuschubs fiel in die Langzeitbeobachtung des Frühjahrs 1982, aber auch hier blieb die Ausbringung gering.

Die Ergebnisse sind auf den ersten Blick schwer deutbar, da die Einspeisestelle von Amidorhodamin auch in der Zone der stark mit Spalten durchsetzten Zone der Kalkphyllite liegt und somit auch ähnlich deutliche Austritte erwartet werden konnten. Wahrscheinlich versickert der größte Teil des oberflächlich eintretenden Wassers in sehr große Tiefen, da der obere Teil der Talzuschubsmasse stärker und tiefgreifender zerlegt ist.

Als einzig rhodaminpositive Beobachtungsstelle erwies sich die Bergwasserspiegelbohrung Egg II. Die erste positive Probe war die Langzeitprobe über den gesamten Winter, doch konnte Rhodamin auch in den folgenden Wochen bis zum Mai 1982 nachgewiesen werden. Damit zeigt sich erneut die Abflußrichtung aus Uranin- und Eosinmarkierung nach ESE, jedoch blieben auch hier die Ergebnisse weit hinter den Erwartungen zurück.

### 5.2.4. Kalidüngesalz

Einspeisung: kleine Doline in sehr stark zerlegten Kalkphylliten ca.  $50 \text{ m}$  östlich der Thaler-Alm auf  $1600 \text{ m}$ , Eingabestelle E.

In 7 der 18 beprobten Bergwasseraustritte konnte eine Erhöhung des Kaliumgehaltes beobachtet werden, bei Q 30 bleibt das Ergebnis zweifelhaft. In der Quellgruppe Q 4, Q 3 unterhalb der Hauptanbruchskante der Talzuschubstirn ( $1210$  bis  $1220 \text{ m}$ ) erfolgte der Hauptdurchgang (Q 4) am 10. Juni, so daß sich eine Fließgeschwindigkeit von ca.  $65$  bis  $70 \text{ m/Tag}$  ergibt, die etwa zehnmal so groß ist wie bei der Farbmarkierung (s. Fig. 8). Auch in der Quellgruppe, ca.  $200$  Höhenmeter ober-

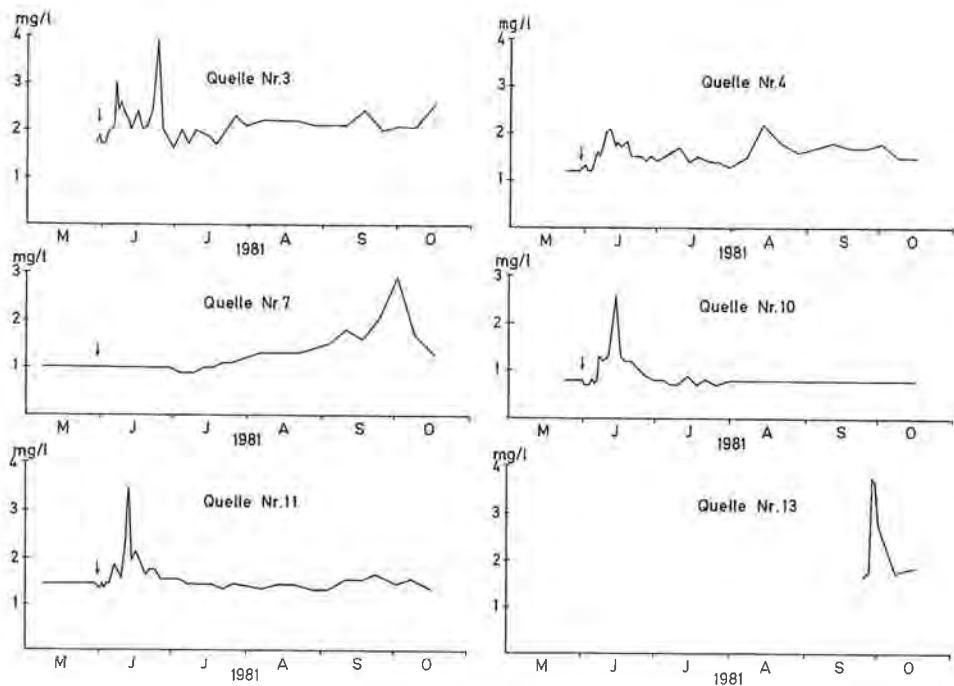


Fig. 8: Durchgangskurven von  $K^+$  in den sechs positiven Austritten.

halb (Q 11, Q 10) konnten Kaliumerhöhungen gemessen werden. Entwässerungsrichtungen müssen zum größten Teil mit der Richtung der Haupttrennflächenscharen bzw. mit der Hauptbewegungsrichtung des Talzuschubes gesehen werden, die NNW-SSE und NW-SE verläuft. Durch die dauernd wirksamen Verschiebungen infolge der Hangbewegung werden bevorzugte Abzugsbahnen für das Bergwasser geschaffen. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang das verschiedene zeitliche Einsetzen des Kaliumdurchganges eng benachbarter Quellgruppen, z.B. an der Tal-

Tab. 1: Kennwerte der in Direktproben registrierten Tracerdurchgänge.

Beobachtungsstelle Abflußrichtung	Nachgewiesener Tracer	Zeitpunkt der max. Konzentration (1981)	Entfernung zur Eingabestelle	Abstandsgeschw. (m/Tag)
Q 40 SW	Uranin AP	17. 09.	650 m	6
Q 35 ESE	Uranin AP	12. 06.	600 m	46
Q 34 ESE	Uranin AP	20. 08.	750 m	15
Q 4 ESE	Eosin FB	06. 08.	600 m	9
Q 10 E	Eosin FB	10. 09.	200 m	2
Q 13 ESE	Eosin FB	30. 09.	350 m	3
Q 4 S	Kalisalz	10. 06.	750 m	68
Q 11 S	Kalisalz	12. 06.	350 m	27
Q 10 S	Kalisalz	13. 06.	400 m	29
Q 3 S	Kalisalz	23. 06.	750 m	31
Q 7 S	Kalisalz	01. 10.	700 m	6

zuschubsstirn (s. Q 3 und Q 7, Fig. 8). Dies läßt die Schlußfolgerung zu, daß auch in einem hochteilbeweglichen und fast strukturlosen Phyllit-Gebirgsverband, wie er für diesen Bereich typisch ist, im Laufe der Entwicklung sich bevorzugt Abzugsbahnen und keine Abzugsfront ausbilden.

Zusammenfassend können der Tab. 1 die Kennwerte der in Direktproben registrierten Tracerdurchgängen entnommen werden.

## 6. Die Beziehungen Niederschlag – Bergwasserspiegel – Hangbewegung

Um den Einfluß externer Faktoren (Niederschlag, Bergwasser) auf die Kinematik einer tiefgreifend in Bewegung befindlichen Talflanke bestimmen zu können, wurden in Zusammenarbeit mit der Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Oberes Drau- und Mölltal und der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, folgende geotechnische Untersuchungen und Messungen durchgeführt:

- Niederschlagsmessungen in verschiedenen Höhenlagen seit Anfang der 70er Jahre
- Bergwasserspiegelmessungen im mittleren und unteren Bereich der instabilen Talflanke seit 1979
- Stahlbandmessungen in 14-tägigen Zeitintervallen an der Talzuschubsstirn seit 1972
- geodätische Vermessung verschiedener Bereiche der instabilen Talflanke seit 1972
- kombinierter Markierungsversuch 1981

### Der Bergwasserspiegel

Zur Prüfung der Bergwasserspiegelverhältnisse wurden im Jahre 1979 im Bereich der mittleren und unteren Talzuschubsmasse 15 Bohrungen niedergebracht. Aus den Fig. 9 und 3 kann entnommen werden, daß Verlauf und Tiefenlage des Bergwasserspiegels in den einzelnen Bereichen aufgrund der verschiedenen strukturellen Gegebenheiten der Talflanke sehr heterogen sind. Trotzdem fällt bei genauerer Betrachtung auf, daß wir einzelne Gruppen im Hinblick auf die Schwankungen und die Tiefe des Bergwasserspiegels unterscheiden können und daß sich auch einige weitere signifikante Trends ergeben. Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Art und den Verlauf der Hangbewegungen sind folgende Konfigurationen der Bergwasserspiegelstände:

- sehr tiefliegende (> 40 m), nur geringe Schwankungen aufweisende Bergwasserspiegelstände.

Diese konnten in den Bereichen festgestellt werden, wo das Gebirge durch Spaltenbildung stark aufgelockert ist. Solche Verhältnisse spiegeln die Bergwasserspiegelbohrungen Nr. 1, 4, 8 in der strukturgeologischen Einheit 1 wider (s. Fig. 3 und 9). Hier wird der sonst teilweise sehr ausgeprägte Trend zum Ansteigen des Bergwasserspiegels im späteren Frühjahr bis in den Frühsommer nicht beobachtet.

- tiefliegende (25 bis 40 m) und sehr große Schwankungen aufweisende Bergwasserspiegelstände.

Solche Verhältnisse treten besonders im Grenzbereich von strukturell sehr verschiedenen ausgebildeten Gebirgskörpern auf, z.B. an der Grenzzone von sehr stark durch-



lässigem Gebirge (strukturgeologische Einheit 1 und 2) zu weniger durchlässigen Bereichen (strukturgeologische Einheit 1). Dieses Verhalten zeigen z.B. die Bohrungen Nr. 3 und 15 (s. Fig. 9). Der Höchststand des Bergwasserspiegels wird in den meisten Fällen im Monat Mai erreicht; dies ist auf die Schneeschmelzvorgänge zurückzuführen, die Ende März einsetzen und im wesentlichen Mitte Mai abgeschlossen sind. Bergwasserspiegelstände in der Überlagerung zeigen dagegen wesentlich kurzfristige Schwankungen, die auf Regenperioden zurückzuführen sind (s. Bohrung 5/1, Fig. 9).

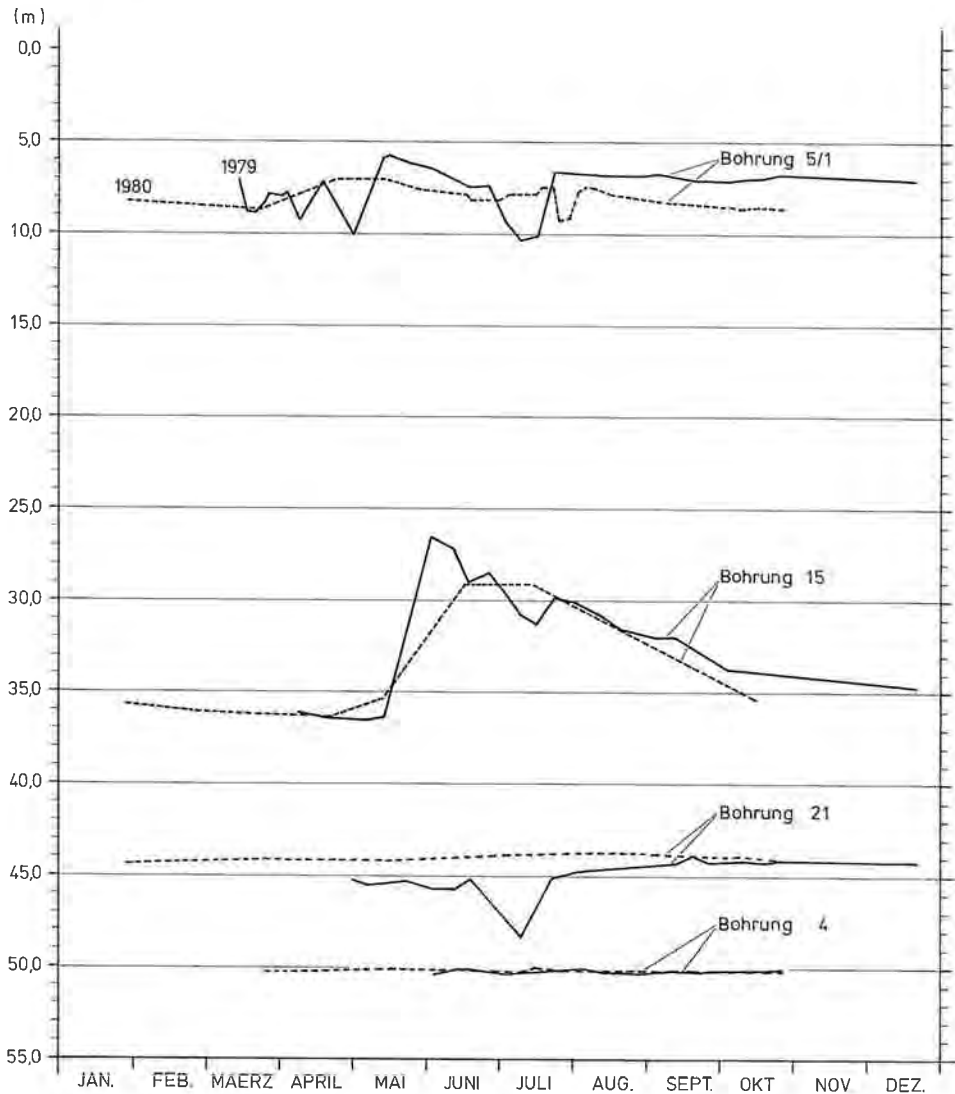


Fig. 9: Verlauf und Tiefe des Bergwasserspiegels in verschiedenen Bereichen der Talzuschubsmasse; Bohrung 5/1 (strukturgeologische Einheit 5), Bohrung 15 (Grenze strukturgeologische Einheit 2 zu 3), Bohrung 21 (strukturgeologische Einheit 3), Bohrung 4 (strukturgeologische Einheit 1).

## Bewegungsmessungen

Ziel der Bewegungsmessungen war die flächenmäßige Erfassung einer kriechenden Hangbewegung. Hierzu ist ein umfangreiches Meßprogramm erforderlich, das neben absoluten geodätischen Messungen auch relative, aber kontinuierliche Drahtextensometermessungen beinhaltet. Aufgrund der geodätischen Messungen – durchgeführt infolge finanzieller und organisatorischer Gegebenheiten nur durchschnittlich dreimal/Jahr – konnte lediglich eine Aussage über die jahreszeitlichen Änderungen der Geschwindigkeiten und der Bewegungsvorgänge gemacht werden. Um den zeitlichen Verlauf der Bewegungen besser erfassen und eventuelle Korrelationen zwischen Bewegung und äußeren Einflüssen besser bestimmen zu können, wurde ein Drahtextensometer entwickelt, das Bewegungen kontinuierlich mit einem Auflösungsvermögen von 1 bis 2 cm an der Talzuschubstirn registriert (M. MOSER & S. GLUMAC, 1983).

Durch die seit Ende der 60er Jahre durchgeführten verschiedenen Messungen hat sich gezeigt, daß der Kriechvorgang einem instationären Bewegungsprozess entspricht, der periodisch und ruckhaft verläuft und sich zyklisch wiederholt (s. Fig. 10).

Dieses Bewegungsbild wird am besten nach einer nun mehrjährigen Beobachtungszeit mit externen Faktoren in Beziehung gebracht. Bei Betrachtung des Einsetzens und dem zeitlichen Verlauf der Hangbewegung wird deutlich, daß solche externen Faktoren herangezogen werden können, die sich zyklisch ändern und auch einen wesentlichen Einfluß auf die Stabilität eines kriechenden Gebirgskörpers ausüben. Unter Berücksichtigung der Verhältnisse der speziell untersuchten Talflanke werden die Wirkungen im Porenwasserdruck in den Trennflächenfüllungen und Mylonitzonen sowie im hydrostatischen Kluftwasserschub zu suchen sein.

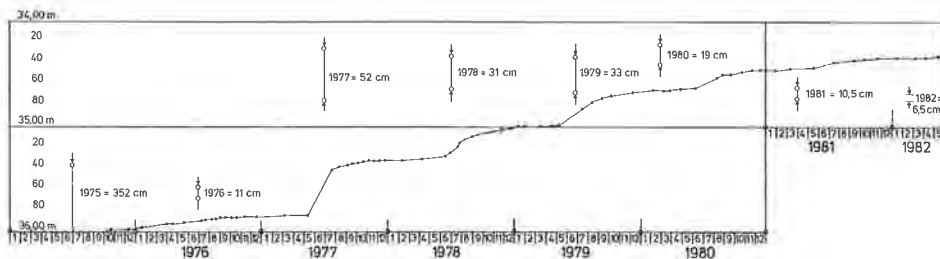


Fig. 10: Stahlbandmessung der Hangbewegung im Bereich der Talzuschubstirn von 1976 bis 1982 (mod. n. Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Oberes Drau- und Mölltal/Kärnten).

Von den aufgezählten Faktoren scheint in unserem Falle besonders der hydraulische Kluftwasserschub zu berücksichtigen zu sein, der sich offenbar in bestimmten Zonen des Gebirgskörpers ab Anfang Mai aufzubauen beginnt. Die Zeitverformungskurven (Drahtextensometermessungen an der Talzuschubstirn) korrespondieren sehr gut mit einer gewissen Verzögerung mit der Kurve des Bergwasserspiegelstandes (s. Fig. 11).

Da im Laufe des Spätsommers mit einem Absinken des Bergwasserspiegels zu Zeiten normaler Witterung zu rechnen ist, klingen auch die Hauptbewegungen ab. Die zu beobachtende jährliche Zyklizität der Bewegung mit einer starken Hauptbewegungsphase in den Fröhsommer- und Sommermonaten und einem Abklingen in den Herbstmonaten ist bedingt durch das rasche Abschmelzen der winterlichen Schneedecke an der S-exponierten und ab 1700 m Höhe waldfreien Talflanke. Auch

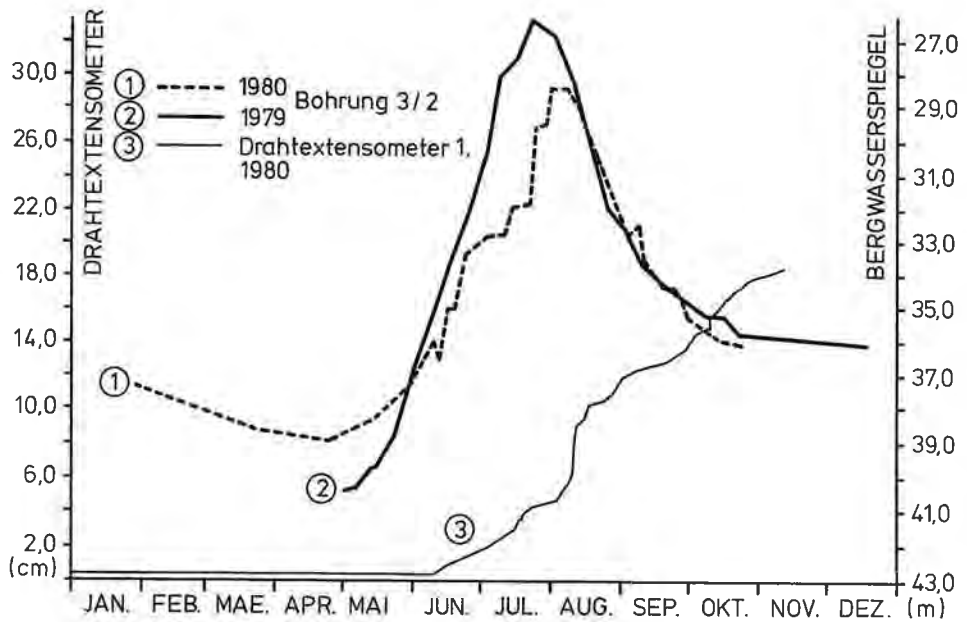


Fig. 11: Korrelation zwischen dem Ansteigen des Bergwasserspiegels und dem Verlauf der Hangbewegung; deutlich ist das Einsetzen der Bewegung nach einem Höchststand des Bergwasserspiegels zu erkennen.

von G. KRONFELLNER-KRAUS (1980) wird hervorgehoben, daß die Talzuschiebmasse erst ab einer Niederschlagssumme von 500 mm in Bewegung gerät, die erst durch Rücklage besonders nach Abschmelzen der winterlichen Schneedecke erreicht wird.

Die jährliche Zyklizität kann durch Starkniederschläge modifiziert werden, die sich einerseits in einer Wiederbelebung z.B. in den Herbstmonaten, andererseits z.B. in

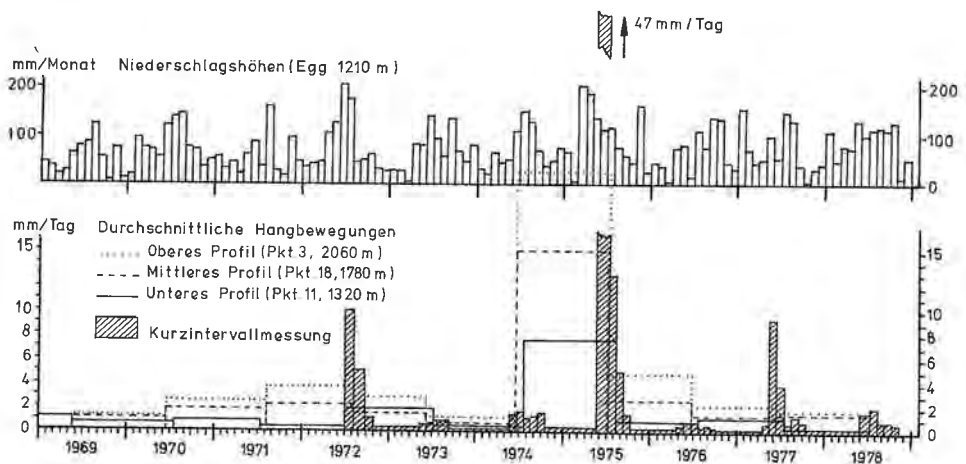


Fig. 12: Zusammenhang zwischen der Hangbewegung in verschiedenen Bereichen der Talzuschiebmasse und den monatlichen Niederschlagssummen für die Jahre 1969 bis 1978 (mod. n. G. KRONFELLNER-KRAUS, 1974).

einer zusätzlichen Verstärkung der Hangbewegung in den Frühlings- und Sommermonaten äußert. Besonders deutlich zeigen diese Zusammenhänge die Starkniederschläge Juni/Juli 1972 und März/April 1975, die eine erhebliche Steigerung der normalerweise üblichen Bewegungsraten brachten. So wurden 1972 in den Monaten Juli bis September Bewegungsraten von 10 bis 15 mm/Tag und 1975 von Mitte Mai bis Anfang Juli Bewegungsraten von 47 mm/Tag, von Anfang Juli bis Anfang August noch 12 mm/Tag gemessen (s. Fig. 12).

## 7. Abschließende Betrachtungen

Als hydrogeologisch wirksamste Parameter innerhalb der Talzuschubsmasse erwiesen sich die Haupttrennflächenscharen in ESE-WNW-streichender Richtung zusammen mit Störungssystemen, die ebenfalls den Abzug der Tracer nach Osten ermöglichen und über den gesamten beobachteten Bereich hinweg den Verlauf der subterranean Entwässerung beeinflussen. Somit wurde die vermutete Verbindung der hydrochemischen Bezirke II und IV durch die Ergebnisse des Markierungsversuchs bestätigt, ebenso die unterschiedliche Orientierung der Entwässerung der beiden Wasserstockwerke im östlichen Teil des Talzuschubs. Die Resultate mit Uranin ergaben für diesen Bereich eine ESE-ausgerichtete Entwässerung entlang von Störungen und nicht weit geöffneten Klüften für das tiefere Stockwerk mit Abstandsgeschwindigkeiten von 10 m/Tag, während mit Kalisalz eine oberflächennahe Entwässerung innerhalb der stark zerlegten Kalkphyllite nach Süden mit Geschwindigkeiten von über 60 m/Tag nachgewiesen werden konnte.

Durch Uranin und eingeschränkt auch durch Amidorhodamin konnte eine weitere Richtung für den Abzug der Tracer nachgewiesen werden; sie verläuft etwa parallel zu einer zweiten Trennflächenschar, die in SW-NE-Richtung ausgebildet ist. Die Geschwindigkeiten aus den Hauptdurchgängen ergaben einheitlich für die an Trennflächen gebundenen Wasserbahnen einen Wert zwischen 2 und 10 m/Tag sowohl im mittleren als auch im unteren Teil des Talzuschubs.

Die gering ausgebrachte Menge der eingesetzten Tracer kann darauf zurückgeführt werden, daß jeweils nur ein Teil des eingedrungenen Wassers in den Quellen der Talzuschubsmasse wieder zutage tritt, der weitaus größere Anteil jedoch erst mit großer Verzögerung erscheint, was durch Tritiummessungen bereits belegt wurde (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1975).

Die geodätische Vermessung und die Untersuchung mit Hilfe der Drahtextensometer ergaben eindeutig eine Beziehung der Hangbewegung zu Stärke und Art der Niederschläge und den Bergwasserverhältnissen. Die Auswertungen der Hangwasserspiegelmessungen lassen vermuten, daß besonders ein zusätzlicher Kluftwasserschub zu berücksichtigen sein wird, der sich offenbar in bestimmten Zonen des Gebirgskörpers ab Anfang Mai aufzubauen beginnt. Es sind dies besonders die Bereiche an der Grenze sehr stark blockartig zerlegten Gebirges zu sehr feinblättrigen mit sehr viel Feinanteil versehenen Gebirgszonen. Die Zeitverformungskurven stellen durchwegs unstetige Funktionen dar und entsprechen einem instationärem Bewegungsprozess, der periodisch und ruckhaft verläuft und sich zyklisch wiederholt. Die zeitabhängigen Deformationen sind in weiten Teilen einer instabilen Talflanke durch diskontinuierliche und instationäre Kriechvorgänge an Gleitzonen gebunden, die durch das Trennflächengefüge vorgegeben sind.

## Literatur

- KIEFER, J. (1983): Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Bereich des Talzschubes Gradenbach und im Mittleren Zopenitzental (Oberes Mölltal/Kärnten).- Masch.-schriftl. Dipl.-Arbeit, 202 S., Univ. Karlsruhe, Karlsruhe.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. (1974): Die Wildbacherosion im allgemeinen und der Talzuschub im besonderen.- In: 100 Jahre Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. (1980): Neue Untersuchungsergebnisse in Wildbächen - Der Talzuschub in Abhängigkeit von Niederschlägen.- Int. Symposium „Interpraevent 1980“, 1, 149-157, Bad Ischl.
- MOSE, M. & S. GLUMAC (1983): Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzschubes Gradenbach/Kärnten.- Verh. Geol. B. A., 3, 209-241, Wien.
- MÜLLER, L. (1967): New considerations on the Vajont slide.- Felsmech. u. Ingenieurgeol., 6, 1-91, Wien.
- STOLL, R. (1981): Geologisch-Petrographische Kartierung im Bereich des unteren Gradentales und geotechnische Charakteristik des Talzschubs Gradenbach (Kärnten/Österreich).- Masch.-schriftl. Dipl. Arbeit, 155 S., Univ. Karlsruhe, Karlsruhe.
- ZISCHINSKY, R. (1969): Über Sackungen.- Rock Mech., 1, 30-52, Wien.
- ZOJER, H. & J. ZÖTL (1975): Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der Großrutschung des Gradenbachtals bei Döllach/Kärnten.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 27, 65-84, Graz.

## Summary

The 1000 m high sagging slope Gradenbach/Upper Carinthia is built up by phyllites, calcareous schists, chlorite schists and quartzites of the zone of Matrei. During repeated intense rainstorms and abnormal snowmelt, the whole mountainside affected by deep-seated creep accelerated and numerous active toe zone slumps caused devastating debris flow. On November 6, 1966, some  $1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$  of bouldery material blanketed the cone and destroyed partly the hamlet Putschall. Especially after the catastrophe of Vajont/Italy it became evident that the course of the slope water level influences considerably the creep rates of an unstable mountainside.

Different drilling and seismic investigations and geodetic measurements were carried out in order to understand the mechanics of the large sagging slope. It was possible to define the temporal and spatial motion in the area of the convex toe of the sagging mass on the basis of absolute and relative geodetic measurements (invarwire measurements). The time deformations graphs of this zone exhibit unsteady functions and thus correspond to an unstationary motion which progresses periodically and joltingly (stick-slip) and which occurs repeatedly in a cycle. Especially with regard to flow-off-circumstances a combined tracing experiment was carried out in 1981 to evaluate the underground water regime of the whole mountainside.

Tracers (uranin, eosin, amidorhodamin, rhodamin, KCl) indicated that joints and fault zones, detected by aerial photographs and field observations were hydraulically active. Especially the tracer experiments proved two water permeability systems. The deep system with slow transmission speed (10 m/day) is directed to ESE, the system near the surface with more rapid discharge (60 m/day) trends to the south. Furthermore, it became obvious, that only a little amount of the penetrated water daylight in the springs of the sagging slope. This is due to the extremely deep gaping fissures of the dislocated rock masses in the upper and middle part of the sagging slope.

## Dank

Für die Mitarbeit am Markierungsversuch und für die finanzielle Unterstützung danken wir Herrn Prof. Dr. H. HÖTZL, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Karlsruhe und Herrn Dr. J. STRITZL, Gebietsbauleitung Oberes Drau- und Mölltal/Kärnten.