



Der Talzus Schub Gradenbach – ein geologisch-geotechnischer Überblick

HELGA GOTTSCHLING*)

25 Abbildungen

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 153

Kärnten
Matreier Zone
Ingenieurgeologie
Talzus Schub

Inhalt

| | |
|---|-----|
| Zusammenfassung | 345 |
| Abstract | 345 |
| 1. Einleitung | 346 |
| 1.1. Topographie und geologischer Überblick des Talzuschubs Gradenbach und seiner näheren Umgebung mit Hilfe von Luftbildern | 346 |
| 1.2. Historischer Überblick | 346 |
| 2. Allgemeine Geologie der Schobergruppe und der Matreier Zone | 347 |
| 2.1. Die Gutachtertätigkeit von Dr. HAUSLER | 348 |
| 2.2. Publikationen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien | 349 |
| 2.3. Hydrologische Untersuchungen in der Publikation der Professoren ZOJER & ZÖTL | 350 |
| 2.4. Die Bohrungen im Jahre 1978 (Auswertung Prof. MOSER) | 351 |
| 2.5. Das seismische Gutachten von Prof. BRÜCKL (Hallein 1979) | 352 |
| 2.6. Vorbereitende Arbeiten der Gebietsbauleitung Villach für diverse Messungen und die in Auftrag gegebenen Bohrungen | 353 |
| 2.7. Ingenieurgeologische Untersuchungen von Prof. MOSER | 353 |
| 3. Beurteilung des Talzuschubs Gradenbach | 361 |
| 4. Zusammenfassende Bemerkungen | 366 |
| Dank | 367 |
| Literatur | 367 |

Zusammenfassung

Bereits Ende des vorigen Jahrhunderts kam es im Gradenbach zu schweren Hochwasserereignissen. In der Folge setzten sich diese in ungefähr 20-jährigen Intervallen fort. Der Zeitraum von 1965–1975 war durch besonders extreme Niederschläge gekennzeichnet (Schnee, Starkregen), bei denen es zu Hochwasserkatastrophen mit entsprechender Geschiebeführung kam. Erst Ende 1950 wurden wissenschaftliche Arbeiten vor allem von den Herren HAUSLER, ZOJER, ZÖTL, MOSER (von dem noch Publikationen über dieses Gebiet ausständig sind) und von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt durchgeführt, um den Talzus Schub genauer begutachten und die Gefahren intensiver Murentätigkeit in Verbindung mit Hochwasser besser abschätzen zu können.

The Closing-up of the Gradenbach Valley – A Geological-Geotechnical Review

Abstract

Since the end of the last century, when severe floods were observed in the Gradenbach creek, floods events have re-occurred at intervals of about 20 years. The period between 1965 and 1975 was characterized by particularly extreme precipitation (snow, heavy rainfall), which caused flood catastrophes with correspondingly extreme amounts of bedload. It was only at the end of the 1950s that research work was conducted in order to learn more about slope creep and to allow a more exact assessment of risks in connection with floods. The most important authors of the relevant scientific papers are Mr HAUSLER, ZOJER, ZÖTL, MOSER (some of the papers on that topic have not yet been published), and the Federal Forest Research Centre.

*) Anschrift der Verfasserin: Dr. HELGA GOTTSCHLING, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut 8 – Lawinen- und Wildbachforschung, Hauptstraße 7, A-1140 Wien.

1. Einleitung

1.1. Topographie und geologischer Überblick des Talzuschubs Gradenbach und seiner näheren Umgebung mit Hilfe von Luftbildern

Der Gradenbach liegt im nordöstlichen Raum der Schobergruppe. In der Nähe seines Ursprungs bei 2500 m Seehöhe durchfließt er den Gradensee, passiert die Schlucht bei Putschall und mündet ins obere Mölltal. Er hat somit Anteil am starren Altkristallkörper der Schobergruppe (EXNER [1964], Oberostalpin; TOLLMANN [1985], Mittelostalpin), als auch an den alpidisch stark durchbewegten Schiefen der Matreier Zone, die eine Mischserie zwischen Pennin und Unterostalpin ist. Ihre Hänge sind nicht so steil und abweisend wie die Grate und Wände des Altkristallins, Almgebiete sind recht häufig. Zwischen alpidischen Schiefen (Matreier Zone) und diskordant aufgeschobenem Altkristallin bilden mächtige Diaphthorit- und Mylonitzone ihren Übergang.

Die Massenbewegung bzw. der Talzuschub liegt auf der orographisch linken Seite des Gradenbaches. Im Nordwesten wird die Großbrutschung von der Diaphthoritzone des Altkristallins zwischen Fleckenkopf und Eggerwiesenkopf in einer Seehöhe von rund 2100 m begrenzt. Diese zieht den Hang abwärts bis in den Gradenbach und ist in diesem Talabschnitt bachabwärts etwa 1.000 m breit. Die östliche Begrenzung stellt die obere Schieferhülle des Pennins (= Tauernfenster) dar. Dieser Bereich bzw. die Umgebung des Gradenbaches ist auf den topographischen Karten 154, 179 und 180 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen ersichtlich.

Auch in den Luftbildern des Fluges 1992 KF 154, 155, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, lässt sich der Talzuschub deutlich erkennen. Er ist aber nicht nur auf die Matreier Zone beschränkt. Bereits in den Übergangszonen (Diaphthorite) des Altkristallins konnte ein Netzwerk von jungen Bewegungs- und Scherflächen festgestellt werden, die mit denen der Matreier Zone recht gut zu korrelieren sind. Weiters wurden neue Abrisskanten bis nahe an den Eggerwiesenkopf, vor allem westlich als auch in östlicher Position, beobachtet. Man muss annehmen, wie mir auch Prof. E.H. WEISS im Jänner 1995 mündlich mitteilte, dass der Talzuschub im Gradenbach noch immer eine aktive Großbrutschung ist.

1.2. Historischer Überblick

Bereits im Jahr 1882 kam es zu Hochwasserereignissen im Raume Gradenbach, wobei diese die Schlucht und die Ortschaft stark vermurten. Weitere Hochwässer gab es in den Jahren 1903, 1923, 1942 und 1957. Auch 1917 wurden Gleitbewegungen erwähnt, die einem sehr schneereichen Winter folgten. In den Jahren 1965 und 1966 gab es schwere Hochwasserkatastrophen mit rund 1,3 Millionen m³ Geschiebeführung, wobei 40 % des Materials am Schwemmkegel des Gradenbaches abgelagert wurden, 60 % das Mölltal erreichten und dieses unpassierbar machten. 1972 trat wieder starkes Hochwasser auf. Im Jahre 1975 wurde durch Schneeschmelze und Starkregen die Hangbewegung besonders an der Talzuschubsstirn derart aktiviert, dass schwere Schäden an den Geschiebesperren entstanden.

Veröffentlichungen über den Gradenbach

- 1959 erwog man, die Schluchtstrecke des Gradenbaches durch eine Stollenfassung, die die KELAG errichten sollte, zu umgehen und der KELAG das Wasser für die Stromerzeugung zur Verfügung zu stellen. Sie lehnte jedoch ab.
- 1967 Gutachten von Prof. G. HORNINGER; die Stollenvariante wurde wieder aufgenommen, er machte aber auf die Gefahr von Bergstürzen am oberen Stollenportal aufmerksam.
- 1968 Erste Zusammenarbeit mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien: Photogrammetrie, geodätische Messungen, Quellabflussmessungen, Quellschüttungen, Temperatur-, Niederschlags-, Bachabflussmessungen, Gebirgsdruckmessungen, Piezometer- und Drahtextensometermessungen (1978 bis 1980).
- 1968 Kurzbericht von Prof. E.H. WEISS in den Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt.
- 1971 Hydrogeologisches Gutachten von Prof. J. ZÖTL.
- 1974 geologisches und hydrologisches Gutachten Dr. H. HÄUSLER.
- 1975 Hydrogeologische Untersuchungen der Professoren H. ZOJER und J. ZÖTL, zum Teil mit Dr. H. HÄUSLER gemeinsam.

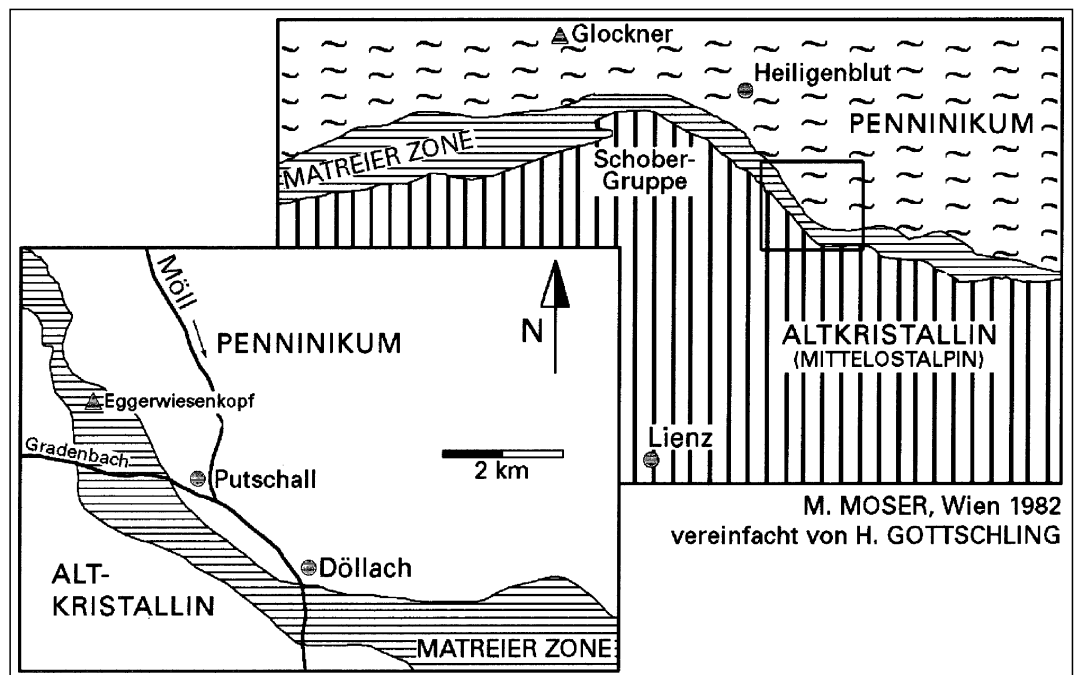


Abb. 1. Geologische Übersicht- und Detailkarte des Gradenbaches.

- 1978 Beginn der geologischen Gutachtertätigkeit von Prof. MOSER, ebenfalls auf Dr. HAUSLER und den Professoren ZÖTL und ZOJER basierend.
- 1978 3 Bohrungen auf Anraten Prof. MOSERS von der Fa. Etschel & Meyer durchgeführt, Inclinometermessungen Fa. Interfels.
- 1979 Seismisches Gutachten von Prof. E. BRÜCKL, Hallein.
- 1983 M. MOSER & S. CLUMAC: Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzschubes Gradenbach/Kärnten.
- 1988 M. MOSER & J. KIEFER: Die hydrologischen Verhältnisse und ihre Beziehungen zur Kinematik im Bereich der Talzschubsmasse Gradenbach/Kärnten.

Die Mitarbeiter der Gebietsbauleitung Villach unter der Leitung von Hofrat DI J. STRITZL haben mit allen ihren zur Verfügung stehenden Mitteln dazu beigetragen, die Vorarbeiten für zahlreiche Untersuchungen zu tätigen, damit diese möglichst rasch und effizient durchgeführt werden konnten. Hofrat DI J. STRITZL hat einige Exkursionen in dieses Gebiet geführt wie z.B. im Jahre 1971 beim Internationalen Symposium „Interpraevent Kärnten“ und Kurzberichte darüber verfasst.

2. Allgemeine Geologie der Schobergruppe und der Matreier Zone

Der Bereich des Gradenbaches ist besonders durch Massenbewegungen gekennzeichnet, da er einerseits an der Grenze zum diskordant aufgeschobenen Altkristallin in der Schobergruppe mit einer rekristallisierten Diaphthoritzone (an der Basis der Überschiebungs- und alpidischen Zerrüttungszone) und andererseits in der stark tektonisch beanspruchten Matreier Zone liegt, die üblicherweise E-W streicht, in diesem Raume aber durch die Mölltalstörung bedingt auf NW-SE umschwenkt.

Die Schobergruppe ist aus verschiedenen zueinander verstellten Schollen aufgebaut, die an ihren Rändern phyllonitische Bewegungsflächen (alpidisch!) und junge Zerrüttungszonen aufweisen. Das Streichen im Altkristallin ist in diesem Gebiet NE-SW-gerichtet, das Fallen steil nach NNE oder SSE. Bereits EXNER (1964) stellte in den Erläuterungen der geologischen Karte über die Sonnblickgruppe fest, dass besonders im östlichen Teil der Schobergruppe eine Rekristallisation der Mineralfazies in der Zeit der alpidischen Metamorphose und eine randliche Angleichung der Diaphthoritzone zur Tauernkristallisation stattgefunden haben muss. Auch TROLL und HÖLZL (1974) erwähnen in ihrer Arbeit „Zum Gesteinsaufbau des Altkristallins der zentralen Schobergruppe“ Vergrünungszonen, die auf retrograde Metamorphose zurückzuführen sind und die bis ins Gradental reichen (Änderung des Metamorphosegrades; steil stehende Achsen - [?] alpidisch).

Südlich des Gradenbaches kommt es nach EXNER durch Phyllonitisation zu einer Überprägung der voralpidischen Strukturen durch jüngere (alpidische) Falten und Scherflächen, die mit denen der Matreier Zone übereinstimmen. SCHWARZBÖCK berichtete in seiner Dissertation über die Schobergruppe (1968), dass junge Deformationen und (alpidisch) rupturale Zerlegungen des Gebirges in Verbindung mit Vergrünungen des Gesteins (regressive Metamorphose) stattgefunden haben. Weiters führte die Deformation zu NW-SE-gerichteten Hauptbrüchen, die

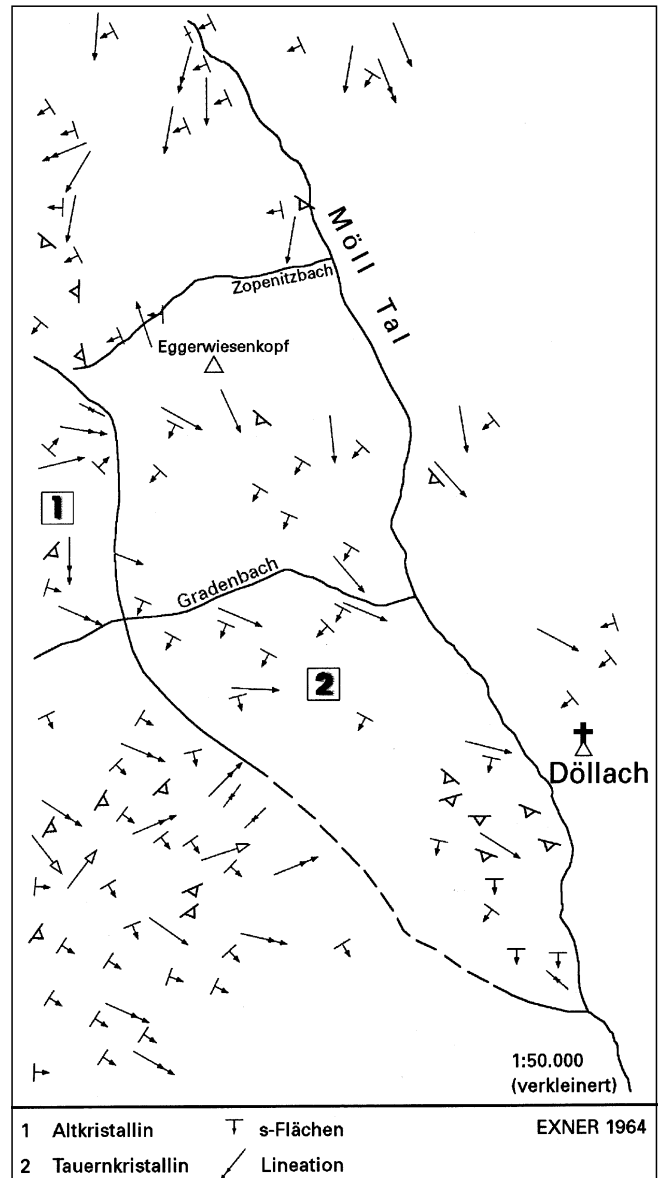


Abb. 2. Ausschnitt aus der strukturgeologischen Karte der Sonnblickgruppe.

von normal dazu verlaufenden kleineren Brüchen durchtrennt werden. Die Anlage vieler Scharfen in der Schobergruppe wird auf diese (alpidischen?) Störungen zurückgeführt, ebenfalls die Bildung von Tälern und Talstufen. Wie weit diese Störungssysteme mit denen der unmittelbar angrenzenden Matreier Zone bzw. mit der alpidischen Gebirgsbildung und Tektonik im Zusammenhang stehen, bliebe noch zu untersuchen. Im Verlauf des Gradenbaches gibt es auch einige Verebnungsflächen, die bereits im Tertiär entstanden sind.

In diesem Altkristallin treten Granatglimmerschiefer, Para- und Augengneise auf. Die Gesteine sind durch Mylonitisation, Rekristallisation, rückschreitende Metamorphose (z.B. Zerfall der Mineralien, Umwandlung von Plagioklas in Schachbrettalbit) durch Parallelgefüge und durch deutliche Lineationen gekennzeichnet. Alle diese Beobachtungen weisen schon darauf hin, dass es sich in diesem Raum um tektonisch stark durchbewegtes Gebirge handelt und es dadurch zu strukturgeologischen Auswirkungen kommen muss.

Die Matreier Zone wird als Mischserie, z.T. auch als tektonische Brekzie, zwischen dem Tauernfenster und dem

Altkristallin bezeichnet. Sie wurde von SCHMIDT (1950, 1951, 1952) in eine nördliche und südliche Matreier Decke eingeteilt. FRISCH et al. (1987) fasste ein neues Interpretationsmodell für den Grenzbereich Penninikum/Unterostalpin zusammen. Die Matreier Zone wird nun ins Penninikum gestellt, unter anderem wegen des Vorkommens von Serpentiniten, die vor der alpidischen Metamorphose mächtige Tufflagen und einen Übergang zu den vulkanitreichen Tiefseeböden darstellte. Nach der Metamorphose wurden aus diesen Vulkaniten Prasinite gebildet wie z.B. in der Glocknerdecke. Nur Vorkommen von Gips, Rauhwacken und Dolomiten sind als permo-mesozoisch-unterostalpine Einschaltungen zu bezeichnen.

Die starke tektonische Beanspruchung und Verzahnung lässt auch hier bereits die Umwandlung der Mineralisation erkennen (Feldspäte sind dünn ausgewalzt, es kommt zu deutlicher Kornzerkleinerung und Zerschierung). Die häufigsten Gesteine der Matreier Zone von West nach Ost sind: Phyllitserien (Quarzphyllite, Karbonatphyllite), Kalkglimmerschiefer, Dolomitmarmore, Quarzite und Muskovitgneis. Die Quarzite und Quarzphyllite sind besonders bruch- und zerrungsempfindlich, die Phyllitserie verformt sich plastisch, ihre Sickerwasseraufnahme ist gering. Die Kalkglimmerschiefer sind zum Teil klüftig und werden in Großblockwerk zerlegt.

In dieser Landschaft wurden im Glazial bzw. Postglazial vor allem mächtige Moränen und fluvioglaziales Material abgelagert, teilweise wieder abgetragen und verfrachtet. Im Holozän entstanden Wildbachschutt und Bergsturzmaterial. Durch die Abschmelzung der Gletscher, die Entlastung von Eis (besonders in Gebieten mit großtektonischer Beanspruchung) wurde der Kammbereich unterschritten, das zeigt sich an den übersteilten Felsanbrüchen an den obersten Hängen des Gradenbaches (bis über 50° Hangneigung). Ihre Instabilität nahm zu, Abrisskanten bildeten sich. Die Muldenzone der Thaler Alm wurde durch Glazialerosion gebildet. Die darunter liegenden Hänge glitten durch das instabile, auflagernde Material (Moränen bzw. Verwitterungsmaterial) ab. Der oberste Böschungsbereich des Gradenbaches selbst, etwa 30–40 m ist durch Hakenwerfen der Gesteine und große Rutschungen im Lockermaterial gekennzeichnet. Bei anhaltenden Niederschlägen (Schnee, Starkniederschläge verbunden mit schweren Gewittern, Dauerregen) kommt es zu ausgedehnten Böschungsanrissen im oberen Hangbereich. Der Unterhang wird bei derartigen Niederschlägen durch erhebliche Seitenerosion stark unterschritten, daher führen diese Ereignisse zu großer Geschiebeführung.

2.1. Die Gutachtertätigkeit von Dr. HÄUSLER

In den Jahren 1968 bis 1973 erhielt Dr. HÄUSLER von der Gebietsbauleitung Villach (DI J. STRITZL) den Auftrag, die Massenbewegung Gradenbach (Eggerwiesenkopf) ingenieurgeologisch zu untersuchen. Von der FBVA wurde eine topographische Karte im Maßstab 1 : 5.000, 1967/68 mit Erweiterungen 1977/78 als Kartengrundlage zur Verfügung gestellt.

Von Dr. H. HÄUSLER sind folgende Karten erstellt worden:

- Geologischer Lageplan in abgedeckter Darstellung mit Fallzeichen und Störungen
- Geologischer Lageplan des anstehenden Felsverbandes und Lockermaterials
- Lageplan der alten Rutschungen

- Karte der Analyse der Hangdeformation
- Profil des Talzuschubs Gradenbach
- Abflussmessungen 1971 (gemeinsam mit ZOJER und ZÖTL)
- Quellen- und Abflusssysteme
- Sickerwasserbewegungen
- Orientierende Ergebnisse der Quellbeobachtungen
- Markierungsversuche 1971
- Gesamthärte der Quellwässer 1970
- Deformationsmessungen: Geometrie der Hangbewegungen (4 Polygonzüge FBVA)

Das Gutachten zeigt nach den Katastrophenjahren 1965/66 die Problematik dieses Hanges auf, verweist auf neuerliche Fragestellungen und gibt Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen an.

Die Grundlage für sämtliche wissenschaftlichen Arbeiten stellt eine genaue geologische Karte mit Festgestein und Lockermaterial dar. Darauf bauen alle weiteren Ergebnisse speziell in der Hydrogeologie auf. Da die Gesteinstypen verschiedene Speicherkapazität (Wasser) besitzen (kalkhaltige Gesteine – sehr klüftig, hohe Speicherkapazität, Phyllite wesentlich geringere Wasseraufnahmefähigkeit, damit verbunden Wasserstau, Aufquellen der Tonmineralien), muss eine geologische Detailkartierung vorliegen. Je nach Gesteinsart kommt es zu verschiedenen Verformungen, die sich entweder als „Bruch“ oder „plastische Verformung“ darstellen. Es kann mit diesen Ergebnissen nach intensiver ingenieurgeologischer und hydrogeologischer Tätigkeit zumindest Auskunft über die Mechanik dieser Massenbewegung gegeben werden. Schließlich sollte besonderes Augenmerk auf die Hangbewegungen an der Talzuschubsstirn gerichtet werden, damit die Gesteins- bzw. Schuttmassen ohne allzu große Schäden anzurichten ins Tal abgleiten.

Ein weiterer Wissenszweig, der sich daraus ableitet, ist, wie schon oben erwähnt, die Hydrogeologie, und zwar wie sich die Bewegung der Sickerwässer bzw. die Wasserwegsamkeit in den einzelnen Gesteinen verhalten; wie die Kluftwässer und die Klufthydraulik in Zusammenhang stehen und wie sich die Niederschlagswässer auf die Quellen der Gleithänge bzw. auf den ganzen Talzuschub auswirken. Daraus ergeben sich bodenmechanisch bzw. felsmechanisch (je nach Materialbeschaffenheit) mathematisch errechenbare Werte, die aber mit der Geologie zu korrelieren sind.

Durch die Auflockerungen verschiedenster Gesteine mit unterschiedlicher Wasserführung und z.T. Kluft Hohlräumen (bei Wasserführung, hydraulischer Kluftwassertrieb) entsteht ein wesentlich geringerer Reibungswinkel, der auch völlig abgebaut werden kann, sodass dadurch Hangbewegungen eingeleitet werden.

Folgende Sicherungsmaßnahmen werden in diesem Gutachten vorgeschlagen: weitere intensive ingenieurgeologische und hydrologische Untersuchungen (Messeinrichtungen an Gesteinen, Lockermaterial usw.) Ableitung des Quell- und Tagwassers (kritischer Kluftwassertrieb Berchtoldhang, Abdichtung besonders gefährlicher Versickerungszonen). Waldbestände sollten in kritischen Lagen wieder aufgeforstet werden, Druckentlastung im Bereich der Massenbewegung unterhalb des Almgebietes, Stabilisierung der Steilstufe des Gradenbaches durch Massenausgleich. Im Extremfall sollten jene Hanglagen, die von diesem Talzuschub betroffen und von Bauern besiedelt sind, zumindestens vorübergehend evakuiert oder ganz ausgesiedelt werden.

2.2. Publikationen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien

KRONFELLNER-KRAUS fasste die wesentlichsten Ergebnisse im Sonderdruck „Die Wildbacherosion im allgemeinen und der Talzuschub im besonderen“ in „100 Jahre Forstliche Bundesversuchsanstalt“ Wien 1974, zusammen. 1968/69 bis 1972/73 wurden im Gradenbach Messungen an den Polygonzügen durchgeführt, um die Gleitbewegung des Hanges in einzelnen Polygonpunkten genau festzuhalten. Weiters führte man Niederschlags- und

Quellmessungen durch. Daraus ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Hangbewegung und Niederschlags-summe (10 Monate). Ab einer Niederschlags-summe von 500 mm beginnt die Gleitung des Hanges aktiv zu werden, die Bewegung an der Talzuschubsstirn ergab um 1970 pro Jahr eine Größenordnung von maximal 36 cm. Im obersten Teil des Hanges, knapp unterhalb der Hauptab-risskante wurde in der gleichen Zeit eine Vertikalbewe-gung von maximal 128 cm gemessen. KRONFELLNER-KRAUS gab eine Jahresbewegung von anfänglich mehre-ren Dezimetern an, die im Jahre 1974 den höchsten Wert von 128 cm erreichte. Durch die Entwässerungen und die

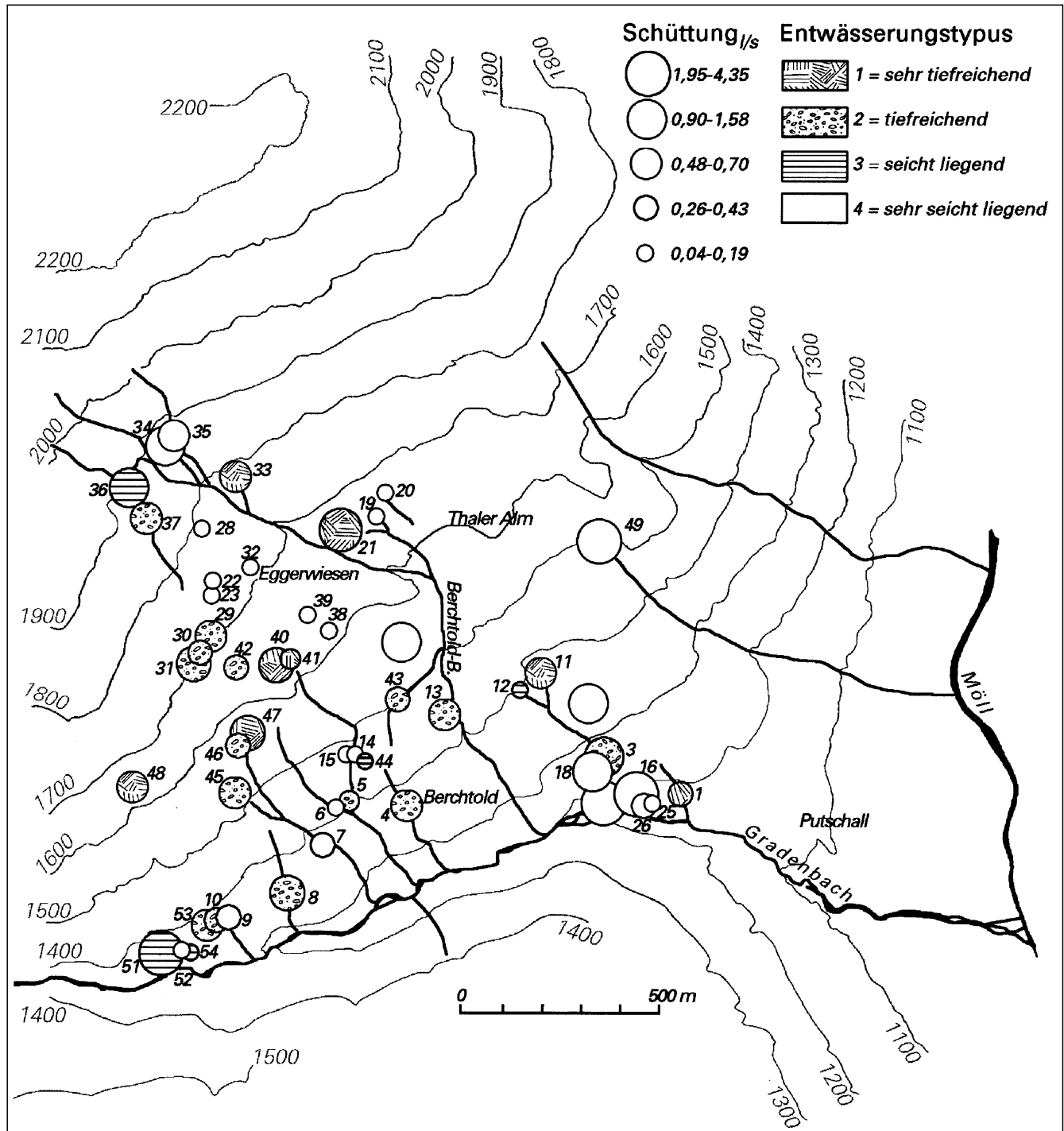


Abb. 3.
Quellmessungen am Berchtoldhang durch H. ZOJER & J. ZÖTL (1975).
Die Signaturen innerhalb der Kreise entsprechen dem aufgrund von Schüttungs- und Temperaturschwankungen gegebenen Entwässerungstypus der Wasseraustritte.

Verbauungen von mehreren Jahren sind diese Bewegungsgrößen auf maximal einige Dezimeter bis Zentimeter pro Jahr zurückgegangen.

2.3. Hydrologische Untersuchungen in der Publikation der Professoren ZOJER und ZÖTL

In diesen Untersuchungen sind die Quellen auf ihren Chemismus (pH-Wert, Gesamthärte) beprobt worden. Es wurden Schüttungsmessungen in Bezug auf den Entwässerungstypus und auf die Gesamthärte (in deutschen Härtegraden) von 54 Quellen durchgeführt.

Besonders zu erwähnen sind folgende Ergebnisse: Da die Niederschlagsmenge etwa 780 mm (Jahresmittel), die Abflusshöhe der Quellen im Jahresdurchschnitt aber 420 mm betragen, bleiben für den Oberflächenabfluss und die Verdunstung nur 45 % des Niederschlags übrig, daher müssen Folgequellen (Quellen, die auf eine Versickerung des Oberflächenabflusses zurückgehen) angenommen werden, die die unterirdischen Abflussmengen verfälschen und die gesamte Summe aller Quellschüttungen zu hoch erscheinen lassen. Sehr gut kann man die geologischen Einheiten und zwar die der Quarzit-Quarzphyllite, die Phyllitserie und die der Kalkglimmerschiefer nach den Härtegraden des Wassers unterscheiden.

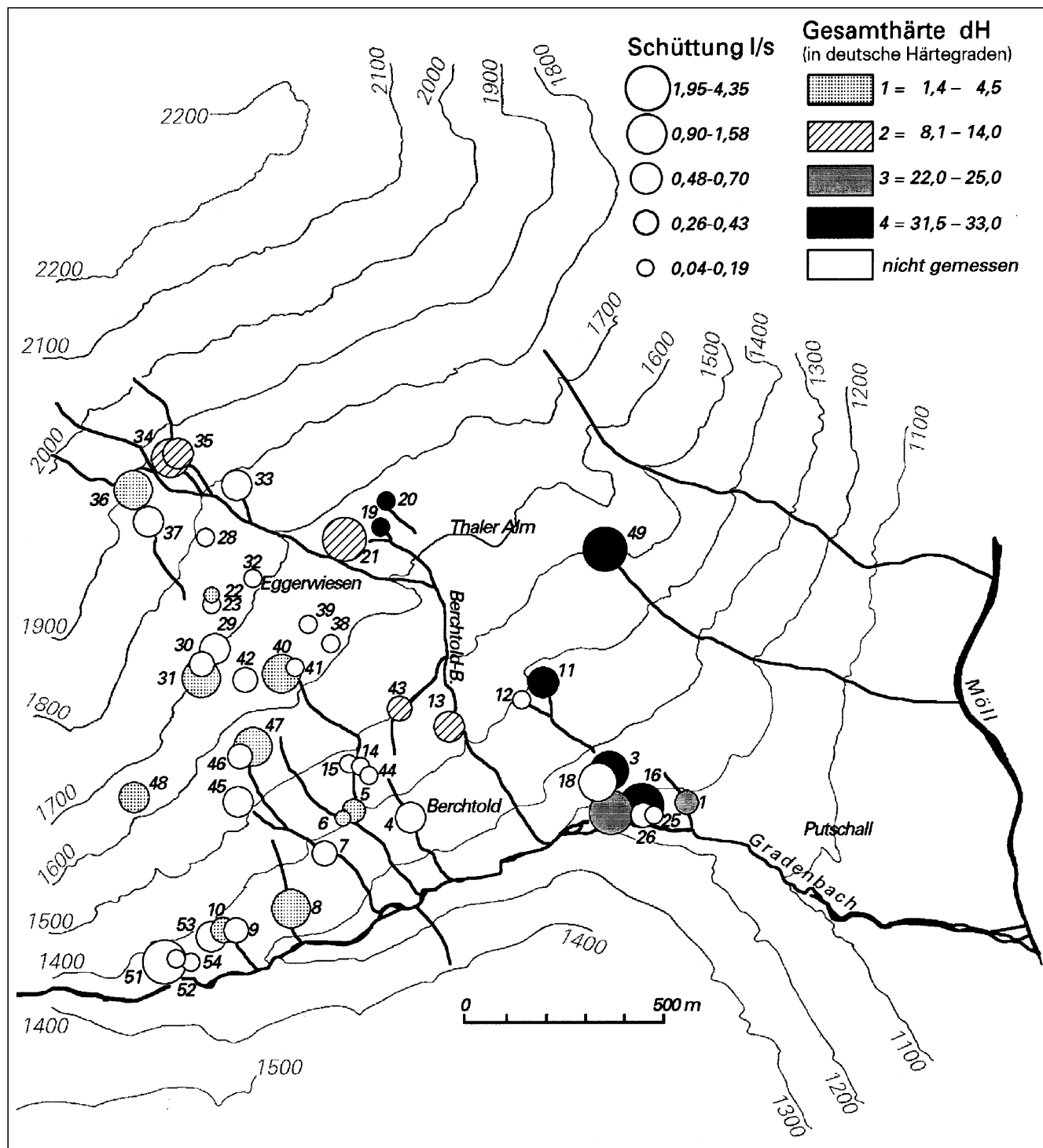


Abb. 4. Gesamthärte von Quellwässern am Berchtoldhang nach H. ZOJER & J. ZÖTL (1975).

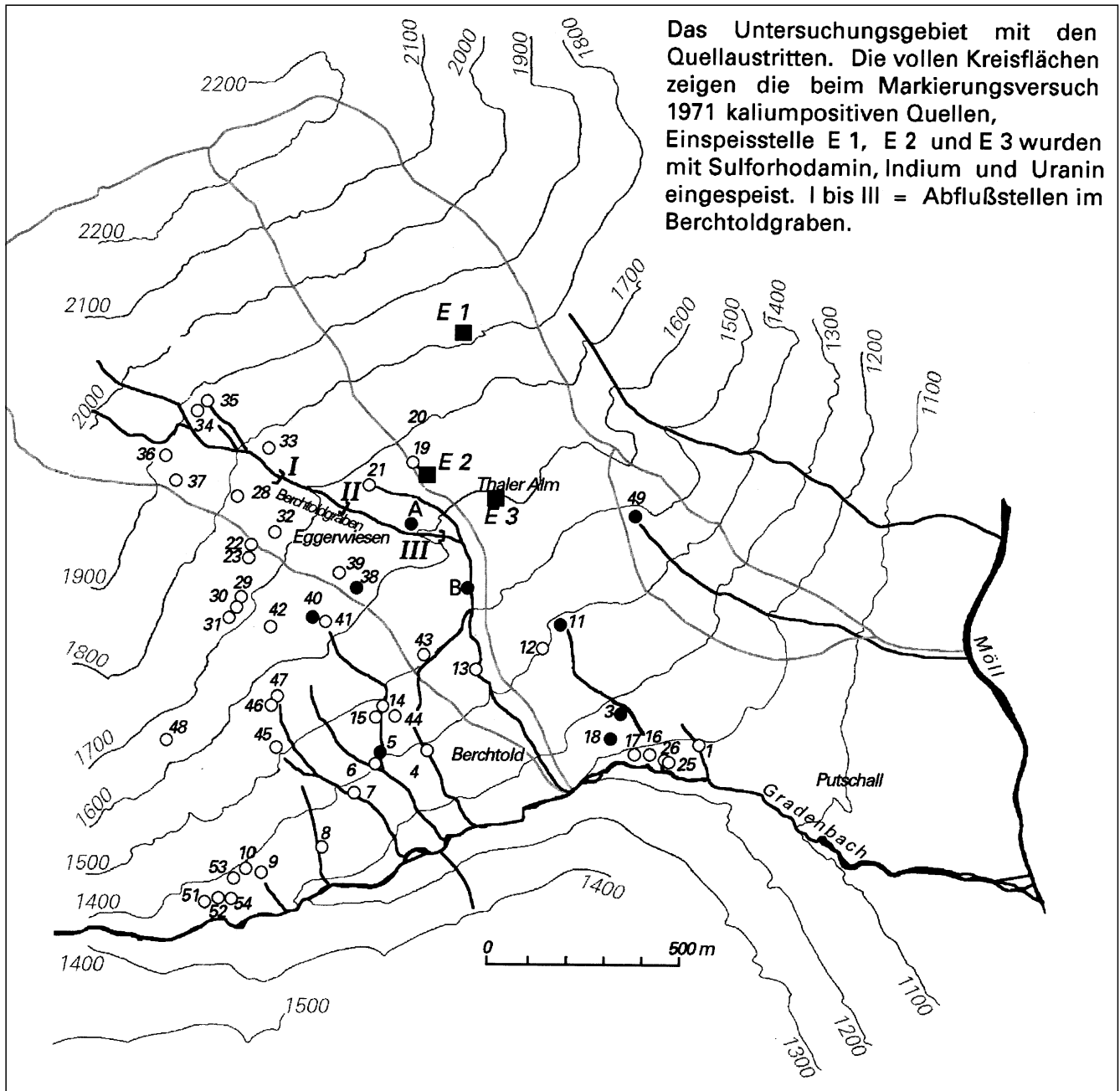


Abb. 5. Markierungsversuch mit Kalidüngesalz E 1 nach H. ZOJER & J. ZÖTL (1975).

In dieser Arbeit wurden sowohl kombinierte Messreihen mit Kaliumdüngesalz (1.335 Proben Einspeisung E 1) als auch Tritiummessungen durchgeführt. Die Messreihe mit Tracern wie Uranin, Indium usw. in den Einspeisungsquellen E 2 und E 3 brachte kein Ergebnis (es konnten keinerlei Markierungsstoffe in den Quellen festgestellt werden). Aus Tunnelbauten ist bekannt, dass das mit Tracern versetzte Wasser in tiefere Partien des Untergrundes absinkt und dadurch die Färbversuche kein Ergebnis brachten. Nach der Beprobung ergaben die Wasseraustrittsstellen mehr oder minder gut durchmischtes Wasser, das sowohl von rezemem Infiltrat (Niederschlagswasser) als auch von Altwasser her stammt. An wenigen Quellen konnte nur altes Bergwasser festgestellt werden.

2.4. Die Bohrungen im Jahre 1978 (Auswertung Prof. MOSER)

Im Raume des Gradenbaches wurden 2 bzw. 3 Bohrungen durch die Firma Etschel & Meyer abgeteuft, und zwar

Gradenbach 1 in einer Seehöhe von 1145 m, Egg 1 in einer Seehöhe von 1340 m und Egg 2 in einer Seehöhe von 1365 m.

Die Bohrung Gradenbach 1 war nicht optimal gewählt, da der Bergwasserspiegel bereits bei 7 m lag, dann aber wieder absank. Der seichte Wasserspiegel ist auf das neben der Bohrung fließende Bächlein zurückzuführen. Sie wurde bis 45 m abgeteuft. Bei einer Tiefe von 32 m wurde ein Moränenhorizont aufgeschlossen, den Prof. MOSER als mögliche Gleitfläche deutet.

Die Bohrung Egg 1 erreichte nur eine Tiefe von 40 m. Es kam bedingt durch die Gesteinszusammensetzung (Phyllite mit Quarzknuern) zu Schmandanreicherungen und häufigen Kernverlusten. Deshalb musste die Bohrung aufgegeben werden.

Egg 2 wurde bis 40 m zementiert, darunter bis in eine Tiefe von 129 m gekernt. Es kam auch in dieser Bohrung zu wiederholten Kernverlusten. Der Bergwasserspiegel wur-

de bei 43 m erreicht. Zu erwähnen wäre noch der Teufenbereich von 107–114 m. Es wurden derart beanspruchte Phyllite angebohrt, dass diese als Gleithorizont bezeichnet werden könnten. Bohrtechnisch wäre noch festzuhalten, dass das Bohrgestänge in Egg 2 nicht völlig aus der Bohrung herausgezogen werden konnte und daher die Inklinometermessungen unbrauchbar sind. Auch in den beiden anderen Bohrungen wurden Inklinometermessungen durchgeführt, die aufgrund von Fehlanzeigen nicht ausgewertet werden konnten.

2.5. Das seismische Gutachten von Prof. BRÜCKL (Hallein 1979)

Im Jahre 1978/79 wurde von der Gebietsbauleitung Villach an Prof. BRÜCKL ein seismisches Gutachten in Auftrag gegeben. Mit Refraktionsseismik versuchte er die Mächtigkeit des in Bewegung befindlichen Gesteinskörpers festzustellen. Es wurden 2 Querprofile in einer Seehöhe von etwa 1360 und 1700 m und ein Längsprofil, das die beiden Querprofile verbindet, angelegt.

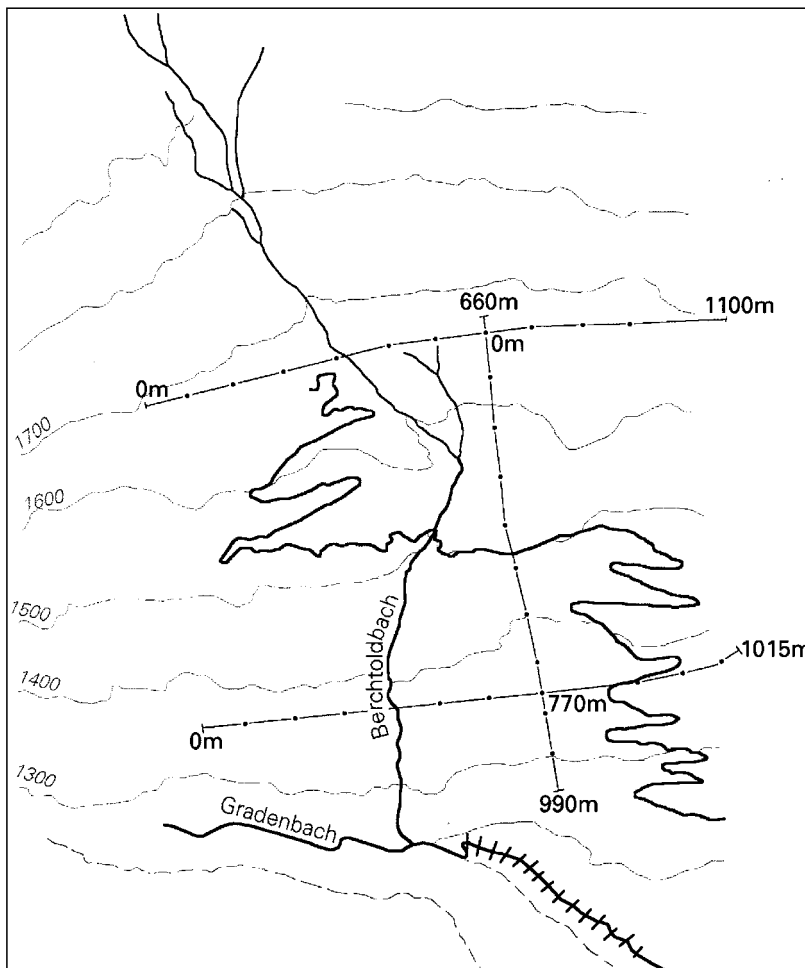


Abb. 6. Lage der seismischen Längs- und Querprofile über die Massenbewegung Gradenbach (E. BRÜCKL, 1979).

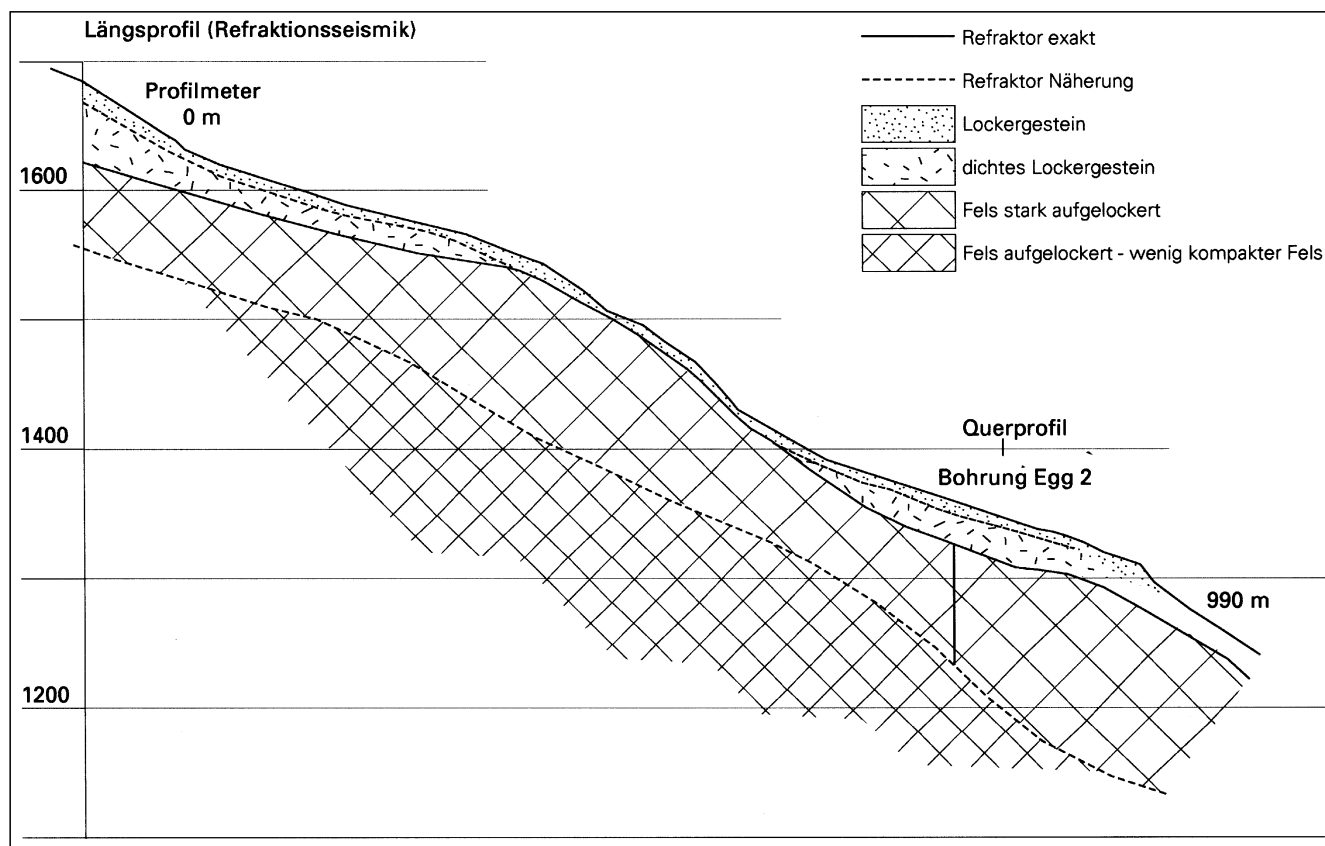


Abb. 7. Massenbewegung Gradenbach – Längsprofil (E. BRÜCKL, 1979).

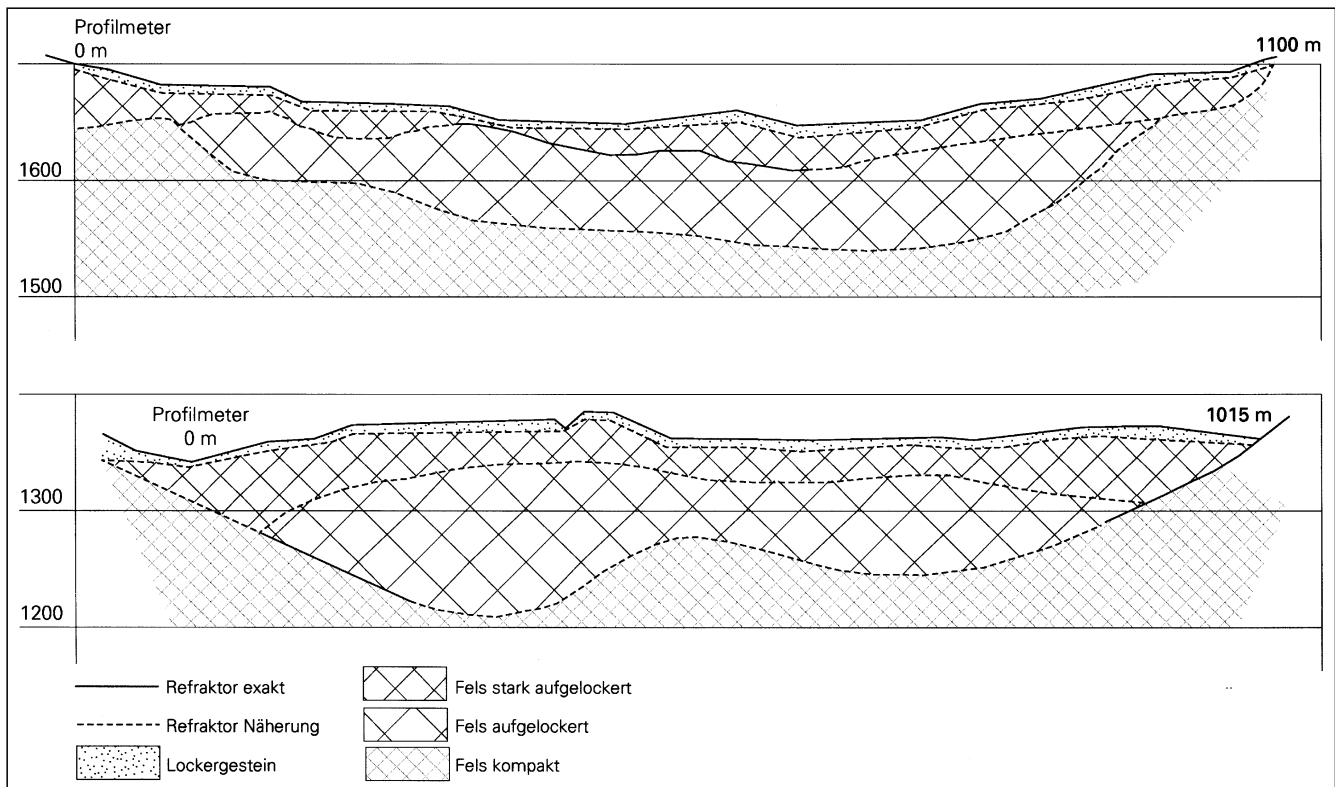


Abb. 8. Massenbewegung Gradenbach – Querprofile in 1700 und 1360 m Seehöhe (E. BRÜCKL, 1979).

Man erreichte eine Gesamtprofillänge von 3.025 m. Auf Grund der Refraktionsseismik wurden 4 Gesteinsschichten bestimmt:

- 1) Lockermaterial und Blockwerk.
- 2) Stark aufgelockerter Fels und dichtes Lockermaterial.
- 3) An sich kompakter Fels, als Felsschollen aufgelockert.
- 4) Kompakter Fels.

Die Mächtigkeit der bewegten Felsmassen ist nach Interpretation von Prof. BRÜCKL bei rund 100 m anzusetzen, wobei im SW (im unteren Teil des Talzuschubs) die Hangbewegung bis auf eine Tiefe von 160–170 m geht. Im Bereich der Bohrung Egg 2 scheint der kompakte Fels bei 130 m anzustehen.

2.6. Vorbereitende Arbeiten der Gebietsbauleitung Villach für diverse Messungen und die in Auftrag gegebenen Bohrungen

Im Jahre 1978 wurden von der Gebietsbauleitung Villach (HR DI STRITZL) statt der vorgesehenen 4. Bohrung im Bereich der Thaler Alm 20 Bohrungen auf Bergwasser für Piezometermessungen bis in eine Tiefe von rund 60 m an die Firma Vogel-Grundbau in Auftrag gegeben. Die dafür geeigneten Stellen im Gelände wählte Prof. MOSER aus.

Da man noch weitere genauere Messungen in Bezug auf die Hangbewegungen, besonders der Talzuschubstirn benötigte, installierte man im Jahre 1979-1980 2 Drahttextensometer. Man kann mit diesen Messungen die einzelnen Bewegungsschübe und die Abweichungen in der Zeiteinheit durch Aufzeichnungen in Diagrammen darstellen.

2.7. Ingenieurgeologische Untersuchungen von Prof. M. MOSER

In der Publikation „Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen in Fels am Beispiel des Talzuschubes Gradenbach/Kärnten“ (Verh. Geol. B.-A., Jg. 1983) von MOSER & GLUMAC wurde dieser Talzuschub nach absoluten geodätischen Messungen und geotechnisch wie folgt gegliedert:

Zone 1: Bereich oberhalb der Hauptabrisskante

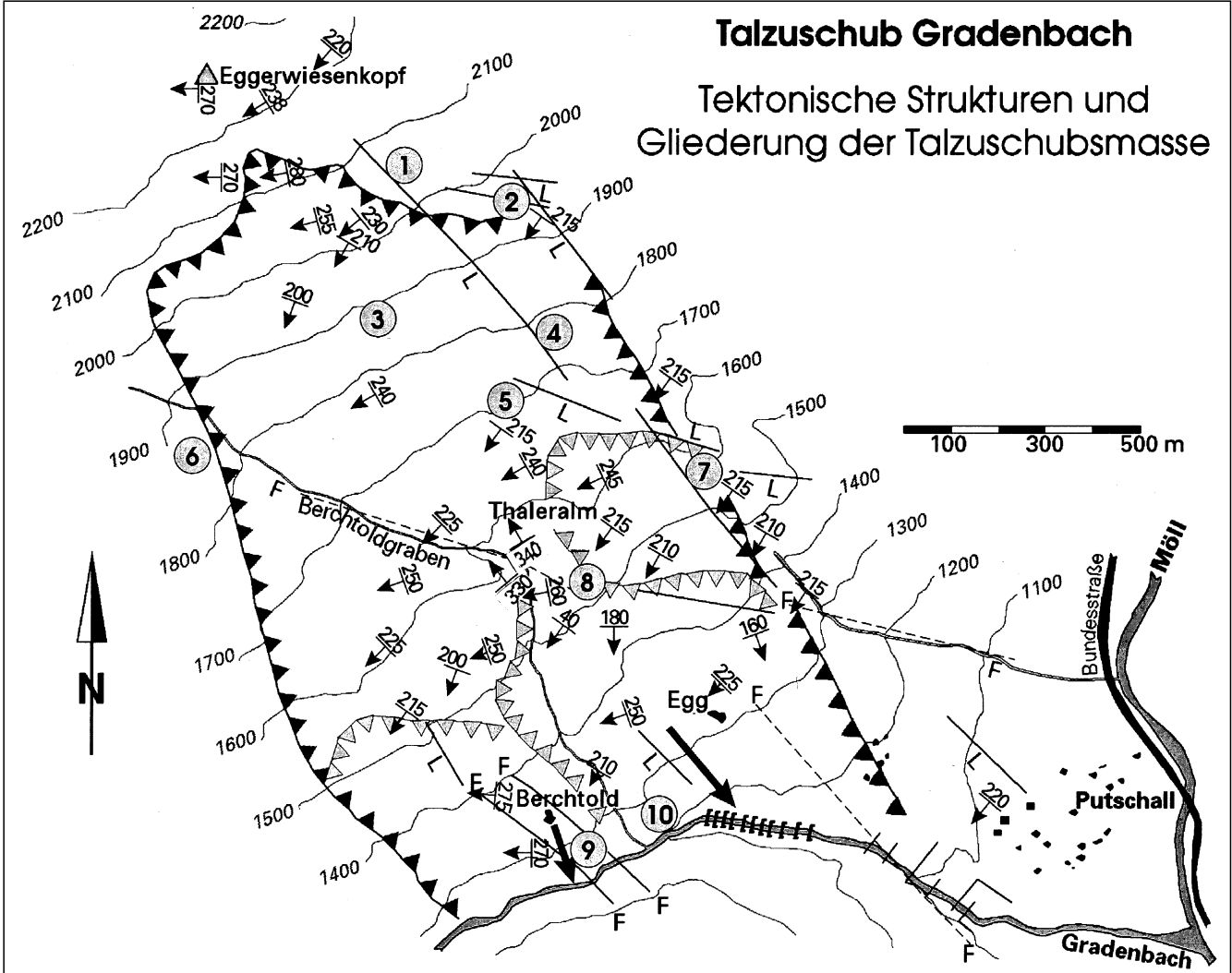
Der Bereich oberhalb der Hauptabrisskante hat nicht unmittelbar Einwirkung auf die Massenbewegung und zeichnet sich durch Spaltenbildung, Hanganrisse und Muldenzonen aus. Jedoch kann die Wasserführung in Form von Niederschlägen, die Versickerung in Kluftsystemen in den Oberhängen bzw. im Gipfelbereich des Eggerwiesenkopfes natürlich kritische Massenbewegungen der unteren Hangpartien beeinflussen oder sogar indirekt (durch die Kluftwasserführung und Hydrostatik etc.) verursachen (Bewegungen im cm-Bereich). Diese Zone zeichnet sich durch Mulden aus, in denen die einzelnen Bewegungen in Form von Aufreißen des Gesteins durch Spalten entstehen. Da die Spaltenbildung (= Hohlräume), die vor allem an Kluftflächen auftritt, also Volumsverluste zeigt, an anderen Hangabschnitten wieder Volumszuwächse bringt, kommt es im Gestein zu verschiedenen hoher Spannung. Die Veränderung dieses Volumens macht sich auch durch die Zurückverlegung der Hauptabrisskante bemerkbar.

Zone 2: Hauptabrisskante

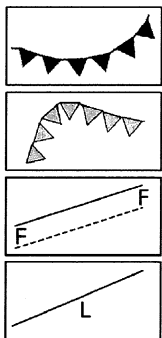
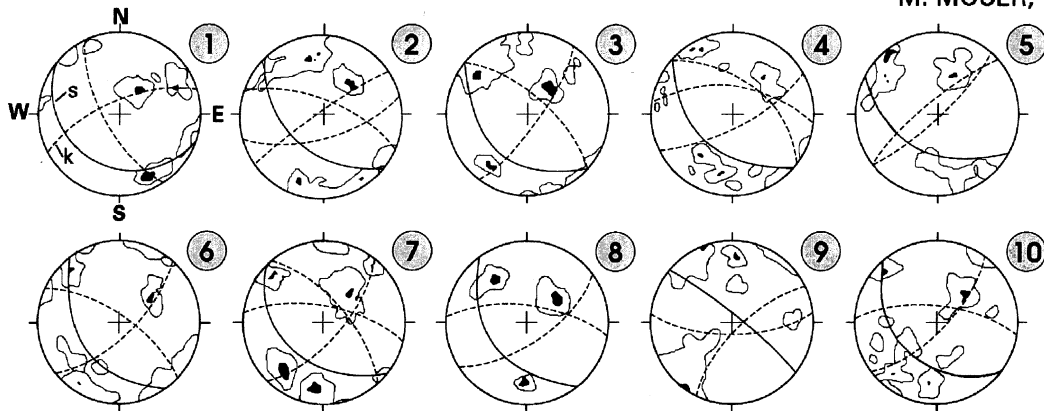
Durch die Volumsveränderung sowie durch besonders hohe Spannung im Gestein kommt es zum völligen Zerfall des Gesteins (Verlust der Kohäsion) oder zur Blockzerlegung, beide Vorgänge enden in einem 40 m hohen Steilabfall – Bruchgleiten.

Talzus Schub Gradenbach

Tektonische Strukturen und Gliederung der Talzus Schubsmasse



M. MOSER, Wien 1983

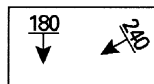


1 Hauptabriszkante (auskartiert/vermutet)

2 zusammenhängende Gleitkörper innerhalb der Talzus Schubsmasse

3 Störung (kartiert/vermutet)

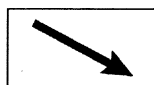
4 Lination im Luftbildbereich



5 Einfallsrichtungen der Schieferungsflächen



6 Lagenkugeldarstellungen der Poldichtevertellung und Großkreisprojektion von Schieferungs- und Klufflächen (untere Lagenkugel), s = Schieferungsflächen, k = Klufflächen, 2 % Isolinien und Maximum



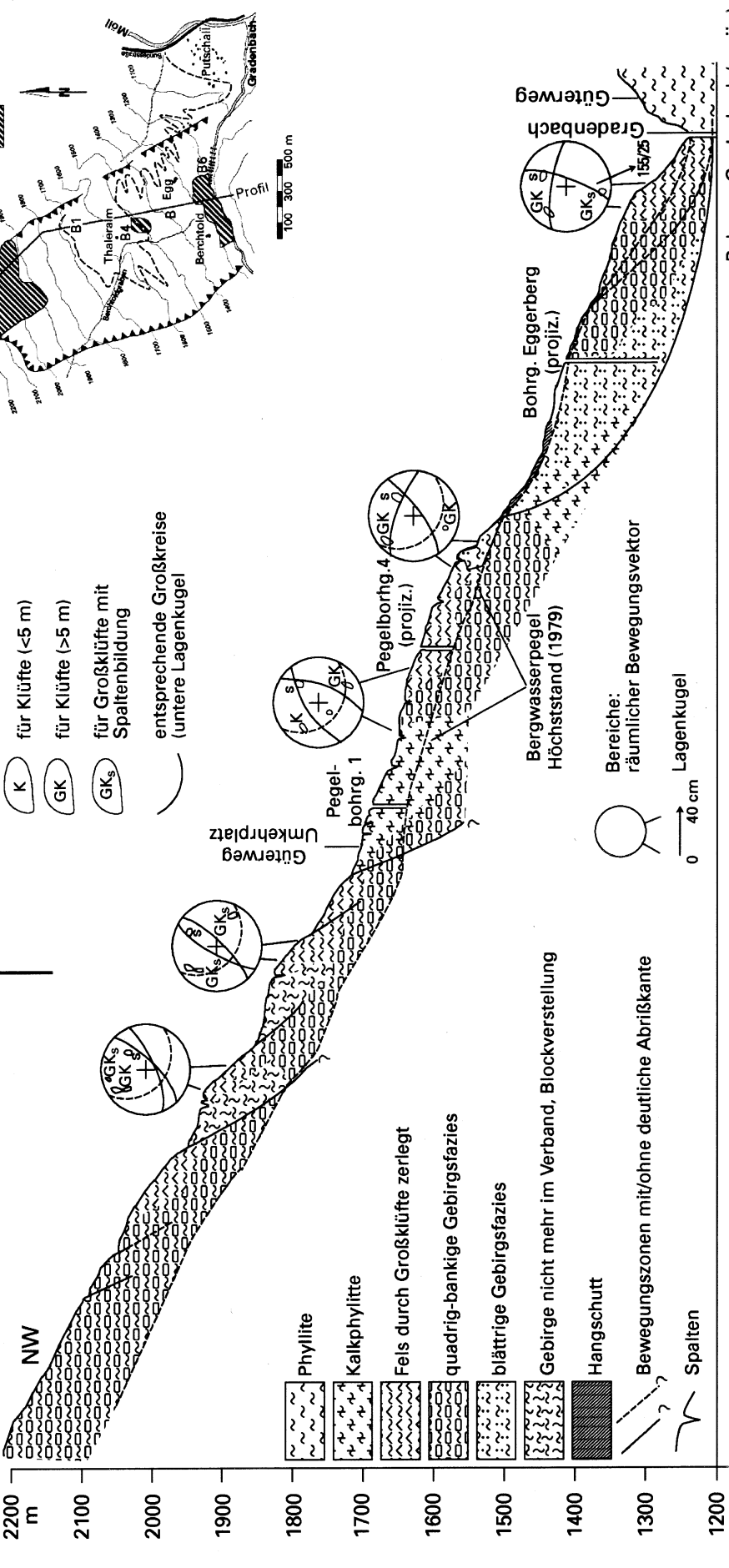
7 Bewegungsrichtung für verschiedene Gleitkörper an der Talzus Schubsstirn (3, 4 und 6 teilweise nach STOLL, 1982)

Abb. 9.

Tektonische Strukturen und Gliederung der Talzus Schubsmasse.

Talzuschub Gradenbach

Edgerwiesenkopf
NE - Graal



Messungen: Oktober 1975 bis April 1977

M. MOSER, Graz 1988

Abb. 10. Profil durch den Talzuschub Gradenbach.

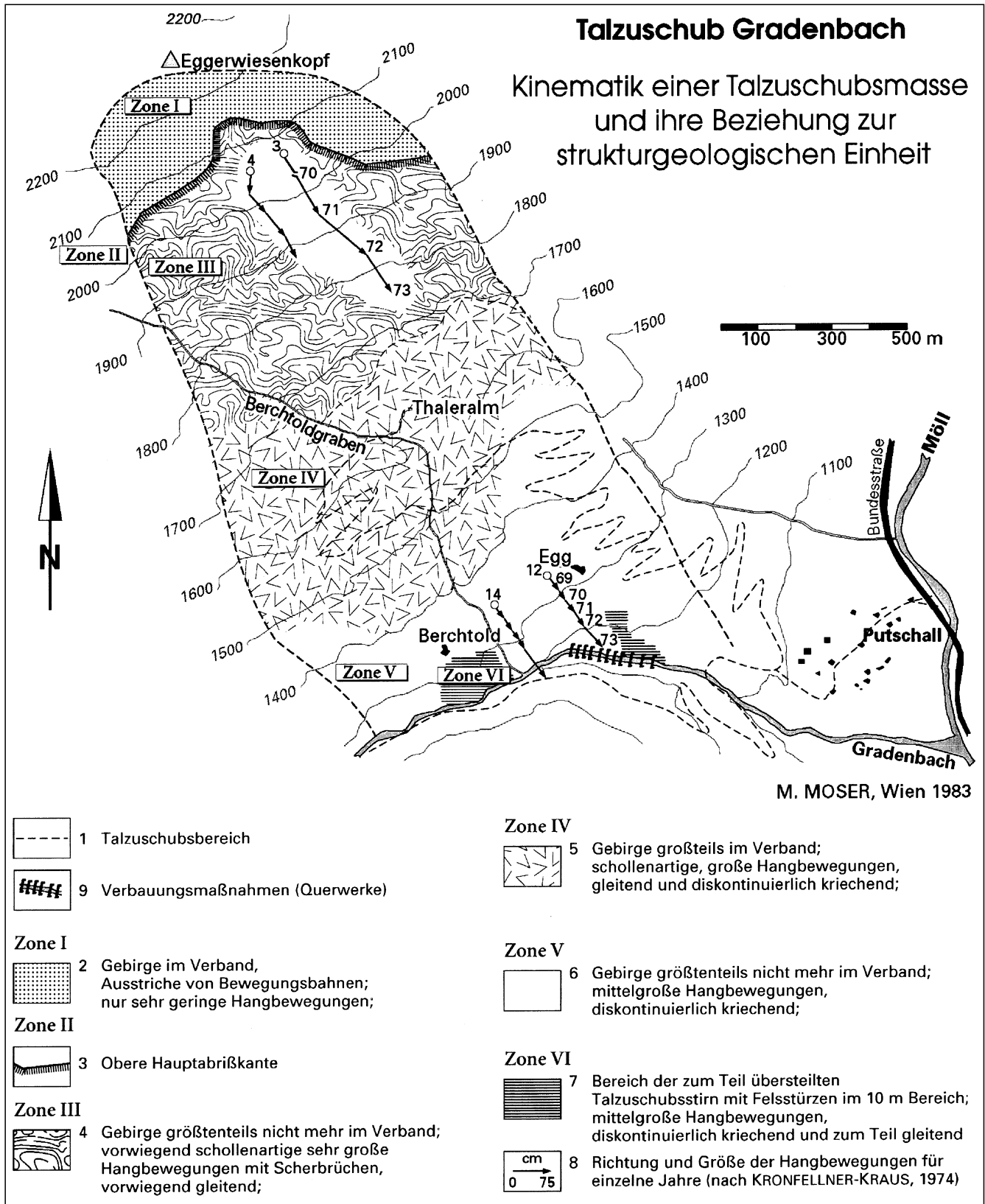


Abb. 11.

Kinematik einer Talzuschubsmasse und ihre Beziehungen zu strukturgeologischen Einheiten.

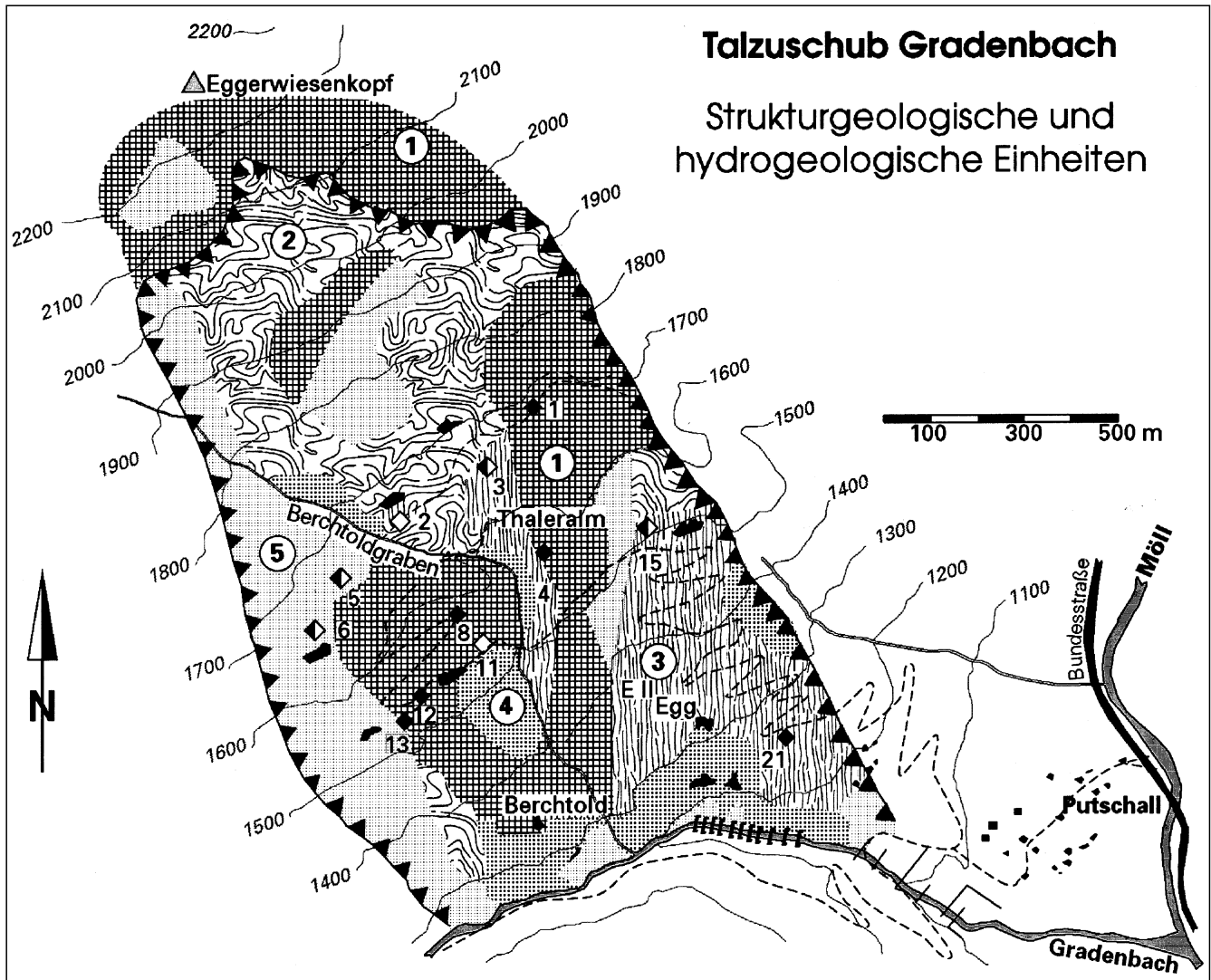
Zone 3: Bereiche unterhalb der Hauptabrisškante

In diesem Bereich wurden die größten Bewegungsparameter (Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit etc.) gemessen. Besonders zu erwähnen wären die hangauswärts fallenden Schicht- und Schieferungsflächen, die den Gleitflächen entsprechen. Es kommt je nach Gesteinstyp zur Blockzerlegung, die noch eine gewisse Einregelung im

Gefüge des Hanges aufweist. Weiters bildet sich Schollenblockwerk, das blättrig zerbricht und zerfällt (Betrag/Jahr 50–60 cm).



Zone 4: Mittlerer Bereich des Talzuschubes

Quadrig-bankige Gebirgsfazies: Diese Zone ist besonders durch Spaltenbildungen bis zu 5 m, Wasseraufnah-








M. MOSER, Graz 1988, vereinfacht von H. GOTTSCHLING

a) Wasseraufnahmefähigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit groß

-  Gebirge im Verband quadrig-bankige Gebirgsfazies, Ausstriche von Bewegungs-zonen, teilweise starke Zerlegung durch Spaltensysteme
-  Gebirge nicht mehr im Verband, Großblockverstellung

b) Wasseraufnahmefähigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit klein

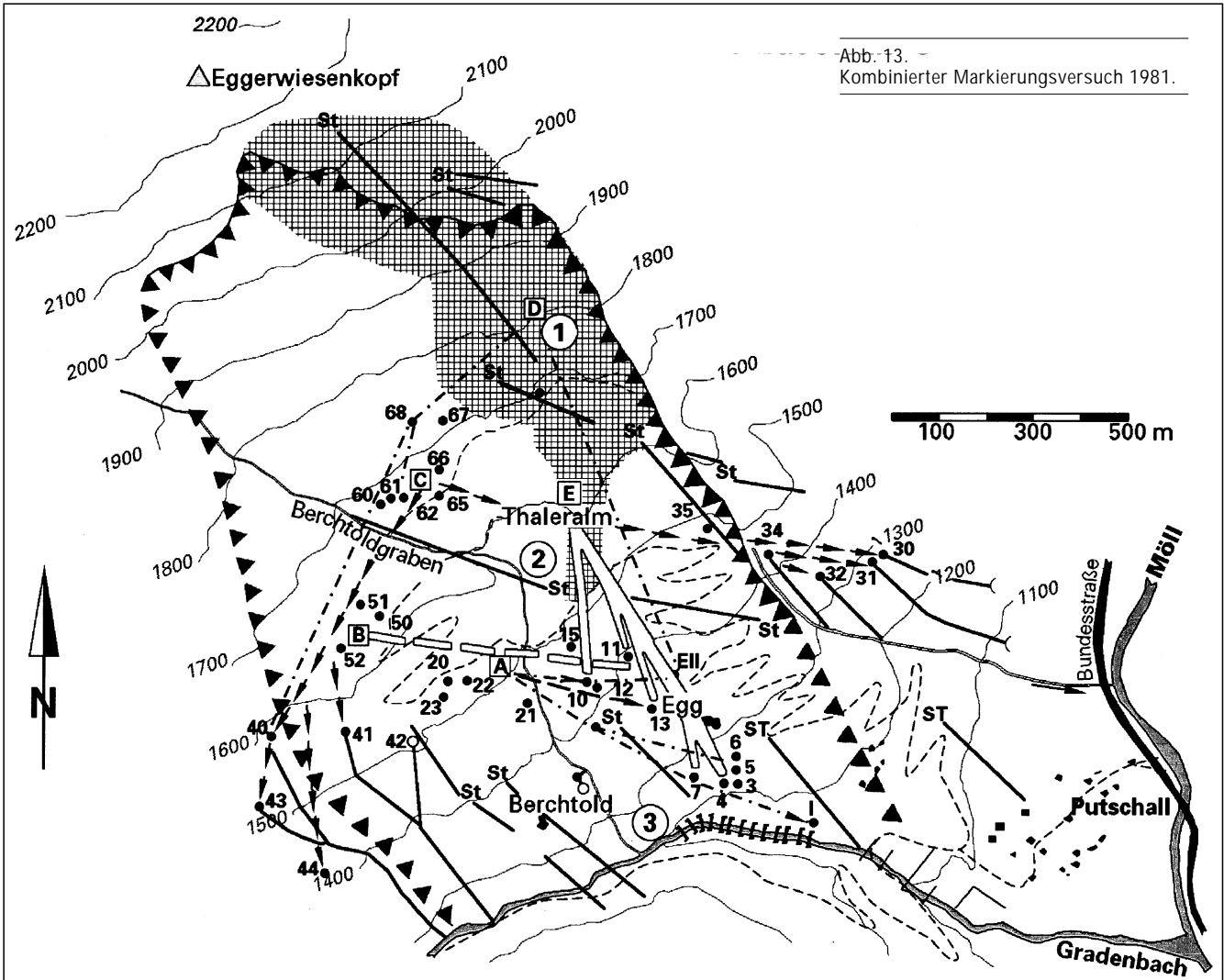
-  Gebirge nicht mehr im Verband, blättrige Gebirgsfazies
-  Talzuschubsstirn, bedingt durch die Versteilung, Ablösen von mächtigen Felspartien; untergeordnet übersteilte Gerinnehängen
-  mächtige Lockerüberlagerungen
-  Hauptabrißkante
-  Hauptquellhorizonte

Bergwasserspiegel

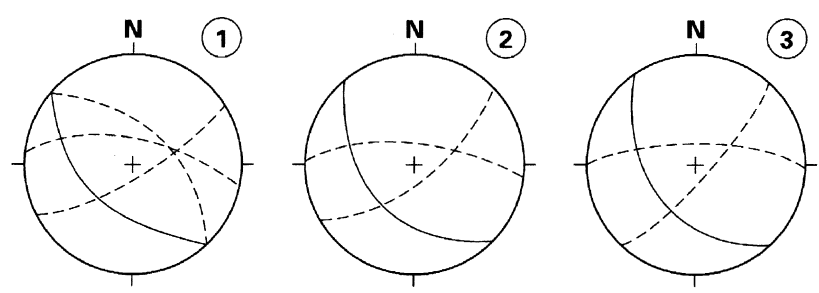
-  sehr tiefliegend > 40 m
-  tiefliegend 40 - 15 m
-  seichtliegend < 15 m

Abb. 12. Strukturgeologische und hydrogeologische Einheiten.

Abb. 13. —
Kombinierter Markierungsversuch 1981.



M. MOSER, Graz 1988



Kombinierter Markierungsversuch 1981

| Eingabestelle | Nachgewiesene Verbindungen |
|--------------------------------|----------------------------|
| A Erosin FB | ----- |
| B Rhodamin B | □ □ □ |
| C Uranin AP | ----- |
| D Amidorhodamin G extra | → → → → |
| E Kalisal | ----- |
| ● Beobachtungsstelle | |

Gliederung der Talzuschubsmasse

| Tektonische Strukturen | |
|------------------------|--|
| | Begrenzung des Talzuschubs, kartiert/vermutet |
| | Spaltenzonen |
| | Großkreisprojektion der Trennflächenmaxima (untere Halbkugel) s = Schieferungsfläche, k = Kluftfläche |
| | Störungen, Lineation |

mefähigkeit und Durchlässigkeit gekennzeichnet. Die Bewegung weist geringere Beträge als in der Zone 3 auf, die Zerlegung und Zergleitung in Blockwerk durch die Hangbewegung ist sehr groß. Großschollen werden durch ac-Klüfte, Scherklüfte und Störungen zerlegt (Betrag: bis 40 cm/Jahr).

Die feinblättrig-kleinschuppige Gebirgsfazies, stark durchbewegte Phyllitserien, verformt sich bruchlos.

Zonen 5 und 6: Talzuschubsstirn sensu latu

Westlicher Bereich: Diese Zone erstreckt sich vom Berchtholdgraben westwärts, die Deformation reicht über den Bruch verschiedener Phyllitpakete bis zur plastischen Verformung. Es treten Mylonitzonen auf, Schieferungs- und Klufflächen sind nicht immer leicht voneinander zu unterscheiden.

Der mittlere Bereich wird östlich von Kalkphylliten und westlich von Serizitquarzphylliten gebildet. Er stellt die eigentliche Zone des unmittelbaren Steilabbruchs bis 80 m, der Talzuschubsstirn sensu stricto zum Gradenbach dar. Aufgrund der übersteilten Hangpartien kommt es zum Abgleiten von Grobblockwerk, das für die Sperrungen im Gradenbach immer eine Gefahr darstellt. In diesem Bereich kann der stark durchbewegte Phyllitverband durch Gleitungen völlig zerbrechen und in Phyllitblättchen zerfallen.

Der östliche Bereich der Kalkphyllite ist in feinblättrig-kleinschuppiger Gebirgsfazies ausgebildet. Die Böschungsanrisse zum Gradenbach sind in diesem Bereich viel flacher als jene im mittleren und westlichen Teil der Talzuschubsstirn (Betrag/Jahr von 31–9 cm).

Aufgrund der Messergebnisse dürfte sich die Talzuschubsstirn in Groß- und Teilschollen auflösen, die in Lockermaterial eingegliedert sind. Es treten in den Monaten Juni bis November durch den erhöhten Bergwasserspiegel die stärksten Bewegungsparameter auf, zurückzuführen auf die starke Schneeschmelze und Starkniederschläge im Sommer. In den Wintermonaten nehmen diese wieder ab, sodass der Hang scheinbar zur Ruhe kommt.

Eine weitere Publikation verfassten M. MOSER & J. KIEFER über die hydrogeologischen Verhältnisse und ihre Beziehung zur Kinematik im Bereich der Talzuschubsmasse Gradenbach (Graz 1988).

In der vorangegangenen und in dieser wissenschaftlichen Arbeit hatte Prof. MOSER die struktureologischen Einheiten (Gebirgsfazies) nach L. MÜLLER (Der Felsbau, 1963) verwendet und den Gradenbach entsprechend gegliedert.

Von den Quellen wurden Proben entnommen und auf ihre physikalisch- und hydrochemischen Eigenschaften untersucht. Neben Schüttungsmessungen, pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit und Temperatur ist auch der Gesamtchemismus des Quellwassers bestimmt worden. Dabei konnte der Talzuschub in vier Bergwasserbereiche unterteilt werden.

Bezirk I: geringe Gesamtmineralisation (max. 3 mval/l); vorherrschendes Kation: Ca^{++} (max. 1 mval/l); vorherrschendes Anion: HCO_3^- (max. 1 mval/l); Kieselsäuregehalt: max. 7 mg/l.
Bemerkung: Das Wasser stammt aus der diaphthoritischen Basis des Altkristallins.

Bezirk II: Gesamtmineralisation max. 10 mval/l; vorherrschendes Kation: Ca^{++} (max. 5 mval/l); vorherrschende Anionen: HCO_3^- , SO_4^{--}
Bemerkung: Das austretende Wasser entstammt gut durchlässigen Bereichen mit

hauptsächlich Glimmer-Quarz- und Chloritphylliten.

Bezirk III: Gesamtmineralisation max. 22 mval/l; vorherrschendes Kation: Ca^{++} (max. 10 mval/l); vorherrschende Anionen: HCO_3^- , SO_4^{--} ; Kieselsäuregehalt: max. 7 mg/l.

Bemerkung: Das Wasser tritt aus Kalkphylliten mit Marmor- und Gipseinschaltungen im östlichen Teil des Talzuschubs aus.

Bezirk IV: Gesamtmineralisation max. 10 mval/l; vorherrschendes Kation: Ca^{++} (max. 4 mval/l); vorherrschende Anionen: HCO_3^- , 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.

Besonders hervorzuheben wäre die Übereinstimmung des Gesamtchemismus der Quellen im Bereich II und IV, so die Angaben Prof. MOSERS. Dies ist auf die Tektonik des Gleithanges, Störungen und Klüfte zurückzuführen, die in ESE-Richtung verlaufen, die im Bezirk II vermutet werden, im Bezirk IV deutlich auskartieren sind und austreten. Der Bezirk III ist von diesem Bergwasser, das im Bezirk II in größere Tiefe absinkt, ausgenommen. Weiters sind Markierungsversuche mit verschiedenen Fluoreszenzfarbstoffen durchgeführt worden. Als Ergänzung dazu wurde Kalidüngesalz (wie schon die Professoren ZOJER und ZÖTL verwendet haben) für seichtliegende Bergwässer angewandt. Die Einspeisepunkte E 1 und E 2 von ZOJER und ZÖTL sind ebenfalls zu Vergleichszwecken beprobt worden. Bedeutungsvoll erscheinen die Ergebnisse des Tracers Uranin (Einspeisepunkt C, Bereich II und IV). Diese Wässer treten erst wieder in Quellen am Weidenbach in ESE-Richtung aus. Eosin wurde westlich des Berchtholdgrabens eingespeist und brachte gute Erfolge in ESE-Richtung einige Zehnermeter hangabwärts. Amidorhodamin wurde nur in Spuren in Quellen wieder gefunden, das Wasser dürfte in größere Tiefen abgesunken sein. Rhodamin trat nur an Quellen von Egg 2 aus. Kalidüngesalz wurde im Osten eingespeist, verteilte sich in südlicher und südsüdöstlicher Richtung bis zur Stirn des Talzuschubs. Schließlich wurden noch die drei wichtigsten Faktoren Niederschlag, Bergwasserspiegel und Hangbewegung zueinander in Beziehung gebracht.

Die FBVA führte, wie schon anfangs erwähnt, etwa seit 1970 Niederschlagsmessungen durch. Aufgrund der Piezometermessungen (1978–1980, Forsttechnischer Dienst Villach) kann der Bergwasserspiegel als sehr tief liegend (tiefer als 40 m) und als tief liegend (25–40 m) bezeichnet werden. Das seicht liegende Bergwasser ist nur auf Niederschläge zurückzuführen. Für die Gleitbewegungen des Hanges ist eine Niederschlagssumme von mindestens 500 mm notwendig (KRONFELLNER-KRAUS), dadurch ergibt sich auch nachweislich ein Ansteigen des Bergwasserhaushaltes in der ganzen Talzuschubsmasse. Kluffwasserschübe bzw. der Porenwasserdruck sind dann zu verzeichnen, wenn der Zufluss (vom Niederschlag ausgehend) des Sickerwassers größer ist als das ursprüngliche Kluffwasser. Es kommt daher zu einem Auseinandergleiten des Kluffverbandes, der bis zur Spaltenbildung führen kann. Die Hangbewegungen durch den Anstieg des Bergwasserspiegels (besonders bei Höchstständen) zeigten sich deutlich an den Drahtextensometermessungen. Die Hanggleitung setzt in diesem Messbereich nahe der Talzuschubsstirn mit Verzögerung (1–2 Monate) ein und lässt sich ungefähr bis November

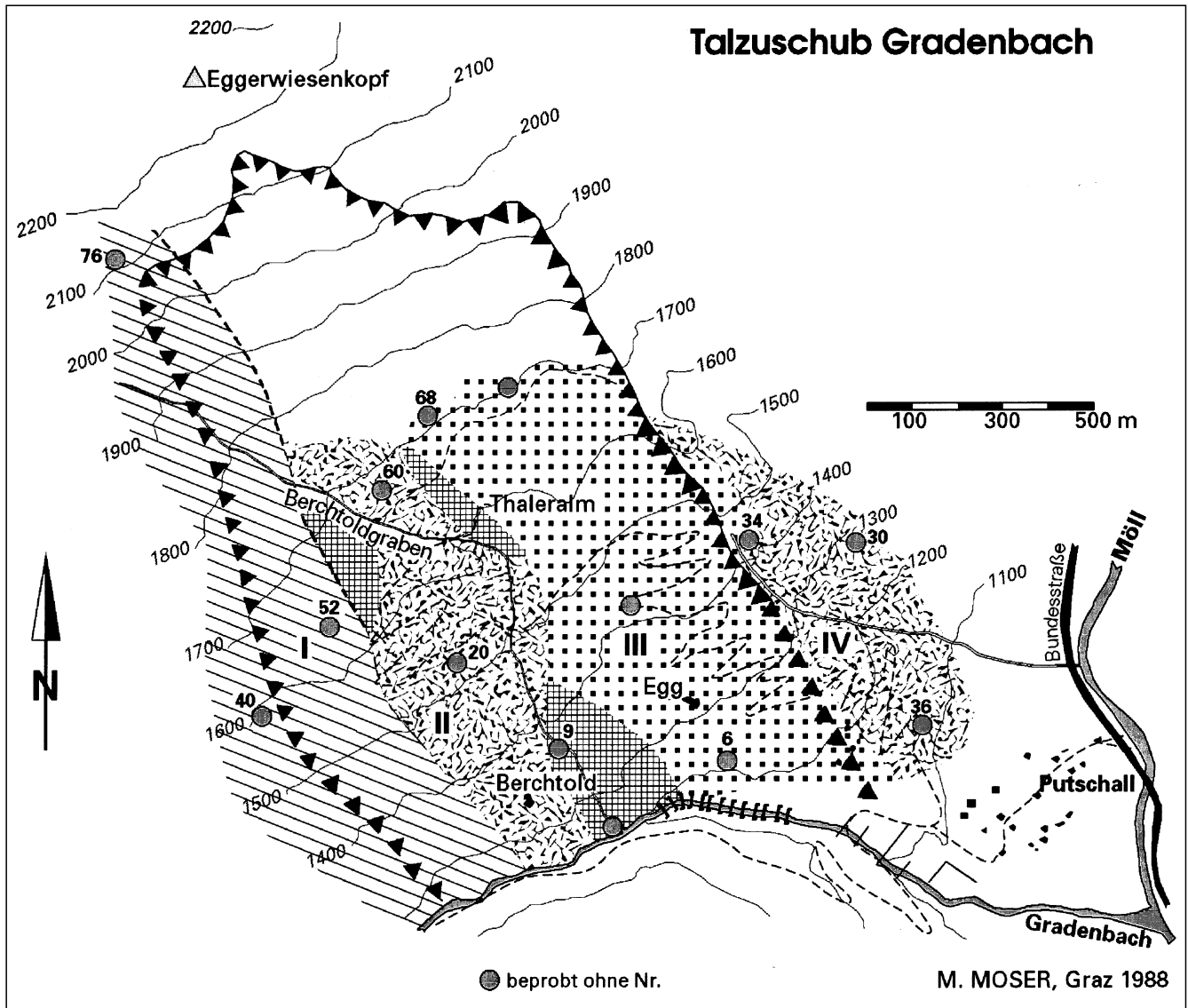
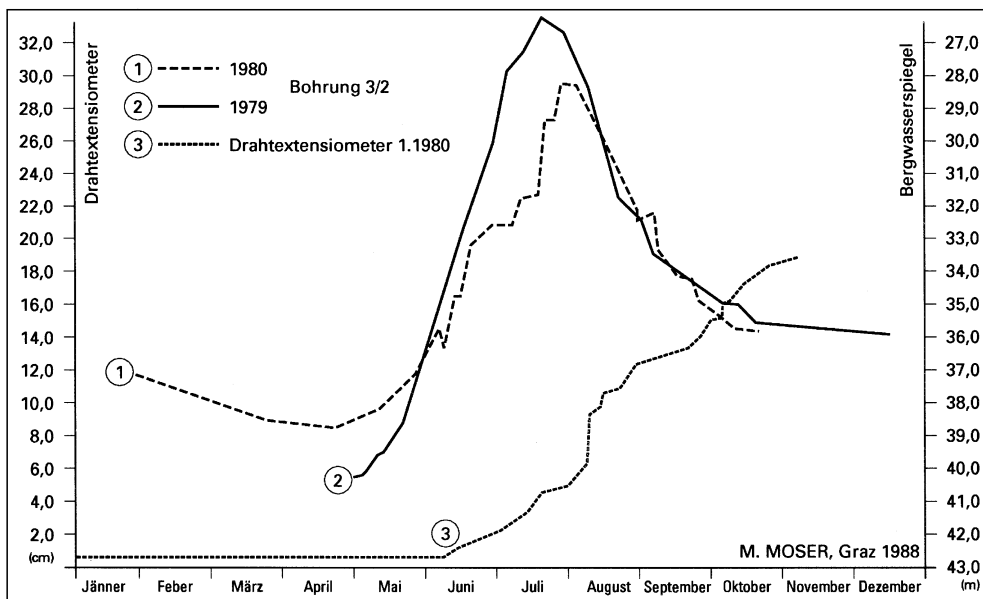


Abb. 14. Hydrochemische Beschaffenheit repräsentativer Quellen, chemische Zonierung des Bergwassers.

verfolgen. Die Bewegung des Talzuschubs ist immer an die Sommermonate mit vorangegangener Schneeschmelze und erheblichen Niederschlägen gebunden

und lässt sich nicht als gleichmäßige, gleitende Bewegung deuten, sondern erfolgt in gewissen Schüben je nach Bergwasserstand. Die Bergwässer bzw. die Entwässerungsvorgänge scheinen



besonders großen Einfluss auf die Grenzbereiche zwischen blockartig zerlegter und feinblättrig zerscherter Gebirgsfazies zu haben.

Abb. 15. Korrelation zwischen dem Ansteigen des Bergwasserspiegels und dem Verlauf der Hangbewegungen.

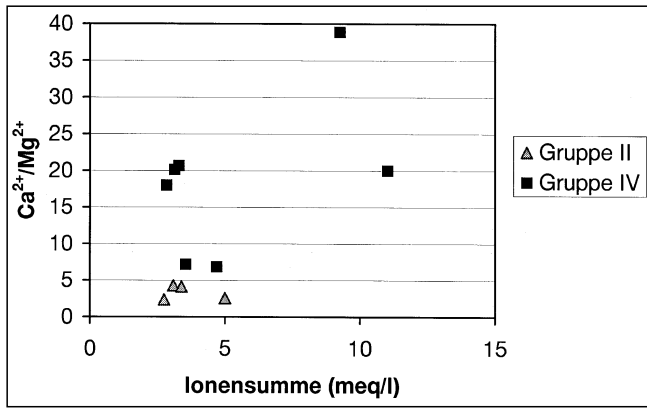


Abb. 16. Ionensumme gegen Ca²⁺/Mg²⁺-Verhältnis (bezogen auf eq) der Gruppen II und IV (G. SCHUBERT, 1995).

3. Beurteilung des Talzuschubes Gradenbach

Im Bereich des Gradenbaches stehen bis zur Sperre 20 wechsellagernde Schwarz- und Serizitphyllite an, die Verstellung bzw. Schollenbildung aufzuweisen haben. Ihre Lagerungsverhältnisse entsprechen nicht denen der Matreier Zone, sondern ihr Fallen ist in den Berg hinein gerichtet, somit handelt es sich um bewegtes Gesteinsmaterial des Talzuschubes. Außerdem ist dieser Phyllithang mit Erlengebüsch bewachsen, es treten vermehrt seicht liegende Hangwässer aus. Die Phyllite ziehen hangaufwärts im Graben unterhalb des verlassenen Gehöftes Egg und enden knapp darunter. Daran schließt nach den dünnbankigen-dunkelgrauen Phylliten



Abb. 17. In Gleitung befindliche dunkle Serizitphyllite.

ein mächtiger Zug kalkhaltiger, dickbankiger Phyllite an, die ein Streichen NW–SE und ein Fallen nach SW haben, die übliche Lagerung der Matreierzone in diesem Gebiet. Da die bewegten und zerlegten, kalkfreien Phyllite mit den Kalkphylliten keinen zusammenhängenden Gesteinskomplex bilden, keine gemeinsame Lagerung aufzuweisen haben und diese beiden Gesteine miteinander nicht im Verband stehen, ist ein seitliches Nachgeben und Brechen der Kalkphyllite anzunehmen. Dies führt zu den sichtbaren Beschädigungen der Sperren 9 bis 21. Je mehr man sich dem Berchtoldbach nähert, umso dünnbankiger, verfallener und serizitischer wird der Phyllitkomplex. Es wurden Lineationen in diesem Bereich gemessen, die die gleichen Werte haben wie am Triangulierungspunkt ganz im Osten der Massenbewegung.

An der orographisch rechten Seite des Berchtoldbaches sind zwei Störungen, die NNW bzw. WNW ziehen und sich durch die dazugehörigen Mylonitzonen ausweisen (bereits HAUSLER hatte diese Störungen auf seiner geologischen Karte ausgewiesen), zu erkennen.

Im Talzuschubsbereich sind nord-nordwestliche bzw. west-nordwestliche Verwerfungen mit Störungen im ungefähr rechten Winkel darauf besonders häufig. Die Zurückverlegung der Hangabrissskante z.B. beim verlassenen Gehöft Berchtold ist nicht auf den Talzuschub zurückzuführen, sondern durch die Seitenerosion (V-Tal) des Gradenbaches bedingt. Die obersten 20–30 m der Hangböschung im Gradenbach (unterhalb der Hangabrissskante), sind durch Hakenwerfen, Verstellungen und Schollenbildungen gekennzeichnet, sozusagen die Tal-

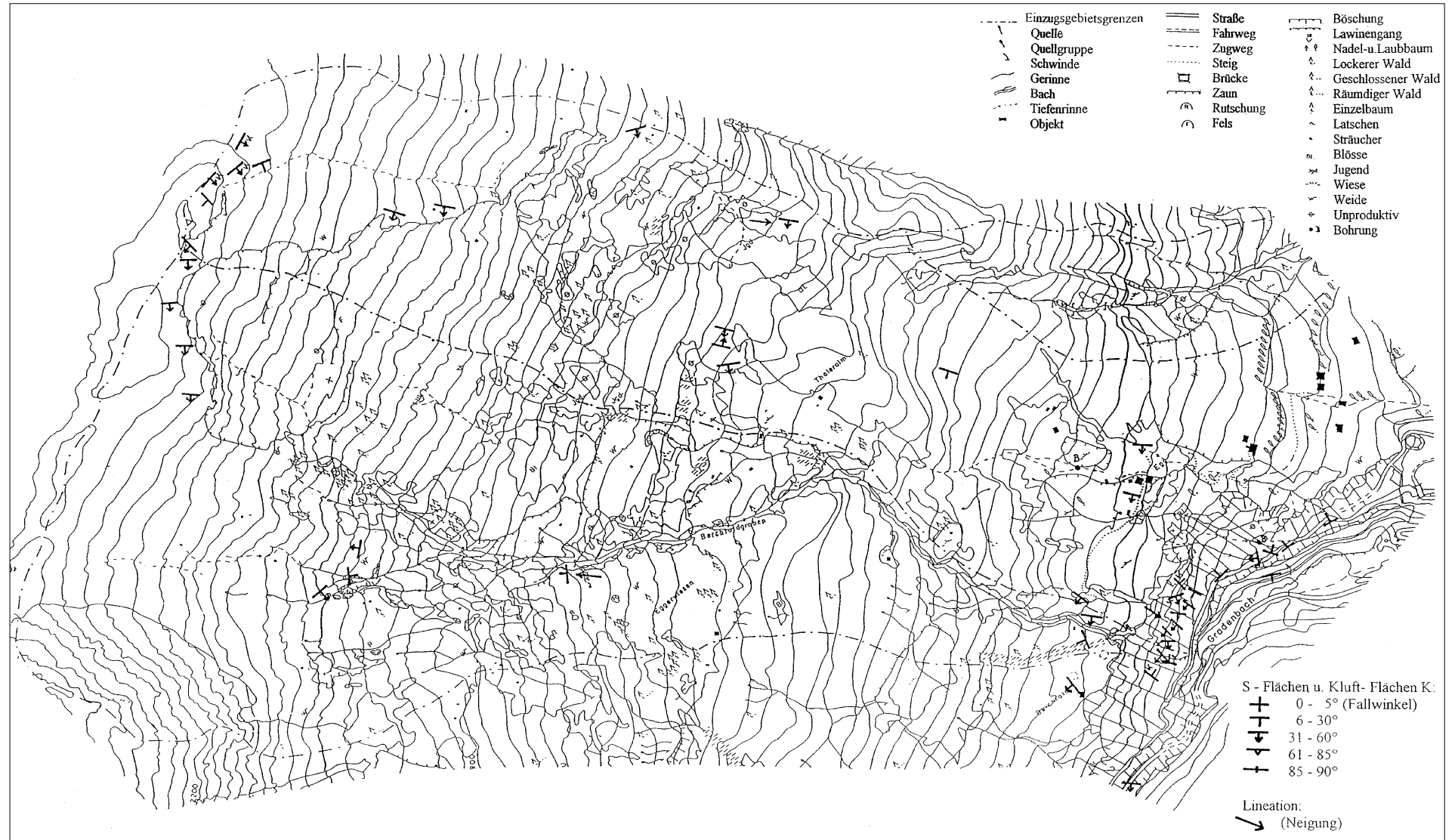


Abb. 18.
Übersichtsskizze der Strukturen im Talzusub Gradenbach (FBVA 1967/68; Ergänzungen 1977/78; Messungen von H. GOTTSCHLING, 1995).

Abb. 19.
Bruchgefährdete Kalkphyllite.

zuschubsstirn der Massenbewegungen (siehe auch Gutachten HORNINGER, HÄUSLER). Unterhalb dieses Abschnittes konnte die normale Lagerung der Matreierzone sowohl an der orographisch rechten wie linken Seite des Gradenbaches festgestellt werden.

Mir erscheint es aus diesen eben genannten Gründen sehr zweifelhaft, dass, wie MOSER behauptet, eine Gleitfläche von der Bohrung Eggerberg (Rotationsgleitfläche) von etwa 120 m Tiefgang vorliegt und diese bis 30 m unter den Gradenbach streicht. Sollte das der Fall sein, müsste der linke, „steil gleitende“ Hangabschnitt schon längst auf den Gegenhang aufgefahren sein. Man muss auch bedenken, dass bei andauernden Regenfällen eine große Erosionsanfälligkeit des ganzen Gradenbacheinschnittes bzw. eine besondere Labilität der obersten 30 m des Hanges (Talzuschubsstirn) gegeben ist (siehe auch Geologie und Bauwesen, Jg. 19, H. 2,



Abb. 20.
Blick auf die Stirn des Talzuschubes.



1952, Begriffsdefinition „Talzuschub“ von J. STINY).

Auf dem Weg zum verlassenen Gehöft Berchtold und dann weiter auf die Hasgenalm zeigt sich nordwestliches Einfallen. Dies ist auf das Störungssystem, das vom Gradenbach ausgeht und weiter nach Nordwesten zieht, zurückzuführen.

Die Bäche vor der Hasgenalm waren ausgetrocknet, in einem fand sich Großblockwerk von Dolomitmarmor. Diese Hangbereiche scheinen genug seichtgründige Wasser gespeichert zu haben, dass auf ihnen trotz kurz andauernder Trockenheit Erlengebüsch gut gedeiht.

Abb. 21.
Hakenwerfen im oberen Böschungsanschnitt.



An verschiedenen Punkten des Güterweges wie beim Triangulierungspunkt E am Ostrand der Massenbewegung – Kalkmarmor (anstehend?) – erfolgten Messungen, die normale Lagerung sowie Lineationen wie im Gradenbach aufweisen. Entlang des Güterweges bzw. in diesem Almbereich dürfte sich der Talzus Schub weitgehend stabilisiert haben (Quellableitungen, besonders aber durch die geringe Hängigkeit dieser Hangabschnitte). Da monatliche Niederschlagssummen und Jahresniederschlagssummen an der Messstelle Berchtoldgraben verglichen wurden, kann festgestellt werden, dass es im Zeitraum der Messtätigkeit von 1977–1994 zwar Minimal- und Maximalsummen gegeben hat, dass sich aber die Niederschlagstätigkeit im Allgemeinen nicht wesentlich verändert hat. Die Wildbachverbauung Villach hat in den Jahren 1970–1986 Drainierungsarbeiten im ganzen Bereich des Talzuschubes mit einer Tiefe von maximal 2 m (Auskunft HR Dipl.-Ing. G. LUFT) durchgeführt. Seit dieser Zeit wurden keine großen Hangbewegungen mehr registriert und man kann daher annehmen, dass diese Maßnahme zu einer wesentlichen Beruhigung des Talzuschubs geführt hat. In den letzten Jahren betrug die Maximal-Niederschlagssumme im Sommerhalbjahr 1981 im Berchtoldgraben – 884 mm, die höchste Monatssumme im Mai 171,2 mm. Aus diesem Grund kann erst bei häufig auftretenden Maximal-Niederschlagssummen (Monatssummen) beurteilt werden, ob die Drainagen ihre optimale Langzeitwirkung zeigen.

Tabelle 1.
Niederschlag im Berchtoldgraben (Monatssummen in mm).

| | Mai | Juni | Sept. |
|------|---------|-------|-------|
| 1981 | 171,2 | 58,9 | 144,9 |
| 1986 | (67,2*) | 70,3 | 62,5 |
| 1990 | (37,2*) | 159,8 | 81,9 |

*) Messbeginn während des Monats, d.h. keine vergleichbaren Summen.

Im Vergleich zu den Werten im Berchtoldgraben wurden mir von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Regionalstelle Kärnten, Dr. STOCKINGER) Werte von Döllach übermittelt, die damit gut übereinstimmen.



Abb. 22.
Westlicher Teil der Talzuschubsstirn.

Tabelle 2.
Niederschlag in Döllach (Monatssummen in mm).

| | Mai | Juni | Sept. |
|------|-------|-------|-------|
| 1981 | 128,0 | 44,0 | 143,0 |
| 1986 | 67,0 | 53,0 | 61,0 |
| 1990 | 45,0 | 138,0 | 65,0 |

Die älteren Gleitungen sind durch unruhige Hangabschnitte noch sichtbar, es treten aber derzeit keinerlei neue Bodenrisse oder ähnliches auf. Im Bereich der Thaler Alm handelt es sich um eine Verebnungsfläche oder eine Erosionsmulde (nach HAUSLER um eine Glazialerosion). Die Beulung unterhalb der Alm ist als ausgeräumtes Material dieser Erosionsfläche zu deuten, das in mehreren Phasen abgeglitten ist. Nördlich der Thaler Alm findet sich eine in Bewegung befindliche Zone, die bereits der östlichen Begrenzung der Massenbewegung angehört. In diesem Bereich sind Nackentälchen ausgebildet. Den Hang aufwärts wurde ein Groß-Kalkphyllitblock, der aus normalen Lagerungsverhältnissen zum Hang gekippt ist, aber vom Hang weg zergleitet, beobachtet. Seitlich davon befindet sich eine deutlich sichtbare Zerrklüft, die von HAUSLER fälschlich als Doline gedeutet wurde.

Am Fußweg zum Eggerwiesenkopf wurden am Rande des Berchtoldgrabens dünnbankige Serizitphyllite auskartiert, die durch Verstellungen gekennzeichnet sind. Hangaufwärts führte der Weg an zwei großen Muldenzonen vorbei. Die erste Quellmulde gehört dem diaphthoritischen Kristallin, die zweite nach den Lagerungsverhältnissen serizitischen Phylliten der Matreierzone an.

Am Kamm zum Eggerwiesenkopf konnten Abrisskanten, Bergzerreißungsspalten in verschiedener Größe, sowohl in Richtung Gradenbach als auch zum Zopenitztal hin festgestellt werden. Besonders im Kammbereich fallen die Anzeichen einer tiefgreifenden Auflockerung auf, die dann unter 2300 m Höhe in beide Täler übergreift und besonders auf der gradenbachseitigen, östli-



Abb. 23.
Doppelkammbildung im Bereich des Eggerwiesenkopfes.

chen Hauptabrissskante wirksam wird. Da aber das Fallen der Gesteine nach Südwesten besonders ausgeprägt ist, sind in Richtung Zopenitztal (anstehend ein Serpentinzug) weniger Abbruchnischen und Verstellungen ausgebildet. Es handelt sich in diesem Bereich um eine Doppelkammbildung, die mit einer Lagerung von 295/35 die Verstellung in Richtung Zopenitztal eindeutig beweist. Der gesamte Talzusub ist vom Eggerwiesenkopf ins Gradenbachtal durch ein Trenngefüge, das dem Streichen und dem Fallen der Matreierzone entspricht, gekennzeichnet. Sowohl der Gesteinsabbruch im Nordwesten (30-40 m) als auch der ganze östliche Teil der Massenbewegung sind durch diese Lagerungsverhältnisse geprägt.

Im Bereich der unteren Kammre-



Abb. 24.
Bruchverformung des Quarzphyllits.





Abb. 25.
Der obere Teil des Talzuschubs Gradfenbach.

gion treten zumindest zwei verschiedene Verformungsarten, je nach Art der Gesteine (Quarzite oder Quarzphyllite) auf. Diese Steilstufe hängt unmittelbar mit dem Streichen und Fallen der Matreierzone zusammen. Die Quarzite am Nordwestrand sind bereits an die Diaphthoritzzone angeschoppt, ihre Verformungen sind bruchartig und lassen daher nur geringe Gleitvorgänge zu.

Im östlichen Teil der Massenbewegung mit den gleichen Lagerungsverhältnissen finden die Trennflächen hingegen keinerlei Halt mit den in Verbindung stehenden Gesteinsserien und zergleiten so vom Grobblockwerk bis hin zu Phyllitplatten. Dieser Phyllitkomplex zeigt aus diesen oben genannten Gründen besonders starke Auflockerung und ist durch die Verwitterung noch weiter entfestigt. Der Ostteil des Talzuschubes dehnt sich durch neu angelegte Abbruchsnischen und -kanten immer weiter in Richtung Mölltal aus.

Ein Widerspruch scheint zwischen den Aussagen von Prof. MOSER und KIEFER über die physikalischen und hydrologischen Eigenschaften der Quellwässer und den hydrochemischen Analysenwerten aus KIEFER (1983) zu bestehen. Eine Computerauswertung dieser hydrochemischen Analysen durch G. SCHUBERT (Geol. B.-A.) zeigt, dass sehr wohl deutliche Unterschiede zwischen dem Chemismus der Wässer der Gruppe II (aus Serizitphylliten – geringe Ca-Gehalte, höhere Mg-Anteile und der Gruppe IV (aus Kalkglimmerschiefern – höhere Ca-Gehalte, geringere Mg-Anteile) bestehen (siehe Abb. 16). Daher ist der Gesamtchemismus der beiden Bereiche nicht als gleichwertig anzusehen (siehe auch Ergebnisse zur Hydrogeologie von ZOJER und ZÖTL, 1975).

4. Zusammenfassende Bemerkungen

Die Massenbewegung hat bereits nach dem Abschmelzen der letzten Großvereisung (etwa vor 20.000 Jahren) eingesetzt. Es wurde durch das Abschmelzen des Gletschers der Kammbereich, in dem sich heute noch die große Abrisskante (NW) befindet, unterschritten und das Gleichgewicht in diesem Teil des Gebirges erheblich gestört. Die wesentlichsten Erkenntnisse aus der Analyse des Talzuschubs sind: Die Gleitbewegungen der Gesteine und des Lockermaterials sind hauptsächlich auf ausgiebige Schnee- und Regenfälle (500 mm nach KRONFELLNER-KRAUS) zurückzuführen. Die Gebietsbauleitung Villach hatte von 1970 bis 1980 im ganzen Talzuschubsbereich großzügige Entwässerungen (Quellfassungen etc.) durchgeführt. Diese Regulierungs- und Ableitungsmaßnahmen haben sich bewährt und man kann annehmen, dass im Falle weiterer Hanggleitungen diese von geringerem Ausmaß sein werden und die Gefahr für die Ortsansässigen in Puttschall gemindert ist.

Aufgrund des Geländebefundes, insbesondere der Gefügemessungen, vertrete ich die Ansicht, dass keine den gesamten Hangabschnitt umfassende Rotationsgleitung mit über 100 m Tiefgang vorliegt, sondern die Bewegung in bestimmten Abschnitten als Translationsvorgänge in verwitterten und aufgelockerten Gesteinsspaketen (siehe HORNINGER, HAUSLER) vor sich geht. In dieser Zone findet auch der Großteil der Wasserbewegungen statt, die je nach Menge der Weiterentwicklung der Gleitungen entspricht.

Die Fixpunkte für die Drahtextensometer und Schlauchwaagen sitzen an der Oberfläche der anstehenden Phyllite im Bereich der linksufrigen Steilwände.

Die hier registrierten Bewegungen sind meiner Meinung nach die Bewegungen steilwandparalleler Klüftkörper in Abhängigkeit von der Verwitterung. Frost-Tauwechsel und jahreszeitliche Temperaturschwankungen kommen noch hinzu und sind keinesfalls zu vernachlässigen. Sie sind weder ein Indiz für Gleitungen von 30–40 m Tiefe im Untergrund noch für eine Großgleitung in der Tiefe von über 100 m.

Keine positiven Ergebnisse brachten die Kernbohrungen der Firma Etschel & Meyer, da sie übermäßig viele Kernverluste bzw. unbefriedigende Inklinometermessungen lieferten.

Dank

Ich möchte den Herren Sektionsleiter der WLV Kärnten, HR DI G. LUFT und Gebietsbauleiter HR DI P. KOHL für die Genehmigung, Kopien aus den verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten über den Gradenbach anfertigen und für meine Publikation verwenden zu dürfen, meinem herzlichen Dank aussprechen. Weiters bin ich der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Regionalstelle Kärnten, Herrn Dr. STOCKINGER, für die Niederschlagswerte in Döllach zu Dank verpflichtet, ebenfalls Herrn Dr. G. SCHUBERT von der Geologischen Bundesanstalt in Wien für Korrekturen hydrochemischer Analysenwerte und neue Ergebnisse.

Literatur

- BRÜCKL, E., 1979: Seismische Untersuchungen im Bereich des Talzuschubes Gradenbach. – Gutachten, Hallein.
- CLAR, E. & WEISS, H.P., 1965: Erfahrungen im Talzuschub des Magnesitverbaues auf der Millstätter Alpe. – Berg- und Hüttenmänn. Mh. **110**, 19 Abb., 447–460.
- EXNER, Ch., 1962: Sonnblicklamelle und Mölltallinie. – Jb. Geol. B.-A., **105/22**, 1 Taf., 273–286, Wien.
- EXNER, Ch., 1962: Geologische Karte der Sonnblickgruppe 1 : 50.000. – Geol. B.-A. Wien.
- EXNER, Ch., 1964: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Sonnblickgruppe: Die Matreierzone in der Sadniggruppe. – Beitr. von PREY, S., Geol. B.-A. Wien.
- FRISCH, W., GOMMERING, K., KELM, U. & POPP, F., 1987: The Upper Bündner Schiefer of the Tauern Window – A Key to Understanding Eoalpine Orogenic Processes in the Eastern Alps. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, W. (Eds.): Geodynamics of the Eastern Alps, 55–69, Wien (Deuticke).
- HÄUSLER, H., 1974: Das geologische System des Talzuschubs im kritischen Gefahrenbereich des Gradenbaches als Grundlage bautechnischer Sicherungsmaßnahmen. – Gutachten, Linz/Donau.
- HORNINGER, G., 1967: Baueologische Beratung zum Vorhaben, den Gradenbach durch einen Tunnel auszuleiten. – Gutachten, Winklarn.
- HORNINGER, G. & WEISS, E.H., 1980: Engineering Geology in Mountainous Regions. – Abh. Geol. B.-A. **26**, C.G.I. 34, 14 Abb., 27–277, Wien.
- KAHLER, F., 1971: Grenzen und Möglichkeiten der Vorbeugung von Unwetterkatastrophen im alpinen Raum. – Intern. Sympos. „Interpraevent 1971“, **4**, Themenkreis 1. Geologische Gesichtspunkte, Generalbericht, 21–34, Villach, Kärnten.
- KIEFER, J., 1983: Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Bereich des Talzuschubes Gradenbach und Mittleren Zopenitzental (Oberes Mölltal/Kärnten). – Dipl.-Arbeit Univ. Karlsruhe, 202 S.
- KRONFELLNER-KRAUS, G., 1974: Die Wildbacherosion im allgemeinen und der Talzuschub im besonderen. – In: „100 Jahre Forstliche Bundesversuchsanstalt“, Mitt. d. Forstl. Bundesvers. Anst., 316–342, Wien.
- KRONFELLNER-KRAUS, G., 1980: Neue Untersuchungsergebnisse in Wildbächen. – Der Talzuschub in Abhängigkeit von Niederschlägen. Intern. Sympos. „Interpraevent 1980“, **1**, Kap. 1–5, 6 Abb., Bad Ischl, 79–192.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. & SCHAFFHAUSER, H., 1984: Schneehydrologische Untersuchungen in einem Talzuschubsgebiet in Kärnten (Österreich). – Tagungsbeitrag – Schneehydrologie, Dvkw/lufro, **7**, 373–383, Hann. Münden.
- MAZUR, W., 1982: Geotechnische und Petrographische Untersuchungen am Eggerwiesenkopf/Fleckenkopf – Bereich Talzuschub Gradenbach (Kärnten/Österreich). – Masch.-schriftl. Dipl. Arbeit, Univ. Karlsruhe.
- MOSER, M. & GLUMAC, S., 1983: Geotechnische Untersuchungen zum Massenkriechen im Fels am Beispiel des Talzuschubes Gradenbach/Kärnten. – Verh. Geol. B.-A. **3**, 209–241, Wien.
- MOSER, M. & KIEFER, J., 1988: Die hydrologischen Verhältnisse und ihre Beziehungen zur Kinematik im Bereich der Talzuschubsmasse Gradenbach/Kärnten. – Steir. Beitr. Hydrogeol. **39**, 95–115, Graz.
- MÜLLER, L., 1963: Der Felsbau. – Bd. 1, 624 S., (Enke-Verlag) Stuttgart.
- OBERHAUSER, R. et al., 1980: Der Geologische Aufbau Österreichs. – 310–311, 351–352, (Verlag Springer) Wien – New York.
- SCHMIDT, W.J., 1950, 1951, 1952: Die Matreier Zone in Österreich. – Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-nat.wiss. Kl., Abt. 1, Wien; 1. Teil: 159, 291–332, 2. Teil: 160, 2 Beil., 711–760, 3. Teil: 161, 343–371.
- SCHWARZBÖCK, H., 1968: Zur Geologie des Obersten Gradentales (Schobergruppe). – Diss. Phil. Fakultät Univ. Wien.
- STINI, J., 1941: Unsere Täler wachsen zu. – Geol. und Bauwesen, **13**, 71–79, Wien.
- STINI, J., 1952: Talzuschub und Wildbachverbauung. – Geol. und Bauwesen, **19**, 135–137, Wien.
- STOLL, R., 1981: Geologisch-Petrographische Kartierung im Bereich des unteren Gradentales und geotechnische Charakteristik des Talzuschubs Gradenbach (Kärnten/Österreich). – Masch.-schriftl. Dipl. Arbeit, 155 S., Univ. Karlsruhe.
- STRITZL, J., 1971: Exkursion Gradenbach. – Intern. Sympos. „Interpraevent 1971“, Generalberichte Teilbericht **2**, **4**, 278–279, Villach, Kärnten.
- TOLLMANN, A., 1977: Geologie von Österreich. – Bd. 1, 133–137, 345–350 (Verlag Franz Deuticke) Wien.
- TROLL, G. & HÖLZL, E., 1974: Zum Gesteinsaufbau des Altkristallins der zentralen Schobergruppe, Osttirol. – Jb. Geol. B.-A., **117**, 1–16, Wien.
- ZISCHINSKY, U., 1967: Bewegungsbilder instabiler Talflanken. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., **17**, 7 Abb., 7 Taf., 128–167, Wien.
- ZOJER, H. & ZÖTL, J., 1975: Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der Großbrutschung des Gradenbachtals bei Döllach/Kärnten. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **27**, 65–84, Graz.