

Rutschgebiet Gufler-Schluchten (Weesen, Kanton St. Gallen) : ein Kriechhang befördert sich vorübergehend zum Rutschhang

Autor(en): **Wullimann, Rudolf / Madsen, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **78 (1985)**

Heft 1

PDF erstellt am: **16.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165648>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Rutschgebiet Gufler–Schluchen (Weesen, Kanton St. Gallen)

Ein Kriechhang befördert sich vorübergehend zum Rutschhang

Von RUDOLF WULLIMANN und FRITZ MADSEN¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

In einem Bergsturzgebiet nördlich von Weesen traten im Sommer 1978 grosse Hangbewegungen beim Guflerstein in Erscheinung, nachdem in dieser Gegend, jedoch an anderen Stellen, bereits früher (1896 und 1940) ausgeprägte Bewegungen auftraten. Mit dem Ziel, den Rutschmechanismus zu erfassen und Möglichkeiten allfälliger Sicherungs- und Gegenmassnahmen abzuklären, wurden bodenmechanische und geologische Untersuchungen im Feld und im Labor sowie Berechnungen durchgeführt. Am Beispiel des Rutsches bei Weesen wird gezeigt, welche Überlegungen und Massnahmen in solchen Fällen angestellt werden bzw. in Frage kommen.

1. Einleitung

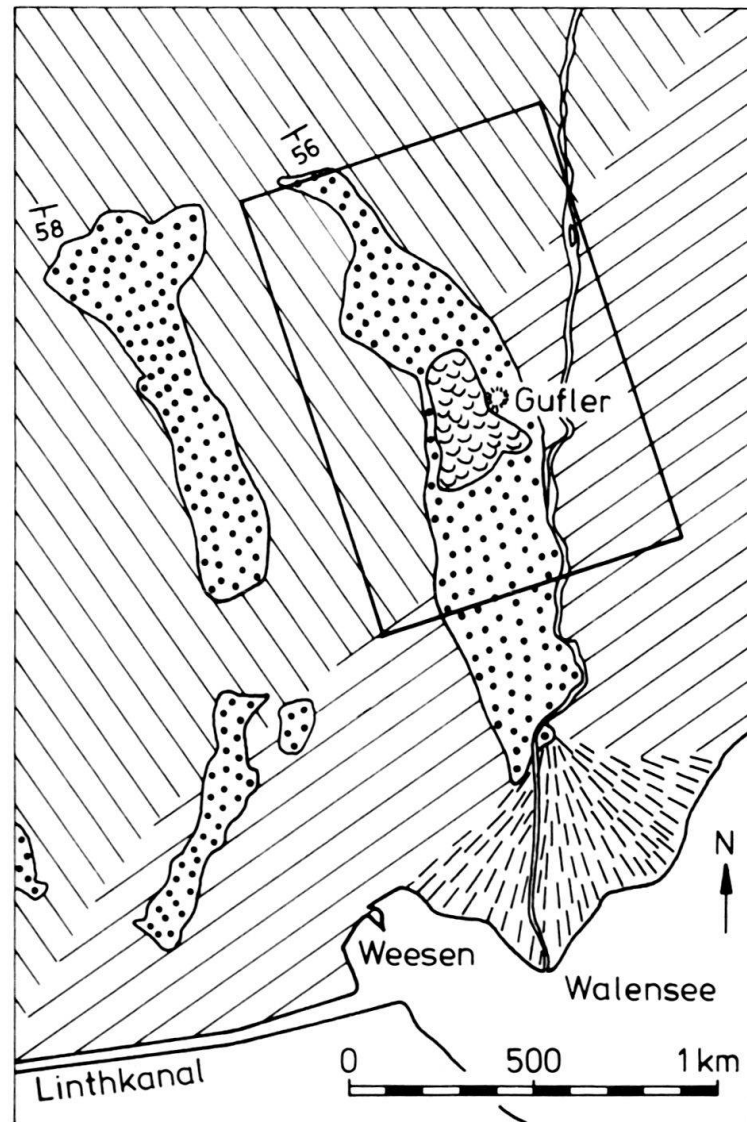
Der Rutsch im Gebiet Gufler–Schluchen oberhalb Weesen soll hier als ein Beispiel beschrieben werden, bei dem die Terrainbewegungen eines Teils eines Kriechhanges plötzlich ohne unmittelbar erkennbare Ursache stark zunehmen, um dann nach einer gewissen Zeit wieder auf einen wesentlich kleineren Wert abzuklingen. Aus den Ausführungen geht auch hervor, dass die Auswahl an zweckmässigen Gegenmassnahmen manchmal, so auch im vorliegenden Fall, doch recht beschränkt sind. Oft sind es eher korrigierende oder vorbeugende Massnahmen, mit welchen versucht wird, Schlimmeres als das bereits Eintretene zu verhindern.

Das eigentliche Rutschgebiet, welches zum Teil von Wald bedeckt ist (Fig. 2), wird von einer Strasse, die zu höher gelegenen Höfen führt, mehrfach durchquert. Diese Strasse dient als Indikator für zunehmende Bewegungen in einem relativ frühen Stadium.

2. Geologie des Rutschgebietes

Das Rutschgebiet westlich vom Gufler (Fig. 1) liegt im mittleren Teil einer nacheiszeitlichen Bergsturzmasse. Diese erstreckt sich mit einer Länge von etwa 2 km von Weesen bis zu den mit etwa 60° gegen Süden einfallenden Molasseschichten hinauf. Der Untergrund des Rutschgebietes besteht nach HERB (1962) aus den Sedimenten der subalpinen «Randflyschzone». In der westlichen Flibachzone wurden in den Bohrungen

¹⁾ Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.






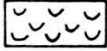
- | | |
|---|---|
|  | Subalpine Molasse |
|  | Subalpine "Randflyschzone"
und Säntisdecke |
|  | Bergsturz |
|  | Rutschung |

Fig. 1. Situation des Rutschgebietes. Eingerahmtes Gebiet = Ausschnitt für Figur 2.

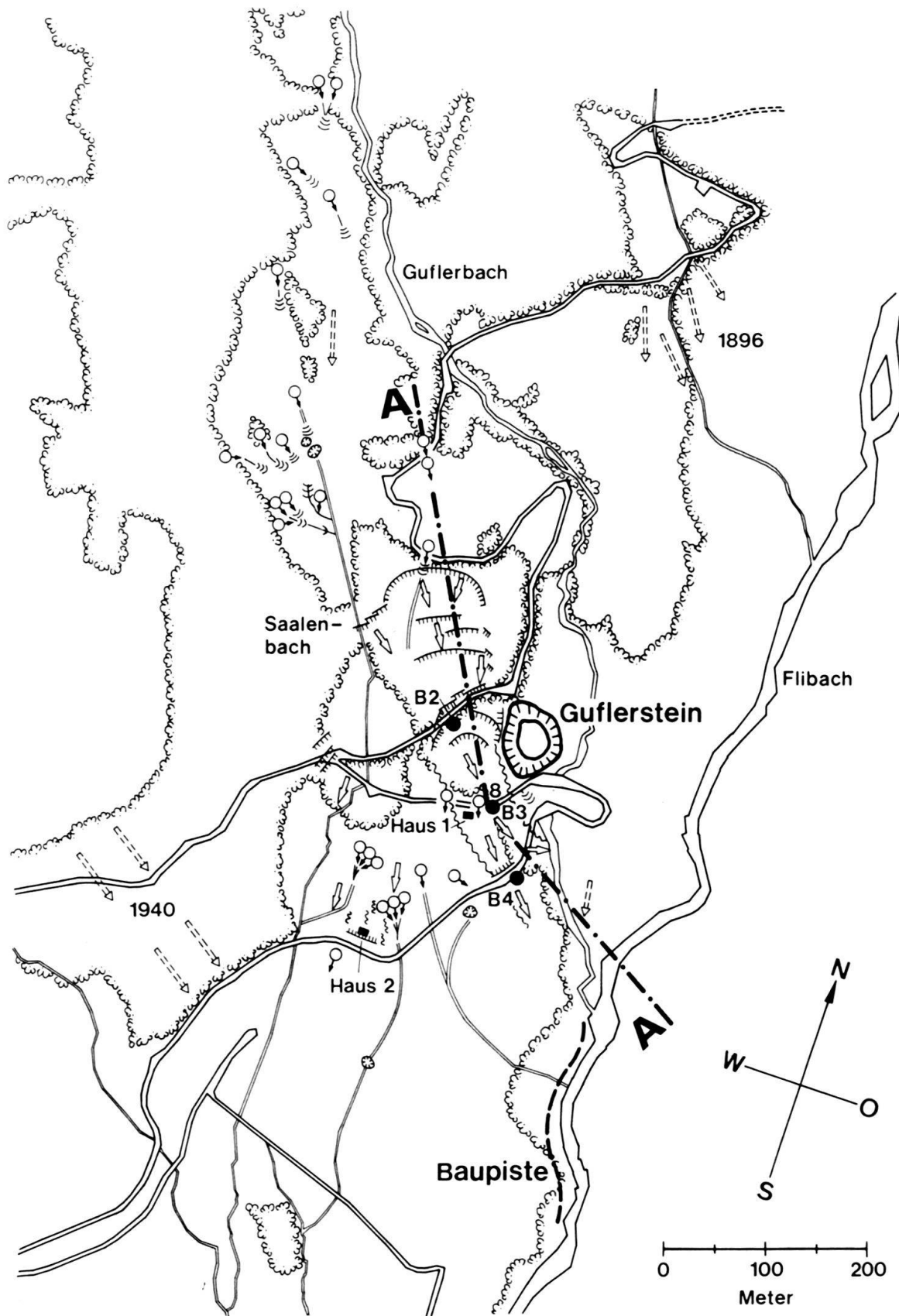


Fig. 2. Situation des Rutsches. Schnitt A-A verläuft durch das Gebiet mit den grössten Verschiebungsgeschwindigkeiten. Lage der Bohrungen B2, B3 und B4. Der Vermessungspunkt 8 liegt bei B3.

folgende Felsschichten aufgeschlossen: dünngeschichtete, steil einfallende, graue Mergel, bräunliche Globigerinenmergel und olivgrüner, zum Teil fossilreicher Nummulitenkalk.

Die Bergsturzmasse setzt sich aus Molasse- und Moränenmaterial zusammen. Besonders auffallend sind die vielen grossen Blöcke aus grobkörniger Nagelfluh. Das Gelände ist steil, stellenweise bis zu 30°, und im Wald wegen der vielen Felsblöcke schwer begehbar. Das ganze Bergsturzgebiet ist charakterisiert durch Feuchtstellen, Wasseraustritte, Versickerungsstellen, unterirdische Wasserläufe und dolinenartige Einsturzlöcher (Erdfälle) mit Durchmesser bis zu 2 m.

Rutschungen, Ufereinbrüche am Flibach und Bewegungen verschiedener Grössen sind schon von früher her bekannt. Als Beispiel sei hier lediglich die etwa 400 m nördlich des Guflersteins gelegene, von Professor ALBERT HEIM sanierte Rutschung des Jahres 1896 erwähnt (Fig. 2).

3. Ablauf der Ereignisse und Sofortmassnahmen

Anfang Juli 1978 wurden erste Anzeichen entdeckt, die auf eine verstärkte Geländebeziehung im zum Teil bewaldeten Gebiet Gufler-Schluchen (siehe Landeskarte 1:25 000, Blatt 1134, Koord. etwa 726.000/223.000, und Fig. 1 und 2) hinwiesen. Im Oktober 1978 konnten im Gelände bereits Risse von 20 bis 30 cm Breite und Absackungen bis zu 40 cm Höhe festgestellt werden. Zudem zeigten sich grosse Verschiebungen und Schäden bei Haus 1 und Haus 2.

Bauliche Eingriffe waren in der kritischen Zeit keine zu verzeichnen, welche allenfalls als auslösendes Moment hätten in Frage kommen können. Hingegen waren die Niederschläge in den Monaten Februar, März und Mai stark überdurchschnittlich. Über die Wetterverhältnisse werden im Abschnitt «Niederschläge» noch einige Bemerkungen gemacht.

Am 31. Oktober 1978 wurde eine Nullmessung an Polygonzügen durchgeführt, welche im Jahre 1933 eingemessen worden waren.

Die in dieser ersten Phase der Rutschbewegung getroffenen Sofortmassnahmen zielten darauf ab, einerseits die Gefährdung der Benutzer der Strasse, welche zu den höher gelegenen Höfen führt, auf ein Mindestmass zu reduzieren und andererseits das Wasser vom Rutschgebiet fernzuhalten bzw. Wasseraustritte zu fassen und in die Vorflut (Gufler- und Flibach) abzuleiten. Dazu wurden Bäume, die umzufallen drohten, gefällt, im Untergrund schlecht eingebundene Blöcke, die möglicherweise hätten herunterkollern können, gesprengt und Risse und Anrißstufen im Strassenbelag geschlossen bzw. ausgeglichen (siehe Fig. 3). Zur Reduktion der Wassermenge im stark durchnässten Hang wurden flexible Rohre in einer Länge von total 500 m verlegt, um das in Schächten gesammelte und aus Quellen austretende Wasser abzuleiten. Im weiteren wurden der durch das Rutschgebiet führende Saalenbach in eine abgedichtete Holzrinne geleitet und Wasserausbrüche des Guflerbaches oberhalb des Rutschgebietes durch ein neuerstelltes Wuhr verhindert.

In dieser Phase gegen Mitte Dezember 1978 hatte man den Eindruck, dass sich die Bewegungen verlangsamten würden. Dass dem nicht so war, ist aus Fig. 6 ersichtlich. Die starken Bewegungen sollten erst noch folgen.

Das Gebiet wurde intensiv überwacht. Wöchentlich wurden zwei bis drei Kontrollgänge (visuelle Überwachung), allenfalls mit Unterhaltsarbeiten verbunden, vorgenom-



Fig. 3. Wegen lokaler Instabilitäten in den Böschungen mussten Bäume gefällt und schwach eingebundene Blöcke gesprengt werden. Am oberen Bildrand Dach des Hauses 1 (Aufnahme: 7. Mai 1979). (Bild: Neg. Nr. 9/50/15A; 7. Mai 1979.)

men. Die bereits vorhandenen Messpunkte im Gelände wurden durch weitere ergänzt und geodätisch vermessen.

4. Vermessung des Rutschgebietes

Um die bereits erfolgten und neu auftretenden Verschiebungen des Geländes erfassen zu können, wurden in der zweiten Hälfte Oktober 1978 etwa 60 Beobachtungspunkte versetzt. Nach Abklärung von sicheren Ausgangspunkten für die zu messenden Polygonzüge wurde am 31. Oktober 1978 eine Nullmessung durchgeführt. Dabei wurden auch Polygon- und Grenzpunkte, welche bereits im Jahre 1933 eingemessen worden waren, mit einbezogen. Es zeigte sich, dass seit diesem Zeitpunkt Verschiebungen bis zu 2,3 m erfolgt waren, wobei selbstverständlich nichts über die Variabilität der Verschiebungsgeschwindigkeit während dieser Epoche gesagt werden kann. Um möglichst rasch ein Bild von der Ausdehnung des Rutschgebietes und der Geschwindigkeit der Verschiebungen zu erhalten, wurden die Beobachtungspunkte anfänglich alle 14 Tage eingemessen. Später, ab Mai 1979, wurden die Messintervalle stufenweise vergrößert und betragen 1980 drei Monate. In den Jahren 1981, 1982 und 1983 wurden keine Vermessungen durchgeführt. Am 12. April 1984 wurden nochmals alle noch vorhandenen Beobachtungspunkte eingemessen. Insgesamt wurden 22 Kontrollmessungen durchgeführt. Nebst dem zeitlichen Verlauf der Verschiebung, wie er anhand eines Beispiels in Figur 6 dargestellt ist, war aus den Messergebnissen auch der Umfang des in Bewegung geratenen Gebietes zu erkennen. Es bedeckt, wie aus Figuren 1 und 2 ersichtlich, eine Fläche von etwa 70 000 m². Die

Rutschmasse erstreckt sich von der Schluchenstrasse (obere Anrißstellen in Fig. 2) bei Kote 765 m ü. M. bis zum Guflerbach bei Kote 620 m ü. M. Gemäss den unterschiedlichen Verschiebungsgeschwindigkeiten wurde das Rutschgebiet in zwei Bereiche unterteilt. Der unmittelbar an den Guflerstein angrenzende Bereich weist die grösste Verschiebungsgeschwindigkeit auf. Die grösste Geschwindigkeit wurde im April 1979 mit 2,5 m innert 14 Tagen gemessen. Der weiter westlich gelegene Bereich mit dem Haus 2 (Fig. 2) verschiebt sich weniger stark. Es wurden hier Bewegungen im Dezimeterbereich festgestellt. Der Guflerstein, welcher hauptsächlich aus Nummulitenkalk besteht, bewegt sich nicht.

Anfang Oktober 1979 wurden an vier Stellen des aktiveren Teils der Rutschmasse permanente Visurlinien eingerichtet. Diese lösten die provisorischen Handmeßstellen ab, welche, in der Zeit der grössten Verschiebungen, für die tägliche Kontrolle eingerichtet worden waren. Durch die neuen Visurlinien wurde die Möglichkeit geschaffen, die horizontale Verschiebung im Zentimeterbereich auf einfache Weise zu messen. Die nächste geodätische Vermessung ist für 1985 vorgesehen.

5. Niederschläge

Wie bereits erwähnt, waren die Niederschläge in den Monaten Februar, März und Mai des Jahres 1978 stark überdurchschnittlich. Auch im August fielen überdurchschnittliche Regenmengen, wobei am 7. August 1978 mit 115,7 mm Niederschlag ein ungewöhnlicher Spitzenwert in der Station Weesen registriert wurde. Weitere extreme Niederschläge gab es, zum Vergleich, am 18. Juli und 28. September 1981 mit 87,8 mm bzw. 104,8 mm sowie am 3. August 1983 mit 81,8 mm. Im Zeitabschnitt 1978–1983 war das Jahr 1981 sehr niederschlagsreich, bezogen auf diese Epoche. Mit 2260 mm Niederschlag pro Jahr lag 1981 weit über dem Mittel um rund 1700 mm der Jahre 1978–1983. Geht man zeitlich weiter zurück, sind namentlich die Jahre 1974 mit 1973 mm Niederschlag pro Jahr, 1970 mit 2208 mm, 1967 mit 1911 mm und 1965 mit 2103 mm hervorzuheben, während, zum Vergleich, 1963 bloss 1151 mm Niederschlag pro Jahr zu verzeichnen waren.

In Figur 2 sind mit den Jahreszahlen 1896 und 1940 zwei frühere ausgeprägte Rutschbewegungen markiert. In den Jahren 1896, 1939 und 1940 sind stark überdurchschnittliche Niederschlagsmengen registriert worden.

Niederschläge und die daraus sich ergebenden Hangwasserströmungen beeinflussen bekanntlich die Stabilität eines Hanges in hohem Masse. In Anbetracht der oben erwähnten Jahre mit hohen Niederschlagsmengen und den Zeiten der Terrainbewegungen ist hier generell folgendes festzustellen: In den Jahren, wo grosse oder mindestens merkbare Terrainbewegungen stattfanden, fielen auch bedeutende Niederschlagsmengen. Man kann aber nicht sagen, dass in allen Zeiten mit grossen Niederschlagsmengen jeweils auch Geländebewegungen in Erscheinung traten.

Die Zeit zwischen dem Beginn überdurchschnittlicher Regenfälle und der Rutschung kann mehr oder weniger lang sein, je nach den Wetterverhältnissen des vorangehenden Zeitabschnittes. Dabei können auch lokale, kurze und extreme Starkregen eine Bewegung beschleunigen.

6. Untersuchungen

Das Ziel der Untersuchungen war, näheren Aufschluss über den Rutschmechanismus zu erhalten, um Unterlagen im Hinblick auf die Planung definitiver Sanierungsmassnahmen zu beschaffen bzw. abzuklären, welche Sanierungsmassnahmen im vertretbaren Kostenrahmen überhaupt durchführbar wären.

Die geotechnischen Untersuchungen umfassten die Ausführung von drei Rotationskernbohrungen im östlichen Teil des Rutschgebietes. Die Lage ist in Figur 2 eingezeichnet. Zweck der Bohrungen war:

- Aufschluss des Untergrundes zur geologischen Beschreibung des Locker- und Festgesteines.
- Ermittlung der Felsoberfläche.
- Entnahme von Materialproben zur Untersuchung im bodenmechanischen Labor. Dabei war die Bestimmung der Scherfestigkeit des Lockergesteins von besonderer Wichtigkeit.
- Einbau von Rohren für die Messungen mit dem Inklinometer hinsichtlich der Ermittlung der Lage der Gleitfläche(n).
- Einbau von Piezometern zur Erkundung der Wasserverhältnisse im Hang.

Die Bohrungen wurden in der Reihenfolge B4, B3, B2 in der Zeit vom 8. Februar 1979 bis 28. März 1979 ausgeführt. In dieser Zeitspanne fanden horizontale Verschiebungen des Hanges in der Grössenordnung von einem Meter statt (Fig. 6), was zu einigen Schwierigkeiten beim Herausziehen der Verrohrung führte. Die Beschleunigung der Verschiebungen war denn auch mit ein Grund, auf die Ausführung der vorgesehenen vierten Bohrung zu verzichten.

6.1 Bohrungen

Das in den Bohrungen aufgeschlossene Bohrgut der Rutschmasse besteht aus mit Nagelfluhblöcken durchmischem Moränen- und verwittertem Molassematerial. In den Bohrungen 2 und 3 (Fig. 4 und 5) wurden einzelne Holzstücke gefunden.

Wie aus Laboruntersuchungen an 15 Proben hervorgeht (Fig. 7), sind alle Korngrössen vertreten. Die Konsistenz ist bis in Tiefen von 10 m bis etwa 15 m weich, darunter steif bis mittelfest. Anzeichen von Bewegungszonen (Harnische) wurden nur in der Bohrung 2, in 14 m Tiefe, festgestellt.

Die Felsoberfläche wurde zwischen 18 m und 21 m unter OK Terrain aufgeschlossen. Beim Fels handelt es sich in den Bohrungen 2 und 4 um grauen, etwa 80° einfallenden Flyschmergel. In der Bohrung 3 wurden Globigerinenmergel und Nummulitenkalk aufgeschlossen.

6.2 Scherfestigkeit des Rutschmaterials

Die Scherfestigkeit wurde im Ringscherapparat an Proben aus dem Bereich der Gleitflächen (Fig. 4 und 5) bestimmt. Der Ringscherversuch erlaubt die Ermittlung der Scherfestigkeit bei langem Scherweg. Für die Versuche wurde die Kornfraktion $< 0,5$ mm abgetrennt und bei einem Wassergehalt von wenig grösser als Fließgrenze w_L eingebaut und konsolidiert. Anschliessend wurde bei kleiner Geschwindigkeit (1 mm/

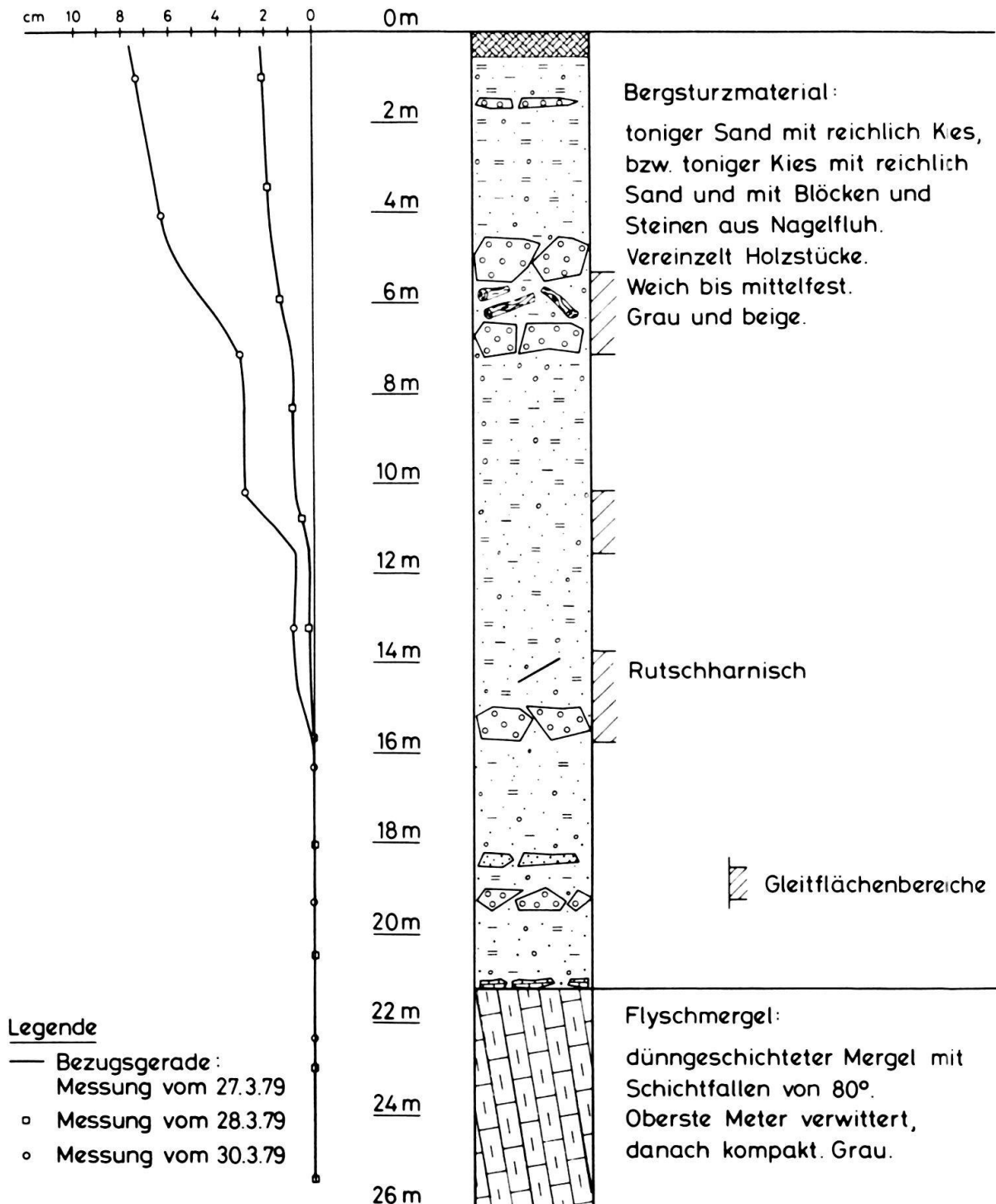


Fig. 4. Profil der Bohrung 2 mit Inclinometermessungen.

Stunde) abgesichert. Der Winkel Φ'_{rest} der Restscherfestigkeit liegt, bei sehr kleinen Streuungen, bei 23° , der Winkel Φ' der maximalen Scherfestigkeit bei 24° bis 25° .

Das heisst, auch bei grossen Deformationen ist lediglich ein kleiner Scherfestigkeitsabfall festzustellen (der Wert $\Phi'_{\text{rest}} = 23^\circ$ wurde nie unterschritten). Auf die Natur übertragen bedeutet dies, dass auch im Zeitpunkt der grossen Bewegungen mit grosser Wahrscheinlichkeit kein Kollaps zu befürchten war.

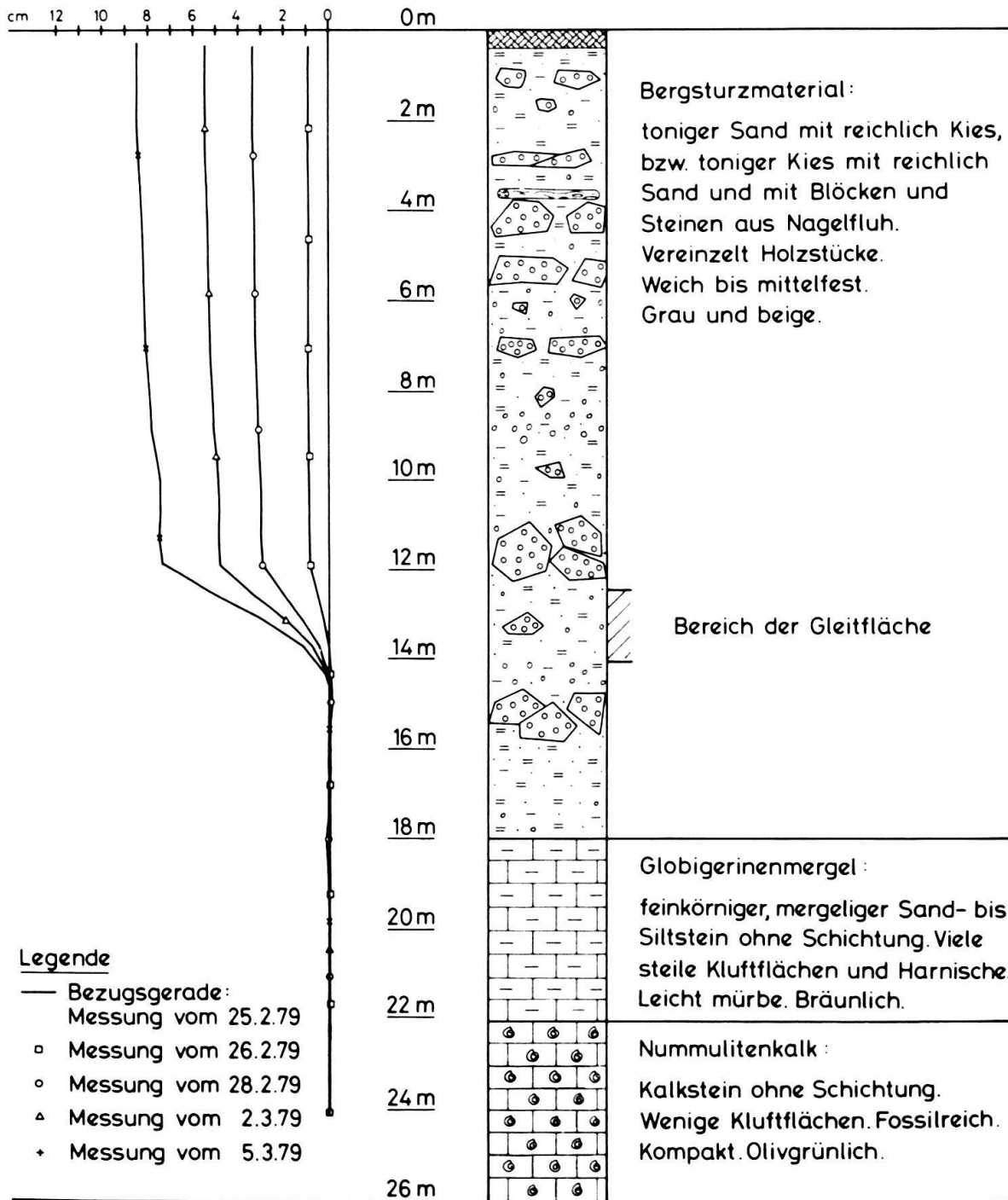


Fig. 5. Profil der Bohrung 3 mit Inclinometermessungen.

6.3 Lage der Gleitfläche und Wasserverhältnisse

In allen Bohrungen wurden Inclinometermessrohre von 7,6 cm Innendurchmesser eingebaut. Das Inclinometer wird in Nuten geführt und erlaubt die Messung der Rohrabweichung in orthogonalen Richtungen. Gemessen wird der Winkel gegenüber der Vertikalen in Tiefenstufen von je 2 Fuss. Durch Zusammensetzen dieser Teilstrecken mit den entsprechenden Neigungswinkeln wird ein Polygonzug ermittelt, der die Deformationsli-

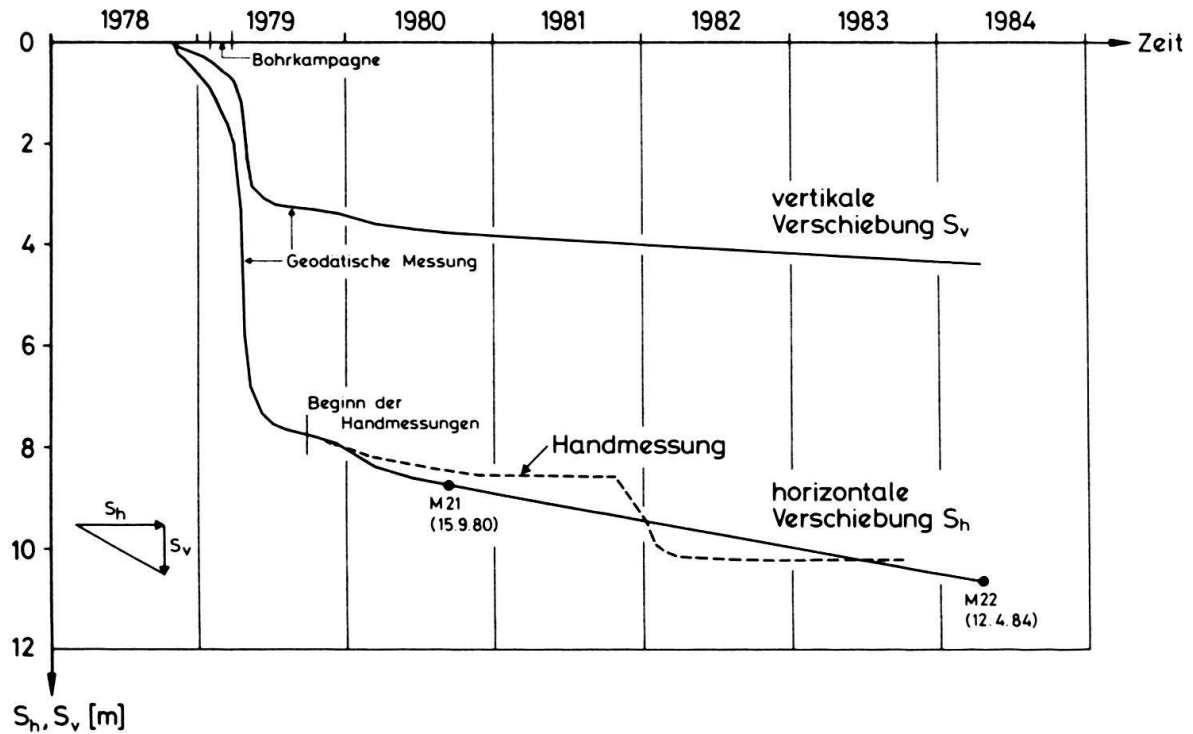


Fig. 6. Verschiebung des Punktes 8 PP in Funktion der Zeit.

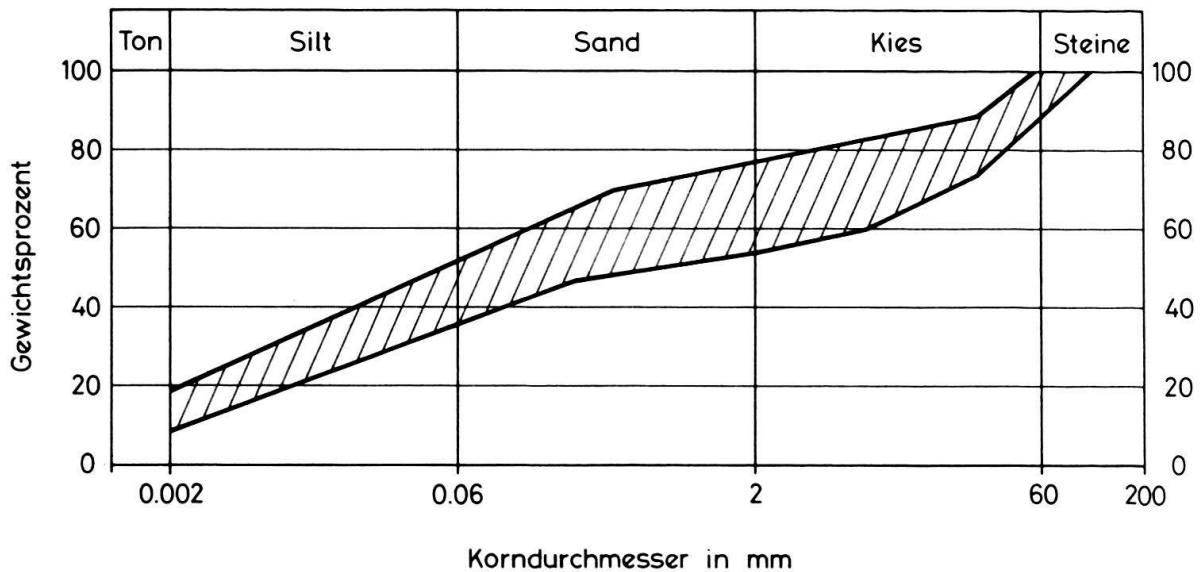


Fig. 7. Streubereich der Korngrößenverteilung des Rutschmaterials.

nie des Rohres und damit die Verformungen des Bodens sichtbar macht. Die Messrohre wurden in den Fels eingebunden.

Die Nullmessung der Rohre erfolgte gleich anschliessend an deren Einbau. Die nachfolgenden Messungen wurden in sehr kurzen Abständen durchgeführt, da die Meßsonde bei grösseren Auslenkungen nicht mehr bis ans Rohrende geführt werden kann. Die Lage der Gleitflächen ist aus den Figuren 4 und 5 deutlich ersichtlich. Während in der Bohrung 3 nur eine Gleitfläche vorhanden ist, wurden in der Bohrung 2 drei Gleitflächen festgestellt.

Zur Erkundung der Hangwasserverhältnisse wurden in den Bohrungen 2 bis 3 Piezometer in verschiedenen Tiefenlagen gleichzeitig mit den Inklinometerrohren eingebaut. Die Piezometer bestehen aus einem Plastikrohr von 1,2 cm Innendurchmesser, an dessen Spitze sich ein Quarzfilter von 15 cm Länge befindet. Dank dem kleinen Durchmesser reagieren die Piezometer rasch auf Änderungen im Porenwasserdruck (HUDER 1976).

Als Folge der grossen Hangbewegungen wurden die Messeinrichtungen rasch ausser Funktion gesetzt. Mit den Inklinometermessungen konnten gerade noch die Gleitflächenlagen ermittelt werden, während über die Wasserdruckverhältnisse aufgrund der Messungen praktisch keine Aussage möglich war.

7. Berechnungen

Die Felduntersuchungen, namentlich die Messungen mit dem Inklinometer, sollten Möglichkeiten aufzeigen, aktiv mit baulichen Mitteln in den Rutschmechanismus einzugreifen, das heisst, ob die in Bewegung geratene Lockergesteinsmasse mit vernünftigem Aufwand beispielsweise vernagelt oder durch ein Stützbauwerk aufgehalten werden könnte.

Die aus den Inklinometermessungen sich ergebende Lage der Gleitflächen (Fig. 8) liess bald einmal erkennen, dass es praktisch unmöglich war, sich mit baulichen und finanziell verantwortbaren Mitteln gegen die Bewegung zu stemmen, liegen doch die zur Terrainoberfläche ungefähr parallel verlaufenden Gleitflächen in einer Tiefe bis zu 14 m unter OK Terrain.

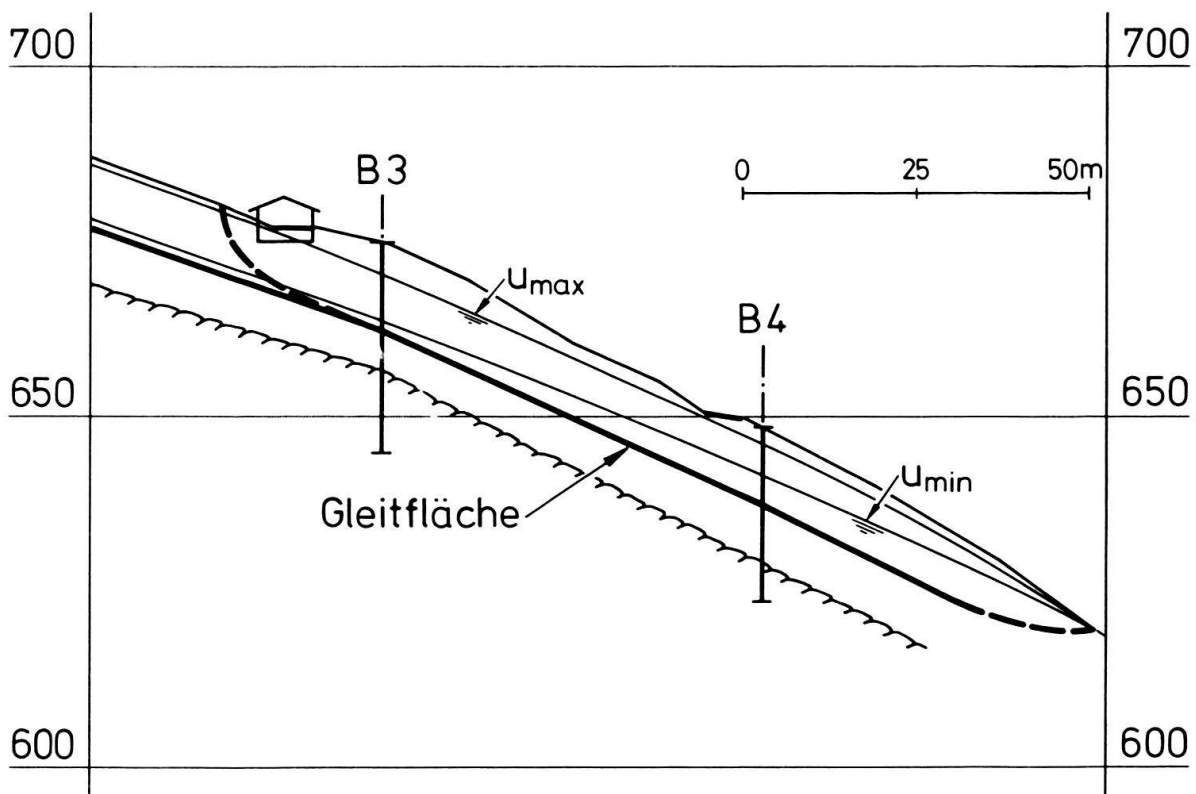


Fig. 8. Schnitt A-A. Lage der Gleitflächen und der Felsoberfläche sowie Angaben bezüglich der Hangwasserverhältnisse.

Zur rechnerischen Erfassung und Kontrolle des Rutschmechanismus wurden mit Hilfe der Berechnungsmethode von Janbu folgende Grössen einander gegenübergestellt: Sicherheitsfaktor F gegen Geländebruch in Funktion des Reibungswinkels Φ' , wobei jeweils verschiedene Werte der Kohäsion c' und Lagen u des Hangwasserspiegels in Betracht gezogen wurden. Auszugehen war erstens von der durch die Inklinometermessungen ermittelten Gleitflächenlage und zweitens von der Tatsache, dass eine deutliche Rutschbewegung im Gange, infolgedessen mit $F = 1,0$ zu rechnen war, und schliesslich von der Grösse des Winkels der Scherfestigkeit, welcher im Labor an Proben aus dem Bereich der Rutschharnische mit $\Phi'_{\max} \sim 24^\circ - 25^\circ$ und $\Phi'_{\text{rest}} \sim 23^\circ$ bestimmt worden war.

Als freie Grössen verblieben die Kohäsion c' und die Lage des Hangwasserspiegels, wovon in Figur 8 zwei Extremlagen u_{\max} und u_{\min} eingezeichnet sind.

Da Hänge des vorliegenden Aufbaus keinen kontinuierlichen Hangwasserspiegel aufweisen, wurde aufgrund verschiedener Beobachtungen die Annahme $u = u_{\min}$ für die Durchströmung des Hanges in einzelnen, zufällig verteilten Wasserbahnen als rechnerisch repräsentativ erachtet. Die Möglichkeit $u = 0$, das heisst keine Porenwasserspannungen bzw. kein Hangwasser vorhanden, fiel ausser Betracht.

Mit der Kombination $\Phi'_{\text{rest}} \sim 23^\circ$, $c' \sim 10 \text{ kN/m}^2$ und $u \sim u_{\min}$ ergibt sich, im Sinne einer sogenannten Rückwärtsrechnung, eine Sicherheit von $F \sim 1,0$, das heisst der Bruchzustand. Ein Beispiel dieser Zusammenhänge ist in Figur 9 dargestellt.

Ein Ansteigen des Hangwasserspiegels bzw. der Porenwasserspannungen von u_{\min} auf u_{\max} hat eine Reduktion des Sicherheitsfaktors auf $F \sim 0,7$ zur Folge.

Am Rande war es noch von Interesse, die Grössenordnung der Stützkräfte abzuschätzen, welche aufzubringen gewesen wären, wenn die Sicherheit mittels Einbauten von 1,0 auf 1,1 hätte erhöht werden sollen. Es ergaben sich dabei rechnerische Stützkräfte am Fusse der Rutschzunge in der Grössenordnung von $S \sim 1600 \text{ kN/m}$ für $u = u_{\min}$ und von $S \sim 6500 \text{ kN/m}$ für $u = u_{\max}$. Die Grösse der tatsächlich aufzubringenden Kräfte dürfte zwischen diesen beiden Werten, jedoch eher in der Nähe des kleineren S , liegen. Die Frage

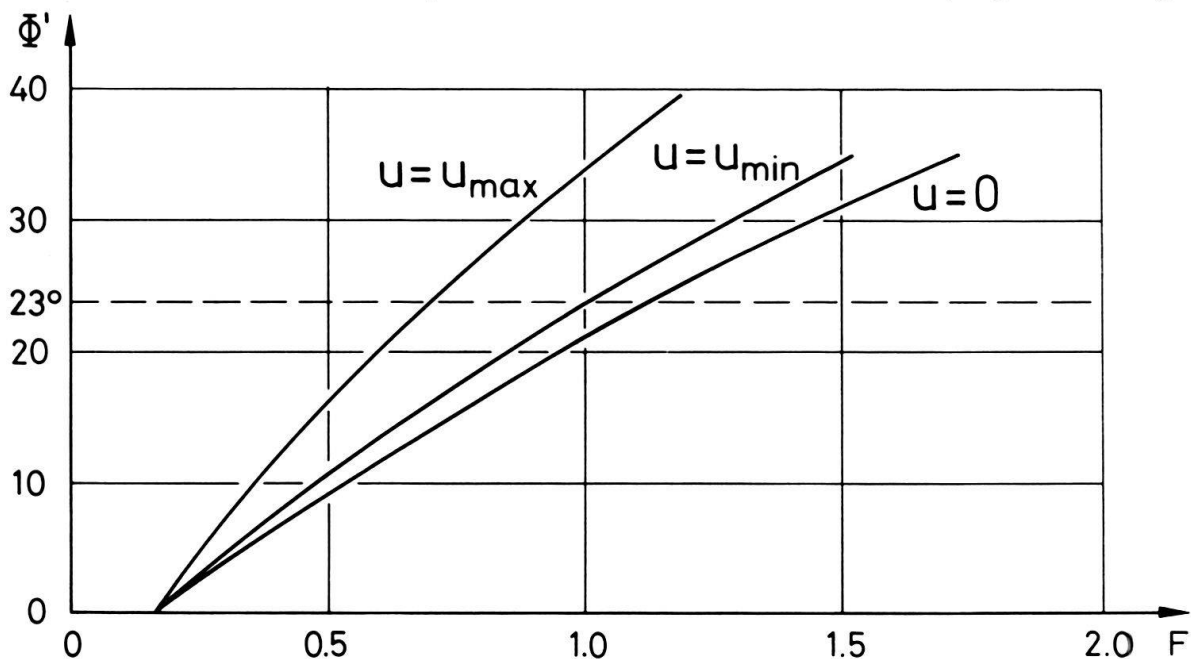


Fig. 9. Sicherheitsfaktor F in Funktion des Reibungswinkels Φ' für die Kohäsion $c' = 10 \text{ kN/m}^2$. Scharparameter: Porenwasserspannungen u .

bleibt offen, ob solche Kräfte überhaupt aufgenommen bzw. sicher in den guten Untergrund hätten abgegeben werden können. Anstelle einer konzentrierten Lastaufnahme am Fusse des Rutsches könnte man sich auch eine Vernagelung mittels Pfählen, verteilt über die ganze Rutschfläche, vorstellen. Abgesehen von der Schwierigkeit, Stützbauwerke oder Pfähle in diesem unwegsamem Gelände zu erstellen, ist für die Variante Pfähle zudem folgendes in Betracht zu ziehen: Als Massnahme in der Periode der grossen Bewegungen, bei Verschiebungsgeschwindigkeiten von bis zu $\sim 3,7$ m pro Monat oder ~ 12 cm pro Tag, gemittelt über $1\frac{1}{2}$ Monate, wäre sie nicht zur Wirkung gekommen; den die nacheinander zu erstellenden Pfähle – man hätte vielleicht höchstens mit zwei Maschinen arbeiten können – wären laufend zu Bruch gegangen. Später, als die Bewegungen abklingende Tendenz zeigten, dachte sowieso niemand mehr an eine solche Massnahme.

Das Resultat war also negativ: Ganz abgesehen von den Kosten, kamen Einbauten auch aus technischen Gründen nicht in Frage.

8. Sicherheits- und Sanierungsmassnahmen

Die Möglichkeiten zur Stabilisierung des Rutsches und zur Erhöhung der Sicherheit durch Vergrösserung der rückhaltenden Kräfte bzw. durch Verkleinerung der treibenden Kräfte sind im vorliegenden Fall beschränkt. Da aus topographischen Gründen an der Gewichtsverteilung der Rutschmasse nichts geändert werden konnte, stand eigentlich nur die Entwässerung zur Diskussion. Anzustreben wären tief in den Hang greifende Entwässerungsmassnahmen. Die Erfolgchancen solcher umfangreichen Massnahmen sind jedoch bei Wasserführung in zufällig verteilten Bahnen eher klein. Kosten und Nutzen stehen in einem schlechten Verhältnis, wobei sich bei der Erstellung auch Stabilitätsfragen für oben liegende Hangpartien stellen. Es blieb die selektive Entwässerung.

Im Rahmen des Möglichen wurden demnach die bereits früher eingeleiteten Sofortmassnahmen fortgeführt und ergänzt. Das Wasser aller gefundenen Quellen wurde gefasst und abgeleitet und die Abdichtung des Saalenbaches weitergeführt. In einem stark durchnässten Gebiet oberhalb der obersten Rutschanrisse (siehe Fig. 2) wurden V-förmige Entwässerungsgräben erstellt (Fig. 10). Dazu prüfte man die Möglichkeit von Bachumleitungen.

Die Strasse wurde laufend ausgebessert. Eine Strassenkorrektur grösseren Umfanges war beim Haus 1 notwendig. Durch die aus Figur 6 ersichtlichen grossen Bewegungen an dieser Stelle (beim Punkt 8 PP) bildete sich in der bergseits des Hauses vorbeiführenden Strasse eine grosse Mulde, wodurch das bergwärts führende Strassenstück, an der Grenze zur Zone des Hanges mit kleineren Bewegungen, übersteil wurde und nicht mehr befahren werden konnte. Die Strasse wurde hier durch Verlegen der Achse um etwa 10 m bergwärts begradigt (Fig. 11). Heute kann hier die damalige Verschiebung des Hanges von über 10 m an der Lage der alten und des korrigierten Strassenstückes augenfällig konstatiert werden. Eine weitere grössere Strassenkorrektur war auch bei B4 (Fig. 2) notwendig.

Die eigentlichen Sicherheitsmassnahmen wurden im April und Mai 1979 weitergeführt und zum Teil abgeschlossen.

Die restlichen Bäume wurden gefällt (Kahlschlag). Der damals bewaldete Teil des Rutschgebietes ist heute mit Buschwerk wieder stark überwachsen.

Um der Gefahr eines allfälligen Einstaus des Flibaches mit nachfolgenden Wasser- und Materialausbrüchen, welche namentlich die neueren Überbauungen im Flibachdelta



Fig. 10. V-Gräben oberhalb der obersten Rutschnarisse. Saalenbach in Holzkännel verlegt (Aufnahme: 5. Juni 1979). (Bild: Neg. Nr. 9/46/7; 5. Juni 1979.)



Fig. 11. Begradigung der Strasse beim Haus 1. Links alte, durch Rutschung verschobene Strasse (Aufnahme: 5. Juni 1979). (Bild: Neg. Nr. 9/48/13; 5. Juni 1979.)

bedroht hätten, begegnen zu können, wurde vorsorglich eine Baupiste entlang dem Flibach (siehe Fig. 2) bis zum Fusse eines möglichen Schuttkegels geführt. Schwere Erdbewegungsmaschinen hätten damit rasch zu Wegräumungsarbeiten eingesetzt werden können.

Im weiteren wurde ein Fussweg zur Umgehung des Rutschgebietes erstellt, wodurch eine lange Aufenthaltszeit der Fussgänger in der gefährdeten Zone vermieden werden konnte. Die Fahrstrasse wurde zudem mit einem allgemeinen Fahrverbot belegt, der Zubringerdienst zu den oben gelegenen Höfen jedoch gestattet. Damit war sichergestellt, dass sich möglichst wenig Menschen, oder wenn schon, dann nur kurz, im Rutschgebiet aufhalten. Als weitere vorsorgliche Massnahme wurde in der Zeit der grossen Verschiebungsgeschwindigkeit die Linienführung für eine Notverbindungsstrasse zu den Höfen studiert.

9. Heutige Lage

In der Zwischenzeit wurden das Haus 1 abgebrochen und die Schäden am Haus 2, von privater Seite, ausgebessert.

Seit Mitte 1979 konnte der Aufwand für Messungen stark reduziert werden, ist doch ab jenem Zeitpunkt eine deutliche Beruhigung der Bewegungen eingetreten. Lediglich am 15. März 1980 und am 12. April 1984 (Fig. 6) wurden weitere geodätische Messungen durchgeführt. Um neue Beschleunigungen rechtzeitig erkennen zu können, wird das Gebiet visuell weiterhin sorgfältig überwacht, und zur Beschaffung zahlenmässiger Unterlagen führt der Revierförster zweimonatlich Handmessungen durch. Anhand dieser Messungen (der Horizontalverschiebungen) ist im Diagramm der Figur 6 ersichtlich, wie sich die durch die geodätischen Messungen M21 und M22 belegte Verschiebung über die Beobachtungszeit verteilt hat. Nach deutlich abklingender Tendenz seit Beginn des Jahres 1980 trat Ende 1981/Anfang 1982, während etwa vier Monaten, eine markante Beschleunigung in Erscheinung, um dann erneut in eine kaum merkbare Kriechbewegung überzugehen. Diese Beschleunigung der Bewegungen erfolgte gegen das Ende eines Jahres mit überdurchschnittlich grossen Niederschlagsmengen.

Im Zeitpunkt der letzten Messung M22 vom 12. April 1984 hatte der Punkt 8 PP seit Ende Oktober 1978 die beeindruckende Strecke von rund 11,5 m zurückgelegt.

Verdankungen

Es liegt den Autoren daran, allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit zu danken. Namentlich gilt der Dank den Herren E. Walser, Gemeindeammann von Weesen, O. Pfister, Strasseninspektor des Kantons St. Gallen, den Forstingenieuren U. Eugster und J. Trümpler sowie O. Peyer, welcher in den Jahren 1978–1980 am IGB als Bauingenieur tätig war.

LITERATURVERZEICHNIS

- HEIM, A.: Bericht über das Rutschgebiet ob Schluchen im Flytobel. 17.3.1896. – Unveröffentlicht.
 HERB, R. (1962): Geologie von Amden, mit besonderer Berücksichtigung der Flyschbildungen. – Beitr. Geol. Karte Schweiz [N.F.] 114.
 HUDER, J. (1976): Erkundung der Grundwasserverhältnisse. – Schweiz. Bauzg. 37.

Manuskript eingegangen am 22. November 1984,
 angenommen am 20. Dezember 1984

