

## **Monitoring und Dynamik einer Großbrutschung im Flysch der bayerischen Alpen**

*Univ.-Doz.Dr. Günther Bunza*

*Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstr. 67, D-80636 München*

*Tel.: +49-89-92141027; Fax: +49-89-92141041; E-mail: guenther.bunza@lfw.bayern.de*

### **Zusammenfassung**

Zwischen dem Wendelstein (1887 m) und der Ortschaft Bad Feilnbach bei Rosenheim erstreckt sich das 13.3 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet des Jenbachs. Aufgrund häufiger Muraktivitäten wurde schon sehr früh sein Lauf südlich des Siedlungsraumes wildbachtechnisch verbaut. 1980 wurde eine neue Sperre am Fuß des sog Brechries, einem großen relikten Bruchkessel in der Zementmergel Serie der Flysch-Zone, zerstört. Die in der Folge vorgenommenen Untersuchungen konstatierten eine aktive Sackung auf einer Fläche von 16,5 ha und mit einem möglichen Tiefgang von ca. 70 – 100 m. Während des Jahres 1998 führten Stürze und Rutschungen an der Stirn der bewegten Massen mit einem Gesamtvolumen von ca. 100.000 m<sup>3</sup> zu umfangreichen Untersuchungen, die in enger Zusammenarbeit mit Bayer. Geologischen Landesamt (GLA) und dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) Rosenheim erfolgten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die hier vorgestellt werden, bestätigten die Annahme einer tiefreichenden Sackung an Klufflächen mit einem Volumen von ca. 7 Mio m<sup>3</sup>. Aufgrund des großen Gefahrenpotenzials wurde am Gegenhang ein Servotheodolit zur Dauerbeobachtung errichtet. Darüber hinaus wurden der Bau und die Planung von wildbachtechnischen Sicherheitsmaßnahmen verstärkt und mit den beteiligten Behörden ein Katastrophenplan erarbeitet. Mit der Auswertung der Untersuchungen, die noch bis Ende 2001 andauern werden, erhofft man sich, komplexe Prozesse wie diese besser verstehen zu lernen, um damit die richtigen Schutz- und Sanierungsmaßnahmen ableiten zu können.

### **Einleitung**

Den Geowissenschaften fällt ein wachsender Anteil von Aufgaben und Tätigkeiten im Umweltschutz und damit auch im Schutz vor geogenen Gefährdungen wie Massenbewegungen und Wildbachereignissen zu.

Die Vielschichtigkeit der Problemfälle bedingt, dass es keine Einheitsmethoden gibt, drohenden oder aktuellen Schadenereignissen zu begegnen.

Eine wesentliche Aufgabe des geologisch - wildbachkundlichen Dienstes am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) besteht daher in der Untersuchung und Beobachtung von Massenbewegungen insbesondere von solchen, die über ihre Dynamik das Wildbachgeschehen beeinflussen können. Dies dient sowohl dem Prozessverständnis, als auch als Grundlage von Schutz- und Sanierungsmaßnahmen.

Im folgenden möchte ich dies an einem Beispiel einer Großbrutschung im Flysch der bayerischen Alpen aufzeigen:

### **Die Massenbewegung Brechries am Jenbach**

#### **1 Örtliche Verhältnisse**

Der Jenbach bei Bad Feilnbach im Landkreis Rosenheim ist ein Wildbach mit einem Einzugsgebiet von 13,3 km<sup>2</sup>. Er durchfließt von Süden nach Norden die geologischen Einheiten des Kalkalpin, des

Flysch und des Helvetikum (s. Abb. 1). Schon 1897 wurde er aufgrund häufiger Muraktivitäten mit 30 Sperren verbaut, die in den 80er Jahren unseres Jahrhunderts durch 7-8 m hohe Steinsperren ersetzt wurden. Im selben Jahrzehnt wurde im Bereich des sogenannten Brechries eine Konsolidierungssperre unmittelbar nach ihrer Fertigstellung wieder zerstört (s. Abb. 2a und b). Bei den daraufhin vorgenommenen geologisch –wildbachkundlichen Erhebungen zur Ursache der Zerstörung wurden in diesem Gebiet tiefreichende Hangbewegungen festgestellt (s. Abb. 3).

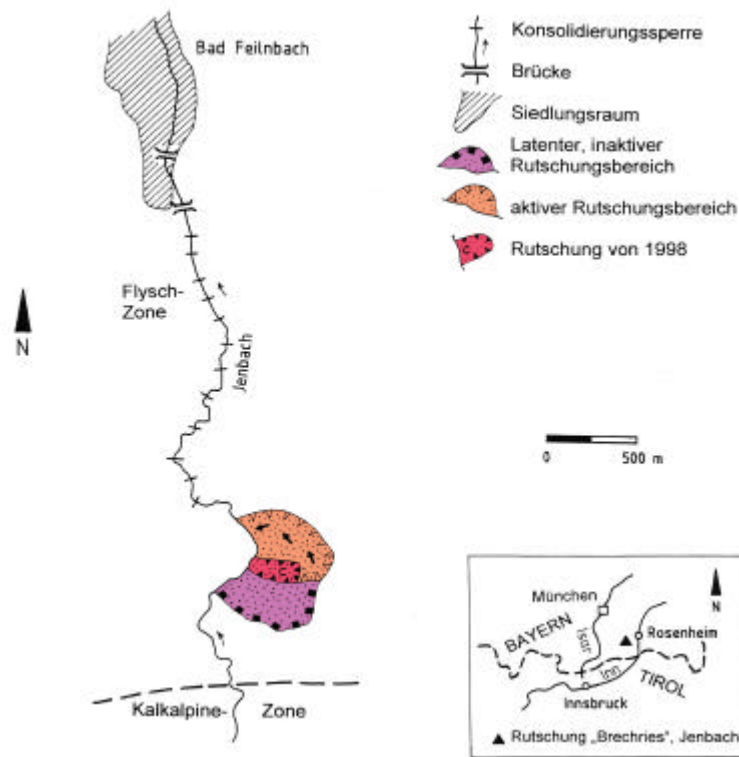


Abb. 1: Lage des Jenbach und der Hangbewegung „Brechries“.



a)



b)

Abb. 2: Die im Jahre 1985 fertiggestellte Konsolidierungssperre (a). Risse im rechten Flügelderselben Sperre im Jahre 1987 (b).

## 2 Geologie

Den Hang bauen hier Gesteine der Flysch - Zone auf. Es handelt sich dabei vorwiegend um Mergel, Kalkmergel und Kalke, die mit  $25^\circ - 45^\circ$  hangeinwärts nach Süden bis Südosten fallen (s. Abb. 3). Die generelle Streichrichtung schwankt um einen Wert von ca.  $79^\circ - 90^\circ$  nach Südosten. Die Gesteine zeichnen sich bei kleinen Klufkörpern durch leichte Verwitterbarkeit und geringe Gefügesteifigkeit aus.



*Abb. 3: Die Hangbewegung „Brechries“ am Jenbach. Links im Bild ist die Lagerung der Kalkmergel deutlich zu sehen. Im Bildvordergrund der Anbruch aus dem Jahre 1998, der links (Bildmitte) von der Brechries-Reiße begrenzt wird.*

Korngrößenanalysen aus Schürfprouben der Verwitterungsmassen zeigen in hangunteren Bereichen (Brechries-Reiße) hohe Ton- und Schluffgehalte, in oberen Bereichen überwiegen die Kieskorngößen. Die Wassergehalte liegen zwischen 30 und 35%. Entsprechend den Werten für die Fließgrenze und die Plastizitätszahl kann das Verwitterungsmaterial in hangunteren Bereichen als mittel- bis ausgeprägt plastische, in hangoberen Bereichen als mittel - bis leicht plastische Tone bezeichnet werden. Der Winkel der Inneren Reibung liegt zwischen  $20^\circ$  und  $24^\circ$ , die Gesamtscherfestigkeit zwischen  $24^\circ$  und  $29^\circ$  (GLA, 2000).

Der Gesteinsverband ist durch die Nähe zum Überschiebungskontakt Kalkalpin / Flysch lokal stark aufgelöst, die Schichtpakete sind zerbrochen und große Partien sind gegeneinander verkippt und verstellt.

Störungen sind kaum aufgeschlossen, sie sind großteils von Verwitterungsschutt überdeckt. Wie Ende der 80er Jahre noch beobachtet werden konnte, verläuft die sog. „Brechries-Reiße“ (s. Abb. 4) in einer steilen Störung, in deren unmittelbarem Umfeld die benachbarten Schichtflächen subvertikal verschleppt waren.

Für die Hangbewegungen spielt die Klüftung eine zentrale Rolle. Im Gebiet sind zwei bevorzugte Streichrichtungen der Klüftflächen zu beobachten:  $k_1$  und  $k_2$  mit NW – SE bis NNW – SSE (ca.  $145^\circ - 160^\circ$ ) sowie  $k_3$  mit NE – SW (ca.  $30^\circ - 45^\circ$ ). Erstere Richtung deckt sich teilweise mit der des Jenbachtals, letztere mit derjenigen der Schichtflächen, auf der diese Flächen nahezu senkrecht

stehen. Hierdurch entsteht ein steil schräg zum Hang einfallendes Kluftsystem, an dem sich Bewegungen abspielen können (LfW, 1987; GLA 2000).

### 3 Ausdehnung und Morphologie

Das Brechries stellt einen ca. 26 ha großen, relikten Bruchkessel dar. In diesem nehmen die rezenten Bewegungen zwischen ca. 675 m ü.NN und 1020 m ü.NN eine Fläche von ca. 16,5 ha ein (s. Abb. 1).

Der erste Hinweis auf aktive Bewegungen erfolgte für die Wasserwirtschaft 1980 durch die Zerstörung einer Wilbachsperre (s. Abb. 2b). Deformationen traten auch an einem damals gebauten Almweg weiter oberhalb bis in die heutige Zeit immer wieder auf. Letztlich zeigt eine vom GLA vorgenommene dendromorphologische Analyse von Wachstumsringen an Bäumen, dass schon seit etwa 1960 eine Phase verstärkter Bewegungen im Brechries vorliegt (GLA, 2000).

Eine in den 80er Jahren vorgenommene geomorphologische Aufnahme des Hanges zeigte das Vorhandensein zahlreicher bewegungsrelevanter Strukturen wie Stauchwülste, abflusslose Senken, quer und schräg zum Hang verlaufende Stufen, Säbelwuchs an Bäumen u.a.m. Insbesondere war und ist der Bereich zwischen ca. 925 m ü.NN und 1005 m ü.NN (Jägerstand – Hirschlacke, s. Abb. 4) durch zahlreiche abflusslose Senken, Nackentälchen sowie Risse und Spalten geprägt (LfW, 1987).

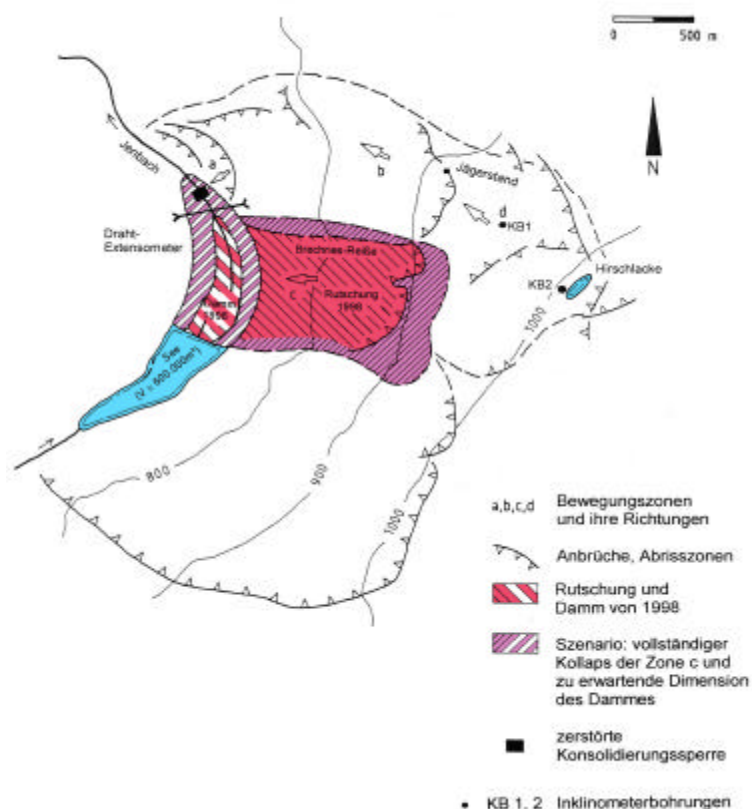


Abb. 4: Überblick zu den rezenten Hangbewegungen mit ihren unterschiedlichen Bewegungsrichtungen, den Anbruchkanten und dem Rutschungsbereich von 1998. (Kartengrundlagen: Bayer. Geologisches Landesamt 1996 und Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, 1998).

### 4 Bewegungsbeobachtungen zwischen 1987 und 1995

Zwischen 1987 und 1995 wurden zur Beobachtung des unteren Hangbereiches ein Drahtextensometer eingerichtet (s. Abb. 4) und in Abstimmung mit dem GLA eine geodätische

Überwachung mittels Satellitengeodäsie (GPS) und zusätzlichen terrestrischen Messungen in oberen (zwischen Jägerstand und Hirschlacke) und unteren Hangbereichen (südlich der Brechries-Reiße) durchgeführt. Diese Beobachtungen sollten darüber Klarheit schaffen, ob aktive Hangbewegungen in oberliegenden Bereichen sowie in Gebieten südlich der Brechries Reiße stattfinden. Diese Annahme wurde durch die Messungen bestätigt. Die Bewegungsvektoren im Raum der konventionellen geodätischen Überwachung zeigen in Bachnähe eine horizontale Richtung (Risse in der Sperre schlossen sich nach unten; Aufschieben auf die Grabensohle ?), am mittleren und oberen Hang fallen sie mittelsteil mit dem Hang ein. Die Richtung der Bewegungen weicht im oberen Hangbereich mit NW deutlich von der Fallrichtung des Hanges nach Westen ab (GLA & LFW, 1998; s. Abb.4). Diese schräg abwärts gerichtete Bewegung kann nur auf Internstrukturen des Gebirges zurückgeführt werden. Im tieferen Hangbereich verläuft die Bewegung nach WSW.

Die mit dem Drahtextensometer gemessenen Bewegungsbeträge stimmen gut mit den geodätischen Werten überein. Die gemessenen Bewegungsbeträge lagen ursprünglich bei ca. 10 mm / Monat, erhöhten sich langsam, 1995 teilweise sogar auf bis zu 70 mm / Monat, um dann wieder auf Beträge von ca. 10 – 20 mm / Monat zu sinken.

Darüber hinaus belegen die Messergebnisse, dass sehr kleinräumige Differenzierungen der Bewegungen auftreten, wobei auch Externrotationen einzelner Geländepartien stattfinden dürften.

Die Bewegungsraten zeigen keine jahreszeitlichen Regelmäßigkeiten, wobei auch kein signifikanter Einfluss von Niederschlags- oder Abflussereignissen festzustellen war. Lang anhaltende Feuchteperioden korrelieren jedoch teilweise mit einer verzögerten Beschleunigung der Bewegungen. Eine direkte Beschleunigung bewirkten erstmalig die Pfingstniederschläge 1999.

Auf der Basis der durchgeführten Geländeaufnahmen und der ersten Beobachtungen wurde für die Hangbewegung zunächst eine Sackung ohne basale Gleitfläche und mit einem möglichen Tiefgang von 70 – 100 m angenommen. Hangbewegungen wie Rutschungen und Felsstürze an der Stirn der bewegten Massen sind sekundär und Folgeerscheinungen (GLA & LfW, 1998).

Auf diesen Grundlagen wurden seitens des Wasserwirtschaftsamtes Rosenheim Schutzmaßnahmen getroffen, die zunächst im wesentlichen die Errichtung zusätzlicher Konsolidierungssperren zur Sicherung der Bachsohle, Ufersicherungen mittels Steinsätzen sowie eine Anhebung der Sohle oberhalb der beschädigten Sperre mittels Sohlrampen beinhalteten.

## **5 Die Ereignisse von 1998**

Im Frühjahr 1995 erfolgte am Böschungsfuß eine Aktivierung der Bewegungen von zuvor im Mittel 15 mm/ Monat auf 20 mm/Monat. Ende 1995 lagen die Intensitäten bei 30 - 40 mm/Monat. Angesichts dieser Veränderung wurden bei einer Geländebegehung im Jahre 1996 weitere Anzeichen beobachtet, die auf eine allgemeine Bewegungsintensivierung schließen ließen. Dies traf vor allem für die Bereiche an der Hirschlacke und südlich der Brechries Reiße zu, wo deutliche Spuren erhöhter Aktivität aufgetreten waren.

Diese Bewegungsintensivierungen führten am 01.01.1998 zu umfangreichen Massenbewegungen in Form von Rutschungen und Felsstürzen (s. Abb. 6). Entlang einer steilen Felswand, in einer Höhe von 780 bis 870 m ü.NN, lösten sich Felsmassen ab, die den Fuß der Wand und das Bachbett des Jenbachs auf ca. 70 m Länge verschütteten (s. Abb. 5). Die Anbruchsnische hatte eine Breite von ca. 120 m, eine Tiefe von ca. 10 – 15 m und eine Horizontalerstreckung in Bewegungsrichtung von ca. 5 – 10 m. Der Anbruch folgte den erwähnten Trennflächen, wobei der Fels allerdings als vollständig zerrüttet und aufgelockert bezeichnet werden muss. Das Volumen der Sturzmasse konnte auf 10.000 bis 20.000 m<sup>3</sup> geschätzt werden. Der Jenbach selbst wurde durch die Sturzmasse nur kurzfristig aufgestaut, er bahnte sich nach kurzer Zeit einen Weg durch das Material und floss unterirdisch ab. Die Hangbewegung ist als Sekundärphänomen einer tiefgreifenden Hangbewegung zu sehen. Hinter der Anbruchsnische des Felssturzes hatte sich der gesamte Felskopf um ca. 2 – 4 m talwärts bewegt. Spuren von Entlastungsvorgängen und einer Ausdehnung des Bewegungsbereiches fanden sich sowohl oberhalb der Felswand bis gegen 1010 m ü.NN als auch südlich der Hangbewegung. In den frischen Anbrüchen fand sich stark wassergesättigtes

Verwitterungsmaterial aus Zementmergeln, das in diesem Stirnbereich entlang der Klüfte und Scherzonen mechanisch wirksam war.



*Abb. 5: Das durch Stürze und Rutschungen  
Auf ca. 70 m Länge verschüttete  
Bachbett des Jenbach im Mai 1998.*



*Abb. 6: Felsstürze und Rutschungen aus  
der Stirn der Sackung Brechries  
im Jahre 1998.*

Die Wassersättigung und die Auslösung der Bewegungen kann vermutlich mit den Niederschlägen in der ersten Dezemberhälfte 1997 sowie mit der Schneeschmelze in den letzten Dezemberwochen 1997 in Zusammenhang gebracht werden.

Zur Beobachtung der weiteren Entwicklung wurden vom GLA vier sog. Schnurextensometer, zwei davon über den Hauptanbruch, installiert. Bis Ende März 1998, als die Messungen wegen zu großer Gefährdung und dem teilweise Reißen der Schnüre eingestellt werden mussten, konnten am Felskopf Verschiebungen von 3 – 6 cm/Tag gemessen werden. Das direkt abgangsbereite Material am Hang konnte auf ca. 80.000 bis 100.000 m<sup>3</sup> geschätzt werden, wobei mit einem portionsweisen Abgang gerechnet wurde. Dies bestätigte sich auch im Laufe des Jahres, wie viele kleine Materialabgänge und eine größere Rutschung von ca. 10.000 m<sup>3</sup> am 17.03.1998 bewiesen (s. Abb. 6).

Eine Geländeaufnahme im Mai 1998 zeigte starke Zerreißen im Bereich zwischen 850 und 885 m ü.NN und wies auf weitere Materialabgänge hin.

Dadurch und durch Murschübe aus der Brechries - Reiße und einer südlich gelegenen Rinne wurde das Bachbett des Jenbachs weiter verschüttet, sodass sich flussaufwärts ein kleiner See bilden konnte (s. Abb. 5). Der Abfluss des Jenbachs erfolgte jedoch weiterhin weitgehend ungehindert unter den Rutschmassen.

Bis Ende des Jahres 1998 waren aus dem Bewegungsbereich ca. 100.000 m<sup>3</sup> Material abgegangen.

## **6 Präventivmaßnahmen**

Die aktuellen Bewegungen führten zu umfangreichen Präventivmaßnahmen seitens der Wasserwirtschaft:

### **6.1 Anbruchs- und Wildbachszenarien**

Es wurden Szenarien erstellt, die von einem größeren Aufstau des Jenbachs durch einen aus Rutschmaterial und Wildholz gebildeten Damm in der Talsohle ausgingen.

Szenario 1: Die Dammhöhe betrug bis Dezember 1998 rund 30 m und wäre bei entsprechenden Abdichtungsvorgängen in der Lage gewesen 95.000 m<sup>3</sup> Wasser aufzustauen.

Szenario 2: Durch Materialabgänge aus dem nördlichen Bereich mit ca. 300.000 m<sup>3</sup> potentieller Rutschmassen würde eine Dammhöhe von ca. 44 m erreicht. Der angestaute See könnte sich wesentlich vergrößern.

Szenario 3: Zusätzlich zu den Szenarien 1 und 2 rutscht der gesamte Bereich am Jägerstand mit ca. 600.000 m<sup>3</sup>. Eine Dammhöhe von rund 57 m könnte ein Stauvolumen von ca. 600.000 m<sup>3</sup> bewirken (s. Abb. 4).

Daraus ergaben sich folgende Gefährdungsbilder:

- Überströmung des bestehenden Dammes infolge fehlender Retention bzw. ungenügender Entlastung sowie rückschreitende Erosion (Overtopping);
- Damminstabilität infolge Sickerströmung und innerer Erosion (Pipping)
- Rutschung an der Front (Slippage)
- Auslösung von Murgängen
- Auslösung von Kettenreaktionen bei einem Ausbruch

Anlässlich der intensiven Niederschläge zu Pfingsten 1999 mit 350 mm/48 h wurden zwar keine größeren Rutschungen und Stürze ausgelöst, sie führten jedoch zu einem größeren Hochwasserereignis im Jenbach. Dadurch trat die erste Möglichkeit, nämlich das Overtopping ein. Der Damm wurde überströmt und es kam zu einem rückwärtigen Einschneiden in die Massen (s. Abb. 7). Es entstand ein Teildurchbruch von 20 – 40 m Breite, 25 – 30 m Höhe und ca. 70 – 100 m Länge. Rund 30.000 m<sup>3</sup> Material wurden verlagert, oberste Wildbachsperrern und ein Bagger verschwanden, der Weg wurde erodiert. Infolge des geringen Bachgefälles kam das Material nach ein paar hundert Meter weiter stromab schadlos zur Ablagerung.

## 6.2 Untersuchungsprogramm

Da aufgrund fehlender Messdaten kein vollständiges Bewegungsbild des Hanges erstellt werden konnte, musste im schlimmsten Fall davon ausgegangen werden, dass es zum Abgang des hier angeschätzten Volumens von 600.000 m<sup>3</sup> kommen könnte. Infolgedessen lief ein umfangreiches Untersuchungsprogramm in Zusammenarbeit mit dem GLA und dem WWA Rosenheim an. Dieses umfasste neben der Ermittlung bodenmechanischer Kennwerte, geoseismische Untersuchungen, zwei Bohrungen bis in ca. 80 – 100 m Tiefe (s. Abb. 4 u. 8), Inklinometermessungen, Dilatometerversuche und andere mehr.



Abb. 7: Der erodierte Damm am Fuß der Rutschung nach dem Pfingsthochwasser 1999.

## 6.2.1 Die Bohrungen

Die beiden Bohrungen (s. Abb. 4 u. 8) erreichten eine Endteufe von ca. 75 m (KB: 1 78m; KB2: 75 m). Infolge der starken Felsauflockerung musste die Bohrung KB 1 bei 78 m eingestellt werden. Bei beiden Bohrungen wurde kein stabiler Fels erreicht, das Gebirge war auf der gesamten Tiefe stark zerklüftet und durchwegs sehr brüchig. Die Bohrungen bestätigten darüber hinaus die Annahme einer großräumigen Sackung ohne ausgeprägte Gleitfläche.

Ebenfalls wurde bei beiden Bohrungen kein Wasser angefahren, es entstand vielmehr ein permanent vollständiger Spülwasserverlust. Die Annahme eines „nassen“, murähnlichen Abgangs ist daher eher unwahrscheinlich.

In allen Tiefen wurden immer wieder einzelne Lagen oder Zonen von plastischem, steifem bis halbfestem Material gefunden. Für diese Bereiche waren zudem Harnische als Zeugen von Relativbewegungen kennzeichnend.

## 6.2.2 Inklinometermessungen

Beide Bohrungen wurden zusätzlich für Inklinometermessungen (Fußpunkt bezogen) ausgebaut. Bei der Bohrung KB 1, wo diesbezügliche Messungen seit Juli 1999 vorgenommen werden, zeigen sich relativ gleichmäßige Bewegungsbeträge von durchschnittlich 7 mm im Monat (s. Abb. 9). Ähnlich verhält es sich bei der Bohrung KB 2. Aufgrund der geodätischen Messungen konnte jedoch nachgewiesen werden, dass auch die Inklinometer – Fußpunkte noch in bewegten Bereichen liegen, die Gesamtverschiebungen also höher als die gemessenen sind.

Konkrete Gleitbahnen wurden mit den Bohrungen nicht angefahren. Es wurden vielmehr mächtige Deformationszonen mit unterschiedlicher Bewegungscharakteristik erschlossen: während sich in KB2 die Hauptdeformation auf die oberen 35 m konzentriert und darunter nur geringe Verschiebungen stattfinden, zeigt KB 1 umgekehrte Verhältnisse. Die Hauptbewegungszone beginnt dort erst ab dieser Tiefe und reicht zumindest bis zur Endteufe bei 78 m.

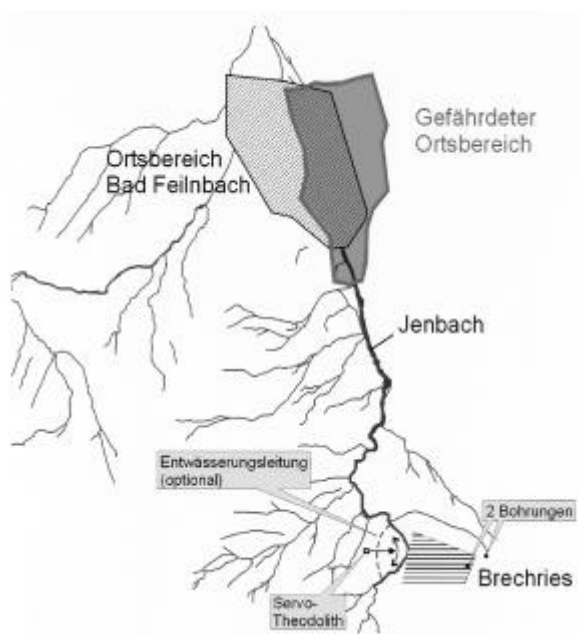


Abb. 8: Übersicht zum Messprogramm ab 1999 (Bohrungen, Servotheodolit) und Darstellung der durch Wildbachereignisse gefährdeten Ortsbereiche von Bad Feilnbach. (Quelle: Loipersberger, 2000).

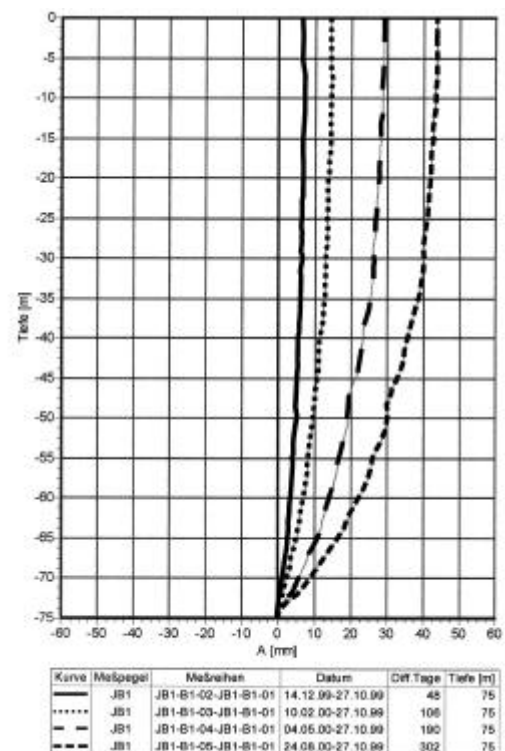


Abb. 9: Inklinometermessungen in der Bohrung KB 1 vom 27. 10. 1999 bis 24.08.2000.



### 6.2.3 Bodenkennwerte

An Proben der Bohrkerne, die nur sehr selten ungestört entnommen werden konnten, wurden darüber hinaus seitens des GLA Bodenkennwerte bestimmt (GLA, 2000):

Die Winkel der Gesamtscherfestigkeit bewegen sich bei Fließgrenzen von 0,40 bis 0,49 zwischen 24° und 26°, bei Fließgrenzen von 0,34 bis 0,41 zwischen 30° und 33°. Diese Festigkeiten können nicht bevorzugt bestimmten Tiefenbereichen zugeordnet werden, es müssen daher über die gesamte Mächtigkeit Minimalwerte angesetzt werden. Aufgrund der beobachteten Harnische können die mobilisierten Festigkeiten noch darunter liegen. Für die Standsicherheit ist dabei entscheidend, dass diese geringen Scherfestigkeiten parallel zu den Schichtflächen wirksam werden, die in den Berg hinein einfallen.

### 6.2.4 Seismische Untersuchungen

Die seismischen Untersuchungen bestätigten zusätzlich bei KB 2 die Annahme, dass die sog. „Hirschlacke“ einen geringmächtigen „schwebenden“ wassergesättigten Bereich darstellt. Eine Entwässerung derselben würde deshalb nicht viel bewirken (GLA, 2000).

## 7 Zusammenfassende Bewertung

Charakteristik und Verhalten der Hangbewegungen im Brechries konnten im Laufe der mehrjährigen Beobachtungen und Untersuchungen zumindest qualitativ weitgehend geklärt werden. Demnach werden die Bewegungen in ihrer Richtung bei einer Wechsellagerung aus harten und weichen Schichten insbesondere vom Trennflächengefüge und der Schichtung bestimmt. Dabei kann von einer größeren Sackung entlang der Klufflächen und einer kleineren Ausweichbewegung parallel zur Schichtung mit einem Gesamtvolumen von ca. 7 Mio m<sup>3</sup> ausgegangen werden. Als Folgen dieser Bewegungen treten zur Oberfläche hin zunehmende Knick- und Auflockerungsvorgänge auf, die mit Rutschungen und Felsstürzen an der Stirn reagieren. Örtlich kommen auch Externrotationen in Form hangauswärts gerichteter Kippbewegungen vor (GLA, 2000). Im mittleren Hangbereich werden vermutlich riesige Schollen wie die am Jägerstand als Ganzes über eine offenbar tiefliegende, mächtige Bewegungszone verschoben (~ „Blocksacken“ nach POISEL, 1998). Nicht zuletzt verläuft die Bewegung ohne Einfluss eines Bergwasserspiegels, Einflüsse des Niederschlags oder Abflusses sind nur sekundär wirksam. Ein Abgang großer Massen in stark wassergesättigter Form bis hin zu einer Mure kann somit weitgehend ausgeschlossen werden.

Insgesamt ist nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen (GLA, 2000) die Gefahr der Aktivierung tiefliegender Gleitzonen und damit der Abgang der Gesamtmasse als gering einzustufen, da

- die parallel zur Schichtung bergwärts fallend gerichteten Massenkräfte im Inneren des Hanges nur wenig Auflockerung zulassen,
- erdstatisch wirksame Gleitzonen nur in der Nähe der Hangoberfläche möglich sind
- und die beobachtete Entwicklung keinerlei Hinweise darauf gibt.

## 8 Schlussfolgerungen

Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die Bewegungen anhalten und aus der Rutschungsstirn Felsstürze und Rutschungen weiterhin niedergehen werden. Diese können auch erhebliche Dimensionen von mehreren 100.000 m<sup>3</sup> erreichen und den Bach blockieren. Die Gefahr von Rutschungen besteht derzeit im Nordteil der Sackung.

Da solche Sekundäranbrüche vorhersagbar sein sollten, wurde 1999 am Gegenhang ein Servotheodolit eingerichtet. Dieser fährt mit Hilfe eines Laser-Strahls automatisch 22 Messpunkte im Hang ab, die noch durch zusätzliche Punkte im nördlichen Bereich ergänzt werden sollen. Das

System ist seit November 1999 in Betrieb, wobei die Daten über Funk an das Wasserwirtschaftsamt Rosenheim geleitet werden.

Die Daten des Servotheodolits werden auch zur Klärung des Bewegungsmechanismus der gesamten Hangbewegung beitragen. Ergänzend dazu werden Messdaten von geophysikalischen (seismischen) Bohrlochversenkmessungen benötigt.

In einem weiteren Schritt sollen die Hangprozesse sowohl zwei- wie auch dreidimensional modelliert werden. Weiters ist danach die Modellierung der Transportprozesse im Bachbett vorgesehen.

Angesichts der geschilderten Ereignisse und der bisherigen Untersuchungsergebnisse wurden die schon früher begonnenen wildbachtchnischen Sicherheitsmaßnahmen seitens des WWA Rosenheim verstärkt:

- Durch die Errichtung zusätzlicher Konsolidierungssperren und die Räumung bestehender Auffangräume steht derzeit ein Auffangvolumen von rund 100.000 m<sup>3</sup> zur Verfügung. Am Talausgang, wo ein großer künstlicher Retentionsraum vorhanden ist, wird aus statischen Gründen eine neue Rückhaltesperre gebaut werden.
- Im unteren Bereich der Rutschung ist eine Sperre in flexibler Bauweise (Schüttrampe) vorgesehen. Damit soll ein neuerliches oder weiteres Eintiefen des Baches in den Damm aus Rutschmaterial vermieden werden.
- Zur Entwässerung eines möglichen Stausees ist aus bau- und sicherheitstechnischen Überlegungen nur ein Stollen im linken Hang realisierbar (s. Abb. 8). Die Baukosten dafür werden auf 10 – 12 Millionen DM geschätzt. Diese Alternative wird vorerst zurückgestellt, bis alle Untersuchungsergebnisse vorliegen.
- Mit den beteiligten Behörden wurde bereits 1998 ein Katastrophenplan erarbeitet.

## Literatur

- Bayer. Geologisches Landesamt & Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (1998): Felssturzgebiet Brechries am Jenbach, Gde. Bad Feilnbach. Abgestimmter Bericht. Unveröff.
- Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (1987): Wildbachkundliche Stellungnahme zum Brechries, Gde. Bad Feilnbach, Lkr. Rosenheim. Unveröff.
- Bunza, G. (2000): Investigation and Monitoring of Landslides with Torrential Significance in the Bavarian Alps. In: BROMHEAD, E., DIXON, N. and IBSEN, M.-L. (Ed.) – Landslides in Research, Theory and Practice, Proc. VIII ISL Cardiff 2000, Vol. 1, p. 195 – 202.
- Loipersberger, A. (2000): Katastrophen – Management am Beispiel einer Großhangrutschung am Jenbach. ATV-DVWK Landesverband Bayern, Mitglieder-Rundbrief 2/2000, S. 6-8.
- Poisel, R. (1998): Kippen, Sacken, Gleiten. Geomechanik von Massenbewegungen und Felsböschungen. Felsbau 16, Nr. 3, S. 135 – 140.