

Freitag 19. Oktober 2012

13:00-13:30

## **Erkundungen und Verhaltensbeurteilungen einer tiefgründigen Massenbewegung im Kaunertal**

Michael Holzmann, Bernhard Hofer

*TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG, Eduard Wallnöfer Platz 2, 6020 Innsbruck*

### **Allgemeines**

Das Kaunertalkraftwerk wurde in den Jahren 1961 bis 1964 errichtet. Mit einer Höhe von 153 m und einem Schüttvolumen von 7,1 Mio. m<sup>3</sup> ist der Staudamm Gepatsch, der höchste Schüttdamm Österreichs. Das durch den Staudamm generierte Stauvolumen beträgt ca. 138 Mio. m<sup>3</sup>. Die aus dem hinteren Kaunertal, dem Radurschltal, dem Pitztal und dem östlichen Kaunertal in den Speicher geleiteten Wasserfrachten betragen 320 Mio. m<sup>3</sup>/a und werden über eine Fallhöhe von 900 m im Krafthaus in Prutz abgearbeitet. Das Stauziel des Speichers liegt auf 1767 mMh, das Absenkeziel befindet sich auf 1665 mMh.

### **Geologie des Speicherraumes Gepatsch**

Der Speicher Gepatsch liegt im südwestlichen Bereich des Ötztal-Kristallinkomplexes (ÖKK). Lithologisch stehen hauptsächlich Paragneise, Orthogneise und Amphibolite an. Der ÖKK zeigt eine deutliche polymetamorphe Entwicklung, wobei nach bisherigen Untersuchungen mindestens drei Metamorphosen unterschieden werden können. Die geologischen Strukturen des N - S verlaufenden Kaunertals, sind von etwa E - W streichenden lithologischen Haupteinheiten und einem derart orientierten Großfaltenbau geprägt. Neben Großfalten mit Wellenlängen und Amplituden im km - Maßstabsbereich treten Kleinfalten im Zehnermeter bis Meterbereich sowie Kleinstfalten auf. Die Paragesteine werden zusammenfassend als Schiefergneise bezeichnet, als Orthogneise werden Augen - und Flasergneise und Muskovit - Granitgneise differenziert. Die Lockergesteinsüberlagerung wird von faziell unterschiedlich zuzuordnenden Lockergesteinen gebildet überlagert. Die Schiefergneise im Speicher werden im Norden und Süden durch Orthogneise begrenzt.

### **Tiefgründige Massenbewegungen entlang des Speicherraumes**

Bereits vor Baubeginn des Kaunertalkraftwerks war aus Kartierungen bekannt, dass sich die Hänge des Speicherbeckens (Schiefergneis) durch spät - und postglaziale Prozesse überformten, was die Planer dazu veranlasste, die zu Beginn als morphologisch geeignete Sperrenstelle am Jägerhaus fallen zulassen und weiter nach Norden in den kompetenten Augengneis zu rücken (Abb. 1).

Die durch die Staubewirtschaftung des Speichers Gepatsch tangierten tiefgründigen Massenbewegungen (MB) sind (Abb. 1):

#### Hochmais - Atemkopf

Durch den Ersteinstau im Juli 1964 traten im Bereich Hochmais Hangbewegungen einer Teilscholle auf. Die durch den Einstau induzierten Verschiebungen betragen in der Ersteinstauphase (1964 bis

1966) mehrere Meter. Ab dem Jahr 1967 sind die Bewegungsraten auf wenige Zentimeter pro Jahr abgeklungen.

### Nasserein

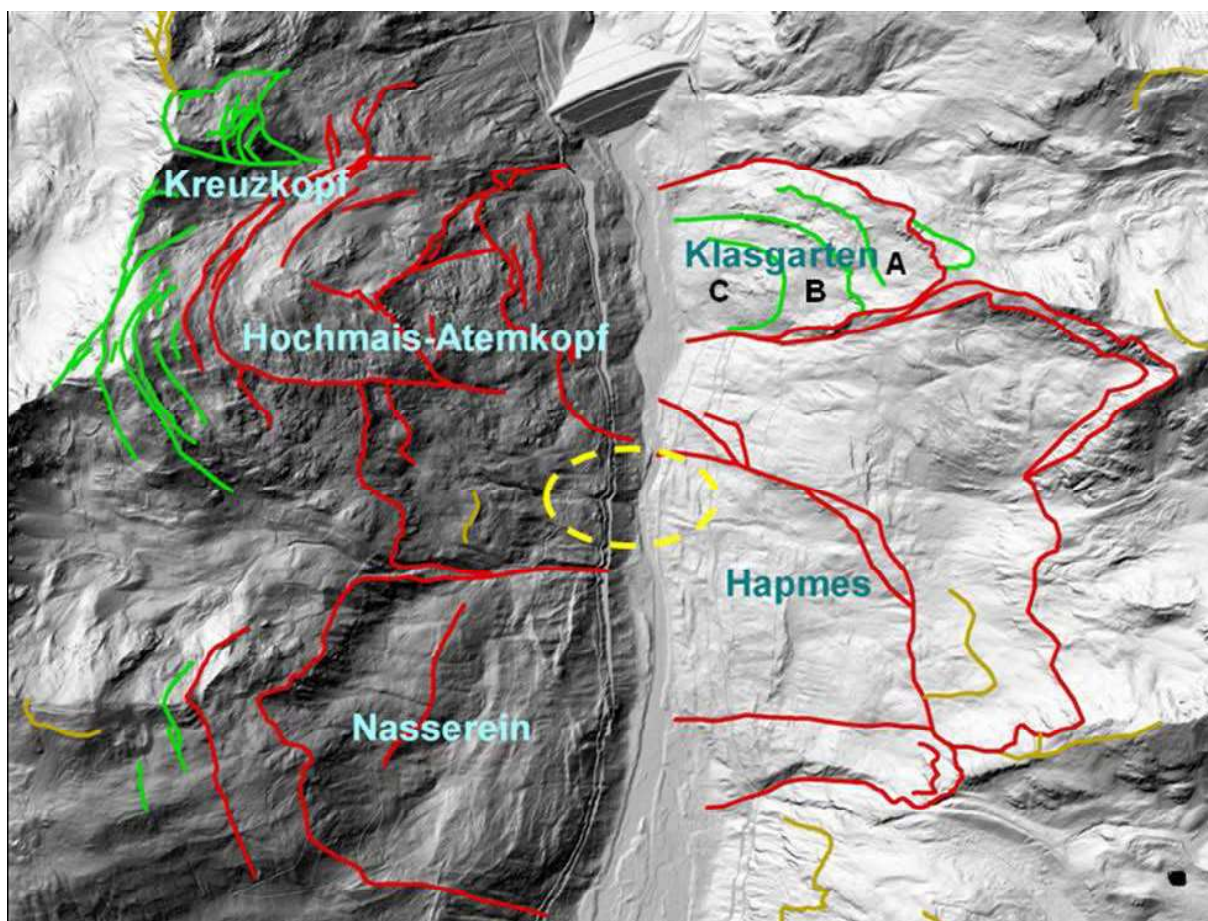
Der südlich an Hochmais-Atemkopf angrenzende Nassereinhang hat sich während der Ersteinstauphase im Jahre 1965 in einem geringen Maß bewegt. Die Bewegungen werden auf Sättigungssetzungen der stark aufgelockerten Masse im Hangfußbereich zurückgeführt (Laufer 1971). Die erhöhten Verschiebungsbeträge nahmen bereits nach wenigen Monaten wieder auf das Maß von wenigen mm/a ab.

### Klasgarten

Der Bereich Klasgarten wurde durch die Ersteinstauphase nicht beeinflusst. Es sind keine durch den Stau induzierten Verformungen dokumentiert. Messungen an Hangpunkten und Nivellements zeigen einen linearen Verschiebungsverlauf von wenigen cm über das Betriebsjahr.

### Hapmes

Bei der südöstlich liegenden Massenbewegung Hapmes kam es zu keinen stauinduzierten Hangbewegungen (Laufer, 1971). Die Verformungsrate der MB Hapmes ist speicherunabhängig und beträgt nur wenige mm/a.



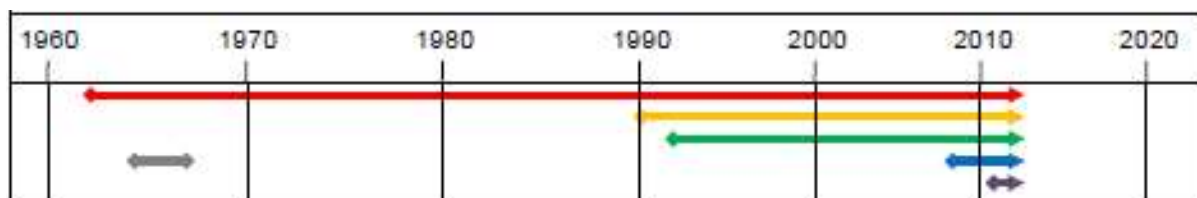
**Abb.1:** Massenbewegungen Speicher Gepatsch; rot... aktiv, grün...inaktiv, gelb...ursprünglich geplante Sperrenstelle Jägerhaus; Teilschollensystem Klasgarten: A (aktiv), B (inaktiv), C (inaktiv); Quelle: AlpS.

## Massenbewegung Klagarten

### Allgemeines zur MB Klagarten

Die MB Klagarten liegt, orographisch rechts im Norden des Speicherraums, zur Gänze im Paragneis und ist geomorphologisch durch eine Hauptabrisnische mit einer Versatzweite von mindestens 100 m bis 150 m sowie mindestens 2 Teilschollen mit sekundären Abrisskanten gekennzeichnet (Abb. 1). Die Schieferung zeigt im Bereich Klagarten, wie im gesamten Speicherraum, generelles E-W-Streichen, welche durch die starke Verfaltung stark variieren kann. Die Schieferung ist deutlich bis sehr deutlich ausgeprägt mit stellenweise konzentriertem Glimmeranteil entlang der Schieferungsflächen. Als Trennflächen treten dominant N - S bis NW - SE streichende steil bis subvertikal fallende Klüfte und Spalten auf. Das Volumen der MB Klagarten wurde bei einer Länge von 1160 m, einer Breite von 700 m und einer maximalen Mächtigkeit von 140 m, auf ca. 55 Mio. m<sup>3</sup> abgeschätzt. Die geomorphologische Oberflächensituation innerhalb der Massenbewegung ist durch intensive Auflockerung (Fragmentierung), Spaltenbildung und Verkippung der engständig geschieferten, glimmerreichen Schiefergneise und daraus hervorgehender Bildung von Blockschutt - / Felssturzaflagerungen gekennzeichnet. Entsprechend der Nomenklatur der Wp/Wli (1993) kann die Massenbewegung als „sehr langsame Rotationsgleitung im Fels“ bezeichnet werden. Die MB Klagarten besteht wie alle MB im Speicherbereich aus mehreren Teilschollen, von denen die als Teilscholle A bezeichnete aktiv ist. Die weiteren Schollen B und C liegen auf der Scholle A auf. Die südliche Begrenzung ist geomorphologisch deutlich ausgeprägt und verläuft im Graben westlich des Pfeifensteins. Die Nordbegrenzung verläuft südlich des Inneren Geilbaches.

In den Aufzeichnungen sind keine der Ersteinstauphase zuzuschreibenden initialen Verschiebungen nachgewiesen. Seit dem Bau des Kaunertalkraftwerks werden die Speicherhänge kontinuierlich vermessen bzw. wird das geologisch / geotechnische Bild durch zusätzliche Kartierungen und Erkundungen fortlaufend verdichtet und detailliert (Abb. 2).



**Abb. 2:** Timeline Monitoring und durchgeführte Erkundungen im Bereich Klagarten; rot...periodische Nivellement und trigonometrische Messungen, grau...Bohrungen 60er Jahre, orange...kontinuierliche Messungen mittels automatischem Servotheodoliten, grün...Inklinometer KG1, blau...Erkundungen 2009 bis 2011, violett...Sondierstollen Klagarten.

### Verformungsmessungen Klagarten

Die Speicherhänge werden seit Mitte der 60er Jahre trigonometrisch, sowie mittels Präzisions - Nivellement vermessen. Nivellementmessungen entlang der Uferstraße finden 2 - mal pro Jahr statt. Die Messpfeiler an den Talhängen werden entweder mehrmals täglich, halbjährlich oder fünfjährlich vermessen.

### Nivellementmessungen entlang der Uferstraße

Aus den Präzisions - Nivellementmessungen entlang der Uferstraße Ost kann die Nord - und Südabgrenzung der MB Klasgarten, als Ergänzung zu den Erkenntnissen aus der Kartierung, sehr gut bestimmt werden. Die Setzungsrate entlang der Uferstraße West zeigt einen konstanten Verlauf und beträgt im Betriebsjahr ca. 12 - 13 mm. Die Setzungen der MB werden von den staubedingten reversiblen Hebungen und Setzungen der Uferstraße überlagert.

### **Verformungsmessungen Klasgarten**

Die Speicherhänge werden seit Mitte der 60er Jahre trigonometrisch, sowie mittels Präzisions - Nivellement vermessen. Nivellementmessungen entlang der Uferstraße finden 2 - mal pro Jahr statt. Die Messpfeiler an den Talhängen werden entweder mehrmals täglich, halbjährlich oder fünfjährlich vermessen.

### Nivellementmessungen entlang der Uferstraße

Aus den Präzisions - Nivellementmessungen entlang der Uferstraße Ost kann die Nord - und Südabgrenzung der MB Klasgarten, als Ergänzung zu den Erkenntnissen aus der Kartierung, sehr gut bestimmt werden. Die Setzungsrate entlang der Uferstraße West zeigt einen konstanten Verlauf und beträgt im Betriebsjahr ca. 12 - 13 mm. Die Setzungen der MB werden von den staubedingten reversiblen Hebungen und Setzungen der Uferstraße überlagert.

### Trigonometrische Messungen

Das Triangulierungsnetz wird seit den 60er Jahren fortlaufend ergänzt. Die Messpunkte sind auf einer Höhe zwischen 1710 und 2137 mN installiert. Die Bewegungsvektoren zeigen mit zunehmender Höhe einen steileren Fallwinkel an, was mechanisch auf eine Rotationsgleitung hinweist. Die mittleren Verformungsraten betragen 1,4 bis 3,5 cm/a wobei Aktivitäten von 2 bis 3 cm/a dominieren.

### Totalstation am Staudamm Gepatsch

Seit dem Jahre 1990 ist ein automatischer Servotheodolit auf der Dammkrone installiert, welcher fünfstündlich ausgewählte Punkte (Messpfeiler) an den Hängen Klasgarten und Hochmais bzw. am Staudamm vermisst.

### **Erkundungen Bereich Klasgarten**

#### Aufschlüsse und Erkundungen bis 2009

In den 60er Jahren wurde im Bereich der MB Klasgarten auf Höhe der Uferstraße die Bohrung B3 abgeteuft. Aus Pegelbeobachtungen und Spülverlusten beim Bohren wurde eine hohe hydraulische Durchlässigkeit innerhalb der MB abgeleitet, was mit dem festgestellten hohen Zerlegungsgrad in der MB korreliert.

Im Jahr 1992 wurde in mittlerer Höhe der MB eine Bohrung abgeteuft und als Inklinometer ausgebaut (Bezeichnung KG1). Die Wasserdurchlässigkeit ist im mittleren Höhentel der MB ebenfalls hoch; es wurde kein zusammenhängender Bergwasserspiegel festgestellt (Tentschert, 1998).

### Aufschlüsse und Erkundungen im Zuge Ausbau Kraftwerk Kaunertal

Die lithologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im hinteren Kaunertal wurden in mehrjähriger Geländearbeit, ergänzend zu den vorliegenden **Kartierungen** aus dem Bau und Geländearbeiten im Betriebszeitraum, nochmals detailliert kartiert. Der strukturgeologische Datenpool und die Kenntnisse zur Morphologie (z.B. Scarps) konnten durch diese zusätzlichen Kartierungsarbeiten sowie **Laserscenauswertungen** (LiDAR) erweitert werden.

Von der Geländeoberkante aus wurden in den Jahren 2009 bis 2011 drei **Erkundungsbohrungen** mit Teufen zwischen 100 m und 168 m ausgeführt. Bevor die Bohrungen als Inklinometer bzw. kombinierte Inklinometer - / Grundwassermessstellen ausgebaut wurden, sind Bohrlochversuche (ABI / OBI, HPT, etc.) durchgeführt worden. Aus den Bohrungen ist bekannt, dass der Zerlegungsgrad des Gebirges innerhalb der MB zwischen mäßig aufgelockert bis aufgelockert variiert. Als geeigneter Parameter zur Bestimmung der basalen Bewegungszone zwischen den Teilschollen und dem kompetenten Grundgebirge hat sich der RQD - Wert herausgestellt. Die RQD - Werte im Schiefergneisgebirge unterhalb der MB sind im Vergleich zu den RQD - Werten in der MB größer und variieren weniger stark. Die Mächtigkeit der Kakiritzonen

Wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich Geometrie, internem Bau und geomechanisch - hydrogeologische Gebirgsverhältnisse liegen durch den im Zeitraum Februar bis August 2011 aufgefahrenen, 690 m langen **Sondierstollen Klargarten** (SKG) vor. Die Trassierung des SKG basiert auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Erkundungskampagne sowie der Auswertung von Verformungsmessungen und lehnt sich an den Verlauf des Sondierstollens 1 (Hochmaisscholle) an (Abb. 3). Der SKG und die darin abgeteuften Horizontal- und Vertikalbohrungen haben mehrfach verschiedene Kluftsysteme und Störungszonen sowie die basale Bewegungszone der MB Klargarten durchörtert, und weisen auf eine geometrisch komplexe Hangdeformationsstruktur hin. Die erkundeten Gebirgsverhältnisse zeigen, dass es sich bei der Basis der Massenbewegung um eine bis zu mehrere Meter mächtige Deformationszone handelt, welche in ihrem Zerlegungsgrad stark variiert. Es liegen sandig-kiesige Kakirite und Fault Gouges sowie spröde Bruchzonen vor. Dazwischen treten weniger deformierte Gesteinsabschnitte auf, welche z.T. einige Meter Mächtigkeit aufweisen. Im Nordbereich bilden die zahlreichen steil bis mittelsteil südfallenden Störungszonen mehrere Schwächezonen, entlang welcher die derzeitige Deformation akkumuliert. Die Geometrie wird strukturell durch die spröden Störzonen stark beeinflusst. Die basale Geometrie wird neben Störungen durch Schieferungsflächen und/oder schieferungsparallelen Lagenbau beeinflusst. Deutlich lässt sich der Einfluss der duktilen Strukturen auf die basale Geometrie im Bereich Stationierung 512 bis 543 m („Kernbereich Massenbewegung“) durch Umbiegen der Schieferung von S-fallend nach N-fallend zeigen wodurch abgeleitet wird, dass die MB Klargarten aufgrund der duktilen Strukturen keine einfache Wannensstruktur aufweist.

Die Grundwassersituation wurde durch die in den Bohrungen durchgeführten Versuche (HPT) sowie Wasserstandsmessungen aufgeschlossen. Kontinuierliche Pegelmessungen in Messstellen zeigen, dass der Wasserstand in der MB den Schwankungen der Stauhöhe ohne ausgeprägte Zeitverzögerung folgt, was auf eine hohe hydraulische Durchlässigkeit der Massenbewegung deutet. Erst bei sehr geringen Stauhöhen entkoppelt sich das Grundwasser vom Einfluss des Stauspiegels und es stellt sich der natürliche Bergwasserspiegel ein. Die Deformationszonen der Teilschollen B und C haben keine wasserstauende Wirkung. Die Art der Wasserzutritte im Sondierstollen zeigt, dass die



Hauptzirkulation des Wassers vorwiegend an Schichtgrenzen (Moräne – Schiefergneis) sowie tektonischen und gravitativ bedingten Deformationszonen stattfindet. Packertests in einer Bohrung aus dem Herbst 2011 zeigen im Vergleich mit den Packertests aus einer Bohrung im unmittelbaren Nahbereich welche ein Jahr zuvor abgeteuft wurden, dass durch den Bau des Sondierstollens der Grundwasserspiegel als Folge der Drainagewirkung des Stollens abgesenkt wurde.

Neben dem Zweck der Erkundung wird der Sondierstollen künftig mit Monitoring-Equipment ausgestattet um den Speicherhang, ergänzend zu den bereits installierten Systemen, permanent z.B. mittels Extensometer überwachen zu können.

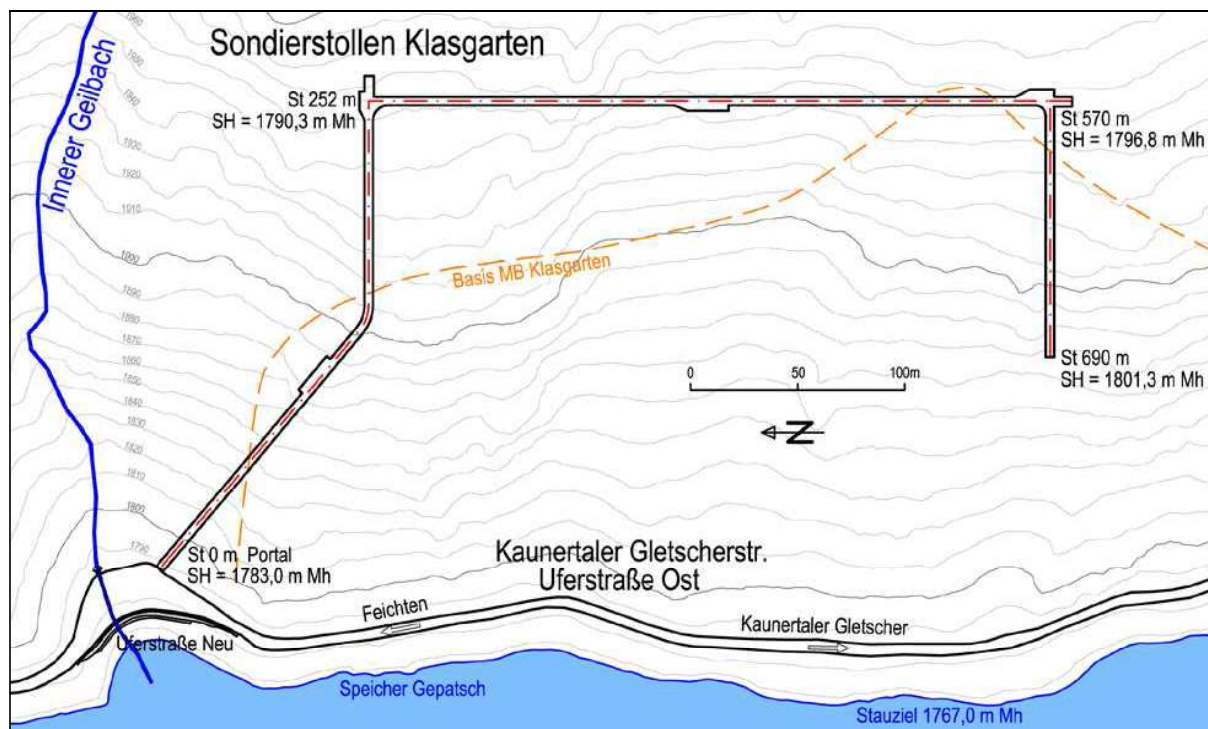


Abb. 3: Trasse Sondierstollen Klaggarten; orange...Grenze der MB Klaggarten auf Stollenniveau,

### Zusammenfassung

Seit dem Bau des Kaunertalkraftwerks hat sich der Erkenntnisstand zur MB Klaggarten fortlaufend erweitert. Durch die zusätzlichen Aufschlüsse aus der jüngeren Bohrkampagne, den Kartierungen und dem Bau des Sondierstollen Klaggarten konnten sowohl die geologisch/hydrogeologischen als auch die geometrisch-kinematischen Modelle bestätigt und ergänzt werden. Aus den jahrzehntelangen Messreihen ist bekannt, dass die Bewegungen der MB Klaggarten unabhängig von der Speicherbewirtschaftung sind und Verformungsraten von ca. 2 bis 3 cm pro Jahr aufweisen. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die MB Klaggarten eine interne Gliederung in aufgelockerte bis stark aufgelockerte Teilschollen aufweist und in den Kontaktbereichen teilweise Zonen aus kakiritischen Gesteinen entstanden sind. Es ist ersichtlich, dass die Verortung der einzelnen Bewegungszonen durch Vernetzung des strukturellen Inventars beeinflusst wurde. Künftig werden periodische und kontinuierliche Messungen im Sondierstollen Klaggarten den Kenntnisstand weiter vertiefen.

### Literatur

Tentschert (1998): Das Sackungsverhalten der Sackungshänge im Speicher Gepatsch (Tirol, Österreich), Felsbau 16, Nr.3.

Lauffer (1971) et al.: Der Auftrieb als Ursache von Hangbewegungen bei der Füllung des Gepatschspeichers, Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, Sonderdruck aus Heft 4, Jg.14.

Wp/Wli Unesco Working Party on World Landslide Inventory (1993): Multilingual Landslide Glossary, The Canadian Geotechnical Society, BiTech PublishersLtd., Richmond, Canada.