

Massenbewegungen - Standsicherheitsprobleme ober und unter Tage

Univ.Doz.Dipl.Ing.Dr. R.Poisel

Massenbewegungen sind ein Thema, das zwangsläufig an Aktualität gewinnen wird, weil wir auf unserer Suche nach Raum für Siedlungen, Verkehrswege, wasserwirtschaftliche Maßnahmen usw. mehr und mehr in Bereiche vorstoßen, die früher aus guten Gründen gemieden wurden. Einer der Gründe, warum in bestimmten Bereichen früher nicht gebaut wurde, sind Massenbewegungen, also gravitative Ausgleichsbewegungen übersteilter Talflanken, ausgelöst durch den Tiefenschurf des Wassers oder des Eises. Das Referat behandelt Auswirkungen von Massenbewegungen ober und unter Tage.

STANDSICHERHEITSPROBLEME OBER TAGE

Standsicherheitsprobleme ober Tage in Zusammenhang mit Massenbewegungen sollen am Beispiel von Systemen demonstriert werden, bei denen harte, spröde Felsmassen auf einem weichen, fließenden Sockel liegen. Im Fall des Reißkofels (Kärntner Gailtal, Abb.1) besteht der nachgiebige (inkompetente) Sockel aus diaphthoritischem Kristallin (tektonisch stark beanspruchte Glimmerschiefer), permoskythischen Sandsteinen sowie Werfener Schichten (Schiefertone und Sandsteine). Der harte (kompetente) Teil des Systems besteht aus Muschelkalk an der Basis, Partnach-Plattenkalken und darüber mächtigen Wettersteinkalken.

Die Südflanke des Reißkofels ist von Massenbewegungen geprägt, bei denen sich Großluftkörper der spröden Felsmassen mit einer Kubatur von mehreren Millionen Kubikmetern zufolge des Nachgebens der Sockelmaterialien talwärts bewegen. Beobachtungen in der Natur (z.B. in-situ-Messungen, Abb. 2), Berechnungen und Modellversuche (Abb. 3) zeigen, daß diese Großluftkörper einerseits zufolge eines Muschelbruches im Sockel abgleiten können, damit zu einer Versiegelung des Sockels führen und die Stabilitätsverhältnisse verbessern (Abb. 4).

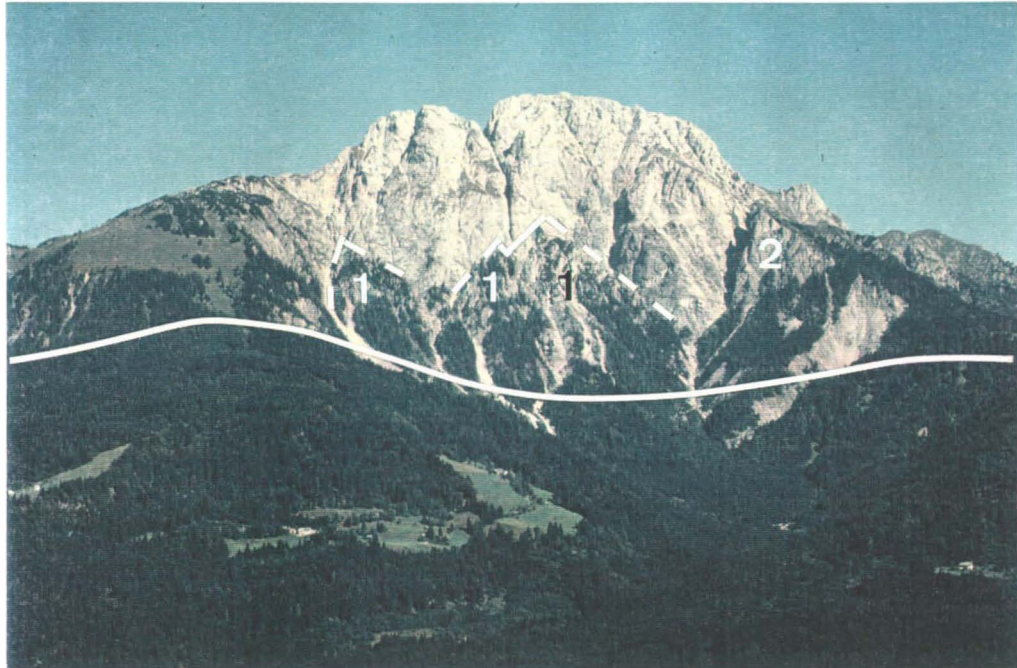


Abb.1: Reißkofel Südflanke

- Grenze zwischen kompetenten und inkompetenten Gesteinen
- 1 abgeglittene Großkluftkörper
- 2 kippender Großkluftkörper (Alplspitz)

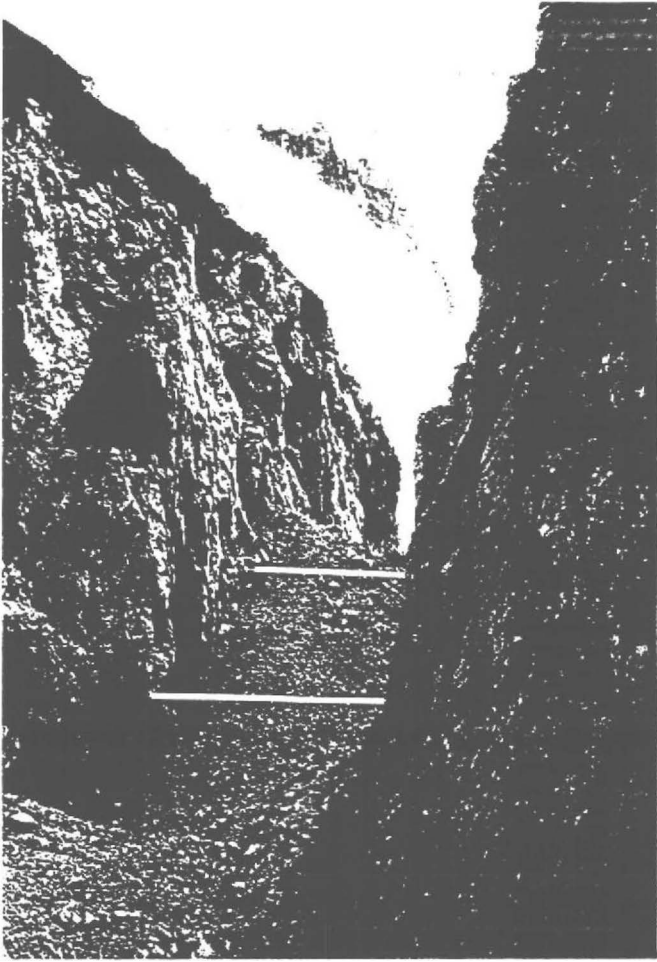


Abb.2: Großluftgasse in der Reißkofel
Südflanke,
rechts kippender Großluftkörper
—— Meßstrecke



Abb.3: Modellversuch, Talwärtsskippen
eines Großluftkörpers
Sockel: Silikonkautschuk
"kompetentes" Material: feuchter
Fein- bzw. Mittelsand

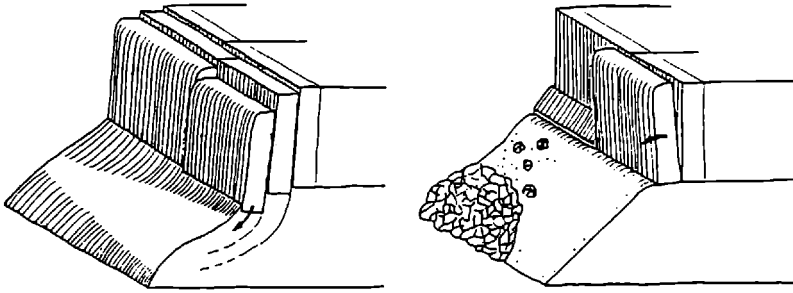


Abb.4: Bewegungsmöglichkeiten von Großkluftkörpern aus kompetentem Fels auf einem inkompetenten Sockel

links: Abgleiten von Großkluftkörpern

rechts: Talwärtskippen eines Großkluftkörpers

Andererseits gibt es aber auch Hinweise auf das Talwärtskippen von Großkluftkörpern (Abb. 5). Dieser Mechanismus läßt in hohen Flanken große Bergstürze befürchten, d.h. er stellt eine wesentlich größere Gefahr dar als das Abgleiten. Talflanken, bei denen harter Fels auf einem weichen Sockel liegt, bedürfen daher mehr als andere einer Überwachung, wenn eine Gefahr für Menschenleben oder für Sachwerte besteht.



Abb.5: V-förmige Großkluftgasse zwischen Reibkofel - Hauptmasse und Alplspitz, die auf das Kippen hinweist

STANDSICHERHEITSPROBLEME UNTER TAGE

Obwohl es immer wieder bei Tunnelvortrieben und auch bei in Betrieb befindlichen Tunneln Hinweise auf Standsicherheitsprobleme unter Tage in Zusammenhang mit Massenbewegungen gibt, gibt es kaum Beispiele in der Praxis, bei denen dieses Problem einer adäquaten Lösung zugeführt wurde. Ein Grund dafür ist, daß Massenbewegungen auch für manche Geologen noch immer die Ausnahme und nicht - wie in Wirklichkeit - die Regel sind. Die Natur leistet sich keine großen Sicherheiten und daher sind Massenbewegungen wesentlich häufiger als angenommen. Wenn nicht bereits im Projektstadium der Geologe auf die Gefahr einer Massenbewegung und auf die damit verbundenen Schwierigkeiten beim Vortrieb und bei der Erhaltung eines Tunnels hinweist und dieser Hinweis auch aufgegriffen wird, dann bestehen meist kaum mehr Chancen, daß es zur Suche nach Alternativen kommt (außer vielleicht hinterher). Solche Fälle werden daher die Quelle enormer Erhaltungskosten werden.

In numerischen Modellen wurde die Beanspruchung der Stützmittel von Lehnentunneln in Massenbewegungen untersucht, deren Bewegungsrichtung normal auf die Tunnelachse verläuft (Abb. 6).

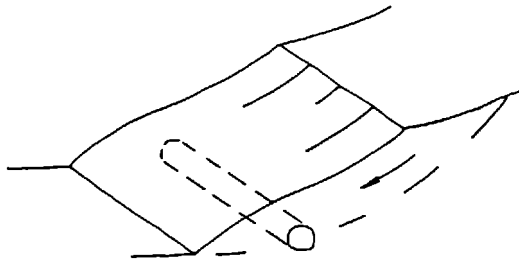


Abb.6: Lehnentunnel in einer Massenbewegung;
Bewegungsrichtung normal auf die Tunnelachse

Abb. 7 zeigt die für einen Tunnel in einer Massenbewegung typischen Verformungen des Querschnittes zufolge der Kriechbewegungen des Gebirges.

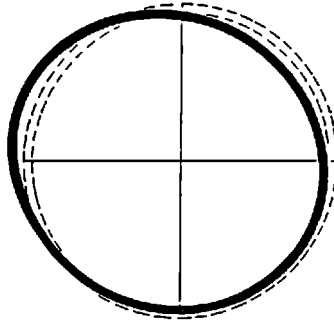


Abb.7: Zufolge Massenbewegung verformter, ursprünglich kreisförmiger Tunnelquerschnitt (Böschungfuß links)

Die daraus resultierenden Tangentialspannungen im Auskleidungsbeton, die mit der Zeit zunehmen, zeigt Abb. 8.

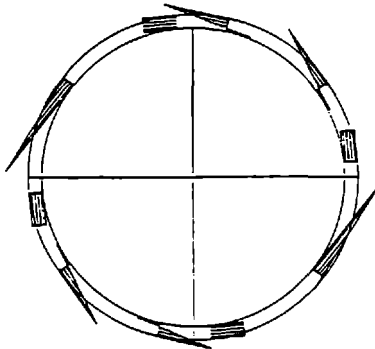


Abb.8: Tangentialspannungsverteilung im Betonausbau eines Tunnels in einer Massenbewegung
schwarz: Zugspannungen
schraffiert: Druckspannungen
(Böschungfuß links)

Sie reichen von Zug- bis zu hohen Druckspannungen. Besonders charakteristisch für die Beanspruchung der Auskleidung eines Lehnentunnels in einer Massenbewegung sind positive Biegemomente im bergseitigen First- und talseitigen Sohlbereich sowie negative Biegemomente in der oberen talseitigen Ulme und in der unteren bergseitigen Ulme. Diese Beanspruchungen nehmen mit der Zeit zu. Abb. 9 zeigt aus dieser Beanspruchung resultierende Brucherscheinungen in einem Stollen der 2. Wiener Hochquellenleitung.

Positive Biegemomente haben zu Biegezugrissen, negative zu Abplatzungen und Scherbrüchen an der Leibung geführt. Dies ist ein besonders gutes Beispiel dafür, daß die Asymmetrie des Rißbildes im Auskleidungsbeton eines Tunnels ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Rissen zufolge betontechnologischer Mängel (z.B. Schwindrisse) und Rissen zufolge geomechanischer Schadensursachen darstellt.

Charakteristisch für die Ankerbeanspruchungen sind besonders hohe Ankerkräfte in den Ulmen und Druckbeanspruchungen der Anker in der bergseitigen Firste und der talseitigen Sohle, sofern es eine Sohlankerung gibt. Eine Sohlankerung wirkt sich jedenfalls insofern günstig aus, als sie die Extremwerte der Betonspannungen herabsetzt. Die Druckbeanspruchungen der Anker wirken sich in der Praxis dadurch aus, daß Anker in diesen Positionen in den Tunnel gedrückt bzw. Ankerplatten locker werden.

Diese ungünstigen Verformungstendenzen sowie die ungünstigen Beanspruchungen des Betonausbaues und der Anker sollten zur Suche nach Alternativen führen. Die Alternative, in einer Massenbewegung keinen Tunnel zu bauen oder die Massenbewegung zu stabilisieren, ist zweifellos die beste. Bei Verdacht auf eine Massenbewegung sind jedenfalls Investitionen in ein Drainagesystem zur Entwässerung der Talflanke oder auch nur in eine sorgfältige Ableitung der Oberflächenwässer eine außerordentlich wirtschaftliche Baumaßnahme und senken die Erhaltungskosten.

Wo eine Verlegung der Trasse oder Maßnahmen zur Stabilisierung des Hanges nicht möglich sind, bietet sich das Tieferlegen des Tunnels in Bereiche an, die von der Massenbewegung nur mehr gering oder überhaupt nicht mehr beeinflußt werden. Dort sind zwar die in situ-Spannungen höher, der Betonring wird aber wesentlich weniger auf Momente beansprucht und es fällt vor allem die Entwicklung von Zugspannungen in der Auskleidung weg.



Abb.9: Brucherscheinungen in einem Stollen der 2.Wiener Hochquellenleitung zufolge einer Massenbewegung (Böschungsfuß links) Foto: W.Eppensteiner

Im Gegensatz zur Variante, den Tunnel tiefer in den Berg zu legen, führt eine Verstärkung des Ausbaues zwangsläufig zu höheren Spannungen im Ausbau, vor allem zu höheren Zugspannungen, weil ein steiferer Ausbau Spannungen anzieht. In einer dickeren Auskleidung gibt es eine sehr rasche Entwicklung zu hohen Zugspannungen.

Einen speziell für Lehnentunnel in Sackungen gestalteten Querschnitt in Form einer geneigten Ellipse schlug z.B. IMHOF vor. In Massenbewegungen ist die Achse der größten lokalen (in bezug auf die Bewegungszone) in situ - Spannung unter etwa 45° gegen die Horizontale geneigt. Es wurde daher ein Querschnitt in Form einer Ellipse, deren Hauptachse unter 45° gegen die Horizontale geneigt ist, mit etwa demselben nutzbaren Lichtraumprofil untersucht (Abb. 10).

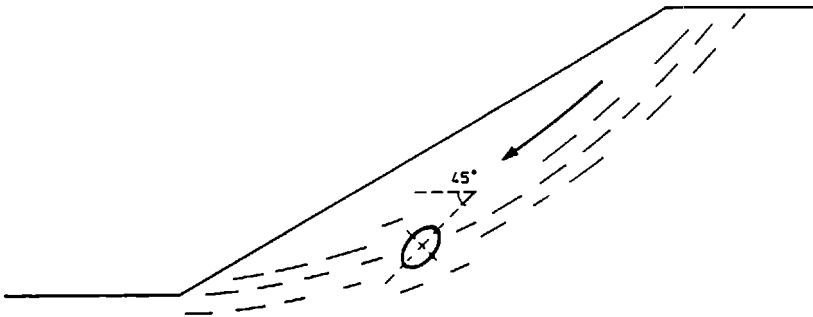


Abb.10: Alternative "ellipsenförmiger Tunnelquerschnitt in einer Massenbewegung"

Es ergab sich eine wesentlich günstigere Spannungsverteilung (vor allem keine Entwicklung von Zugspannungen) in der Auskleidung als beim Kreisprofil. Auch das Verformungsverhalten und die Verformungsgeschwindigkeiten sind beim ellipsenförmigen Querschnitt wesentlich günstiger als beim kreisförmigen. Ein gravierender Nachteil des ellipsenförmigen Querschnittes ist allerdings die wesentlich ungünstigere Beanspruchung der Auskleidung im stabilen Hang. Überlegungen in bezug auf die Trassenführung oder die konstruktive Gestaltung eines Tunnels im Zusammenhang mit einer Massenbewegung können daher nur auf der Basis von Voruntersuchungen angestellt werden, die z.B. die geologischen Verhältnisse, die Ausdehnung, die Kinematik und die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Massenbewegung erfassen.

Autor: Univ.Doz.Dipl.-Ing.
Dr.techn.R.Poisel, TU Wien
Inst. f. Geologie
Karlsplatz 13
1040 Wien