Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 11-12

Artikel: Erforderliche Felsüberdeckung bei Druckstollen und Druckschächten
Autor: Schleiss, Anton
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940597

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Erforderliche Felsüberdeckung bei Druckstollen und Druckschächten

Anton Schleiss

Zusammenfassung

Für Druckstollen und Druckschächte werden, je nachdem ob die Auskleidung dicht oder durchlässig ist, unterschiedliche Kriterien für die erforderliche Felsüberdekkung vorgestellt. Die primäre, minimale Gebirgsspannung ist aber in beiden Fällen der massgebende Parameter. Die Tragfähigkeit einer dichten Auskleidung reduziert die erforderliche Felsüberdeckung. Bei durchlässigen Auskleidungen muss eine ausreichende Felsüberdeckung die Gefahr eines hydraulischen Gebirgsbruches verhindern (hydraulic jacking). Dabei spielen die durch die Sickerströmung verursachten hydraulischen Massenkräfte eine entscheidende Rolle. Massgebend für die erforderliche Felsüberdeckung kann bei durchlässigen Auskleidungen allenfalls auch die Reichweite der Sickerströmung aus dem Stollen werden.

Summary: Required rock overburden for pressure tunnels and pressure shafts

The required rock overburden is given for pressure tunnels and pressure shafts. The criteria differ depending on whether the lining is pervious or impervious. For both cases the minor principal stress in the rock mass is the governing parameter. An impervious lining enables a reduction of the required overburden through its carrying capacity. In the case of a pervious lining the overburden must prevent hydraulic jacking of the overlaying rock mass. An important factor are the hydraulic forces caused by the seepage flow. With pervious linings the required overburden can also be determined by the extent of the seepage around the tunnel.

Résumé: Couverture rocheuse nécessaire pour galeries et puits en charge

Deux critères différents, concernant la couverture rocheuse nécessaire à la stabilité du massif rocheux au voisinage des galeries et puits en charge sont présentés. Ces critères dépendent du degré de perméabilité du revêtement des puits et des galeries. L'état initial des contraintes dans le massif rocheux est, dans les deux cas, le paramètre déterminant. La portance d'un revêtement étanche permet de réduire la couverture nécessaire. Dans le cas d'un revêtement perméable, une épaisseur de couverture suffisante doit empêcher tout danger de fracturation hydraulique du massif. Ici, les forces résultant des écoulements jouent un rôle primordial. Pour les revêtements perméables, le rayon d'influence des écoulements à partir des galeries peut, dans certains cas, devenir le facteur déterminant.

1. Einleitung

Die Tragfähigkeit von Druckstollen und Druckschächten wird massgeblich von den primären Gebirgsspannungen beeinflusst, welche ihrerseits normalerweise von der Felsüberdeckung abhängig sind. Für die Bestimmung der erforderlichen Felsüberdeckung werden oft empirische Ansätze empfohlen, welche als Parameter nur den Innenwasserdruck und geometrische Grössen berücksichtigen. Falls keine Gebirgsparameter in Erscheinung treten, sind solche Faustformeln immer an bestimmte geologische Verhältnisse gebunden. Sie haben also höchstens im Entwurfsstadium von Druckstollen und Druckschächten eine Berechtigung, falls die geologischen Gegebenheiten ähnlich sind.

Im folgenden soll verdeutlicht werden, von welchen Gebirgsparametern die erforderliche Felsüberdeckung massgeblich bestimmt wird. Einen wesentlichen Einfluss auf die erforderliche Felsüberdeckung haben auch Auskleidungen beziehungsweise deren Tragfähigkeit. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Auskleidung durchlässig oder dicht ist.

2. Erforderliche Felsüberdeckung bei dichten Auskleidungen

Bei dichten Auskleidungen wie Stahlpanzerungen, vorgespannten oder mit Kunststoffolien gedichteten Betonauskleidungen wirkt der Innenwasserdruck ausschliesslich an deren Innenseite. Auskleidung und Gebirge nehmen den Innenwasserdruck gemeinsam auf:

$$p_i = p_A + p_G \qquad (1)$$

wobei
p_i: Innenwasserdruck
p_A: Lastanteil der Auskleidung
p_G: Lastanteil des Gebirges

Die Tragfähigkeit der Auskleidung reduziert also den Lastanteil des Gebirges und somit die erforderliche Felsüberdeckung. In der Praxis treten dabei zwei Fragestellungen auf:

1. Erforderliche Felsüberdeckung bei einer gegebenen Auskleidungstragfähigkeit
2. Erforderliche Auskleidungstragfähigkeit bei einer gegebenen Felsüberdeckung

Mit Hilfe eines einfachen Modells kann der Grenzwert der Gebirgsmitwirkung bzw. die maximale Belastbarkeit des Gebirges durch die Auskleidung bei einer gegebenen Felsüberdeckung abgeschätzt werden (Bild 1) [1]. Dabei wird angenommen, dass das Gebirge infolge der Belastung bis zu einer bestimmten Tiefe radialsymmetrisch reisst. Betrachtet man die ungerissene Felszone als dickwandiges Rohr, so liefert die Gleichgewichtsbedingung an dessen Innenrand folgenden Zusammenhang:

$$p_{G\,max} = k_o\, \rho_G\, g(L - r_f)\, \frac{r_f\,(1 - r_f^2/L^2)}{r_a\,(1 + r_f^2/L^2)}$$

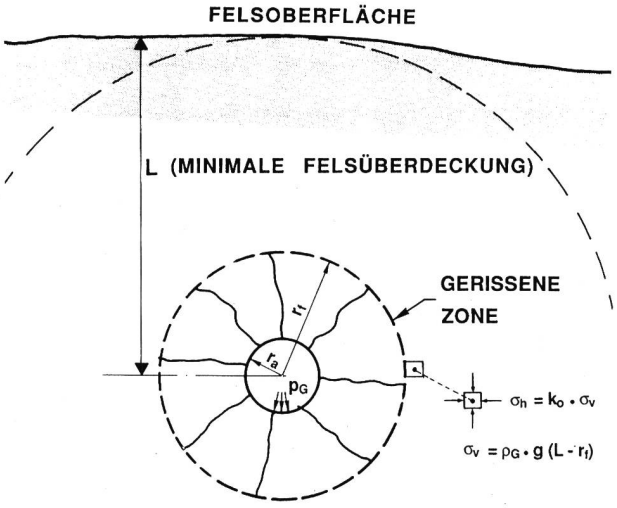

Bild 1. Modellvorstellung der gerissenen Felszone bei teilweiser Gebirgsmitwirkung im Falle einer dichten Druckstollenauskleidung.

wobei

k_o Seitendruckziffer (Verhältnis der minimalen zu den maximalen natürlichen Gebirgsspannungen = σ_{min} / σ_{max} bzw. oft = σ_h / σ_v)

ρ_G Dichte des Gebirges

L: Minimale Distanz von der Stollenachse zur Felsoberfläche (= minimale Felsüberdeckung)

r_f Radius der gerissenen Felszone

r_a Aussenradius der Auskleidung

Für eine Risslänge $r_f = 0{,}343\ L$ erreicht die Gebirgsmitwirkung nach der obigen Gleichung einen Maximalwert. Bei dieser Rissausdehnung würden aber nahe an der Felsoberfläche beträchtliche Zugspannungen auftreten. Diese sind vernachlässigbar klein, falls die Risslängen r_f auf 10% von L beschränkt werden. Mit dieser Forderung ergibt sich Gleichung (2) in guter Näherung zu:

$$p_{G\,max} = k_o \cdot \rho_G \cdot g\,(L - r_f)\,(r_f/r_a) \qquad (3)$$

Im weiteren sollten die Risse auf das Spannungsfeld begrenzt bleiben, welches sich durch die Spannungsumlagerungen nach dem Hohlraumausbruch in Stollennähe ausbildet. Bis in eine Tiefe von etwa $r_f = 3\ r_a$ kann mit einer günstigen, erhöhten Spannungskonzentration gerechnet werden. Zusätzlich zu der in Gleichung (3) eingeflossenen Forderung wird also $r_f \leq 3\ r_a$ verlangt. Dies ergibt für die maximale Grenzmitwirkung des Gebirges:

$$p_{G\,max} \leq 3\,k_o \cdot \rho_G \cdot g\,(L - 3\,r_a) \qquad (4)$$

Bei einer gegebenen Felsüberdeckung muss demzufolge die Auskleidung einen Lastanteil von mindestens $p_A = p_i - p_{G\,max}$ aufnehmen können. Ist hingegen die maximal mögliche Lastaufnahme der Auskleidung $p_{A\,max}$ gegeben, so erhält man mit dem Gebirgsanteil $p_G = p_i - p_{A\,max}$ für die erforderliche Felsüberdeckung:

$$L_{erf} \geq (p_i - p_{A\,max}) / (3\,k_o \cdot \rho_G \cdot g) + 3\,r_a \qquad (5)$$

Zu erwähnen ist, dass das Verhältnis der minimalen zu den maximalen Gebirgsspannungen allenfalls mit zunehmender Felsüberdeckung ändern kann. In diesem Falle kann die erforderliche Felsüberdeckung gemäss Gleichung (5) nur auf iterativem Wege gelöst werden.

Mit den Gleichungen (4) und (5) können die eingangs erwähnten Fragestellungen 1 und 2 beantwortet werden. Massgebender Gebirgsparameter ist also die durch die Seitendruckziffer beschriebene minimale, natürliche Gebirgsspannung. Nicht in Erscheinung tritt hingegen das Verformungsverhalten des Gebirges. Dieses ist für die Bestimmung der Lastaufteilung zwischen Auskleidung und Gebirge von Bedeutung. Die Lastaufteilung darf aber nur bei voller Gebirgsmitwirkung vorgenommen werden. Die Lastaufteilung ergibt sich aus einer Verträglichkeitsbedingung der Radialverschiebungen von Auskleidung und Fels. Anschliessend ist zu überprüfen, ob die volle Gebirgsmitwirkung auch tatsächlich vorhanden ist. Dies geschieht, indem der aus der Verträglichkeitsbedingung bestimmte Gebirgsanteil $p_G = p_i - p_A$ in Gleichung (5) eingesetzt wird. Die sich ergebende erforderliche Überdekkung muss dann grösser als die vorhandene sein. Ist die vorhandene Überdeckung geringer, so darf das Gebirge höchstens mit der Grenzmitwirkung gemäss Gleichung (4) berücksichtigt werden. Der Lastanteil der Auskleidung vergrössert sich dann entsprechend auf $p_A = p_i - p_{G\,max}$.

Um die Unsicherheiten der beschriebenen Modellbildung, insbesondere die Gebirgsinhomogenitäten, abzudecken, empfiehlt es sich, die Grenzmitwirkung des Gebirges gemäss Gleichung (2) bzw. die erforderliche Überdeckung gemäss Gleichung (5) mit einem Sicherheitsfaktor von $S = 2{,}0$ zu erhöhen. Eine mittragende Wirkung des Gebirges sollte aber nur bei Felsüberdeckungen berücksichtigt werden, welche den 20fachen Stollenradius übersteigen ($L_{erf} \geq 20\ r_a$).

3. Erforderliche Felsüberdeckung bei durchlässigen Auskleidungen

Das Kriterium der erforderlichen Felsüberdeckung muss bei durchlässigen oder unausgekleideten Druckstollen grundsätzlich anders formuliert werden als bei absolut dichten. In unarmierten und armierten Betonauskleidungen bilden sich unter Innenwasserdruck zwangsläufig Risse. Somit kann eine Sickerströmung vom Stollen ins geklüftete Gebirge entstehen, welche dieses durch Strömungskräfte beansprucht [2, 3]. Der Innenwasserdruck wirkt dann nicht nur als Flächenlast an der Auskleidungsinnenseite, sondern auch als Massenkraft in der Auskleidung und im Fels selbst. Solange die natürlichen Gebirgsspannungen in der Lage sind, die Spannungen infolge dieser Massenkräfte zu überdrücken, ist die Tragfähigkeit des Gebirges noch gewährleistet. Übersteigt aber beispielsweise der Wasserdruck in einer Kluftfläche die dort vorhandenen Normalspannungen, so wird sich die Kluft öffnen. Der Wasserdruck kann sich so nahezu unabgemindert weiter ins Gebirge fortpflanzen. Dies führt unweigerlich zu einem progressiven Gebirgsbruch, verbunden mit sehr hohen Wasserverlusten [4]. Im englischen Sprachraum spricht man in diesem Zusammenhang von «Hydraulic Jacking» oder «Hydraulic Fracturing».

Vergleicht man die natürlichen, minimalen Gebirgsspannungen mit denjenigen infolge von Innenwasserdruck, so ergibt sich folgendes Kriterium für die erforderliche Felsüberdeckung bei einem durchlässigen Druckstollen:

$$L_{erf} \geq \sigma_{G\,max}(p_a) / (k_o \cdot \rho_G \cdot g) \qquad (6)$$

$\sigma_{G\,max}(p_a)$ Maximale Felsspannungen infolge wirksamem Wasserdruck p_a an der Auskleidungsaussenseite

k_o Seitendruckziffer (= σ_{min} / σ_{max} bzw. oft = σ_h / σ_v)

ρ_G Dichte vom Gebirge

Der wirksame Wasserdruck p_a unterscheidet sich nur merklich vom Innenwasserdruck p_i, falls die Sickerströmung durch die Auskleidung auch einen entsprechenden Druckabbau erfährt. Dies trifft höchstens bei schwach beanspruchten Druckstollen zu, deren Betonauskleidungen auf Risseverteilung bewehrt werden können. Bei unarmierten, gerissenen Stollenauskleidungen ist der Druckabbau vernachlässigbar klein ($p_a \sim p_i$). Der Druckabbau in der Auskleidung sowie die maximalen Felsspannungen lassen sich nach der Theorie der durchlässigen Druckstollen berechnen [3]. Diese Theorie berücksichtigt die erwähnten Kraftwirkungen der Sickerströmung, welche zwangsläufig aus einem durchlässigen oder unverkleideten Druckstollen entsteht. Die hydraulischen Massenkräfte bewirken Felsdeformationen, welche sich vorwiegend in den Klüften manifestieren. Dadurch ändern sich die Felsdurchlässigkeit und somit wiederum die Kraftwirkungen der Sickerströmung. Dies führt zu sogenannten mechanisch-hydraulischen Wechselwirkungen [3]. Solange nur die Felsspannungen betrachtet werden, dürfen diese ausser acht gelassen werden. Hingegen ergibt die Berücksichtigung der hydraulischen Massenkräfte bei durchlässigen Stollen deutlich höhere Felsspannungen als bei einer dichten Stollenlaibung.

Die erforderliche Überdeckung bei durchlässigen und unverkleideten Stollen wird also ebenfalls massgebend von den primären, minimalen Gebirgsspannungen beeinflusst. Bei Anwendung des Überdeckungskriteriums gemäss Gleichung (6) sollte ein Sicherheitsfaktor von $S = 1{,}5$ beachtet werden. Die entlastende Wirkung eines allfällig vorhandenen Bergwasserspiegels kann bei der Berechnung der Felsspannungen infolge von Innendruck berücksichtigt werden.

Neben der Verhinderung eines progressiven Gebirgsbruches muss eine ausreichende Felsüberdeckung auch gewährleisten, dass die Sickerströmung aus dem Stollen bei Gefahr von Hanginstabilitäten die Felsoberfläche nicht erreichen kann. Sind nämlich dichte Felsformationen oder Lockergesteinsschichten nahe der Hangoberfläche vorhanden, so kann sich unter ihnen infolge der Wasserverluste aus dem Stollen ein Überdruck aufbauen. Dadurch können grossräumige Hangrutschungen ausgelöst werden [4]. Bei diesen Verhältnissen muss also neben Gleichung (6) gefordert werden:

$$L_{erf} \geq R \qquad (7)$$

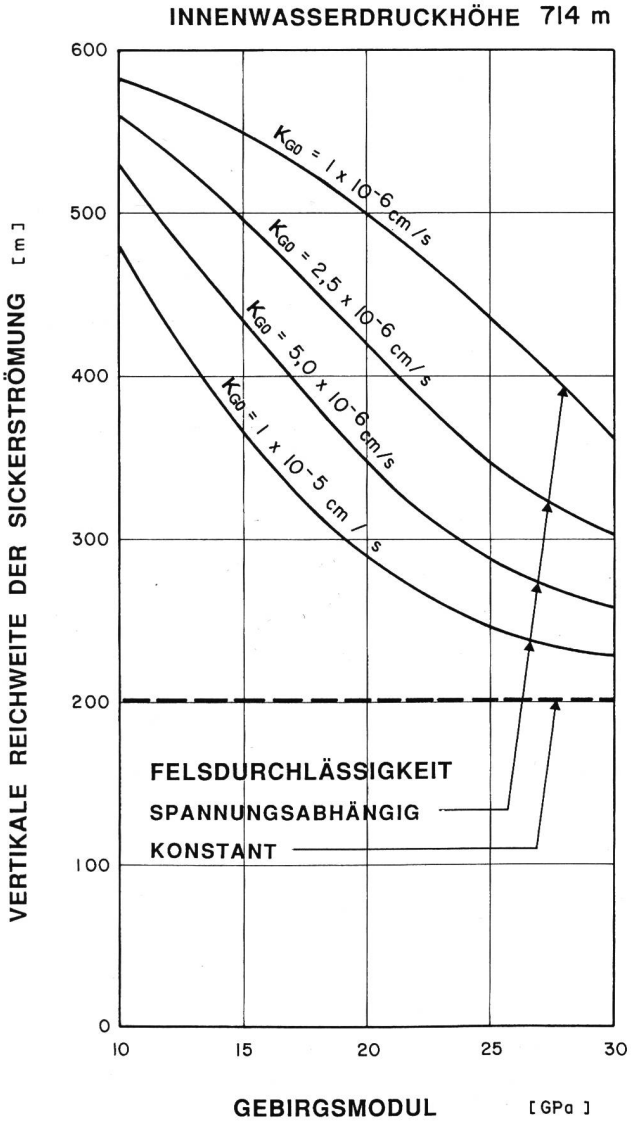

Bild 2. Vertikale Reichweite der Sickerströmung in Abhängigkeit des Gebirgsmoduls und der Gebirgsdurchlässigkeit (K_{G0} = primäre Gebirgsdurchlässigkeit). Beispiel: Hochdruckstollen Collierville des Kraftwerks North Fork in Kalifornen.

R: Massgebende Reichweite der Sickerströmung aus dem Stollen (in Richtung der geringsten Gebirgsüberdeckung)

Grosse Reichweiten der Sickerströmung sind vor allem dann zu erwarten, wenn kein oder nur ein Bergwasserspiegel geringer Mächtigkeit vorhanden ist. Bei der Anwendung des Kriteriums nach Gleichung (7) dürfte im Normalfall ein Sicherheitsfaktor von $S = 1{,}2$ genügen.

Die freie Oberfläche der Sickerströmung sowie die Wasserverluste können nach der Methode von *Bouvard* und *Niquet* abgeschätzt werden [5, 6]. Dabei ist aber bei hohen Innenwasserdrücken zu berücksichtigen, dass sich die Felsdurchlässigkeit in der Umgebung des Stollens als Folge der erwähnten mechanisch-hydraulischen Wechselwirkungen erhöht. Der Einbezug einer spannungsabhängigen Felsdurchlässigkeit ergibt im Gegensatz zu einer konstant angenommenen Durchlässigkeit grössere Reichweiten der Sickerströmung. Der Einfluss verschiedener Felsparameter auf die Reichweite ist in Bild 2 anhand eines konkreten Beispiels verdeutlicht [1]. Dabei zeigt sich, dass die mechanisch-hydraulischen Wechselwirkungen die Reichweite um so stärker vergrössern, je schlechter der Gebirgsmodul und je geringer die ursprüngliche Durchlässigkeit ist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich die Kluftweiten unter Innenwasserdruck im schlechten bzw. leicht deformierbaren Gebirge am stärksten öffnen. Die relative Durchlässigkeitsänderung ist dann am grössten, wenn die ursprüngliche, noch nicht von Deformationen beeinflusste Felsdurchlässigkeit gering war. Besonders ausgeprägt ist die Durchlässigkeitsänderung auch im schwach geklüfteten Fels, da sich die Deformationen infolge von Innenwasserdruck nur in wenigen Klüften manifestieren. Die Reichweite der Sikkerströmung kann ohne weiteres um einen Faktor 2 unterschätzt werden, wenn der Einfluss einer spannungsabhängigen Durchlässigkeit vernachlässigt wird.

4. Bestimmung der primären Gebirgsspannungen

Massgebender Parameter bei der Bestimmung der erforderlichen Felsüberdeckung sowohl bei dichten wie auch durchlässigen Druckstollen und Druckschächten sind die primären, minimalen Gebirgsspannungen. Zu deren Bestimmung haben sich seit einigen Jahren die aus der Erdöltechnik stammenden «Hydraulic Fracturing»- oder «Hydraulic Jacking»-Versuche durchgesetzt. Dabei wird in einem durch Packer abgegrenzten Bohrlochabschnitt der Wasserdruck während eines Abpressversuchs so lange gesteigert, bis das Gebirge reisst oder sich bestehende Klüfte öffnen. Aus dem zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Injektionsdruck lassen sich die minimalen Gebirgsspannungen bestimmen. Falls im Bohrlochabschnitt keine Felsklüfte vorhanden sind, können eigentliche «Hydraulic Fracturing»-Versuche durchgeführt werden, bei denen neue Felsrisse erzwungen werden. Mittels Bohrlochkameras oder Packerabdrücken lassen sich die Richtung der Risse und somit auch die Richtung der Gebirgsspannungen bestimmen. Die Auswertung des Versuchs liefert Angaben sowohl über die minimalen wie auch die maximalen Gebirgsspannungen. Die Versuche sind aber aufwendig und erfordern spezielle Apparaturen und eine grosse Erfahrung seitens des Ausführenden.

In den meisten praktischen Fällen ist das Gebirge geklüftet, so dass nur «Hydraulic Jacking»-Versuche durchgeführt werden können. Das Öffnen der Klüfte lässt sich aus einer Aufzeichnung der Wasserverluste aus dem getesteten Bohrlochabschnitt gegenüber dem Abpressdruck

erkennen. Sobald die Wasserverluste nicht mehr linear, das heisst überproportional zunehmen, haben sich die Klüfte geöffnet. Der zugehörige Abpressdruck entspricht den minimalen Gebirgsspannungen. Über deren Richtung können aber keine Aussagen gemacht werden. Hingegen liefert der «Hydraulic Jacking»-Versuch auch Angaben über die Gebirgsdurchlässigkeit.

5. Schlussfolgerungen

Die Beurteilung der Gebirgstragfähigkeit bzw. die Frage nach der erforderlichen Felsüberdeckung ist bei der Planung und Bemessung von hochbeanspruchten Druckstollen und Druckschächten von entscheidender Bedeutung. Die Anwendung von Faustformeln kann zu Fehleinschätzungen führen, da diese die wesentlichen Gebirgskennwerte meistens nur ungenügend berücksichtigen und an bestimmte geologische Gegebenheiten gebunden sind. Massgebend für die Bestimmung der erforderlichen Felsüberdeckung sowohl bei dichten wie durchlässigen Druckstollen sind die primären, minimalen Gebirgsspannungen. Hingegen muss das Überdeckungskriterium bei dichten und durchlässigen Auskeidungen anders formuliert werden, da deren physikalisches Verhalten völlig unterschiedlich ist. Dichte Auskleidungen übertragen nur flächenhafte, rein mechanische Kräfte auf das Gebirge. Sie können zudem eine eigene, bedeutende Tragfähigkeit haben, wodurch die erforderliche Überdeckung reduziert wird. Bei durchlässigen Auskleidungen entsteht eine Sikkerströmung vom Stollen ins Gebirge. Der Lastteil der Auskleidung am Innenwasserdruck hängt von deren Dichtigkeit bzw. vom Druckabbau der Sickerströmung durch die Auskleidung ab. Die im Gebirge noch vorhandenen Strömungskräfte bewirken eine volumenhafte Felsbelastung. Da die Gebirgsdurchlässigkeit wegen der Deformierbarkeit der Klüfte auch spannungsabhängig ist, entstehen mechanisch-hydraulische Wechselwirkungen. Diese sind bei der Bestimmung der Reichweite der Sikkerströmung aus dem Stollen zu berücksichtigen. Neben der Gebirgstragfähigkeit kann auch diese Reichweite für die erforderliche Felsüberdeckung massgebend werden, falls Durchnässungen von oberflächennahen Schichten zu Hanginstabilitäten führen.

Literaturverzeichnis

[1] *Schleiss, A.:* Analyse der Gebirgstragfähigkeit bei der Bemessung des Hochdruckstollens Collierville in Kalifornien. 38. Salzburger Kolloquium für Geomechanik. 1989, pp. 73–80.

[2] *Schleiss, A.:* Bemessung von Druckstollen. Teil I: Grundlagen, Literatur, Felshydraulik, insbesondere Sickerströmungen durch Auskleidung und Fels. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 1985.

[3] *Schleiss, A.:* Bemessung von Druckstollen. Teil II: Einfluss der Sickerströmung in Betonauskleidung und Fels, mechanisch-hydraulische Wechselwirkungen, Bemessungskriterien. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 1986.

[4] *Schleiss, A.:* Bemessungskriterien für betonverkleidete und unverkleidete Druckstollen. «Wasserwirtschaft», Heft 3, 1988, pp. 118–122.

[5] *Bouvard, M.:* Les fuites des galeries en charge en terrain sec. Rôle du revêtement, des injections, du terrain. «La Houille Blanche» 4, 1975, pp. 255–265.

[6] *Bouvard, M.; Niquet J.*: Ecoulements transitoires dans les massifs autour d'une galerie en charge. «La Houille Blanche» 3, 1980, pp. 161–168.

Adresse des Verfassers: *Anton Schleiss,* Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, Postfach, CH-8034 Zürich.

Schutzwasserbau heute und morgen

Andreas Götz

1. Einleitung

In Europa beträgt der durchschnittliche Jahresniederschlag laut Angaben der Unesco 770 mm. Mit 1456 mm erhält somit die Schweiz erheblich mehr Niederschlag als die meisten Regionen Europas. Da der Verdunstungsbeitrag mit 484 mm praktisch gleich hoch wie das europäische Mittel ist, fliesst in der Schweiz mit 978 mm ungefähr dreimal mehr Wasser ab als europaweit. Die Schweiz ist deshalb nicht nur ein wasserreiches, sondern auch ein gewässerreiches Land. Auf jeden Quadratkilometer ihrer Oberfläche entfallen durchschnittlich 1 Kilometer Fliessgewässer. Die Gesamtlänge der Bäche und Flüsse entspricht somit ungefähr dem Erdumfang am Äquator oder, in Zahlen ausgedrückt, rund 42 000 Kilometer.

Nebst der Anzahl der Gewässer ist auch deren unterschiedliche Erscheinungsform von Bedeutung. Als Folge der Vielgestaltigkeit – denken wir nur an die Alpen, das Mittelland und den Jura – haben wir uns in der Schweiz mit der ganzen Hochwasserschutzpalette – von der Wildbachverbauung bis hin zur Schutzmassnahme am Wald- und Wiesenbach oder Fluss – zu befassen.

Schutzwasserbau kann auch nicht losgelöst von der umgebenden Landschaft betrieben werden. Zur Hauptsache ein Gebirgsland mit dem Ufer des Lago Maggiore (193 m ü. M.) als tiefstem und der Dufourspitze (4634 m ü. M.) als höchstem Punkt weist die Schweiz eine Vielzahl von Regionen mit sehr unterschiedlichen Landschaftsbildern und Klimaten auf. Schon der berühmte Dichter, Arzt und Naturwissenschaftler, *Albrecht Haller* (1707–1777) hob hervor, dass «Helvetien fast alle Vegetationsregionen Europas bietet, vom äussersten Lappland... bis nach Spanien».

Zwar hat der Mensch seinen Lebensraum schon über Jahrtausende gestaltet und verändert; diese Änderungen erfolgten langsam und schrittweise, so dass sich Natur und Mensch gegenseitig anpassen konnten. In den letzten 100 Jahren wurde unsere Landschaft jedoch in einem noch nie dagewesenen Ausmass umgestaltet. So sind beispielsweise seit 1800 ungefähr 85% der Hochmoore verschwunden und hat sich seit 1950 die überbaute Fläche mehr als verdoppelt. Die Forderung nach haushälterischem Umgang mit dem Boden ist heute nicht mehr bestritten, dennoch ist ein Ende der Entwicklung nicht abzusehen. Bauliche Grossprojekte im Verkehrsbereich, steigender Bedarf an Wohn-, Arbeits- und Erholungsraum werden unseren Lebensraum weiterhin verändern.

Zum Schutz vor Hochwasser hat der Mensch seit eh und je in den Lauf der Gewässer eingegriffen, und angesichts der Entwicklungen im genutzten Raum sind Hochwasserschutzmassnahmen auch in Zukunft eine Notwendigkeit.

Diskussionen im Zusammenhang mit Schutzwasserbau werden wie in vielen anderen Bereichen von zwei Interessengruppen geprägt: Für die einen steht eine möglichst uneingeschränkte Nutzung im Zentrum; für die andern hat die Erhaltung des Fliessgewässers als wichtiger Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als Landschaftselement höchste Priorität. Die Erfahrung zeigt, dass die Zukunft nicht dem «Entweder – oder», sondern dem «Sowohl als auch» gehört.