Zeitschrift: Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 18 (1926)

Heft: 1

Artikel: Ueber den Bau von Druckwasser-Leitungsstollen im Gebirge

Autor: Feller, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920414

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: 23.08.2025

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

von Kehl vorgenommenen Erweiterungen gewähren der Schiffahrt sehr anerkennenswerte Vorteile.

Gez.: HOEBEL (Vorsitzender), MONTIGNY (stellv. Vorsitzender), HEROLD, ICKES, SPIESS, DENIL, MITCHELL, PALLUCCHINI, KÖNIG, STRICKLER, DE L'ESPINASSE (Schriftführer).

Anmerkung des Sekretariats: Die französische Delegation hat bezüglich des Wasserstandes, auf den sich die durch die Regulierungsarbeiten auf der Strecke Sondernheim-Straßburg angestrebte Tiefe von 2 m beziehen soll, ein Vorbehalt gemacht, weil dieser Wasserstand ihrer Ansicht nach nicht dem gleichwertigen Wasserstand entspricht.

Begutachtungs-Protokoll Nr. 6.

Strecke: Straßburg-Basel.

Basel, den 15. September 1924.

Während die Strecke unterhalb Straßburg dank der seit 1907 im Niederwasserbett ausgeführten Regulierungsarbeiten günstige Schiffahrtsbedingungen aufweist, ist die Strecke Straßburg-Basel nur Gegenstand von Korrektionsarbeiten im vorigen Jahrhundert gewesen, die die Vorflut bei Mittelwasser und gewöhnlichem Hochwasser bezweckten und befindet sich in einem Zustand, der für die Schiffahrt, wie sie heute ausgeübt wird, wenig günstig ist. Er läßt diese Schiffahrt durchschnittlich nur während 4—5 Monaten — gewöhnlich April bis August — zu.

Infolge der fortwährenden Auskolkung unterhalb Istein wird die Schiffahrt auf der Höhe der Isteiner Schwelle immer schwieriger; die Kiesbänke, die am hinderlichsten sind, befinden sich gewöhnlich unterhalb Rheinau.

Zur Verbesserung dieser Strecke sind Projekte ausgearbeitet worden oder sind noch in Ausarbeitung. (Grand Canal d'Alsace, Regulierung unterhalb Istein.) Da die Zentralkommission über diese Projekte teils schon verhandelt hat, teils nächstens verhandeln soll, glaubt der Ausschuß, mangels eines Spezialauftrages, diese nicht in ihren Einzelheiten prüfen oder bewerten zu sollen. Diese Prüfung und Beurteilung würden übrigens mehr Zeit erfordern, als der Ausschuß im Laufe seiner Reise zur Verfügung hatte.

Die Frage der zeitweisen Verbesserung der Schiffbarkeitsbedingungen durch Baggerungen auf den Schwellen gegen Ende der jährlichen Schiffahrtsperiode ist vom technischen Standpunkt aus in einem Bericht vom Monat März 1921 behandelt worden, der der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt durch drei Sachverständige, einen schweizerischen, einen badischen und einen französischen vorgelegt wurde.

Der technische Ausschuß stellt fest, daß die Schiffahrt nach Basel, die mit einfachen Versuchsfahrten begann, schon jetzt eine bemerkenswerte Entwicklung erreicht hat; er betrachtet jedoch als Hauptbedingung für die weitere Entwicklung der Schiffahrt zwischen Straßburg und Basel, daß die Ausbauarbeiten, mit welchen die Zentralkommission sich jetzt schon für den Abschnitt von Kembs in einem Beschluß vom 10. Mai 1922 einverstanden erklärt hat, und für die übrige Strecke die Arbeiten, die sie für geeignet halten wird, um eine dauernde Wasserstraße für die Großschiffahrt zu schaffen, möglichst gleichzeitig und in nächster Zeit in Angriff genommen werden.

Der Ausschuß stellt mit Genugtuung fest, daß die Fähren, die 1908 zwischen Straßburg und Hüningen bestanden, entfernt worden sind. An Stellen, an denen feste Haltepunkte in Anbetracht der Beschaffenheit der Flußsohle für die Sicherheit der Schiffbrücken nicht notwendig sind, empfiehlt der Ausschuß die Beseitigung der Eisbrecher in Erwägung zu ziehen, die noch an einigen dieser Brücken vorhanden sind, und die bei gewissen Lagen des Fahrwassers die Schiffahrt behindern können.

Die Eisenbahnbrücke und die Straßenbrücke Straßburg-Kehl bilden infolge ihrer geringen lichten Höhe ein ernstes Hindernis für die Schiffahrt; der Ausschuß spricht den Wunsch aus, daß diese Verhältnisse durchgreifend verbessert werden, und zwar so, daß alle Schiffe, bei allen schiffbaren Wasserständen ohne Behinderung nach Basel fahren können.

Der Bau und die Einrichtungen der Häfen von Basel, St. Johann und Klein-Hüningen, die von der Stadt Basel mit Hülfe der schweizerischen Eidgenossenschaft geschaffen worden sind, stellen zugunsten der Einführung und der Entwicklung einer lebhaften Schiffahrt auf der Strecke Straßburg—Basel eine beträchtliche Anstrengung dar, welcher der Ausschuß gerne seine Anerkennung zollt.

Gez.: HOEBEL (Vorsitzender), MONTIGNY (stellv. Vorsitzender), HEROLD, ICKES, SPIESS, DENIL, MITCHELL, PALLUCCHINI, KÖNIG, STRICKLER, DE L'ESPINASSE (Schriftführer).

Ueber den Bau von Druckwasser-Leitungsstollen im Gebirge.

Von Ing. A. Feller, Zürich.

I. Die Aufgaben des Stolleningenieurs.

Beim Bau von Druckwasser-Leitungsstollen im Gebirge hat der Ingenieur zwei Hauptaufgaben zu lösen:

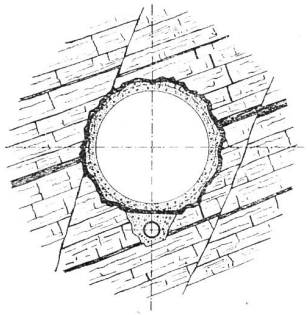
1. Das Ueberwinden des äußern Gebirgsdruckes, wenn sich dieser zeigen sollte, was gleichbedeutend ist mit der Sicherung des Bauwerkes gegen Einsturzgefahr und
2. Das Verhüten auch des kleinsten Wasserverlustes, weil für ihn das Wasser das kostbarste Gut ist.

Der zweiten Aufgabe kommt überragende Bedeutung zu, da sie bei allen Druckstollen auf ihrer ganzen Länge gelöst werden muß. Anders steht es mit der ersten, indem sich der Bauingenieur nur streckenweise vor dieses Problem gestellt sehen wird. Ob nur die eine Frage nach der Dichtung oder auch die andere nach der Sicherung vorliegt, ergibt sich aus den geologischen Verhältnissen. Es soll nun an drei Beispielen mit verschiedenen geologischen Annahmen gezeigt werden, wie durch den Aufschluß des Gebirges beim Stollenvortrieb Fragen entstehen und zu beantworten sind.

1. Beispiel (Fig. 1).

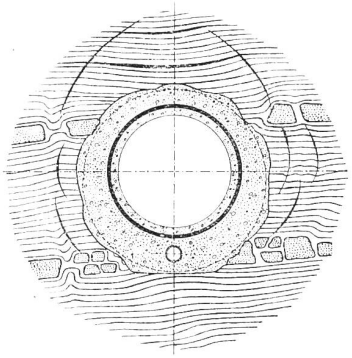
Es ist der Fall denkbar, wo der Stollen in hartem, gut geschichtetem Kalk liegt. Der einzelne Block würde vorzüglichen Haustein liefern, aber das Ganze weist größere oder kleinere Spalten auf. Von Gebirgsdruck ist keine Spur vorhanden, doch ist die ganze Schicht in höchstem Grade der Klüfte wegen wasserdurchlässig. Da das Gebirge standfest ist, würde ein Verpappen der Verbindungswege zwischen Spalten und Klüften, oder grottenähnlichen Höhlungen und dem Stolleninnern genügen, um dem Wasser den Ausweg zu sperren.

Fig 1



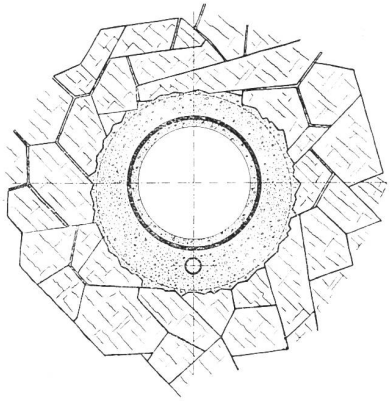
Druckstollen in standfesten, zerklüfteten oder porösen Gesteinsarten (Sedimente, Eruptivgestein, Kristalline Schiefer)

Fig. 2.



Druckstollen in „treibenden", wenigen standfesten, undurchlässigen Gesteinsarten (Sedimentschichten aus Mergel, Ton, Gips oder Anhydrit)

Fig. 3.



Druckstollen in nicht standfesten Gesteinsarten (Sedimente, Kristalline Schiefer), in Verwitterungszonen und Anlagerungen (Moränen, Flussgeschiebe, Bergstürze, Gehängeschutt).

2. Beispiel (Fig. 2).

Der Stollen durchfährt auf weite Strecken nichts anderes als bunt gefärbte Mergel mit einzelnen, zerbrochenen Sandsteinschichten. Einmal bloßgelegt und in Berührung mit der feuchten Stollenluft gebracht, nehmen diese begierig Wasser auf. Sie quellen oder „treiben" und im ganzen Profil beginnt das Abbröckeln. Die Verwitterung bemächtigt sich immer tieferer Schichten. Es entstehen Risse, größere Schalen lösen sich ab. Starker Holzeinbau hält die gänzliche Verschüttung des Stollens auf. In einem als wasserundurchlässig bekannten Material ist nun gefährlicher Druck entstanden und Aufgabe des Stolleningenieurs wäre vor allem, durch Einbauen eines kräftigen Druckprofils die Bewegung abzufangen. Dann müßte er später darauf sehen, daß kein Wasser die Mergel je erreichen kann. Die Kräfte, mit denen sich die treibenden Mergel die Raumvergrößerung erzwingen wollen, wird er kaum als Gebirgsdruck benennen, da ihr Ursprung chemischer Natur ist und ihre Zone von mehreren Metern Tiefe nur unter der Bedingung wachsen kann, daß die alten abgebrochenen Massen fortgesetzt, wie sie entstehen, weggeräumt werden, damit die Luftfeuchtigkeit auf neue Oberflächen einwirken kann. Sonst kommt die Bewegung bei gänzlichem Feuchtigkeitsabschluß zum Stillstand, und das Druckprofil hat nur das Gewicht der nicht weit herum gelockerten Massen zu tragen. Es empfiehlt sich bei solchen geologischen Verhältnissen, unverzüglich das ganze Profil auszubrechen und durch Ausmantelung mit Beton oder Mauerwerk die Mergel vor dem Lufteinfluß zu schützen, selbst dann, wenn der anfallenden Massen wegen kein Vortrieb mehr möglich sein sollte.

3. Beispiel (Fig. 3).

Angenommen seien Felsschichten, die beim Vortrieb sich als völlig dicht und trocken erweisen. Nach einiger Zeit jedoch beginnt die betreffende Strecke Bewegungen zu zeigen. Größere oder kleinere Massen würden einbrechen, wenn man nicht zu starkem Holzeinbau greifen würde. Dieser muß verstärkt werden, und nur mit Mühe gelingt es, der Bewegung Einhalt zu tun. Der Stolleningenieur redet nun von starkem Gebirgsdruck und meint damit das Gewicht der auf seinem Einbau liegenden großen aufgelockerten Massen. Diese werden größer oder kleiner sein je nach dem Gefüge der zerrütteten Schicht, die sich blockartig, brekzienartig oder gänzlich zermalmt zeigen kann. Der Entstehung dieses Druckes liegt im Gegensatz zu Beispiel 2 eine rein physikalische Ursache zugrunde, nämlich eine Störung des Gleichgewichtes, wie sie durch den Vortrieb eines Stollens eintreten muß, der auf eine allseitig eingespannte Schicht von an sich losem, aber zu einem Ganzen zusammengepreßten Material trifft, das weder durch ein kieseliges, kalkiges, noch toniges Bindemittel verkittet ist. Die Auflockerung würde sich sehr weit herum erstrecken und hauptsächlich nach oben, wenn die Verschiebungsmöglichkeiten der Felsstücke durch immer feiner werdende Spalten nicht vermindert würden, bis diese vollständig fehlen und wieder Gleichgewicht herrscht. Der Stolleningenieur hat nun zunächst die Aufgabe, ein Druckprofil einzubauen, um die bedrohte Strecke gegen Einbruch zu sichern, und als zweite, den Stollen abzudichten.

II. Das Ueberwinden des Gebirgsdruckes.

Wird ein Stollen vorgetrieben, so setzt hinter der Stollenbrust die fortwährende Beobachtung des Gesteinsmaterials durch den bauleitenden Ingenieur ein. Zur Ergänzung seiner Beobachtungen benutzt er diejenigen der Mineure, die ihm manchmal wertvolle Angaben machen können. Aufmerk-

sam verfolgt er Gesteinswechsel, sowie Verschiebungen und entnimmt den Schichten die notwendige Anzahl von Handstücken für seine Sammlung. Makroskopisch bestimmt er deren Struktur und Textur und wenn möglich auch das Bindemittel bei Sandsteinen, Brekzien und Konglomeraten, ob kalkig, tonig oder kieselig. Doch reichen diese Befunde zu einem vollständigen Bild der geologischen und petrographischen Verhältnisse nicht aus. Den allgemeinen Charakter der Schichten muß er zu erkennen suchen, ob zerklüftet, wasserführend, in der Lagerung stark gestört, standfest oder nicht, ebenso das Verhalten des Gesteins innen gegen die Stollenluft und außen gegen die Witterung. Aus den vielen einzelnen Beobachtungen ergibt sich mit der Zeit ein Gesamteindruck und aus diesem notwendigerweise eine Schlußfolgerung, die den Bauvorgang bestimmt. Nur diejenigen Ingenieure können den Berg richtig beurteilen, die täglich mit ihm zu tun haben und alle seine Geheimnisse kennen. Sie wissen auch, daß es unmöglich ist, das Problem der Dimensionierung von Druckprofilen einseitig, d. h. rein mathematisch mit Hilfe von Zahlen über Gebirgs-, Gesteins- oder Würfelfestigkeit, mit Elastizitätsmoduln, Wärmekoëffizienten, Reibungswinkel, spez. Gewicht usf. zu lösen. Der ungeheuren Mannigfaltigkeit der Natur gegenüber, wie sie sich durch Schichtenwechsel und veränderlichen Chemismus innerhalb desselben Gesteins bei einer Stollenlänge von 5 oder 10 km ergibt, ist das Aufsuchen von genauen Formeln eine müßige Sache. Hier müssen Erfahrung und Beobachtung die theoretische Schulung ergänzen, und sind vielleicht oft sogar ausschlaggebend!

In den drei einzig möglichen Fällen geht es ohne nachträgliche statische Untersuchung nicht ab, durch die der Bauleiter sich über die Zweckmäßigkeit seiner Anordnung zu vergewissern hat. Diese drei Fälle sind charakterisiert durch das Größer-, Gleich- oder Kleinersein des Innendrucks durch Wasser gegenüber dem Außendruck des Gebirges.

Das Problem ist dabei vollständig unabhängig von der Abdichtung zu betrachten; diese ist eine Frage für sich.

Als Materialien stehen ihm zur Verfügung: für Zug das Eisen und für Druck der Beton. Es ist nun der Fall denkbar, wo man auf Grund eines schwachen Holzeinbaues in Versuchung käme, auch ein schwaches Druckprofil anzuwenden. Nur frägt es sich, ob bei einem bestimmten maximalen Wasserdruck diesem nicht die Möglichkeit gegeben wäre, das Gewicht der losen Massen zu überwinden, die auf dem Betonmaterial ruhen. (Fig. 2.) Diese würden nach oben und seitlich zurückgeschoben, wobei der Beton bersten müßte. (Blindstollen Spullerseewerk, „Bauingenieur", Februar 1925.) Da man die äußern Kräfte nicht kennt und auch nie kennen wird, so ist man ganz unsicher, was anzunehmen ist. Man tut daher besser, sie zu vernachlässigen, und rechnet das Eisen wie bei einem Rohr in freier Luft. Das Resultat ist also ein Betonprofil mit Eiseneinlagen, die den gesamten Zug infolge Innendruckes aufnehmen (1600 kg/cm^2). Relativ zum Außendruck liegt ein überstarkes Druckprofil vor. Auf dieselbe Weise behandelt man den Fall des Gleichgewichtes zwischen Innen- und Außendruck, d. h. den Außendruck nimmt man als nicht existierend an. Der dritte und letzte Fall steht unter der Annahme, daß der Außendruck dermaßen vorherrschend ist, daß es dem Innendruck unter keinen Umständen möglich ist, den Betonmantel zu sprengen. Man hat also ein zum Innendruck relativ überstarkes Zugprofil. Dies ist der Fall bei sehr zerrüttetem Gebirge (Kommerell, Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk), sowie in Verwitterungszonen und mächtigen Ablagerungen. Bei der Ungewißheit der Richtungen, welche die äußern Kräfte haben, greift man zu Eiseneinlagen, die sogar notwendig werden bei ausgesprochen einseitigem Schub in Ablagerungen, wie er bei Parallelstreichen mit dem Hang auftritt.

Allgemein gesprochen deckt sich die Aufgabe des Stolleningenieurs mit der des Tunnelingenieurs. (Kommerell, Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk). Beide streben die Sicherung ihres Bauwerkes vor Einsturzgefahr an. Die beim Tunnelbau gemachten Erfahrungen gelten auch beim Stollenbau, der nur Tunnelbau im Kleinen ist, weniger große Felsausbrüche verlangt und kürzere Zeit dauert. Gewöhnlich wird man keine solchen Schwierigkeiten antreffen, auf die man sich beim Bau von großen Alpentunneln vorsehen muß, weil diese Druckwasser-Leitungsstollen der Kraftwerke meistens nie so tief unter die Erdoberfläche zu liegen kommen und nie so lang ausfallen. Sie werden durch das Berginnere zu den äußeren Hängen angenähert parallel geführt und haben einen gewöhnlich zu klein gewählten Abstand von außen. Wenn sie sich zu sehr der Verwitterungskruste der Erdrinde nähern, die sowohl einige wie auch bis hundert und mehr Meter betragen kann oder gar diese auf längeren Strecken durchstoßen, so laufen sie Gefahr, unerwünschte Schwierigkeiten zu treffen. Je tiefer man geht, desto bessere Bedingungen werden sich allgemein für die Standsicherheit einstellen.

Nachdem die Stollenröhre vor äußern Gefahren allseitig gesichert

ist, tritt nun die nicht minder wichtige Frage der Abdichtung des geschaffenen Hohlraums vor die Bauleiter hin.

III. Das Verhüten des Wasserverlustes.

a) Die Natur als Beispiel.

Wird später die Luft aus dem röhrenförmigen Raum durch das Wasser verdrängt, so ändern sich für die ganze Stollenstrecke die physikalischen und chemischen Bedingungen von Grund auf. Früher umspült von einem gasförmigen Medium, das Träger von Wasserdampf und Bohrmehl war, wird jetzt die Felsoberfläche einem flüssigen Medium, dem Wasser ausgesetzt, das von hoher Lösungsfähigkeit für eine Menge von Substanzen ist und seine physikalischen Zustände von Druck und Temperatur fortgesetzt ändert. Zu welcher Anzahl von rein theoretischen Laboratoriumsversuchen die Erforschung dieser physikalisch-chemischen Vorgänge führen würde, kann man sich denken! Doch praktisch lehrt die Erfahrung und die Geologie zur Beruhigung der Ingenieure, daß es langer Zeiträume bedarf, bis eine Wirkung sichtbar wird oder gar Schaden bringt (Korrosion des Kalkes u. a.). In unserm gedachten Stollen, der in den Sedimentschichten der Alpen liegen soll, sind alle angetroffenen Mergel-, Gips- und Tonschichten mit Stampf- oder Gußbeton nach einem entsprechenden Druckprofil verkleidet und die Verkleidung im Scheitel mit Zementmörtel hinterspritzt worden. (Fig. 4.) In gleicher Weise wurden mehrere Schichten behandelt, die bei der Alpenfaltung zerstört worden sind. Unverkleidet sind standfeste Kalk-, Sandstein- und Konglomeratfelsen geblieben, die sich aber stark zerklüftet, wie die Kalke, oder porös wie die Sandsteine gezeigt haben. Könnten wir diese Felsoberflächen, ebenso den porösen Beton der verkleideten Schichten mit einem plastischen, klebrigen und für das Wasser undurchlässigen Stoff überziehen, so müßten wir einen wasserdichten Stollen erhalten! Sehen wir uns in der Natur um, wie sie es macht, wenn sie Moore, Sümpfe, Teiche, Seen, Quellen entstehen läßt! Untersuchen wir die geologischen Verhältnisse, so finden wir als abdichtende Unterlagen jene eigenartigen plastischen Massen wie Lehm, Ton, Mergel, Seekreide, eine Sorte von wässerigen, schmierigen Substanzen, die man als Kolloide bezeichnet. Prüfen wir nun die Möglichkeit der Anwendung dieser zähen, teigigen, wasserundurchlässigen Stoffe auch für den Stollenbau!

b) Die Eigenschaften von kolloidalem Lehm oder Ton.

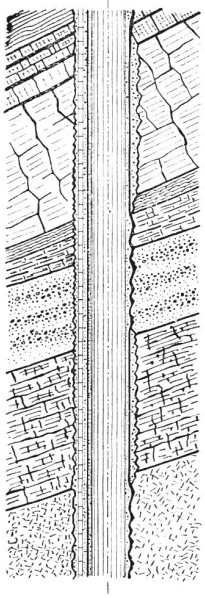
In Betracht kommt Lehm oder Ton, wie er in Ziegeleien oder Tonwarenfabriken gebraucht wird. Er ist verhältnismäßig billig und bedarf keiner großen vorausgehenden Behandlung mehr. Die sehr wechselvolle chemische Zusammensetzung lassen wir außer acht, weil sie nicht maßgebend ist. Hauptsache für uns ist die Eigenschaft, daß sich diese Substanzen unter Wasseraufnahme in sehr stark klebrige, plastische Kolloide umwandeln. Nur als solche sind sie für unsere Zwecke der Stollen-Abdichtung brauchbar. Sie lassen sich ohne viel Mühe auf jede gewünschte Schichtstärke verarbeiten, wobei die einzelnen Klumpen durch Kneten, Pressen, Abziehen zu einer fugenlosen, von Luftblasen freien Masse zusammenschweißen.

Lehm oder Ton zeigen im allgemeinen wenig Neigung zu chemischen oder physikalischen Veränderungen. Sie sind aber sehr empfindlich gegen Wasser. An der Erdoberfläche frei liegender lehmiger, also kolloidaler Boden gibt nur unter Widerwillen seinen Wassergehalt in der Sommerhitze ab, trocknet aus, reißt und wird hart. Sobald aber Regen eintritt, verschwinden alle Erdsprünge. Der Boden wird wieder weich, undurchlässig, und über ihm sammelt sich das Regenwasser an. Wird der Lehm oder Ton vor dem Austrocknen geschützt, so bleibt er weich, zäh, schmiegsam, dem Volumen nach konstant und absolut undurchlässig. Lehm und Ton erfüllen also die Bedingungen, die bei einem Druckwasser-Leitungsstollen vorliegen. Es wäre angezeigt, umfassende Versuche mit diesem neuen Baustoff anzustellen, dessen sich unsere Lehrmeisterin Natur schon längts bedient, damit das seiner Verwendung entgegenstehende Mißtrauen allmählich schwindet.

c) Seine Anwendung im Stollenbau.

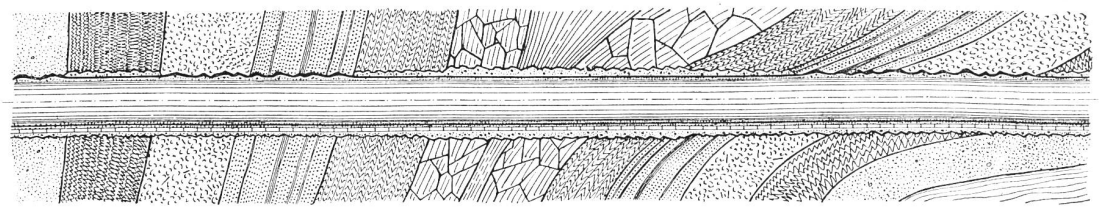
Von hohem Wert für uns ist die Beobachtung, daß der Lehm oder Ton kein Feind des Wassers ist, wie die auf den Markt kommenden Teer- und Asphaltprodukte. Weder die feuchten Felswände noch die feuchten Betonverkleidungen in den Stollen müssen mit der Lötlampe vorgetrocknet werden, viel mehr kann man die knetbar weiche Masse in jeder Stärke sofort auftragen. Da das von Hand geschieht und der Arbeiter die Felsoberfläche mit ihren Rissen, losem Gestein u. s. w. vor Augen hat, bietet er nach einigem Anlernen Gewähr dafür, daß er alles sorgfältig verstreicht und auch in die kleinsten Ecken mit seinem Material gelangt. Durch das Einkleiden von Spitzen und Kanten am Gestein in Lehm, durch das Ausfüllen aller vorkommenden Hohlformen damit, verschwindet das Zackige, Eckige des Profils. Die Formen werden milder, wobei die Rauhigkeit abnimmt, was wiederum günstiger auf den Wasserdurchfluß wirken würde. Setzen wir eine mit diesem Lehmmantel ausgekleidete Probestrecke von 100 oder 200 m Länge

Fig. 5.



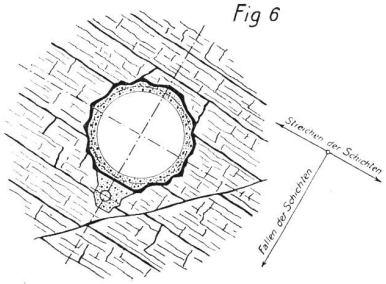
Vertikalschnitt durch einen Steigschacht mit richtig angelegter Drainage.

Fig. 4



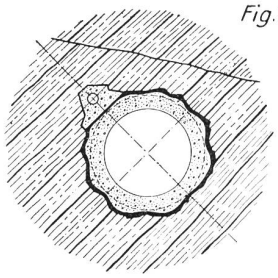
Schema für eine fertig ausgebaute Stollenstrecke.

Fig 6



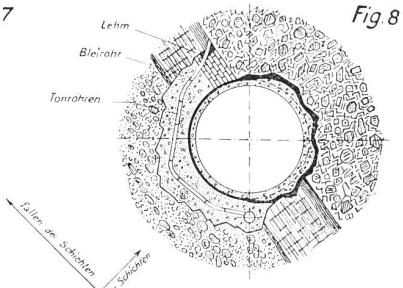
Horizontalschnitt durch einen Steigschacht in standfestem Gebirge unter Ausschluss von äusserem Wasserdruck; Drainage bleibt offen.

Fig. 7



Horizontalschnitt durch einen Steigschacht im Ufer des Stausees; durchlässiges Gebirge bei leerem Schacht äusserer Wasserdruck Drainage geschlossen

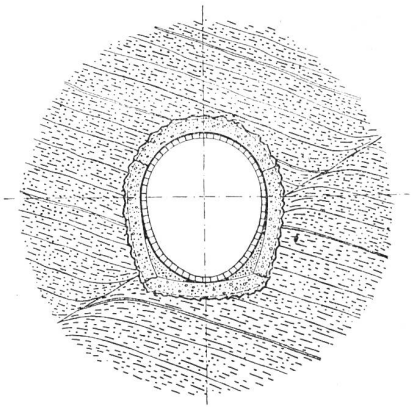
Fig. 8



Querschnitt durch einen Druckstollen mit richtig angelegter Wasserfassung ausserhalb des Profils.

Wasserdruck von mehreren Atmosphären aus, so wird sich keine Veränderung am wasserdichten Lehm zeigen. Denken wir uns aber den ganzen Stollen fertig und durchflossen von Wasser, so wird sich das gelbliche Dichtungsmittel im Wasser anfänglich etwas lösen und dieses trüben. Den Turbinen aber kann das Mitschleppen des feinverteilten Schlammes im Wasser nicht schaden, sofern nur absolut sandreiner Lehm verwendet wurde. Eine Beschädigung des Mantels durch das raschströmende Wasser ist bei seiner hohen Klebrigkeit von 2000 kg/m² (Kommerell, Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk) ausgeschlossen. Beobachtungen in der Natur zeigen, daß Lehm in Bächen und auf Flußsohlen vom Geschiebe führenden Wasser kaum angegriffen wird. Von diesem Standpunkt aus betrachtet, könnte man vom Anbringen einer innern Stampf- oder Gußbetonschicht überhaupt absehen, wenn man nicht da und dort mit mangelhafter Arbeit zu rechnen hätte. Da ferner die Klebrigkeit nicht überall den Höchstbetrag erreichen wird, weil sie mit der Felsunterlage wechselt, so werden wir die Lehmschicht mit Beton verkleiden und die Form auf das Kreisprofil als die geeignetste für den Wasserdurchfluß schließen. Die begrenzten Hohlräume im Scheitel des innern Betonmantels können wir leicht durch Zement-Injektion füllen, worauf der Stollen gebrauchsfertig ist. Selbstverständlich reißt unter dem Einfluß des Druckwassers der Beton, welchem Vorgang aber keine Bedeutung beizumessen ist, da er keine statische Aufgabe zu übernehmen hat. Gerade was erwünscht ist, wird nun eintreffen! Unter der allseitigen Pressung, welcher der eingeschlossene Lehm ausgesetzt ist, fließt er langsam in die feinsten Ritzen des Gesteins (Fig. 1), sie abdichtend, ebenso in die Betonrisse und -poren (Fig. 2 und 3) überall dem Wasser den Durchgang versperrend. Nach Jahren wird dieser Vorgang der Abdichtung seinen Abschluß finden, doch ist der Stollen schon bei Inbetriebnahme wasserdicht,

Fig. 9



Rekonstruktion eines durchlässigen Druckstollens mit Hülfe einer innern Holzverkleidung auf Lehmunterlage.

weil er mit einer unzerreißbaren Lehmhaut ausgekleidet ist. Damit wäre durch das neue Verfahren eine weitere Lösung der zweiten Hauptaufgabe der Abdichtung gegeben. Preisermittlungen zeigten, daß ungefähr mit Fr. 9 bis 12 pro m² Felsoberfläche der Fig. 1 und mit Fr. 7 pro m² Betonoberfläche der Fig. 2 oder 3 zu rechnen ist. Diese Zahlen können sich in jedem einzelnen Fall

verändern unter dem Einfluß des Abstandes von Lehmgrube im Flachland und Verbrauchsort im Gebirge.

Aber nicht nur beim Bau neuer Stollen, sondern auch bei der Rekonstruktion durchlässiger alter Stollen läßt sich das beschriebene Verfahren vorteilhaft anwenden. Im Beispiel der Fig. 9 handle es sich um eine nachträglich anzubringende Abdichtung, die gestattet, den Stollen wieder unter Wasserdruck zu setzen, nachdem man infolge der zahlreichen Risse von einer Unterdrucknahme absehen und ihn als Freispiegelstollen benutzen mußte. Die Arbeit, die vier Handlungen umfaßt, würde mit dem Zerstören der Teeranstriche beginnen, wenn solche vorhanden sind. Darauf muß man dem vom Eisenbahnbau übernommenen Profil durch Ausbetonieren der Ecken eine für unsere Zwecke günstigere Form geben. Nach diesen Vorbereitungen trägt man die Lehmschicht auf und könnte nun einen Schutzmantel aus Beton wie bei neuen Stollen anbringen. Doch empfiehlt es sich in diesem Falle, um möglichst wenig Profilfläche einzubüßen, den Beton durch Holz von halber Stärke zu ersetzen. An Stelle der Beton- tritt also eine Holzverkleidung, deren wasserseitige Oberfläche infolge Wasserdurchtränkung schwammig wird und dem Wasser eine glatte, beinahe reibungslose Wandung bietet. Was man an Profilfläche verliert, gewinnt man an Geschwindigkeit. Holz und Lehm sind jedes für sich ein Dichtungsmittel, die in unserem Falle zusammenarbeiten, indem das Holz durch Quellen seine eigene Fugen dichtet, und den dahinter steckenden Lehm preßt und ihn in alle Risse, auch in die feinsten zwingt, sodaß eine vollkommene Abdichtung entsteht.

IV. Ueber systematische Abdichtung und Entwässerung.

Ausgehend von der Ueberlegung, daß es keinem noch so hohen Wasserdruck möglich ist, die Berge zum Bersten zu bringen, weil ihre Masse und Gewicht viel zu groß und deren Gefüge viel zu gut ist, wird dem entsprechend der gesamte Wasserdruck dem Fels überwiesen und seine Widerstandskraft nur in den Beispielen 2 und 3 in Betracht gezogen, wobei man auch nicht zu ängstlich gegenüber Rissen im Druckprofil zu sein braucht, weil eine dicke Lehmschicht vorhanden ist, die nie reißen kann und von der sofort Substanz in alle entstehenden Risse gepreßt wird.

Ließe sich die Anwendung des Verfahrens für horizontale Druckstollen und wenige Atmosphären Druck allenfalls noch befürworten, so würden sicher Zweifel an der Anwendungsmöglichkeit für mehrere hundert Meter hohe Steigschächte (Fig. 5, 6 und 7,) als Ersatz für gefährdete äußere oder schwierig zu erstellende Rohrleitungen entstehen. Um diese zu zerstreuen, vergegenwärtige man sich die Tatsache, daß die Gesteinsmasse auf dem Grunde 2,6 mal höhere innere Spannung infolge des spez. Gewichtes von 2,6 der Ueberlagerung aufweist, als sie später vom Wasser erhält, und daß der Felsen bei einem Explosionsdruck von einigen 1000 Atmosphären erst berstet. Unbedenklich überweise man daher den Wasserdruck dem Felsen. Es bleibt noch die Frage der Abdichtung, als der Hauptfrage des Druckstollenproblems. Aber auch hier läßt uns das Material Lehm nicht im Stich. Für ihn, der unter Drücken von 20, 40 oder 80 Tonnen/m² steht, bieten die Risse aller Größen die einzigen Richtungen des geringsten Widerstandes, da er gegen die Stollenseite nirgends ausweichen kann. Das Wasser aber versperrt sich diese einzig möglichen Auswege durch die Ritzen selbst, indem wir es zwingen, den Lehm, der weich, zäh, teigartig ist und unter den hohen Drücken ins Fließen kommt, vor sich her in die sichtbaren und unsichtbaren Brüche im Felsen zu schieben. Daß dieses Arbeiten in den beiden Schichten infolge der ungleichmäßigen Felsunterlage mannigfache Risse im Beton erzeugt, ist selbstverständlich. Schollenförmig wird der Mantel brechen oder in anderen Worten ausgedrückt, die Kräfte bauen sich nach ihrem Willen die nötigen Gelenke ein, deren sie zum Herstellen eines sicheren Gleichgewichtzustandes bedürfen. Der Vorgang ist ungefährlich, weil Verschiebungen von solchem Umfange, daß Betonschollen herausfallen, ausgeschlossen sind, abgesehen von der Klebrigkeit von 2000 kg/m² bei einem Gewicht der Scholle von vielleicht 1000 kg/m².

Es ist gezeigt worden, daß sich das neue Verfahren sowohl für horizontale wie auch für vertikale Strecken der Wasserzuleitungsorgane eignen würde. Man hat aber in der Praxis von Auskleidung oder Abdichtung irgend welcher Art der Stollen abgesehen, wo man glaubte, auf Wasserundurchlässigkeit hoffen zu können. Sie scheint vorhanden zu sein, doch frägt es sich, ob der Ingenieur nicht einen Fehler in der Zeitrechnung begeht, weil das Wasser im Aufsuchen des Weges nicht nur Wochen oder Monate, sondern Jahre bedarf, bis es den Ausweg an die Erdoberfläche gefunden hat. Könnte man vielleicht die Abdichtung bei Stollen in Eruptivgesteinen wie Granit-, Diorit etc. weglassen, so wird die Sache doch bedenklicher bei Sedimenten wie Flysch, Schiefer, Kalk- oder Sandstein. Wird von einer Abdichtung abgeraten, weil sich das durchfahrene Gebirge als trocken erweist und für das menschliche Auge keine Spalten und Ritzen zu erkennen sind und die Geologen die Felsmassen als undurchlässig be-

zeichnen, so ist dagegen einzuwenden, daß wir im Grunde darüber nichts wissen, weil dem Auge nur Oberflächenformen und Verhältnisse sichtbar sind. Klüfte, entstanden durch Schub und Abkühlung in diesen großen Eruptivmassen sind denkbar und auch für in der Nähe vorbeifließendes Stollenwasser zu erreichen. Das Vorhandensein von Kristallhöhlen und Gängen gibt Anlaß zu Bedenken. Will man alle Zweifel und Mutmaßungen über Wasserverluste endgültig beseitigen, den Stollen dauernd unter Kontrolle haben, so wird man wie bei Sedimentgestein der Fig. 4 zur systematisch durchgeführten Abdichtung der ganzen Stollenlänge übergehen, unbekümmert um Gesteins- und Schichtbeschaffenheit.

Wenn der Stollenbauer seine Stollen dem Betrieb übergeben hat, kann er über ihr Verhalten in Bezug auf Dicht- oder Nichtdichtsein nichts mehr sagen. Ein Gefühl der Unsicherheit muß jeden beim Bau Beteiligten beschleichen, der die vorausgegangenen Spekulationen über Undurchlässigkeit miterlebt hat. Beim Vortriebe hat man so viele verschiedene Gesteinsschichten angetroffen, daß man unwillkürlich Vergleiche auf Undurchlässigkeit gezogen hat, d. h. man hält die einen für undurchlässiger als die anderen, aber Bestimmtes weiß man nicht zu sagen. Die Unsicherheit wird noch gesteigert durch die Anwendung eines nicht zugfesten Materials, wie es der Beton oder Zementmörtel in den Auskleidungen oder Abdichtungen darstellt. Die äußeren Kräfte verlangen druckfestes Material, die innern zugfestes. Ein Material, das sich das eine Mal ziehen läßt ohne zu zerreißen, das andere Mal drücken ohne zu stauchen, gibt es nicht. Wir brauchen daher zwei Materialien; irrtümlicherweise hat man die beiden Aufgaben der Sicherung und Abdichtung vermengt und sie durch Konstruktionen in Eisenbeton oder durch Betonverkleidungen mit innerem Torkretmantel oder Zementmörtelverputz zu lösen gesucht. Das nachträgliche Verpappen der Betonporen mit Teerprodukten hat nur die Flächen zwischen den Rissen gedichtet, die Risse selbst aber nicht überbrückt.

Ueber den Wert oder Nichtwert der Drainage gehen die Meinungen auseinander. Man kann natürlich Rinnsale in den Felsen zustopfen, und das Wasser mag dann gehen, wohin es will; ebenso kann es gehen mit Wasserverlusten von der Stollenseite her, die man vernachlässigt, bis größerer Schaden an der Erdoberfäche ein Nachspüren nach der Ursache verlangt. Ein vorsichtiger Stolleningenieur wird die Drainage einbauen und offen halten. Auch in Verbindung mit dem Bauvorgang leistet sie gute Dienste. Grundsätzlich wären Wasserzuflüsse in Röhren (Blei-, Ton- oder Zementröhren) abzufangen und in die Drainage zu leiten. Man geht außer Profil, sprengt schlitzartig aus, versetzt die Rohre und betoniert sie ein. Darüber folgt dann die Lehm- und Betonschicht (Fig. 8). Es empfiehlt sich, am Ende der Drainage eine kleine Meßvorrichtung und einen Syphon der Kalkausscheidungen wegen einzubauen, der Luftbewegung im Röhrensystem und somit Krustenbildung verhindern soll.

Die Beispiele der Figuren 5, 6 und 7 sollen die besondere Rücksicht auf die geologischen Verhältnisse bei Steigschächten zeigen. Richtig ist die Drainage nur angelegt, wenn sie die Fallinie der Schichtflächen im tiefsten Punkt trifft. Im Beispiel der Fig. 7 ist ein Sonderfall behandelt, wie er selten vorkommen wird. Die durchlässigen Schichten des Sees füllen sich mit Wasser. Darin liegende Stollen oder Steigschächte erhalten, wenn sie leer sind, starken äußern Wasserdruck, dessen Angriffspunkte auf dem Betonmantel nicht zu ergründen sind. Man wendet dann in solchen Zonen durchgehend stärkere Druckprofile an.

Beide Verfahren der Lehmabdichtung mit innerem Schutzmantel von Beton oder Holz sind vom Verfasser zum Patent angemeldet.

Ableitung von Eis und Schwemmgut bei großen Niederdruck-Wasserkraftanlagen mit vertikalen Turbinen.

Patent von Ingenieur René Koechlin in Mülhausen und Locher & Cie., Zivilingenieure, Zürich.*)

Die Einlaufrechen der Turbinen von Wasserkraftanlagen, die an großen Flüssen mit Eisgang liegen, können leicht durch Treibeis verstopft werden. Um das Treibeis nach dem Unterwasser abzuführen, werden meistens längs des Turbinenhauses einige mit Schützen verschließbare Oeffnungen angeordnet. Sind aber diese Oeffnungen nicht in großer Zahl vorhanden, so genügen sie nicht, um die großen Mengen Oberflächeneis abzuführen, außerdem erhöhen sie bedeutend die Baukosten, wegen der durch sie bedingten Verlängerung des Turbinenhauses.

Die patentierte Einrichtung erlaubt bei vertikalen Turbinen — die ja heute bei Niederdruckwerken fast allgemein verwendet werden — Eis und Schwemmgut auf der ganzen Länge des Turbinenhauses mit einem minimalen Wasserverlust und ohne große zusätzliche Baukosten abzuführen. Die nachstehende Figur zeigt die zu wählende Anordnung. Der Einlaufrechen R reicht nicht bis zum normalen Oberwasserspiegel, sondern er läßt einen gewissen Querschnitt, der den Kanal A bil-

*) Deutsches Patent Nr. 304457. Französisches Patent Nr. 483197 O. G. d. G. Italienisches Patent Nr. 3/553 O. G. d. G. Oesterreichisches Patent Nr. 74528. U. S. A. Patent Nr. 1487391. Schweizerisches Patent Nr. 70190.