

## Geologische Bemerkungen zum Druckstollenproblem.

Von Otto Ampferer.

### Zusammenfassung.

Das bisher insbesondere vom statischen Standpunkt erörterte Problem des Druckstollens erfährt in der vorliegenden Abhandlung eine eingehende Beleuchtung vom Gesichtspunkte des Geologen, wobei insbesondere auf das Entstehen von Zertrümmerungszonen beim Stollenbau mit brisanten Sprengmitteln hingewiesen wird. Diese Zertrümmerungszonen können ein für den Druckstollen an sich gut geeignetes Gebirge erheblich ungünstiger machen.

Das Druckstollenproblem ist für Österreich eigentlich erst durch den Bau des Spullerseewerkes zu einem Gegenstand intensiver theoretischer und praktischer Studien gemacht worden.

Direktor Ing. Dr. M. Pernt hat dieser Angelegenheit hier sein Interesse im besonderen Maße zugewendet und die Veranlassung gegeben, daß die Lösung der damit zusammenhängenden Fragen, welche für den Ausbau unserer alpinen Wasserkräfte von hoher Bedeutung ist, vom Elektrisierungsamte der Österr. Bundesbahnen in einer gründlichen und großzügigen Weise in Angriff genommen wurde.

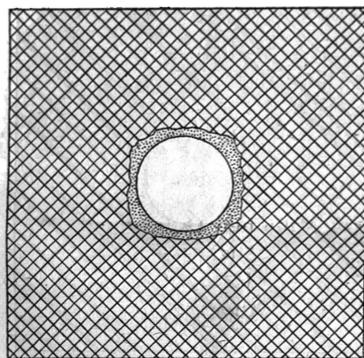


Abb. 1.

Der Verfasser dieser Arbeit hatte als geologischer Berater beim Bau des Spullerseewerkes von Anfang an Gelegenheit, von seiner Fachseite her an diesen Bestrebungen Anteil zu nehmen. Die Veranlassung für diesen Aufsatz ist jedoch dem Streite entsprungen, welcher in der letzten Zeit zwischen den

Herrn Ingenieuren L. Mühlhofer und E. Posch ausgebrochen ist und der, wie mir scheint, wenigstens teilweise aus unzutreffenden geologischen Voraussetzungen seinen Ursprung nimmt. Herr Ing. L. Mühlhofer hat die Berechnung kreisförmiger Druckschachtprofile (Eisen-Beton-Gebirge) unter Zugrundelegung eines elastisch nachgiebigen Gebirges (siehe diese Zeitschrift 1921, Hefte 15, 24/25, 26/27) ausgeführt und kommt zum Ergebnisse, daß hier durch den inneren Wasserdruck sowohl im Eisen wie auch im satt anliegenden Beton und Gebirge nur Zugspannungen auftreten können.

Herr Ing. E. Posch (Zeitschrift „Wasserkraft“, München 1923, Nr. 6) verwirft diese Ableitung und vertritt die Ansicht, daß im Gebirge infolge des inneren Wasserdruckes eines Druckstollens niemals Zugspannungen, sondern nur Druckspannungen entstehen können.

In der Betonauskleidung können Zugspannungen auch nur dann auftreten, wenn der Elastizitätsmodul des Betons größer ist als jener des umgebenden Gesteins.

Die hier gemachten Voraussetzungen über das Verhalten des Gebirges treffen jedoch in mancher Hinsicht nicht zu.

Die geologischen Bedingungen sind nach meiner Einsicht bei diesen Vorgängen wesentlich andere.

Es gibt ohne Zweifel in weiter Verbreitung Gesteinsmassen von so hoher Festigkeit, daß Stollen in ihnen unverkleidet durch Jahrhunderte ohne merkbare Änderung der Form und lichten Weite bestehen bleiben.

Ich erinnere hier nur z. B. an die alten, noch ohne Sprengmittel lediglich mit Hammer und Meißel hergestellten Berg-

werksstollen, „Schrämmstollen“, welchen man in den Nordalpen gar nicht selten im Wettersteinkalk begegnet.

Weiter möchte ich die Aufmerksamkeit auf die z. B. im Dachsteinkalk oft prachtvoll ausgebildeten Höhlen lenken, die stellenweise ganz gigantische Hohlräume vorstellen, deren hohes Alter ebenfalls außer Zweifel steht.

Nicht selten begegnet man hier völlig glatt ausgeschliffenen auf- und absteigenden Röhren, deren Wände keine Spur irgendeiner Verschiebung infolge von Gebirgsdruck trotz jahrtausendlangem Bestand erkennen lassen.

Wir bemerken jedoch bei allen diesen Fällen, daß es sich einerseits um feste Gesteinsmassen handelt, deren Überlagerungsdruck noch weit unter ihrer Festigkeitsgrenze bleibt, andererseits diese Hohlräume mit Arbeitsmitteln erzeugt wurden, welche das Gefüge der umgebenden Gesteinsmassen nicht erschüttert haben. Die auflösende Tätigkeit des Wassers ist hier wohl überhaupt der stillste und zarteste Vorgang, aber auch die Handmeißelung ist noch nicht mit schweren Stößen und Zerreißen der ganzen Umgebung verbunden.

Es besteht hier die Regel, daß der Baufortschritt bei solchen Hohlräumen um so rascher vor sich geht, je brutaler die Arbeitsmittel sind.

Diese Geschwindigkeit muß jedoch durch eine Reihe von schädlichen Nebenwirkungen erkauft werden. Eine von diesen Nebenwirkungen ist die Zerrüttung des angrenzenden Gebirges, welche bei der Verwendung von Dynamit und ähnlich brisanten Sprengmitteln unvermeidlich ist und je nach der betreffenden Gesteinsart in recht verschiedener Weise zur Auslösung gelangt.

Wir halten also fest, daß es viele Gesteinsmassen gibt, welche in den Zonen unter ihrer Festigkeitsgrenze sich als praktisch starre Massen verhalten, diese Eigenschaft aber mit Annäherung an ihre Festigkeitsgrenze verlieren. Andere Gesteinsarten, wie Tonschiefer, Phyllite, weiche Mergel, sind schon in mäßiger Tiefe druckhaft und streben an, alle in ihnen entstehenden Hohlräume kurzfristig zu schließen.

Für die Erhaltung eines Hohlraumes kommt aber auch in festen Gesteinen die Herstellung derselben sehr in Betracht.

Insbesondere werden durch brisante Sprengmittel rings um die Stollen- oder Schachtröhre herum Zerrüttungszonen geschaffen, die für die weitere Beanspruchung und Erhaltung dieser Hohlräume unter Umständen von entscheidender Bedeutung werden können.

Im folgenden haben wir uns mit den geologischen Bedingungen solcher künstlichen Zerrüttungszonen etwas näher zu beschäftigen.

Einleitend ist zu bemerken, daß wir über die Abgrenzung und Struktur von solchen Zonen, die unmittelbar als Wirkung der Sprengung sich im anstoßenden Gesteinskörper ausbilden, nicht genauer unterrichtet sind. So viel ist jedoch sicher, daß die Aufreißungen, Zertrümmerungen, Auflockerungen und Verschiebungen bei heftigen Sprengangriffen sich nicht etwa

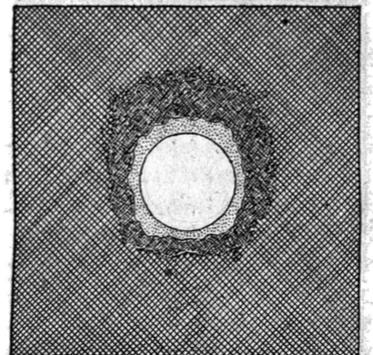


Abb. 2.

auf den gerade beabsichtigten Raumgewinn beschränken, sondern auch ins angrenzende Gestein hinübergreifen und dort erst erlöschen. Es sind daher die folgenden schematischen Zeichnungen derartiger Zerrüttungszonen nur als Näherungsbilder aufzufassen, die mit Absicht übertrieben gezeichnet wurden, um ihre Existenz und Selbständigkeit klarer hervortreten zu lassen.

In sehr festen, zähen und klufarmen Gesteinen wird eine solche Auflockerung und Änderung des Gefüges um den Sprengherd herum praktisch so gut wie unwirksam bleiben (Abb. 1).

In brüchigen, kluffreichen Gesteinen wird sich dagegen eine deutliche Zerrüttungszone herausbilden (Abb. 2), welche auch im Laufe kürzerer oder längerer Zeit, wenn der Hohlraum ohne künstlichen Ausbau bleibt, zu einer Verstärkung desselben führt.

In dünnschiefrigen, feinblättrigen Gesteinen wird dagegen eine Aufblätterung und Zerknitterung zustande kommen (Abb. 3).

In dicker geschichteten, festen Gesteinsbänken wird die oft noch durch Mergellagen betonte Schichtung auch für die Sprengung und ihre Nachwirkung zum Leitmotiv (Abb. 4).

In wasserhaltigen Sedimenten wird durch die Sprengung der Wassergehalt zurückgedrängt in eine andere Verteilung. So können wir nicht selten beobachten, wie Gesteine, die sich beim Bohren als naß erweisen, nach der Sprengung ganz trocken erscheinen.

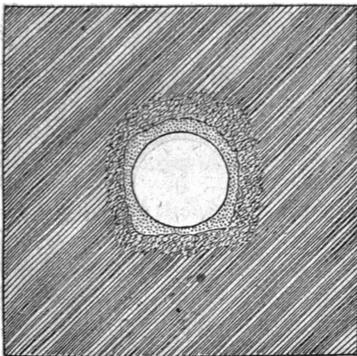


Abb. 3.

Auch durch dieses Zurückstauen der Gebirgsfeuchtigkeit entsteht um den Sprengraum eine Zone von etwas geändertem physikalischen Verhalten.

Was für Flüssigkeiten gilt, kommt gleichermaßen auch für Gasgehalte im Gestein in Betracht.

Befindet sich unsere Zerrüttungszone bereits in einer Tiefe, wo das Gebirge kurzfristig druckhaft ist, so hat dieselbe

wenig Bedeutung, weil das umgebende, gegen den Hohlraum drängende Gestein diese Zone gleich ihrer Selbständigkeit beraubt.

Ganz anders aber liegen die Verhältnisse, wenn wir uns in einem standfesten Gebirgsraum befinden. Hier kann die Selbständigkeit einer solchen Zone unter gewissen Umständen wohl zur Auswirkung gelangen.

Machen wir nun die Annahme, es wäre ein Stollen in einem an und für sich standfesten, aber ziemlich brüchigen Gesteine ausgesprengt worden, so wird derselbe also nach dieser Ableitung von einer bald stärker, bald schwächer ausgebildeten Zerrüttungszone begleitet sein.

Wird nun dieser Stollen, z. B. in der üblichen Weise für einen Freispiegellauf ausgemauert, so wird man an diesem Bauwerk, sofern es genügend stark ausgeführt wurde, um den im Laufe der Zeit wirksam werdenden Druck der anlastenden Zerrüttungszone aufnehmen zu können, keine Veränderungen gewahren.

Handelt es sich dagegen um einen Druckstollen, so kann hier die allerdings minimale Freibeweglichkeit der Zerrüttungszone zu Zerreißen und Zerstörungen der Stollenröhre führen.

Der Gebirgsdruck als solcher tritt dabei vielleicht gar nicht ins Spiel, vielleicht erst in späterer Zeit.

Der Innendruck des gespannten Wassers braucht nur die Zugfestigkeit des Stollenrohres und den an einzelnen Stellen vielleicht nur geringen Druck der anlastenden Zerrüttungszone zu überwinden, um sich in feinen Zugrissen bereits Auswege

zu verschaffen. Damit ist an und für sich das Bauwerk gerissen, aber noch lange nicht unbrauchbar gemacht.

Es kommt nun erst darauf an, ob die umgebende Zerrüttungszone und das anschließende Grundgebirge so kluffreich oder so löslich sind, daß sie dem zudringenden Wasser ihrerseits auch wieder Auswege eröffnen.

Erst wenn dies der Fall ist, wird die Zerstörung des Bauwerkes fortgesetzt und der Wasserverlust unaufhaltsam.

Ist aber das Gebirge um die Bruchstelle herum entsprechend dicht, so wird trotz der Zugrisse kein wesentlicher Wasserverlust zustandekommen. So bin ich überzeugt, daß sich in Druckstollen und Druckschächten ziemlich häufig gerissene Stellen befinden, die aber doch keinen nennenswerten Wasserverlust herbeiführen, weil das Gebirge dahinter genügend abdichtet.

Außerdem können sich solche Zugrisse auch durch allmähliches Verschlämmen oder Kalkabscheidungen wieder schließen.

Treten keine größeren Wasserverluste auf, so wird ja auch der Stollen nicht genauer daraufhin untersucht. Überdies schließen sich bei einer Entleerung die Risse durch den Druck der Zerrüttungszone und entgehen so der Beachtung.

Man darf ja nicht vergessen, daß es sich bei solchen Verschiebungen innerhalb der Zerrüttungszone zumeist um minimale Beträge handelt, die aber bereits zur Zerreißen eines gespannten Betonrohres genügen. Bei einem etwas dehnbareren Rohrmaterial würde bei so geringem Nachgebewiß noch keine Rißbildung auftreten.

Die Entstehung von Zugrissen ist in einem Druckstollen, aber auch sogar in einem druckhaften Gebirge möglich.

Es kann nämlich in einem solchen Gebirge zwischen der Ausmauerung des Stollens, seiner Unterdrucksetzung und dem Anschmiegen des vollen Gebirgsdruckes an die Stollen-

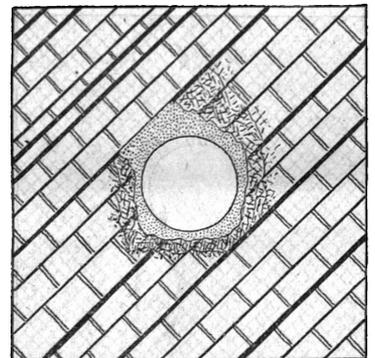


Abb. 4.

röhre unter Umständen eine ziemliche Zeit verfließen.

Innerhalb derselben lastet noch kein oder nur ein Bruchteil des Gebirgsdruckes auf der Röhre und sie kann entsprechend hohem Innendruck etwas ausweichen und bersten.

Später kann der voll einsetzende Gebirgsdruck die Zugrisse der Röhre eventuell wieder schließen. Ja es ist möglich, daß der Gebirgsdruck so mächtig wird, daß er die Betonröhre trotz ihres Wasserdruckes zerpreßt und schließt.

Im allgemeinen wird man indessen so druckhaftes Gebirge, also so hohe Überlagerungen für Druckstollen zu vermeiden suchen.

In einem derart druckhaften Gebirge wird der Fall eintreten können, daß auch in der Stollenröhre trotz der Wasserspannung doch Druckspannungen auftreten, weil eben der wirksam werdende Gebirgsdruck den gegenwirkenden Wasserdruck überwindet.

Diesen Fall dürfte auch Herr Ing. Posch bei seinen Überlegungen vor Augen gehabt haben.

Man kann denselben aber in jenen Gebirgstiefen, welche solche Bauwerke gewöhnlich aufsuchen, wohl als eine Ausnahme bezeichnen.

Zieht man lange Zeiträume in Betracht, so wird das Eingreifen des Gebirgsdruckes allerdings auch noch an manchen Stellen geschehen, die bei kurzfristiger Betrachtung als standfest gelten können.

Diese Überlegung führt indessen schon mehr ins rein geologische Gebiet hinüber.

Wir haben also gesehen, daß es je nach dem Verhältnis von Gesteinsfestigkeit und Gebirgsdruck standfeste und druckfeste Stollenstrecken mit allen dazwischenliegenden Übergangsstadien gibt.

Ob standfeste Gesteine bei den für Wasserbauten in Betracht kommenden Drucken als elastisch nachgiebige Massen bezeichnet werden können, erscheint zweifelhaft.

Wir wissen weiter, daß in einem standfesten Gebirge bei allseitiger Druckverteilung durch das Aussprengen eines Stollens an der freien Stollenwand die Druckspannung auf den doppelten Betrag anschwillt.

Daher können hier schon weit unter der allgemeinen Festigkeitsgrenze des betreffenden Gesteins Zertrümmerungen und Absprengungen zur Auslösung gelangen.

Weiter sind wir zu dem Ergebnis gekommen, daß die Art der Hohlräumerschaffung für seine Erhaltung von Bedeutung sein kann.

Durch brisante Sprengmittel wird im allgemeinen rings um den Stollen eine künstliche Störung des Gefüges hervorgerufen, die je nach der Gesteinsart nach Umfang und Beschaffenheit verschieden ist.

Sie kann durch reichere Zerklüftung, durch Mylonitierung, durch Zerknitterung, Lockerung größerer Trümmer, endlich auch durch Zurückpressung von Wasser- und Gasgehalt zur Geltung kommen.

In vielen Fällen dürften Stollen und Schächte dadurch noch nicht in ihrem Bestande gefährdet sein. Immerhin wird um das Bauwerk herum eine etwas geänderte Zone geschaffen, welche insbesondere bei einer Unterdrucksetzung des Hohlraumes sich ungünstig äußern kann.

So genügt auch in einem sonst völlig standfesten Gebirge eine derartige Störungszone, welche eine gewisse, freilich meist nur minimale Verschiebbarkeit besitzt, um einem ihr fest anliegenden Betonrohr bei entsprechend hohem Innendruck etwas nachzugeben und so ein Zerreißen desselben zu gestatten.

Ist das Gebirge völlig standfest und die Störungszone der Aufsprengung ohne Bedeutung, so wird der Betonmantel, der nicht ausweichen kann, durch den Innendruck des Wassers in Zugspannung versetzt.

So werden wir wohl in sehr vielen Fällen bei geringerer Überlastung in den Betonverkleidungen von Druckstollen und Druckschächten mit dem Auftreten von Zugspannungen

zu rechnen haben. Immerhin ist in druckhaftem Gebirge oder bei schweren Überlagerungen auch der Fall möglich, daß in der Betonröhre Druckspannung und endlich Zerdrückung auftritt.

In sehr vielen Fällen wird aber durch das Reißen eines Betonmantels, wenn das umgebende Gebirge wasserdicht ist, noch keine Schädigung des Betriebes eingeleitet.

Es muß dazu das Bersten des Betonmantels gerade an einer kluffreichen oder löslichen, durchlässigen Gebirgsstelle stattfinden.

Dies ist allerdings von vornherein eine recht wahrscheinliche Verbindung.

Was sind nun bei dieser Sachlage für Vorkehrungen zu treffen, um trotzdem den Bau von Druckstollen zu ermöglichen?

Von geologischer Seite ist bei der Prüfung und Begutachtung von solchen Projekten jedenfalls der Konstatierung von allen erkennbaren Störungs- und Zertrümmerungszonen, also der Detailtektonik, des betreffenden Gebietes größte Aufmerksamkeit zu widmen. Mit dieser Tektonik geht ja meist auch die Materialbeschaffenheit und ihre Umformung Hand in Hand. Sehr wichtig ist weiter das Studium der Wasserführung sowie der Durchlässigkeit der verschiedenen Zonen.

Durch tektonische Umarbeitung können ja an und für sich wasserdichte Gesteine durchlässig und durchlässige schwer durchlässig gemacht werden.

Von technischer Seite wäre wohl die Erfindung eines dichtereren Auskleidematerials die beste Lösung. Vielleicht gelingt es, für diesen Zweck elastischere Betonmischungen herzustellen.

Natürlich wird man, um Gefahrstellen rechtzeitig zu erkennen, schon beim Vortrieb und Vollausschub sorgfältige Beobachtungen über das Verhalten des Gebirges nach der Sprengung anstellen. Außerdem wird man solche Stellen durch Abpressen mit entsprechend gespanntem Wasser auf ihre Dichtheit untersuchen und so gewiß manchen Fehlgriff vermeiden können.

Eine völlige Sicherheit ist ohne Verwendung sehr teurer Auskleidemittel wohl nicht zu erreichen.

Hier gibt es nur das Mittel, das vollendete Bauwerk unter den geforderten Druck zu bringen und die dann allenfalls noch auftretenden Risse abzudichten, was unter Umständen allerdings zu schweren Kosten führen kann.