© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Einiges aus der Tunnelgeologie.

Von **Albert Heim.**

(Auszug aus einem Vortrage in der Sitzung der Geologischen Gesellschaft in Wien, am 22. März 1908.)

Die Theorie des Tunnelgewölbebaues wurde bisher von fast allen Ingenieuren abgeleitet als eine Modifikation des architektonischen Gewölbes. Man nahm an, das Gewölbe stehe auf starrem, festen Boden. Statt daß die Last nur von oben drückt, drückt sie nun auch von der Seite, indem beiderseits ein Prisma von Gesteinsmaterial auf der Reibungswinkelebene als Unterlage gegen den Tunnel abrutschen will. Deshalb bauchte man nun das Gewölbe auch an den Seiten aus. Das Material, welches auf beiden Seiten über der Reibungs- oder Abrutschungsebene liegt, will in den Tunnel drängen und verklemmt sich dadurch keilförmig in sich und mit dem darüber gelegenen. Der Druck nach dem Tunnelzentrum setzt sich um in einen Keildruck in einer Gewölbelinie; das gibt die Drucklinie des Gewölbes. Wenn wir beim Bau die Steinfugen senkrecht auf die Gewölbedrucklinie stellen, so entsteht kein Schub auf den Fugen; das Gewölbe hält, falls nicht der Druck größer als die rückwirkende Festigkeit des Gewölbesteines wird. Alle Tunnels bis heute sind auf Grundlage dieser Theorie gebaut. Diejenigen in festem Gestein und in nicht zu großer Tiefe unter der Oberfläche haben gut gehalten. Diejenigen aber, bei denen die Belastung des überliegenden Gebirges 500 bis 2000 m Höhe erreicht, haben nicht gehalten, sie sind in fortwährender Reparatur, fortwährender Rekonstruktion begriffen.

Die Erscheinungen sind folgende: Gewölbesteine brechen besonders in der Nähe der Widerlager, die Widerlager gehen zusammen, die Sohle steigt. Dann werden allerlei Erklärungen und Ausreden gesucht: Da soll das Wasser, dort „Blähen des Gesteines", dort Fehler in der Mauerung schuld sein. Ob diesen ungünstigen Mithelfern am Zusammenbruche übersieht man die Hauptursache. Sohlengewölbe ist stets nur ausnahmsweise ein-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

gelegt worden, fast nur, wo schon während des Baues sich Druckhaftigkeit zeigte oder die Sohle stieg. Nach dem momentanen Verhalten des Gesteines beim Bau hat man das Gebirge beurteilt und die Gewölbestärken und Gewölbeprofile gewählt. Das ist ein Irrtum.

Eine andere Tunnelgewölbetheorie ist zu finden! Ich habe 1878 aus den Gesteinsumformungen bei der Gebirgsbildung die Grundlagen für eine solche abgeleitet und angedeutet und jetzt mehr und mehr ausgearbeitet; es fehlt aber noch die vollständige, mechanisch-mathematische Durcharbeitung zu einer vollständigen Theorie.

In der Festigkeitsmaschine bestimmen wir die rückwirkende Festigkeit eines Gesteines. Die Last, welche ein Gesteinswürfel trägt, bis er eben zerquetscht wird, rechnen wir um in die Höhe einer Säule aus dem gleichen Gesteine bei gleicher Basis. Wir erhalten so die Höhe der Gesteinsäule, deren Fuß eben durch ihre Last zerdrückt wird. Nennen wir diese Höhe = h. Bei verschiedenen festen Gesteinen schwankt h zwischen 1000 und 6000 m. Betrachten wir nun einen Gesteinswürfel in einem Gebirge in einer Tiefe, die größer ist als h. Wäre der Gesteinswürfel nicht von gleich gepreßten eingeklemmt, so würde er, zu Pulver zermalmt, seitlich ausweichen. Indem die seitlichen Partikel unseren gepreßten Würfel nicht ausweichen lassen, üben sie einen Gegendruck auf denselben aus, der ihn beisammenhält und der — Gegendruck = Druck — gleich stark sein muß, wie die über dem Würfel liegende Last. Ebenso muß diese Last einem gleich großen Auftriebsdruck von unten rufen. Denken wir uns für einen Moment ein Gesteinsteilchen in solchen Tiefen plötzlich weggenommen, so ist plötzlich für die umliegenden der Gegendruck aufgehoben, von allen Seiten wollen sie in den Leerraum drängen, sie klemmen sich ringsum keilförmig, und da der Druck viel größer als die rückwirkende Festigkeit ist, wird der gedachte Leerraum bald mit gepreßtem Gesteinspulver dicht erfüllt sein. Diese Betrachtung lehrt, daß im Erdboden tief unter dem Betrage von h unter der Erdoberfläche eine allseitige Druckverteilung herrschen muß, die ganz ähnlich ist der Verteilung des hydrostatischen Druckes in einer Flüssigkeit. Es besteht nur ein wesentlicher Unterschied gegenüber einer

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Flüssigkeit darin, daß alle Bewegungen im Gesteine langsam sich vollziehen, weil sie eine große innere Festigkeit und innere Reibung zu überwinden haben. Beim hastigen Tunnelbau verbirgt oft diese Langsamkeit unserem Auge die Bewegungen, die aber im Laufe der Zeit nicht minder unerbittlich eintreten. Wie langsam hier die Bewegungen eintreten, zeigt sich schon sehr deutlich im Nachbruche einer Höhle oder eines Stollens vertikal aufwärts nach der Oberfläche bis zum Entstehen einer Doline. Aehnlich verhält es sich mit dem Nachrücken von der Seite gegen eine gegendruckfreie Stelle. Also der Zustand in großer Gesteinstiefe ist wie der hydrostatische Druck in einer Flüssigkeit, nur sind die durch Störung verursachten Bewegungen zum Erlangen neuen Gleichgewichtes langsam.

Die Aufgabe, einen Tunnel durch ein Gebirge herzustellen, der teilweise tiefer als h unter der Oberfläche liegt, entspricht also der Aufgabe, ein Loch durch eine Flüssigkeit zu stoßen. Das letztere ist nur möglich bei vollständigem Ausröhren, und die beste, widerstandsfähigste Röhre, die am wenigsten zusammengedrückt wird, ist die Röhre von kreisrundem Querschnitte. Das Material, aus welchem die Röhre herzustellen ist, muß (bei ähnlicher Dichte der Substanzen) ein h besitzen, größer als die Tiefe, in welcher der Tunnel liegt.

Bei Prüfung der Gesteinsfestigkeit in der Festigkeitsmaschine schneiden wir ein gesundes Stück Gestein heraus. In größeren Massen treffen wir stets Absonderungsfugen, Schichtfugen, Unganzheiten verschiedenen Ursprunges im Gesteine. Das Gebirge ist deshalb viel weniger fest als sein Gestein, und niemals kann das ganze fester sein als seine einzelnen Teile. Die Gebirgsfestigkeit können wir nicht direkt bestimmen, weil wir nicht 1 km^3 Gebirge unter die Festigkeitsmaschine nehmen können. Oft ist die Gebirgsfestigkeit schätzungsweise nur die Hälfte oder ein Viertel der Gesteinsfestigkeit.

Daraus geht hervor, daß im Gebirge hydrostatische Druckverteilung und bei Gleichgewichtstörung Bewegung schon in einer mittleren Tiefe unter der Oberfläche eintreten muß, die viel geringer ist als unser h. Freilich wird in diesen Tiefen z. B. bei Wegnahme des Gegendruckes durch einen Tunnel noch nicht Zermalmen des Gesteines zu Pulver, sondern Ver-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

schieben und Auseinanderfallen nach den schon vorhandenen Ablösungsfugen eintreten.

Denken wir uns einen Tunnel, in großer Tiefe durchgetrieben, unausgemauert, was sind die zu erwartenden Folgen? Auf einen Stich durch das Gebirge ist plötzlich der Gegendruck aufgehoben. Es entwickelt sich ein Drängen nach dem Hohlraume, es entwickeln sich nun Flächen maximalen Druckes in konzentrischen Zylindern rings um den Tunnel. Die Folgen davon sind:

a) Im kompakten Gesteine Abtrennungen in Schalen, parallel den Tunnelwänden, schließlich völlig zylindrisch um den Tunnel herum, denn das Brechen und Abschälen geschieht stets in den Flächen maximalen Druckes. Das gibt die „Bergschläge", die manchmal sachte knisternd, manchmal explosionsartig krachend auftreten.

b) Im klüftigen oder plastischen Gesteine stellt sich relativ schnell Einbruch, „Gebirgsdruck", Auftrieb ein. Bezeichnend bleibt, daß der Tunnel nicht nur von oben, sondern ebenso von der Seite und von unten sich schließen will.

Entsprechend der Langsamkeit, mit welcher Gesteinsbewegungen eintreten, ist es uns möglich, das Gebirge zu überraschen, d. h. den Gewölbeausbau fertigzustellen, bevor die Bewegungen sehr stark geworden sind. Hierauf beruht es überhaupt, daß gewisse Tunnelstrecken hergestellt werden konnten. Man muß die Ueberraschungsmöglichkeit gut ausnützen!

Die oben besprochenen Erscheinungen mit Tendenz zu Tunnelschluß zeigten sich in zunehmendem Maße bei vielen tiefen Gebirgstunnels schon nach 10 bis 20, manchmal erst nach 30 bis 50 Jahren.

Die „Bergschläge" treten bei den verschiedensten Gesteinen auf, vorausgesetzt, daß dieselben kompakt sind. Die sich abschälenden Platten sind oft bei mehr als 1 m^2 Größe kaum 1 cm dick. Sie gehen unabhängig von allfälliger Schieferung parallel den Stollenwänden oder Druckzylinderflächen. Sie lassen sich nicht mehr in ihre Lage zurücksetzen, sie sind mit dem Abspringen gewachsen und anders gekrümmt. Sie nehmen zu mit der Höhe des überlagernden Gebirges, bis zu einem gewissen Grade auch mit der Größe des Hohlraumes und sind unabhängig von der Art des Sprengens. Sie sind durch-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

aus das entsprechende mit dem Absprengen von Schalen an den Wänden eines gegossenen Gesteinswürfels.

Das Ende ist Tunnelschluß, Verteilung des Hohlraumes in kleine Fugen und Lücken in das umgebende Gestein.

(Die Erörterungen wurden durch viele Beispiele und Erfahrungen aus Tunnels und Bergwerken belegt — die hier alle weggelassen werden.)

Wir müssen also mit der Theorie des Tunnelgewölbebaues nicht ausgehen vom architektonischen Gewölbe, sondern vielmehr von der Aufgabe: Es soll eine Röhre durch eine Masse hergestellt werden, deren Belastungsdruck die Festigkeit des Materials übersteigt und sich deshalb im Inneren der Masse hydrostatisch verteilt.

Daraus ergibt sich: Die Art der Auswölbung eines Tunnels darf nicht nach dem momentanen Verhalten des Gebirges während des Tunnelbaues beurteilt werden. Sohlengewölbe gegen den Auftrieb ist bei größeren Tiefen in der Regel notwendig, kreisförmig geschlossenes Gewölbe das beste. Gesteine, die in Gebirgschlägen sich abschälen, sind in der Regel zur Auswölbung an der betreffenden Stelle nicht fest genug.

Von etwas allgemeinerem Standpunkte aus gesprochen, können wir sagen:

In einer Tiefe, wo die aufliegende Last die Gebirgsfestigkeit oder gar die Gesteinfestigkeit übersteigt, entsteht durch dazutretende Gleichgewichtstörung Bewegung. Wir kennen: a) Gleichgewichtstörung durch lokale Aufhebung des Gegendruckes, z. B. beim Tunnelbau; b) Gleichgewichtstörung durch Hinzutreten einer neuen Kraft — bei der Dislokation.

Im ersteren Falle wird die einseitige Wegnahme des Gegendruckes stets dem Gesteinsmaterial an der Tunnelwand die Eigenschaften wiedergeben, die es einseitig mechanisch beansprucht, besitzt: sprödes Gestein wird sich spröde verhalten, niemals wird es im Tunnel plastische Eigenschaften zur Geltung bringen, wenn es nicht unter allen Umständen plastisch ist. Die Deformation der Gesteine vom Tunnel aus wird in der Regel Bruchdeformation sein.

Im letzteren Falle kommt das Gestein nicht aus seinem hydrostatischen Druckverbande, nicht aus seiner Klemmung

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

heraus. Wenn hier der Gebirgsdruck bedeutend größer ist, als die Festigkeit des Gesteines, so kann eine plastische Umformung ohne Bruch eintreten. Dieser Auffassung haben in neuerer Zeit die Experimente von Kick, Spring, Tresca, Rinne und ganz besonders von Adams und Nicholson und von Tammann vollständig recht gegeben. Es ist jetzt bewiesen, daß wenn eine spröde Substanz unter einem Drucke, der allseitig — auch in der Richtung des Ausweichens — immer noch bedeutend größer ist, als die rückwirkende Festigkeit, deformiert wird, sie sich ohne Bruch und ohne Verlust an Festigkeit umprägen läßt. Das ist die plastische Umformung in der Tiefe, wie ich sie aus den Gesteinsdeformationen in den Alpen früher abgeleitet hatte.

*

(Im weiteren folgten Mitteilungen über die Wassereinbrüche im Gotthard- und Simplontunnel. Diesbezüglich kann auf die Publikationen von H. Schardt und C. Schmidt verwiesen werden.) Es scheint, daß man unter den Wassereinbrüchen in tiefen Tunnels stets zwei Typen unterscheiden kann. Die einen Wasser zeigen die Temperatur des umgebenden Gesteines, behalten dieselbe, sie nehmen dann bald ab und hören oft schon nach wenigen Tagen oder Wochen ganz auf. Das sind geschlossene, alt angesammelte Wassertaschen (Klüfte) im Gebirge, ohne offene Verbindung mit der Versickerung an der Gebirgsoberfläche. Die anderen haben oft gleich von Anfang an etwas niedrigere Temperatur als das Gestein oder das Gestein zeigt sogar bei der Annäherung Temperaturabnahme. Bald nach dem Einbruche nimmt die Temperatur des Wassers noch mehr ab. Auch diese Einbrüche nehmen an Wasserdruck und Ertrag ab, sie gehen aber nie auf Null. Nach einiger Zeit (bald Wochen, bald Monaten, bald Jahren) fangen sie an mit der Jahreszeit zu schwanken, wobei sie im Simplon nicht mit den Niederschlägen direkt, sondern mit der stauenden Füllung der Kluftnetze regelmäßig während zwei Monaten zunehmen (Maximum im Juli) und während zehn Monaten abnehmen (Minimum im Mai). Diese zweite Kategorie von Tunnelquellen steht also mit dem Spaltennetze in Verbindung, das von der Versickerung gefüllt wird. Ihr Auftreten im Tunnel

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

bedeutet eine Ablenkung des Wassers und damit ist stets in Zusammenhang Versiegen von in höherem Niveau gelegenen früheren Quellen.

In Beziehung auf die Prognose der Wassereinbrüche in Tunnels kann stets gesagt werden, daß durchlässige Schichten zwischen undurchlässigen Wasser in den Tunnel bringen, und zwar um so mehr, je größer ihr Sammelgebiet, und dieses ist in der Regel um so größer, je flacher die Schichtlage. Die Triaskalke der Greina werden wegen fast vertikaler Schichtlage und deshalb sehr beschränkter Sammelfläche dem Greinatunnel sehr wenig, die flachen, weit durch das Gebirge ziehenden Triaskalke des Splügen werden hingegen dem Splügentunnel viel Wasser zuführen.

(Im weiteren wird die Temperaturprognose besprochen. Es werden alle diejenigen Momente aufgeführt, welche die Temperatur in einem Punkte im Innern des Gebirges bedingen und sodann die neuen Erfahrungen, zu denen der Simplontunnel uns geführt hat, besprochen.)

In der Region 4000 bis 5000 m vom Südportal des Simplon war die Gesteinstemperatur bis 16^0 niedriger als erwartet. Es ist das die Region der großen bleibenden Quellen. Zonen mit reicher Wasserzirkulation sind abgekühlt.

In der Mittelregion des Simplontunnels war die Gesteinstemperatur 54^0, d. h. etwa 12^0 wärmer als erwartet. Die Ursache dieser Differenz liegt in drei Momenten: a) diese Region ist trocken, oder hatte nur auslaufende Wassertaschen; b) die Ausgangstemperaturen für die Zunahme nach innen, wie sie sich aus den Beobachtungen der mittleren Bodentemperaturen in geringer Tiefe nun nachträglich ergeben haben, sind um 2 bis 3^0 höher, als man nach früheren Beobachtungen erwarten konnte; c) die Hauptursache der hohen Gesteinstemperatur aber liegt in der flachen Schichtlage. Das geothermische Simplonprofil, wie es sich nun ergeben hat, zeigt deutlich bei steiler und senkrechter Schichtlage, ganz wie im Gotthardtunnel, von hohen Gipfeln oder Gräten bis in den Tunnel hinab eine mittlere geothermische Tiefenstufe von 53 bis 60 m, bei flacher Schichtlage am Simplon dagegen bloß 40 m, wo nach Analogie mit dem Gotthard 55 angenommen worden waren.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Der Simplontunnel lehrt also: bedeutend niedrigere Temperaturen in Zonen von Wasseradern, bedeutend höhere Temperaturen unter flachliegenden Schichten. Die Schichtlage hat weit mehr Einfluß auf die geothermische Tiefenstufe, als man bisher angenommen hatte.

(Endlich wird das geologische Profil einiger großer Alpentunnels vergleichsweise kurz besprochen, der Albulatunnel hat ein „Fenster", einen Fetzen Liasschiefer unter dem Albulagranit, angeschnitten.)

Für Tunnelbau ist günstig:

1. Wegen Gesteinswärme Trasse unter möglichst niedrigem und durchschnittenem, durchteiltem Gebirge, mit steilen Schichtlagen.

2. Für Brechen und Standfestigkeit: Tunnelachse quer zum Schicht- oder Schieferungstreichen, Schichtung und Schieferung möglichst steil.

Sogenannte schwere Druckzonen, „gefährliche druckhafte Stellen", sind in der Regel durch die geologische Untersuchung nicht im voraus zu erkennen. Sie sind nicht an bestimmte Gesteinsarten gebunden, sie können in den verschiedensten Gesteinen lokal auftreten. Sie sind meist bedingt durch eine lokale mechanische Quetschung, manchmal dazu noch chemische Verwitterung einzelner Gesteinstreifen, und sind in jeder größeren Gebirgsmasse möglich.

Die Bahntunnels unserer Gebirge reichen leider meistens nicht tief genug, um über die neueren Fragen der Gebirgsbildung, die uns beschäftigen, wesentliche Lichter zu verbreiten. Vielleicht kommt einmal eine Zeit, wo wir zu wissenschaftlichen Zwecken „Fenster" erbohren können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Austrian Journal of Earth Sciences

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: 1

Autor(en)/Author(s): Heim Albert

Artikel/Article: Einiges aus der Tunnelgeologie. 151-158