

# Ueber Gebirgsdruck

Autor(en): **Wiesmann, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **59/60 (1912)**

Heft 7

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-30036>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Ueber Gebirgsdruck. — Neuere Bauten von Arch. Hans Bernoulli, Basel. — Engerer Wettbewerb zu einem Museumsgebäude in Winterthur. — Gotthardbahn und Giovi-Linie. — Ueber Eisenbeton-Vorschriften. — † Amédée Gremaud. — Nekrologie: Paul Wallot. — Miscellanea: Diesel-Lokomotive mit Druckluft-Kraftübertragung. Regulierung der Abflussverhältnisse des Vierwaldstättersees. Die Hundertjahrfeier der Friedr. Krupp A.-G. in Essen. Die Fassade des alten historischen Museums

in Bern. Die Drahtseilbahn Luzern-Kleine Rigi. — Konkurrenzen: Kaiser Franz Josef-Stadtmuseum Wien. — Literatur. — Berichtigung. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Tafel 19 und 20: Haus Steinbock in Frankfurt a. O.

Tafel 21 und 22: Haus Lepsius in Dahlem bei Berlin.

Band 60.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 7.

## Ueber Gebirgsdruck.

von E. Wiesmann, Ingenieur.

### Einleitung.

In Nr. 8 vom 24. Februar d. J. (Seite 107 von Band LIX der „Schweiz. Bauzeitung“) machte Professor Alb. Heim neuerdings darauf aufmerksam, dass die Massnahmen der Tunnelbauingenieure gegen Gebirgsdruck vielfach ungenügend seien, weil sie sich der Einsicht über das wahre Wesen des Gebirgsdruckes verschliessen. Im besonders bezeichnete Heim meine Ansicht über diesen Gegenstand, die ich vor drei Jahren in einem Aufsatz in der Bauzeitung niederlegte<sup>1)</sup> als ganz irrtümlich.

Zur vorliegenden Entgegnung veranlassen mich folgende Gründe:

1. Die Frage über Gebirgsdruck ist bei weitem nicht abgeklärt, denn es findet sich noch keine eindeutige und befriedigende Erklärung für die verschiedenartigen Aeusserungen des Gebirgsdruckes und namentlich nicht für deren *Ausbleiben*. Ein weiteres Eingehen auf diesen wichtigen und interessanten Gegenstand kann nur zur Abklärung beitragen. Vielleicht lässt sich doch ein Ausgleich der verschiedenen Ansichten finden, wenn die Sache nicht von vornherein als ein feststehendes Dogma behandelt wird.

2. Ich machte die Beobachtung, dass infolge der verschiedenen Auslassungen über das genannte Thema weite Kreise beunruhigt worden sind und sich ängstlich fragen, ob am Ende die Ingenieure beim Tunnelbau von ganz falschen Voraussetzungen ausgegangen seien, wodurch wichtige und kostspielige Bauwerke nicht genügende Sicherheit bieten.<sup>2)</sup>

3. Es ist die von Professor Heim erhobene Anschuldigung, dass die Ingenieure aus Sparsamkeitsgründen sich einer bessern Einsicht verschliessen, energisch zurückzuweisen. Bei allen Konstruktionen der Technik ist man gewissenhaft bestrebt, den Kräften, deren Wirkung irgendwie zu erkennen ist, durch richtige Materialverteilung genügenden Widerstand entgegenzusetzen. Wenn die Ingenieure im Tunnelbau mit geringern als den der Heim'schen Theorie entsprechenden Mitteln glauben auskommen zu können, so liegt dies darin begründet, dass sie die von Professor Heim signalisierten Aeusserungen des Gebirgsdruckes eben nicht haben wahrnehmen können.

So wie ich das verstehe, besagt Heims Theorie kurz gefasst Folgendes:

1. Der Gebirgsdruck ist von der Ueberlagerung abhängig und ihr direkt proportional.

2. In grossen Tiefen ist der Druck allseitig, hydrostatisch, indem unter dem grossen Druck die festen Gesteine latent plastisch werden. Die latente Plastizität wird aktiv bei Druckdifferenzen. Es findet dann unter gewissen Umständen eine bruchlose Verschiebung der Massenteilchen statt, wie wir dies bei anerkannt plastischen Körpern beobachten.

<sup>1)</sup> Bd. LIII No. 13 vom 27. März 1909, Seite 163.

<sup>2)</sup> Wir fügen bei diesem Anlass von den uns von der General-Direktion der S. B. B. freudl. überlassenen Normal-Profilen für den Hauenstein-Basistunnel das leichteste Verkleidungsprofil und ein schweres Druckprofil mit stark gekrümmtem Sohlengewölbe bei.

Redaktion.

Mit dem ersten Satz bin ich vollkommen einverstanden und ich habe in meinem Aufsatz vom Jahr 1908 den Grund dafür kurz angegeben: „weil ja das Untere das Obere trägt“.

Auch die allseitige Ausbreitung des Druckes möchte ich nicht in Abrede stellen und zwar nehme ich an, dass sie schon in mässigen Tiefen eintritt, hauptsächlich wegen der *elastischen* Verschiebbarkeit der Massenteilchen. Mir scheint, dass auch Professor Heim mit geringen Tiefen rechnet, denn der alte Hauensteintunnel gehört nicht zu den tiefliegenden Tunnels.

Inwieweit jedoch das Plastischwerden fester Körper unter hohem Druck für dessen allseitige Ausbreitung

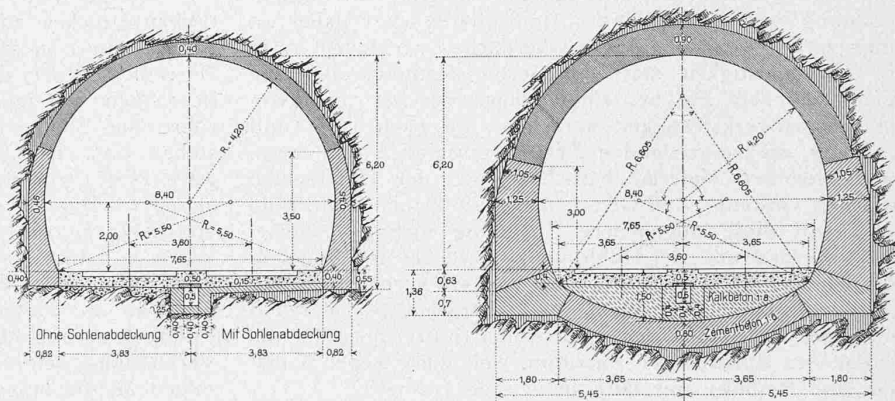


Abb. 1 u. 2. Charakteristische Normalprofile des Hauenstein-Basistunnels. — 1 : 200.

anzusprechen ist und wie es sich damit verhält, ist noch ziemlich unentschieden. Der plastische Zustand, latent oder aktiv, fester Körper wird von Professor Heim aus den bekannten Druckfestigkeitskoeffizienten, die wir aus Würfelproben gewinnen, direkt abgeleitet; das geht deutlich hervor aus der Betrachtung auf Seite 91, Band II, in Heim's „Mechanismus der Gebirgsbildung“ (Basel 1878), wo die Tiefen angegeben werden, in denen gewisse Gesteine latent plastisch werden. Die Zahlen stehen in direktem Verhältnis zu den Druckfestigkeitskoeffizienten. An anderer Stelle des Buches (Seite 56) wird nur allgemein von Kohäsion gesprochen, was aber nicht dasselbe ist. Unterdessen vollzog sich eine Wandlung in den Anschauungen über die Druckfestigkeit der Materialien<sup>1)</sup> und in dem Masse wie sich unsere Ansichten ändern, ändert sich auch die Theorie über das Plastischwerden der Gesteine. Auch der Einfluss der Zeit ist übertrieben hoch angeschlagen; darnach wäre der Gleichgewichtszustand eine sehr unsichere Sache. Ich werde aber weiter unten auf all dies zurückkommen.

Wenn nun der Gleichgewichtszustand, der im Innern eines Gebirges herrscht, durch das Ausbrechen eines Hohlraumes gestört wird, so müssen die Materialteilchen um den Hohlraum herum denjenigen Druck als Ueberdruck übernehmen, den vorher das ausgebrochene Material getragen hat, wie dies auch der Fall ist, wenn wir in eine Mauer ein Loch machen. Auch in diesem Punkt glaube ich mit Professor Heim einig zu gehen. Es ist überhaupt ein grosses Verdienst von Professor Heim, dass er die

<sup>1)</sup> Professor Dr. C. Bach, «Elastizität und Festigkeit» 1898. — Dr.-Ing. Erich von Willmann, «Ueber einige Gebirgsdruckerscheinungen in ihrer Beziehung zum Tunnelbau», Leipzig 1911. — A. Leon und F. Willheim, «Ueber die Zerstörung in tunnelartig gelochten Gesteinen». Wien 1910. — Dr. Techn. August Nowak, Tunnelbau etc. Kap. V im «Handbuch für Eisenbetonbau» von Emperger, VII. Band, Wien 1912.

Druckerscheinungen mit wenig Ausnahmen auf die Wirkung der Schwerkraft zurückführt und mit den vagen Vorstellungen von unausgelösten Spannungen und dergleichen aufräumte.

Der *Unterschied in unserer Auffassung* besteht hauptsächlich in der Ansicht über die *Druckverteilung um den Hohlraum herum*, über die *Grösse des Drucks am Umfang der Höhlung* und über die *aufzuwendenden Mittel, um einen dauernden Gleichgewichtszustand sicherzustellen*. Das sind in der Tat technische Fragen.

Denken wir uns ein Massenteilchen 2000 m unter der Oberfläche des Gebirges von einem mittlern spezifischen Gewicht von 2,7, so herrscht nach obiger Theorie ein allseitiger Druck von 540 kg auf ein cm<sup>2</sup> Oberfläche des gedachten Massenteilchens. Wenn nun in dieser Tiefe, wie dies z. T. dem Simplontunnel entspricht, ein Stollen oder Tunnel ausgebrochen wird, so müsste die Peripherie der Höhlung noch einen Teil des früher auf den Hohlraum verteilten Druckes übernehmen. Nach gewissen Anschauungen wäre der Kantendruck das zwei- bis dreifache des ursprünglichen Druckes, also herrschte da eine Oberflächenspannung von bis zu 1620 Atmosphären und dabei an einer zerrissenen, unebenen Oberfläche, wo zudem noch die Gebirgsfestigkeit statt der Gesteinsfestigkeit in Frage kommt, ähnlich wie bei einer Mauer, wo wir auch von einer Mauerwerksfestigkeit sprechen, die nach Lage und Richtung der angreifenden Kräfte verschieden sein muss. Im homogenen Material hätte natürlich der Unterschied zwischen Gesteins- und Gebirgsfestigkeit keinen Sinn. Und dabei soll diese ungeheure Spannung nicht einmal bemerkt werden und der Hohlraum längere Zeit frei bestehen können oder zu dessen Erhaltung nur ein verhältnismässig leichter Einbau erforderlich sein! Bergschläge oder ein langsames Auftreiben der Sohle sollen hinreichen, um die Grösse der Spannungen darzutun, weil diese wegen Kohäsion und Reibung nur langsam wirken können.

Wie ist es jedoch möglich, dass eine so grosse Spannung dicht an der Oberfläche gegen den Hohlraum keine intensiveren Bewegungen auslöst? Wenn sie vorhanden wäre, so käme das so deutlich zum Ausdruck, dass darüber keine Meinungsverschiedenheit mehr herrschen könnte. Es ist keine Frage, dass der grosse Druck und auch die Bewegung durch Kohäsion und Reibung, *aber nur derjenigen der vorgelagerten Massenteilchen zurückgehalten wird*. Der Druck kann von der Peripherie aus gegen das Gebirge nur mit der Vorlagerung zunehmen. Die Drucklinie hat eben der Form einer Böschung, entsprechend der Abb. 5 meines frühern Aufsatzes.

*Bergschläge* treten nur auf in sprödem Material und sind nicht abhängig von der Druckfestigkeit des Materials, sondern von der *Zugfestigkeit*, welche längs der Abtrennungsfläche der abspringenden Platten durch die nach dem Hohlraum hinstrebenden Kräfte überwunden wird. Da die Zugfestigkeit der Gesteine nicht gross ist und weil solche Bergschläge nicht wie eine Katastrophe hereinbrechen, so braucht auch der Druck der gegen die Peripherie wirkt und durch die Reibung und Kohäsion der Vorlagerung von innen nach aussen hin abgeschwächt wurde, nicht besonders gross zu sein, um solche Bergschläge hervorzubringen. Jetzt begreifen wir auch, wie in sprödem Material sogen. Bergschläge schon bei geringerer Ueberlagerung auftreten können. Professor Schmidt in Basel hat seinerzeit viele lehrreiche Beispiele von Bergschlägen zusammengestellt.<sup>1)</sup>

Obige Betrachtung zeigt zur Evidenz, dass ein beträchtlicher Gebirgsdruck nicht an der Oberfläche der Höhlung sein kann, sondern mit der Vorlagerung des Materials bis auf eine gewisse Tiefe zunehmen und nach und nach in den ursprünglichen Druck übergehen muss.

Nehmen wir vorläufig einmal an, die Spannung an der Oberfläche wäre vorhanden und betrüge nur 540 kg/cm<sup>2</sup> oder 5400 t auf den Quadratmeter. Nun soll der Hohl-

raum durch eine Verkleidung, die diesem Druck Widerstand zu leisten vermag, gesichert werden. Die sogen. „rückwirkende Festigkeit“ des Baumaterials kommt aber nicht so direkt in Frage, wie Professor Heim annimmt, indem er sagt, „wo der Gebirgsdruck grösser wird als die Festigkeit der Gewölbesteine etc.“, indem in der gewölbeförmigen Verkleidung viel grössere, die sog. Tangentialkräfte wirken, als nur der Druck auf die äussere Leibung des Gewölbes, wo nach obiger Annahme der Gebirgsdruck herrscht. Diese käme nur in Frage, wenn man nach dem Ausbruch den Hohlraum mit Bausteinen wieder vollstopfen würde. Brandau machte in seiner bekannten Abhandlung „Ueber den Bau tiefliegender Alpentunnels“<sup>1)</sup> auf diesen Umstand aufmerksam und berechnete, dass nun eine Auskleidung von 6 m Dicke nötig wäre, statt der im Simplon angewandten Stärke von 60 cm. Der grosse Widerspruch zwischen der Praxis und der Heim'schen Theorie spricht nicht gerade für deren Wahrscheinlichkeit. *Es muss dies recht deutlich und eindringlich hervorgehoben werden*, deshalb will ich den Gedanken weiter verfolgen.

Wählen wir, der Theorie des allseitigen hydrostatischen Druckes entsprechend, einen kreisförmigen Querschnitt von 1 m Stärke für die Auskleidung. Der innere Durchmesser sei 5,50 m, der äussere demnach 7,50 m. Berechnen wir nun die Wandungen wie für eine Siederöhre aus Stein, die einem Druck von 540 at zu widerstehen hat. Der Druck auf eine Zone von 1 m Länge wäre  $1 \times 7,5 \times 10000 \times 540 \text{ kg} = 40500000 \text{ kg}$  oder 40500 t. Daraus ergibt sich eine spezifische Pressung von 2025 kg/cm<sup>2</sup> auf die Durchschnittsfläche des Ringes von 1 m Länge. Nehmen wir ferner an, der Druck wirke äusserst langsam. Nach und nach müsste das Gestein sich dicht an die äussere Leibung der Verkleidung anpressen. Unter dem ungeheuren Druck würde natürlich auch die Verkleidung selbst plastisch und der grösste Druck käme zuletzt an die innere Peripherie des Hohlraumes. Es wäre demnach, wenn wir die Theorie bis in ihre äussersten Konsequenzen verfolgen, *überhaupt nicht möglich* den Hohlraum durch Ausmauerung offen zu halten.

Einer bessern Uebersichtlichkeit halber werde ich den zu besprechenden Stoff in verschiedene Titel und Untertitel einteilen und da mir nur ein beschränkter Raum zur Verfügung steht, so kann ich oft eine Sache nur andeuten und muss es dem Leser überlassen, manchen Gedanken weiter zu verfolgen. Es handelt sich nicht um neue Theorien, sondern darum, aus dem bekannten, tatsächlichen, vielorts erwähnten Verhalten der Materialien die richtigen Schlüsse zu ziehen und im besondern darauf hinzuweisen, dass es nicht angeht aus den Festigkeitskoeffizienten Dinge herauszulesen, die darin nicht enthalten sind. Die landläufigen Ansichten über das Verhalten der Materialien und der Spannungsverteilung haben nur Gültigkeit für Beanspruchungen innerhalb der Elastizitätsgrenze und bei ungehinderter Ausdehnungsmöglichkeit. Darum ist es unerlässlich vorerst aus der Festigkeits- und Elastizitätslehre dasjenige hervorzuheben, was auf die vorliegende Frage Bezug hat. Einmal muss die Frage grundsätzlich gelöst werden. Hoffentlich gelingt es mir, die *Richtlinien* vorzuzeichnen die eine Lösung herbeiführen.

#### A. Theoretische Erwägungen und Definitionen.

##### 1. Tragfähigkeit der Körper.

Von grundlegender Wichtigkeit ist die Erkenntnis, dass vollkommen eingeschlossene Körper *unendlich* grosse Druckkräfte aufnehmen können, was sich in einfachster Weise aus der Undurchdringlichkeit der Körper ergibt. Ein Körper kann zu gleicher Zeit den Raum, den ein anderer inne hat, nicht einnehmen und *keine Kraft ist gross genug, ihn an dessen Stelle zu setzen, wenn der erste Körper nicht ausweichen kann*. Das gilt auch für die kleinsten Massenteilchen der Materie und zwar kommt es gar nicht auf den Aggregatzustand an, ob luftförmig, flüssig, plastisch oder fest, das ist einerlei.

<sup>1)</sup> »Untersuchungen über die Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel«, II. Teil Seite 37, Bergschläge in Tunnel und Bergwerken etc.

<sup>1)</sup> Band L III. S. 7 ff.

Dieser Gedanke, sei er alt oder neu, muss ganz besonders hervorgehoben werden. *Die Tragfähigkeit von Körpern unter Einschluss, das ist die eigentliche Gebirgsfestigkeit.* Sie ist die Ursache, weshalb der untere Teil der Atmosphäre die obere Schichten, warum das Meer sich selber trägt, weshalb hohe Berge und ganze Kontinente auf einer tiefer liegenden Unterlage sich erheben können und warum ein eingeschlossenes Mineral, ob Kohle oder Quarz, die grössten durch die Ueberlagerung hervorgerufenen Druckkräfte aufnehmen kann. Grosse Druckkräfte werden auf pneumatischem und hydraulischem Weg übertragen. Die „Tragfähigkeit“ von Gasen und Flüssigkeiten ist ganz von der Güte und Vollkommenheit des Einschlusses abhängig. Ein verhältnismässig unvollkommener Einschluss erhöht indessen schon die Tragfähigkeit fester Körper. Diese Eigenschaft wird in der Technik vielfach zu nutze gezogen, so z. B. bei umschnürtem Beton, Auflagerquadern von Brücken<sup>1)</sup>, Einschluss von Fundamenten um die Tragfähigkeit des Bodens zu erhöhen, beim Ausfüllen von ausgebeuteten Kohlengruben durch eingeschwemmten Bergversatz u. s. w. Starrer Einschluss verleiht weniger starren Körpern eine erhöhte Starrheit, solange sie sich unter diesem Einschluss befinden. Technische Anwendung: Sandtöpfe unter Lehrbogen.

### 2. Elastizität der Körper.

Bekanntlich erleiden alle festen Körper unter der Einwirkung äusserer Kräfte mehr oder weniger grosse Formänderungen. Wenn diese Kräfte eine gewisse Grenze nicht überschreiten, so nimmt der Körper, wenn die Kräfte zu wirken aufgehört haben, seine frühere Form ganz oder teilweise wieder an. Er federt zurück. Wenn eine Formänderung bleibt, so sagen wir, dass der Körper über seine Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht worden sei. Eine Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze suchen wir in der Technik aus zwei Gründen zu vermeiden, erstens weil die Festigkeit des Materials darunter leidet und zweitens, *weil dann unsere Kenntnis von der Verteilung der inneren Spannungen unsicher wird.* Die Unsicherheit wird namentlich bei der Annäherung an die Bruchgrenze bedeutend. Dieser Umstand ist für die Beurteilung der Spannungsverteilung im Innern von Tunnelwänden von grösster Wichtigkeit.

Ein Stab, der auf Zug beansprucht wird, wird dünner, auf Druck dicker. Die Massenteilchen weichen seitlich aus. Wenn aber durch seitlichen Einschluss die Ausdehnung eines gedrückten Stabes verhindert wird, so übt er auf die Wände des Einschlusses einen Druck aus und im Stab entsteht eine *allseitige Spannung.* *Die Kompression selbst ist dann verschwindend klein.* Auch das Gestein im Erdinnern befindet sich unter vollkommenem Einschluss und verhält sich demgemäss. *Es kann dann unter noch so hohem Drucke die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten und deshalb leidet es unter dem Druck in keiner Weise, es geht, wenn es davon befreit wird, aus dieser Art Beanspruchung unverseht hervor, es entsteigt ihr gleichsam wie Phönix aus der Asche.*

Darum ist mir ein Pflasterstein oder Baustein, der aus dem Simplontunnel unter 2000 m (meinetwegen auch unter 4000 m) Ueberlagerung gewonnen wurde, so lieb als ein an der Oberfläche gewonnener Stein. Zudem ist zu bedenken, dass vielleicht jene Oberfläche von heute einst auch dem Erdinnern angehörte, bevor sie durch Erosion zutage trat. Wegen vollkommenen Einschlusses wurde das Gestein dabei weder zu Pulver noch zu einer plastischen Masse. Seine Massenteilchen konnten auch dem Hook'schen Gesetz nicht folgen und weil innere Reibung z. T. wie Einschluss wirkt, so folgen Gesteine dem Hook'schen Gesetz überhaupt nicht oder nur sehr unvollkommen.

Flüssigkeiten sind nur wenig zusammendrückbar. Man sagt allgemein, dass sie sich dadurch von den festen Körpern unterscheiden. *Das ist in dieser Form gesagt durchaus unrichtig.* Flüssigkeiten lassen sich nur unter vollständigem Einschluss drücken. *Bringen wir aber feste*

*Körper, z. B. Blei oder Eisen unter ebenso vollständigen Einschluss, so lassen sie sich auch nicht, d. h. nur sehr wenig komprimieren.* Wären feste Körper wesentlich zusammendrückbar, so würde hoher Druck ihr spez. Gewicht merklich steigern, was jedoch nicht zutrifft. Selbst Gummi elasticum büsst unter solchen Umständen seine Nachgiebigkeit gegen Druck zum grössten Teil ein. Also in dieser Beziehung haben die Flüssigkeiten vor dichten<sup>1)</sup>, festen Körpern nichts voraus. Im Gegenteil, feste Körper leisten auch ohne Einschluss äussern Kräften gegen Deformiertwerden einen Widerstand und *eben diesen Widerstand nennt man Festigkeit.*

### 3. Zugfestigkeit.

So nennen wir den Widerstand, den ein Körper, z. B. ein Stab dem Zerreißen durch äussere Kräfte entgegensetzt. Dabei verringert sich der Stabquerschnitt (Kontraktion). Die Zugfestigkeit ist direkt von der Kohäsion des Materials abhängig; es wird aber auch beobachtet, dass eine Hinderung der Kontraktion die Zugfestigkeit vergrössert<sup>2)</sup>. Auch die Reibung kann unter Umständen eine Rolle spielen. Abgesehen davon erscheint sie uns als *eindeutige Grösse.* Wir glauben zu wissen, was wir uns darunter vorzustellen haben. Diesen Umstand wollte ich ganz besonders hervorheben. Die Gesteine haben im allgemeinen eine geringe Zugfestigkeit.

### 4. Druckfestigkeit.

Diese ist im Gegensatz zur Zugfestigkeit eine *durchaus komplexe Grösse.* Es ist oft schwer im Gedanken die Wirkung der einzelnen Komponenten auseinanderzuhalten. Vergegenwärtigen wir uns das Verhalten eines Körpers unter der Festigkeitsmaschine. Darüber äussert sich Professor C. Bach wie folgt<sup>3)</sup>:

„Wird die Belastung des in eine Prüfungsmaschine eingespannten Prisma fortgesetzt gesteigert, so tritt schliesslich ein Augenblick ein, in welchem der Widerstand des gedrückten Körpers aufhört, der Belastung das Gleichgewicht zu halten. Der Widerstand erscheint überwunden: das Prisma wird zerdrückt, d. h. mehr oder weniger zertrümmert wie z. B. hartes Gestein oder es wird zerquetscht, d. h. sein Material weicht nach der Seite aus, fliesst seitlich ab, wie z. B. Blei<sup>4)</sup>. Streng genommen wird in beiden Fällen der Widerstand dadurch überwunden, dass das Material nach den Seiten ausweicht: im ersten Fall erfolgt diese Ausweichung nach vorhergegangener oder gleichzeitiger Zertrümmerung; im letztern dagegen behält der weiche, bildsame Stoff seinen Zusammenhang bei.“

Den Druck an der Bruchgrenze bezogen auf die Flächeneinheit, gewöhnlich  $1 \text{ cm}^2$  des Querschnittes des Probezylinders, nennen wir den Druckfestigkeitskoeffizienten. Er ist ein Mass für die Druckfestigkeit des Materials und eben dieses Mass ist kein absolutes sondern *ein sehr relatives.* Der Raum erlaubt mir nicht, auf diese bekannte, aber noch immer nicht genügend gewürdigte Tatsache näher einzutreten. Wer sich darüber näher unterrichten will, der lese C. Bachs Elastizität und Festigkeit 1898 Seite 133 bis 157 und im besondern den Abschnitt über Hinderung und Querdehnung.

Die Grösse des Druckfestigkeitskoeffizienten eines Materials ist von nachstehenden Umständen abhängig, wobei wir die Temperatur aus dem Spiele lassen.

1. *Von der Kohäsion oder Zugfestigkeit des Materials.* „Jedes Zerdrücktwerden kann wohl in letzter Linie auf Querdehnung und damit verbundenen Zug zurückgeführt werden.“<sup>5)</sup>

2. *Von der Reibung zwischen den Druckplatten und dem Probezylinder.*<sup>6)</sup> Werden die Platten geschmiert, so kann er auf die Hälfte sinken.<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup> «Dicht» im Gegensatz zu porös.

<sup>2)</sup> C. Bach »Elastizität und Festigkeit« 1898, Seite 91 und 111.

<sup>3)</sup> Professor C. Bach »Elastizität und Festigkeit« 1898 Seite 134.

<sup>4)</sup> Bedeutet nicht etwa «wird flüssig».

<sup>5)</sup> E. v. Willmann Seite 14. <sup>6)</sup> Derselbe Seite 13 Abb. 3. <sup>7)</sup> Derselbe Seite 14.

<sup>1)</sup> Dr. E. Willmann »Ueber einige Gebirgsdruckerscheinungen etc.« 1911 Seite 14.

3. Von der innern Reibung.<sup>1)</sup>

4. Von der Höhe des Probekörpers.<sup>2)</sup>

5. Von der Form des Querschnittes. Ein Körper mit quadratischem Querschnitt leistet dem Druck weniger Widerstand als ein Kreiszyylinder,<sup>3)</sup> gleiches Material, gleich grosse Querschnittfläche und Höhe vorausgesetzt. Ein Körper mit sternförmigem Querschnitt beispielsweise noch weniger.

6. Von der Hinderung der Querdehnung im Allgemeinen. „Der Widerstand eines Körpers gegen Zerdrücktwerden wird unüberwindlich, wenn dem Material jede Möglichkeit, sich nach der Seite auszudehnen genommen wird.“<sup>4)</sup>

7. Von der Zeitdauer der Probe.<sup>5)</sup>

Kurzgefasst dürfen wir den Satz aufstellen: Die Zahlengrösse des Druckfestigkeitskoeffizienten eines Materials hat für uns nur dann vollen Wert, wenn wir die Umstände kennen, unter denen sie abgeleitet wurde; sie passt nur für diese oder ähnliche Verhältnisse, für andere nicht.<sup>6)</sup> Dasselbe gilt natürlich auch für die Verhältniszahl von der Zugfestigkeit zur Druckfestigkeit eines Materials. Diese Erkenntnis, die wir z. g. T. Bauschinger verdanken, findet bereits in der Technik praktische Anwendung.<sup>7)</sup>

5. Gebirgsfestigkeit.

Hier ist die Abhängigkeit von den begleitenden Umständen, die Relativität, noch grösser als bei der Gesteinsfestigkeit. Fester Einschluss kann jede Nachgiebigkeit aufheben. Wo dieser nicht vorhanden ist, da kommt sie zur Geltung. Ich wiederhole hier die Worte von Professor C. Schmidt<sup>8)</sup> „Fast jede Felsmasse, so wie sie im Gebirge liegt, zeigt Richtungen verschiedener Kohäsion, die dem Gestein eigentümlich sind.“ Der Satz kennzeichnet den Sachverhalt vollkommen, er genügt. Daraus ziehen wir den Schluss, dass es noch weniger tunlich ist, die Gebirgsfestigkeit in bestimmten Zahlen angeben zu wollen, als die

<sup>1)</sup> Würden wir den Probezylinder durch Umwicklung mit einer Hanfschnur zusammenhalten, so würde er an der Bruchgrenze durch innere Reibung, die dann aktiv würde, dem Druck noch lange Widerstand leisten können. Wenn wir im Tiefbau eine Erdwand abstützen, so machen wir uns auch die innere Reibung des Erdkörpers zu nutze. <sup>2)</sup> C. Bach Seite 139. <sup>3)</sup> Derselbe Seite 140. <sup>4)</sup> Derselbe Seite 153 und E. v. Willmann Seite 14. <sup>5)</sup> C. Bach Seite 79 und 129. <sup>6)</sup> Ähnlich drückt sich E. v. Willmann aus, Seite 14 unten. <sup>7)</sup> Prof. Max Förster »Taschenbuch für Bauingenieure«, 1911, Seite 483 und 484. <sup>8)</sup> Prof. C. Schmidt »Untersuchungen über die Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel«, Basel 1907, Seite 53.

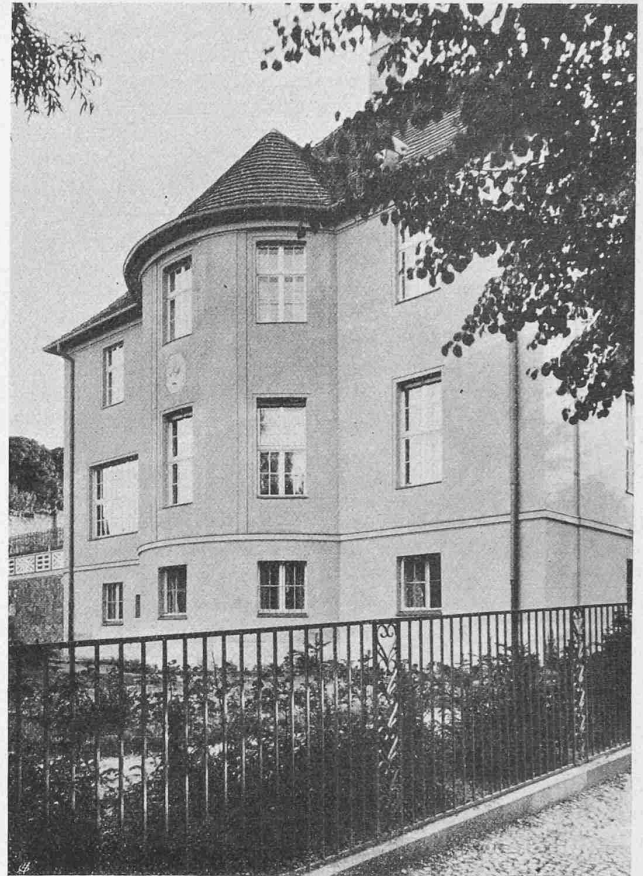


Abb. 4. Haus Steinbock von Nord-Osten.

Gesteinsfestigkeit. Ebenso verhält es sich mit dem Verhältnis zwischen beiden, wenn wir es z. B. mit 1 : 3 angeben wollten, weil ja die Gebirgsfestigkeit so ganz von der Lage und Richtung der angreifenden Kräfte abhängig ist. Es ist das nämliche wie bei dem Begriff Mauerwerks-

festigkeit. Eine kunstgerecht aufgeführte Mauer aus Quadersteinen, mit engen, regelmässigen Fugen hat vertikal angreifenden Druckkräften gegenüber so ziemlich die Festigkeit des Steinmaterials. In horizontaler Richtung z. B. gegen Schub durch Erddruck hat sie die Festigkeit der Mörtelfugen, die Schubfestigkeit des Mörtels vermehrt um die Reibung. Aus diesem Grunde treffen wir oft Futtermauern aus Quadermauerwerk mit vorgeschobenen Steinen, was bei Mauern aus häuftigem Bruchsteinmauerwerk in gutem Mörtel selten der Fall ist. Es geht jedoch eher an, die Mauerwerksfestigkeit zahlenmässig auszudrücken, weil man dabei stillschweigend vertikal wirkende Druckbelastung, senkrecht zum Lager voraussetzt. Bei Felsmassen in ihrer verschiedenartigen Lagerung kann aber eine ähnliche Voraussetzung nicht gemacht werden.

(Schluss folgt.)

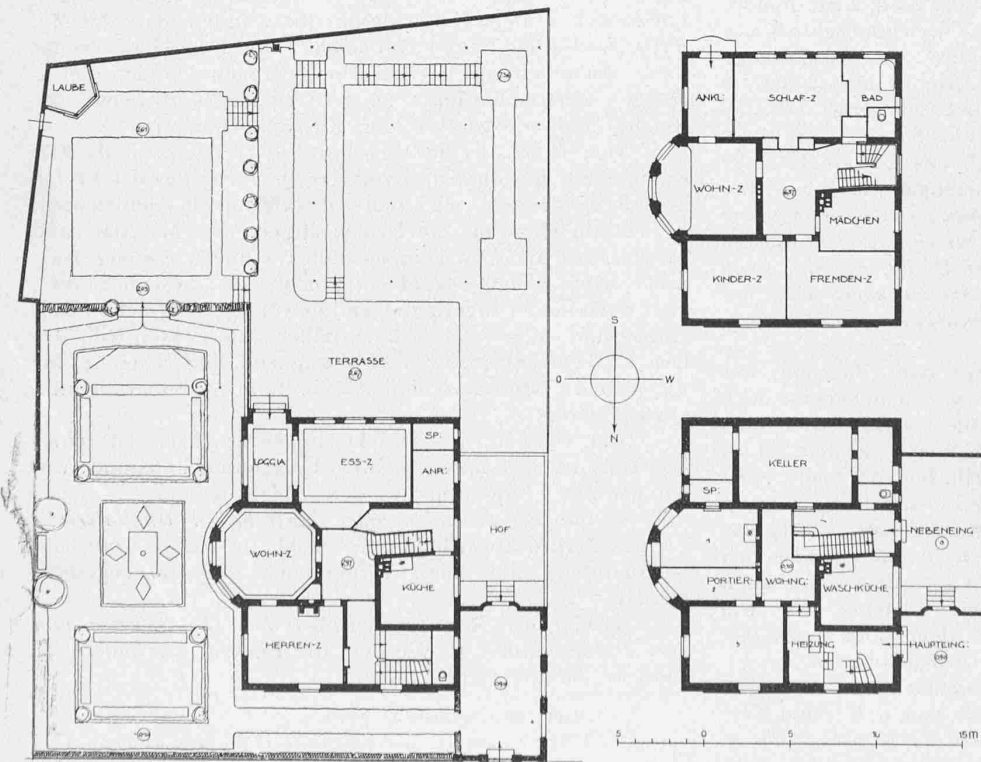


Abb. 1 bis 3. Lageplan, Erdgeschoss-Grundriss, Untergeschoss und I. Stock. — 1 : 400. Wohnhaus Steinbock in Frankfurt a/O. von Architekt Hans Bernoulli. (Text auf Seite 91.)