

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 125/126 (1945)
Heft: 7

Artikel: "Tunnelgeologie"
Autor: Andreae, C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83603>

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: 25.01.2026

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

in potentielle umgewandelt wird und umgekehrt. Sobald sich der Luftwiderstand wieder bemerkbar macht, wird ein Teil der Energie zur Ueberwindung dieses Luftwiderstandes verbraucht und der Wirkungsgrad sinkt. Interessanter als der Wirkungsgrad ist aber der absolute Aufwand an Energie, um diese Geschoss-Geschwindigkeit zu erreichen. In Abb. 6 sind diese Werte aufgetragen und mit zwei Flugzeugen heutiger Bauart verglichen.

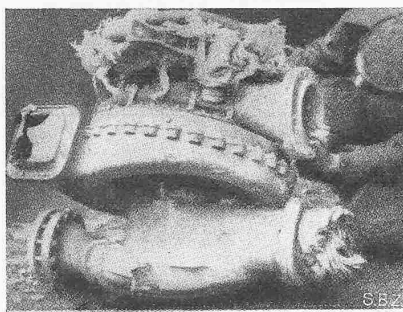


Abb. 7. Das Turbinen-Pumpen-Aggregat. Die einstufige Turbine treibt die Sauerstoffpumpe (oben) und die Alkoholpumpe (unten)

In der Antriebsperiode beträgt die Brennstoffleistung der V 2 bei einem Treibstoffverbrauch von 100 kg/s rund 200 000 kcal/s oder 1,15 Mio PS. Um zu einer Antriebsleistung ähnlicher Grösseordnung zu gelangen, muss als Vergleich ein grosser Ozeandampfer herangezogen werden. Z. B. besitzt die «Queen Mary» mit ihren 73 000 BRT eine Antriebsleistung von 190 000 WPS; mit einem totalen Brennstoffverbrauch von 290 g/PSH (alle Hilfsantriebe inbegriffen), entspricht dies einer Brennstoffleistung von nur 875 000 PS oder 75% der V 2. Es ist aber zu beachten, dass diese enorme Leistung nur etwa 60 Sekunden lang aufgewendet wird. Andererseits könnte z. B. ein Verkehrsflugzeug vom Typ Douglas DC 3 mit dem Brennstoffaufwand von 6000 kg 20 Passagiere in rund 20 Stunden auf eine Entfernung von etwa 6000 km befördern.

Die Alliierten betonen die technische Leistung bei der Realisierung der V 2. Diese besteht vor allem in der Beherrschung der Verbrennungsvorgänge so gewaltiger Energiemengen, dass kurzzeitig Antriebsleistungen zu Stande kommen, die bis anhin nicht üblich waren und zu aussergewöhnlichen Geschwindigkeiten führen. Ob die Wirkung der V 2 diesen unglaublichen Aufwand rechtfertigt, entzieht sich noch der Beurteilung. Beim Uebergang von der zerstörenden Waffe zu zivilen Verwendungszwecken wird noch eine ganze Anzahl von Problemen zu lösen sein.

5. Nachtrag

Nach Abschluss der vorliegenden Arbeit ist ein englischer Aufsatz⁵⁾ über dieses Thema bekannt geworden, der weitere bemerkenswerte Einzelheiten enthält, die unsere Annahmen im wesentlichen bestätigen.

Die Hauptabmessungen der V 2 betragen darnach 14 m in der Länge und 1,65 m Durchmesser. Die Haupttreibstoffbehälter haben einen Inhalt von je 4,5 m³, bestehen aus einer Aluminiumlegierung und sind mit Äthylalkohol und flüssigem Sauerstoff gefüllt. Das anfängliche Treibstoffgewicht beträgt 3,4 t Alkohol und 5 t Sauerstoff. Das Abfluggewicht beläuft sich auf 12 t. Sofern es sich tatsächlich um flüssigen Sauerstoff und nicht um Ozon handelt, verbliebe nach der Antriebsperiode noch 1 t Alkohol, was unwahrscheinlich ist.

Die Abb. 7 und 8 zeigen das Turbinen-Pumpenaggregat zur Treibstoffförderung. Die Turbine besteht aus Leitradssektoren und einem Lauftrad, das die Sauerstoff- und Alkoholpumpe treibt. Die Leistung der Turbine wird auf 500 PS geschätzt. In der Nähe des Pumpenaggregates befinden sich zwei Behälter, die Wasserstoffsuperoxyd und Calciumpermanganat enthalten, mit einem Inhalt von etwa 280 kg. Diese Brennstoffe werden in einem kleinen Generator verbrannt und der entstehende überhitzte Dampf treibt die Turbine. Die Dampfleitungen sind mit Glaswolle stark isoliert. Die einzelnen Elemente des Treibstoffförderaggregates sind leicht gebaut und sehr sorgfältig konstruiert und fabriziert.

Alkohol und Sauerstoff werden von den Pumpen zu den 18 Düsen in der Hauptbrennkammer gefördert. Diese Düsen sind in zwei konzentrischen Kreisen zu sechs und zwölf Öffnungen angeordnet. Es steht noch nicht fest, durch welchen Ring der Alkohol eingeführt wird, doch lässt sich vermuten, dass dies der äussere ist, da dann der Sauerstoff von einem Alkoholmantel umgeben wird und die Wandtemperaturen der Brennkammer niedriger gehalten werden können.

Aus den weiteren Angaben ist noch zu vermerken, dass der Stickstoff vermutlich dazu benützt wird, den Druck in den Hauptbehältern während der Antriebsperiode konstant zu halten. Der



Abb. 8. Demontiertes Aggregat; das Turbinenlauftrad und die Segmente des Leitrades sind sichtbar. Im Vordergrund die mit Glaswolle isolierte Turbinenleitung und ein Sauerstoffverteiler

Start und die Steuerung der Rakete erfolgen in der bereits beschriebenen Weise. Zusätzlich wird noch angeführt, dass die inneren Steuerflächen aus Kohle bestehen sollen, um den hohen Temperaturen der Auspuffgase standzuhalten.

Reichweite, Flughöhe und Geschwindigkeiten werden bestätigt; die Auftreffgeschwindigkeit wird mit 1100 m/s angegeben. Das Bahngeräusch der Rakete wird erst nach der Explosion vernommen. Es wird vermutet, dass die Treibstoffzufuhr vorzeitig abgestellt wird und die Reichweite somit noch vergrössert werden kann.

«Tunnelgeologie»

Die Mitglieder des Schweiz. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, denen die Post vom 27. Jan. 1945 wieder eine der üblichen, umfangreichen Drucksachensendungen brachte mit Veröffentlichungen über «Das Klopfen der Ottomotoren», «Isolierungen im Hochbau», «Bestimmung des freien CaO resp. (C[OH]₂) in Hydrauliten» u. a. m., waren überrascht — weil stofflich gar vom übrigen entfernt und aus dem Rahmen des SVMT fallend — darunter auch den Sonderdruck einer in «Hoch- und Tiefbau» erschienenen Abhandlung von Dr. L. Bendel über «Tunnelgeologie» vorzufinden¹⁾.

Der Verfasser versucht, durch diese Arbeit alte und neuere Erkenntnisse aus der Literatur systematisch zusammenzufassen und sie einem grösseren Interessenskreise zugänglich zu machen. Das ist an und für sich anerkennenswert. Wessen Erfahrungen sich auf den Bau von rund 30 Tunneln und Stollen, worunter Lötschberg und Simplon, stützen, hat allerdings zur Tunnelliteratur eine kritischere, und in Fällen, wo die Ansichten auseinandergehen, auch eine positivere Einstellung, als sie da in Erscheinung tritt. Ich will jedoch auf Einzelheiten nicht eingehen und äussere mich über die vorliegende Arbeit nur, weil ich über ihren Kernpunkt, d. h. über die Aufgaben des Geologen im Tunnelbau, eine grundsätzlich abweichende Ansicht vertritt und sowohl als Dozent wie auch in Veröffentlichungen stets vertreten habe.

Dr. Bendel umschreibt diese Aufgaben folgendermassen: «Die Tunnelgeologie soll: 1. Auskunft geben über die geologischen Verhältnisse, die beim projektierten Tunnel oder Stollen angetroffen werden; 2. Angaben machen über die Einflüsse der Gesteinsbeschaffenheit auf den Bauvorgang; 3. Auskunft geben über die Einflüsse der Gesteinsbeschaffenheit auf die Baukosten, d. h. auf den Sprengstoffbedarf, die Zimmerung usw. 4. Die Einflüsse der geologischen Verhältnisse auf die Bauzeit sollen sich abschätzen lassen. 5. Während des Baus des Tunnels sollen die angetroffenen Ergebnisse gedeutet und bei Schwierigkeiten mit Wasser, Gas, Druckhaftigkeit usw. Ratschläge erteilt werden.»

Daraufhin werden die für den Tunnel- und Stollenbau wichtigsten geologischen Fragen erwähnt und die verschiedenen Stellungnahmen dazu, wie sie sich aus der Literatur ergeben, skizziert.

Dr. Bendel will mit seiner Arbeit ein besseres, wirksameres Zusammenarbeiten von Ingenieur und Geologen veranlassen. Darin ist er zu unterstützen, denn das Fehlen oder Ungenügen einer

⁵⁾ F. C. Sheffield: V2 the German rocket a notable technical achievement of insignificant military value. «Flight» 21. Dez. 1944.

¹⁾ Tunnelgeologie. Beitrag zur praktischen Ingenieur-Geologie. Von L. Bendel, Sonderdruck aus «Hoch- und Tiefbau» 1942/43, 27 S. mit 25 Abb. und 1 Tabelle. Zürich 1944, Verlag A.-G. Hoch- und Tiefbau, Beethovenstrasse 38, Preis kart. 4 Fr.

solchen Arbeitsgemeinschaft hat sich schon oft zum Schaden der Beteiligten, zumeist der Bauherrschaft, gerächt. Wer sich an die Zeit der grossen schweizerischen Tunnelbauten, die mit dem Ausbau des Simplontunnels II ihren vorläufigen Abschluss fand, erinnert, weiss, welche Spannungen damals mancherorts zwischen den Vertretern der Technik und der Geologie bestanden. Die Ingenieure beklagten sich über ungenaue oder gar falsche Orientierung und Beratung durch die Geologen, während ihnen diese vorwarfen, sie befolgten ihre Ratschläge zu wenig, oder schätzten ihre Prognosen unrichtig ein. Doch ist die Mitarbeit des Geologen im Tiefbau, im Tunnelbau ganz besonders, unentbehrlich, und je enger Ingenieur und Geologe zusammenarbeiten, desto besser wird der Wirkungsgrad ihrer Tätigkeit. Ich verweise darüber auf das Autoreferat von Dr. h. c. F. Gugler und die einleitenden Bemerkungen dazu von Dr. A. von Moos in der «SBZ» vom 20. Januar 1945.

Wer jene Divergenzen aufmerksam verfolgt hat, wird als ihre Ursache nicht nur einige bekannte und anerkannte Irrtümer der Geologen erkennen, wie z. B. die irrümliche Beurteilung der Verhältnisse im Gasterntal, die beim Bau des Lötschbergtunnels zur Katastrophe führte, oder die unrichtige Vorausschätzung der im Simplontunnel anzutreffenden Gesteinstemperaturen u. a. m. — solche Irrtümer waren zum Teil aus dem damaligen Stand der Wissenschaft erklärlich, waren aber auch eine Folge der zu kurzen Zeit und der zu kleinen Kredite, die den Geologen für ihre Untersuchungen eingeräumt worden waren —, sondern er wird unschwer die tiefere Quelle der Auseinandersetzungen darin finden, dass sich die beteiligten Geologen und Ingenieure jeweils über die gegenseitige Abgrenzung der Verantwortungen nicht klar waren. In manchen Fällen waren daran die Auftraggeber schuld, die, ohne präzise Fragestellung, nur ganz allgemein «ein Gutachten» über diesen oder jenen Tunnel beim Geologen bestellten. Dieser liess sich dadurch oft verleiten, Dinge in seinen Bericht hineinzulegen, für die der Ingenieur allein zuständig und verantwortlich ist, und es war anderseits in einigen Fällen der Ingenieur, der in unstatthafter Weise in solchen Fragen auf den Geologen abstellte. Dabei wurden gelegentlich geologische Gutachten unrichtig ausgelegt. So verschwammen die Grenzen zwischen den beidseitigen Verantwortungen, was sich stets — auf allen Gebieten — rächt.

Eine solche «Kompetenzüberschreitung» liegt z. B. vor, wenn die Geologen von Fellenberg, Kissling und Schardt in ihrer Expertise über den Lötschberg- und den Wildstrubeltunnel im Jahre 1900 die geringere Sprengwirkung infolge der flachgeneigten Schichten als Nachteil des Wildstrubels gegenüber dem Lötschberg mit seinen teilweise steil fallenden und senkrecht zur Tunnelaxe streichenden Schichten angeben. Die politischen Gegner des Wildstrubels kämpften in der Folge sehr mit diesem Argument. Das Kriterium stimmt aber nur für den Vortrieb des Richtstollens. Im Vollausschub, der in einem normalspurigen Eisenbahntunnel, besonders in einem zweigleisigen, den Richtstollenvortrieb an wirtschaftlicher Bedeutung erheblich übertrifft, ist es umgekehrt. Ein Beispiel dafür ist der Simplontunnel. Die Nordseite durchfährt auf 4 km ab Portal steil aufgerichtete Kalkphyllite, die ungefähr senkrecht zur Tunnelaxe streichen. Beim Ausbau des zweiten Tunnels benötigte diese Strecke, nach Ueberwindung der kurzen Mündung im Gehängeschutt, keinen Holzeinbau ausser den Arbeitsbrücken für den Firstschlitz. Ebenfalls ungefähr 4 km lang ab Südportal verläuft der Tunnel in Streichen flachliegender Antigoriogneise. Diese Südstrecke erfordert auf ihrer ganzen Länge eine kräftige Zimmerung, weil die schwachgeneigten Schichten im Ausbruch vorweg nachbrachen. Trotz der viel Holz und Arbeit kostenden Zimmerung der Südseite kamen die vier ersten Kilometer der Nordseite bei Verwendung gleicher Bohrgeräte und Sprengstoffe, bei gleicher Organisation teurer zu stehen als die entsprechenden der Südseite, weil die Schichtstellung der Nordseite, die für den Richtstollenvortrieb günstiger gewesen war, sich für die Sprengwirkung im Vollausschub als viel ungünstiger erwies.

In einem andern geologischen Tunnel-Gutachten aus jener Zeit wurde angegeben, auf welchen Strecken für den Stollenvortrieb Handbohrung und auf welchen Maschinenbohrung anzuwenden sein werde. Die Unternehmung, bzw. ihre Ingenieure, gaben sich ihrerseits zu wenig darüber Rechenschaft, dass die Bohrung eine technische Angelegenheit sei, das Urteil darüber ihnen daher allein zustehe. Das geologische Gutachten veranlasste die Anschaffung einer teuren Installation, sogar mit schweren Brandtschen Bohrmaschinen, die im ganzen, 8 km langen Tunnel gar nie zur Anwendung kam.

Die Beispiele könnten vermehrt werden. Sie führten zu jenen Spannungen, deren Ursache, wenn nicht einzig, so doch zum grossen Teil darin lag, dass die Geologen, teils von sich aus,

teils infolge fehlerhafter Auftragserteilung, in ihren Expertisen die Grenzen ihres Faches und ihrer Verantwortung überschritten, Auskunft über Dinge gaben, die Sache des Ingenieurs sind, während für den Bau wichtige geologische Fragen dabei gelegentlich zu kurz kamen.

Es war nach dem Ausbau des Simplontunnels II vorauszu- sehen, dass im Bau grosser Tunnel in der Schweiz vorläufig eine Pause eintreten würde, und es war zu befürchten, dass die reichen Erfahrungen, die beim Bau der grossen Alpen- und Jura-Durchstiche gewonnen worden waren und unser Land an die Spitze des Tunnelbaues gebracht hatten, wieder verloren gehen würden. Deshalb bemühte ich mich damals, die wichtigsten Erfahrungen und Erkenntnisse aus jener Periode in einer Veröffentlichung zusammenzustellen und festzuhalten, die übrigens von Dr. Bendel in seiner vorliegenden Arbeit in anderem Zusammenhang mehrmals zitiert wird²⁾. Obschon seither bald 20 Jahre verflossen sind, hatte ich nie Veranlassung, auf meine darin angegebenen Schlüsse betreffend die Rolle des Geologen und seiner Zusammenarbeit mit dem Ingenieur zurückzukommen, umso weniger, als ich seither wiederholt Gelegenheit hatte, die Richtigkeit dieser Richtlinien praktisch bestätigt zu sehen, die jedem der beiden Fachgebiete das seinige zuweisen. Selbstverständlich wird sich ein richtiger Tunnelgeologe allmählich auch mit der Tätigkeit des Ingenieurs vertraut machen. Je mehr Einblick er in diese bekommt, desto zweckmässiger wird seine geologische Orientierung und Beratung ausfallen. Umgekehrt wird der Ingenieur durch diesen Verkehr seine geologischen Kenntnisse mehren und den Geologen besser verstehen lernen und allmählich wissen, wie weit dessen Möglichkeiten gehen. Je mehr Einblick jeder in das Gebiet des andern hat, desto deutlicher werden beide auch ihre gegenseitigen Grenzen erkennen.

Betrachten wir nun die oben angeführten Aufgaben, die Dr. Bendel dem Tunnelgeologen stellen will, unter dem Gesichtswinkel dieser Richtlinien, deren Grundsätze aus den bisherigen Ausführungen zur Genüge hervorgehen, so ergibt sich, dass nur die Aufgaben 1 und 5 zu Recht bestehen. Allerdings muss für die Auftragserteilung die Aufgabe 1 noch genauer formuliert werden. Wir wollen vom Tunnelgeologen die Gesteinsfolge, die Härte der einzelnen Gesteinsarten, ihren vermutlichen Zustand, ihr Streichen und Fallen erfahren. Von grösster Wichtigkeit für den Ingenieur sind sodann die Wasservorkommnisse und zwar sowohl die gesamte zu erwartende Wassermenge, die schon für das Projekt, d. h. für die Bemessung des Kanals und unter Umständen auch für die Bestimmung der Tunnelneigung ausschlaggebend ist, sowie auch die Art der Wasserzutritte und ihre Verteilung. Diese Angaben sind in vielen Fällen nicht leicht zu machen, und es sind auf diesem Sondergebiet der Wasserführung auch nicht alle Geologen gleich erfahren. Bei tiefliegenden Gebirgstunneln kommt noch die Frage der Gesteinstemperaturen und allenfalls auch die des «Gebirgsdruckes»³⁾ hinzu. Bei Lehnentunneln ist natürlich auch die Standfestigkeit der Lehne abzuklären. Damit ist im allgemeinen — Sonderfälle vorbehalten — die Begutachtung durch den Tunnelgeologen vor dem Bau vollständig umrissen. Wenn die Fragen klar und präzise gestellt werden, wird auch der Bericht des Geologen entsprechend ausfallen.

Zu Aufgabe 5 ist wenig zu sagen. Zu betonen ist etwa noch, dass der Geologe hauptsächlich auf bevorstehende, wichtige Gesteinswechsel, bevorstehende grössere Wassereinbrüche oder auf Gasvorkommen rechtzeitig aufmerksam zu machen hat.

Was die Aufgaben 2, 3 und 4 anbelangt, so gehören sie in das Fachgebiet des Ingenieurs. Er muss wissen, welche Bau- und Betriebsweisen er bei gegebenen geologischen Verhältnissen anzuwenden hat und er ist und bleibt dafür verantwortlich. Diese Verantwortung kann er weder abwälzen noch mit dem Geologen teilen. Er ist auch der Fachmann, der den Einfluss der verschiedenen geologischen Faktoren auf die Baukosten kennt, oder kennen soll. Die fortschreitende Entwicklung der Bohrgeräte und der Sprengstoffe liegt in seinem Fachsektor, ebenso die Zimmerung⁴⁾.

Gewiss werden Baufortschritt, Bauzeit und Kosten von den geologischen Verhältnissen mitbeeinflusst, weshalb sich der

²⁾ «Der Bau langer, tiefliegender Gebirgstunnel». Julius Springer, Berlin 1926. Vgl. auch «SBZ», Bd. 88, S. 330.

³⁾ Es sei nebenbei bemerkt, dass in der neueren Tunnelnitteratur dieser Ausdruck in der Regel ausschliesslich auf den durch hohe Ueberlagerung hervorgerufenen Druck und nicht auf die Bewegungserscheinungen bezogen wird, die durch Art, Lagerung, Struktur oder Zustand des Gesteines auch in Tunneln mit kleiner Ueberlagerung häufig vorkommen.

⁴⁾ In diesem Zusammenhang erwähnt Dr. Bendel die Angaben von Rziha, der allerdings ein klassisches Werk über Tunnelbau verfasst hat, dessen letzte — zweite — Auflage jedoch aus dem Jahre 1874 stammt! Seither haben sich aber Bau- und Betriebsweise im Tunnelbau und damit auch die Zimmerung so gewandelt, dass seine diesbezüglichen Zahlenangaben nicht mehr stimmen.

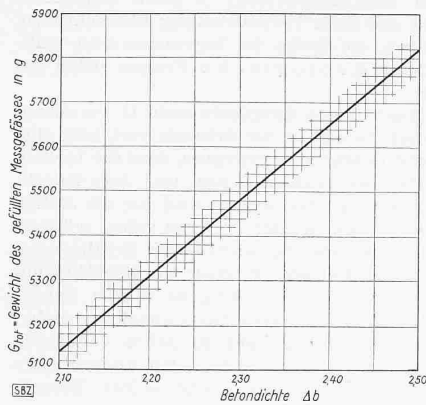


Abb. 1. Bestimmung der Betondichte aus dem Gewicht des gefüllten Messgefäßes. Sonderfall für: Rauminhalt des Messgefäßes $V_m = 2052 \text{ m}^3$
Gewicht „ „ $G_m = 1202 \text{ g}$
Gewicht des zusätzlichen Wassers $W_z = 320 \text{ g}$

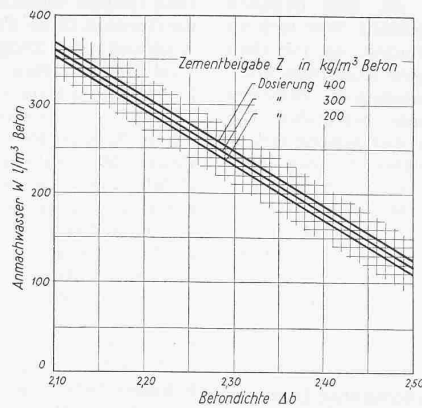


Abb. 2. Beziehung zwischen Anmachwassermenge, Zementbeigabe und Dichte des Betons mit $\Delta Z = 3,05$
 $\Delta s = 2,65$

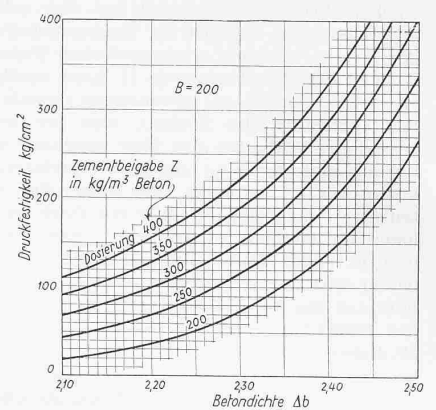


Abb. 3. Wahrscheinliche Druckfestigkeit in Funktion der Zementbeigabe und der Dichte des Betons

Ingenieur über diese vom Geologen möglichst genau und gründlich orientieren lassen muss. Diesen Einfluss muss er aber selber kennen. Baufortschritt, Bauzeit und Kosten hängen aber auch von der Entwicklung der Bohrgeräte und der Sprengtechnik ab und nicht nur von diesen, sondern in erheblichem Masse auch von der Organisation sowohl der Abbauvorgänge und Schutterung, wie namentlich auch — das wird gelegentlich übersehen — der Förderung. Schlussendlich ist erst noch der Wirkungsgrad aller Einrichtungen und jeder Organisation von der Qualität der verfügbaren Arbeiter und von der Energie und Präzision beeinflusst, mit der die Organisation durchgeführt wird, also von der Persönlichkeit des leitenden, verantwortlichen Ingenieurs. Kurzum, es spielen da so viele Faktoren mit, die sich dem Urteil und dem Einfluss des Geologen entziehen, dass sich dieser nicht in die Verantwortung teilen kann und es auch nicht soll, nicht zuletzt im Interesse der Geologie, die sonst Gefahr läuft, zu Unrecht, aber durch eigene Schuld, zum Sündenbock gemacht zu werden.

Es ist verdienstlich, wenn immer und immer wieder auf die Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Ingenieur und Geologe im Tunnelbau hingewiesen und dabei auch die zu gehenden Wege gezeichnet werden, obschon sich in dieser Hinsicht die Verhältnisse gegenüber früher sehr gebessert haben. Es müssen aber dabei die Erfahrungen aus der Zeit der grossen Tunnelbauten beherzigt werden, um zu vermeiden, dass allmählich wieder Zustände entstehen, die seither überwunden waren. Die Absichten von Dr. Bendel verdienen Anerkennung, die durch die obigen Ausführungen nicht geschmälert werden sollen. Ein solcher Austausch von Erfahrungen gehört ja gerade zur erstrebten Zusammenarbeit.

C. Andreae

Grundlagen zur Betonprüfung auf der Baustelle

Von Ing. J. BOLOMEY, Professor an der Ingenieurschule der Universität Lausanne

[Vorwort. Vom Verfasser, dem verdienstvollen Betonforscher¹⁾, Chef der Abteilung für Steinmaterialien des Materialprüfungs-Laboratoriums an der Ingenieurschule Lausanne, ist im «Bulletin Technique de la Suisse Romande» vom 22. Januar 1944 ein Aufsatz erschienen «Choix des caractéristiques et contrôle du béton sur le chantier» (auch als Sonderabzug erhältlich). Von dieser gründlichen und ausführlichen Arbeit hat Bolomey für seine Studenten einen nicht veröffentlichten Auszug geschrieben «Points essentiels du contrôle du béton sur le chantier» und unsern gelegentlichen Mitarbeiter Dipl. Ing. Kurt Seidel in Bern ermächtigt, diesen Auszug für die Leser unserer Zeitschrift ins Deutsche zu übertragen. Wir lassen die frei übersetzte, leicht gekürzte Seidel'sche Uebersetzung folgen. Red.]

*

Die Betonfestigkeit hängt von der Art des Zementes, der Zementbeigabe, der Anmachwassermenge und der Erhärtungsdauer ab. Kennt man das Zement-Wasserverhältnis Z/W , d. h. die Zement- und die Anmachwassermenge, sowie den Gütebeiwert B des Zementes im betrachteten Alter, so lässt sich die

voraussichtliche Druckfestigkeit K auf einfachste Weise mit unserer Formel

$$K = (Z/W - 0,50) B$$

bestimmen. Der Beiwert B kann auf 10 % genau aus den Druckfestigkeiten K_n der schweizerischen Normenprüfung abgeleitet werden, die im allgemeinen für alle Zemente bekannt sind

$$B = K_n : 1,35$$

Er kann aber auch direkt aus den Druckfestigkeiten einiger Betonproben mit bekannten Zement- und Wassermengen ermittelt werden. Die Grösse des Beiwertes B der gebräuchlichen Schweizer-Zemente liegt in den folgenden Grenzen:

| Alter | Normalzement | Spezialzement |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|
| 3 Tage | 70 bis 100 kg/cm ² | 130 bis 160 kg/cm ² |
| 7 Tage | 140 bis 170 kg/cm ² | 200 bis 260 kg/cm ² |
| 28 Tage | 180 bis 250 kg/cm ² | 280 bis 350 kg/cm ² |

Bestimmung der genauen Zementbeigabe auf den m³ Beton

Die gebräuchlichsten Verfahren stützen sich auf das scheinbare Volumen des Zuschlagstoffes Sand-Kies. Wenn sie auch in einer grossen Zahl besonderer Fälle befriedigende Ergebnisse liefern, so sind sie doch ungenau und können zu Schätzungsfehlern von 10 und sogar 20 % der Zementbeigabe auf den m³ Beton führen. Tatsächlich ändert sich das scheinbare Volumen des Sandkieses in einem m³ Beton mit der Körnung (Granulometrie), der Setzung und der Feuchtigkeit, wie auch mit der Zementbeigabe und der Konsistenz des Betons. Wenn auch die Zementbeigabe in kg auf eine bestimmte Sand-Kiesmenge zulässig ist als erste Annäherung oder für Bauwerke, bei denen ein Beigabefehler keine ernstlichen Folgen hat, so ist sie doch nicht genügend genau bei grossen Betonmassen, wo ein kleiner Fehler bedeutende finanzielle Folgen haben kann, und sie ist jedenfalls nicht genügend genau, um zur Zeit der Mischung die zu erwartende Festigkeit des Betons zu bestimmen.

Um zu prüfen, ob die vorgeschriebene Zementbeigabe eingehalten sei, sind eine oder mehrere Wirksamkeitsproben vorzunehmen. Diese Probe lässt sich unverzüglich ausführen durch Zählen der verbrauchten Säcke Zement für einen Bauteil von leicht zu bestimmendem Inhalt (Balken, Mauer usw.) oder indem das Volumen einer Betonmischung mit bekannter Zementbeigabe in einer Kiste ohne Boden oder in einem Betonsilo gemessen wird. Die ersten Mischungen werden in erster Annäherung in kg oder Liter Zement auf eine bestimmte Sandkiesmenge dosiert; je nach dem Ergebnis der Probe lassen sich die nötigen Berichtigungen festlegen.

Bestimmung der Anmachwassermenge auf den m³ Beton vermittelt der Dichte des Betons

Ist die Betondichte (spezifisches Gewicht) Δb des porenfreien Betons und die genaue Zementbeigabe bekannt, so lässt sich die verwendete Anmachwassermenge auf Grund der folgenden Beziehungen berechnen.

$Z + S + W =$ Gewicht des Betons $= 1000 \Delta b$
 $Z : \Delta z + S : \Delta s + W : 1,0 =$ Rauminhalt des Betons $= 1000 l$,
und daraus

$$W = \frac{(1000 - Z : \Delta z) \Delta s - (1000 \Delta b - Z)}{\Delta s - 1,0}$$

Hierin bedeuten Z , S und W die Gewichte des Zementes, des Sandkieses und des Wassers in 1 m³ Beton, Δz und Δs die absoluten Dichten des Zementes und des Sandkieses; diese letzten

¹⁾ Vgl. seine Veröffentlichungen in der SBZ: Baukontrolle im Beton- und Eisenbetonbau. 1931, Bd. 98, S. 105* und 118*, sowie Contrôle de la qualité d'un béton au moyen de la densité de celui-ci, 1937, Bd. 109, S. 137*.