

Beitrag zur Kenntnis der Bohrfestigkeit der Gesteine.

Von August Rosiwal, Assistent der Lehrkanzel für Mineralogie und Geologie an der k. k. technischen Hochschule in Wien.

Herr Professor Dr. Franz Toula beauftragte mich vor Kurzem mit der Durchführung von Versuchen über den Grad der Widerstandsfähigkeit mehrerer Sorten anscheinend ganz äquivalenter Pflastersteine gegen verschiedene Beanspruchungsarten, um die Qualitätsunterschiede der in Rede stehenden Probewürfel ermitteln und ziffermässig zum Ausdrucke bringen zu können.

Da die Bestimmung der Zerdrückungsfestigkeit*) allein im gegebenen Falle — es lagen überaus zähe Gneisgranite vor — zur Entscheidung über das größere oder geringere Maß ihrer Eignung zu Pflasterungszwecken nicht ausreichend war, so wurde von Herrn Professor Toula die Vornahme zunächst von Bohr- und Schlagversuchen veranlasst, um durch diese in Anbetracht der Bestimmung des Materials zutreffendere Inanspruchnahme den Grad der Zähigkeit desselben festzustellen.

Die mir gestellte Aufgabe war sehr einfacher Natur: Zur Entscheidung bezüglich der qualitätsmäßigen Rangordnung der vorhandenen 6 Gesteinssorten bedurfte es nur der Anwendung einer gleichen Anzahl (z. B. 500) vollkommen gleichmässig ausgeführter Schläge auf jeden der vorher sorgfältig abgewogenen Steinwürfel (von ≈ 9 — 10 cm Kantenlänge), die bei den Bohrversuchen mittels des aus freier Hand geführten Fäustels auf den Bohrmeißel, bei den Schlagversuchen jedoch mittels eines frei, stets aus gleicher Höhe herabfallenden Spitzhammers auf eine der Würfelflächen geführt wurden. Der sich hierbei ergebende, aus einer zweiten Wägung resultierende Substanzverlust gibt ein relatives Maß für die Festigkeit des betreffenden Materials.

Damit wäre die praktische Seite des vorliegenden Falles nach der angestrebten Richtung hin erledigt gewesen. Angeregt durch die Vorträge meines hochverehrten Lehrers, des Herrn Professors Franz v. Ržiha, welcher in seinen Vorlesungen an der Wiener technischen Hochschule zum erstenmale eine umfassende Theorie der Gewinnungsarbeit gab, sowie durch seine Abhandlung in dieser Zeitschrift „Ueber die Bohrfestigkeit der Gesteine“**) entstand in mir jedoch die Frage: ob es nicht möglich sei, aus diesen im Laboratorium durchzuführenden Versuchen an kleinkalibrigen Bohrlöchern einen berechtigten wissenschaftlichen Schluss zu ziehen auf ein absolutes Festigkeitsmaß und zwar auf jene Bohrfestigkeit („Zahl der *mk* Arbeit pro 1 cm^3 Bohrloch“), wie sie Professor v. Ržiha zuerst aufgestellt und auf Grund zahlreicher der Praxis entnommener Versuche in der erwähnten Ab-

handlung für die verschiedenen Gesteinskategorien bezeichnet hat.

Zu diesem Zwecke musste auf die möglichst genaue Ermittlung der beim Bohren geleisteten mechanischen Arbeit, den wunden Punkt der meisten Berechnungen, das größte Gewicht gelegt und auf die Messung des erzielten Effectes bei den kleinen Dimensionen des Bohrlochs ganz besondere Sorgfalt verwendet werden: es galt die thunlichste Genauigkeit der Beobachtung an die Stelle groß angelegter Durchschnittsversuche zu setzen, um der Praxis auch in jenen Fällen ein Maß in die Hand zu geben, wo sie der letzteren entbehrt. Dabei wurde folgender Vorgang eingehalten.

A. Bestimmung der Bohrarbeiten.

(Trockenes Bohren).

Die auf die Bohrlochsole wirkende mechanische Arbeit des Fäustelschlages bestimmte ich nach der bekannten Formel:

$$a = \frac{Q^2 \cdot v^2}{(Q + q) \cdot 2g} \text{ m/kg,}$$

worin Q das Fäustel-, q das Meißelgewicht darstellen und v , die Endgeschwindigkeit des Fäustels, nach der Methode von Havrez*) aus

$$v = \frac{2s}{t},$$

dem Wege und der Schlagzeit bestimmt wurde.

Den Weg ließ ich in etwas primitiver, aber ausreichend genauer Weise — es ergaben sich bei halbwegs gelungenen Diagrammen kaum Differenzen von 5% während derselben „Hitze“, d. h. derselben Reihe ohne Unterbrechung hintereinander geführten Schläge — durch einen bei der Eintrittsstelle des Stieles an den Fäustel befestigten Bleistift auf ein neben den Steinwürfel vertikal aufgestelltes Blatt Karton zeichnen, und ermittelte die Zeit ganz nach der von Havrez angegebenen Art aus

$$t = 0.39 \frac{60}{n},$$

worin n die Zahl der Schläge per Minute bedeutet.

Diesbezüglich ist aber zu bemerken, dass die „menschliche Maschine“ selbst bei sehr geübten und mit derselben Arbeit jahrelang beschäftigten Individuen dennoch stark variiert, d. h. daß in unserem Falle die mit beabsichtigter Gleichmäßigkeit geführten Schläge eines erprobten Steinmetzes je nach der bloß um wenige Centimeter verschiedenen Höhenlage des bearbeiteten Steines oder der Länge des verwendeten Meißels sofort andere Schlagkurven „indizierten“. Die während verschiedener (aber an demselben Tage und von demselben Arbeiter ausgeführten) Bohrungen aufgenommenen Diagramme differirten um 5—12% der Länge

*) Dieselbe wurde an der Lehrkanzel für technische Mechanik und Maschinenlehre (Professor R. Böck) an der k. k. technischen Hochschule in Wien vorgenommen, und lieferte die in der Tabelle unter der Rubrik „Anmerkung“ angegebenen Werthe.

**) Jahrgang 1888, Heft Nr. 4.

*) A. o. a. O. 6; „Revue univ. des mines“ 1876, Bd. 39, I. S. 519.

der ganzen Schlagkurve, so daß es bei der im quadratischen Verhältnisse erfolgenden Einwirkung auf den Arbeitswert zur genauen Bestimmung des letzteren nach dieser Methode nöthig ist, thunlichst viele Diagramme zeichnen zu lassen: jedenfalls aber für jedes Bohrloch eines, etwa in der Mitte der ganzen erbohrten Tiefe. Da sich dieses Ergebnis erst im Laufe der Untersuchung herausstellte, so konnten für die Mehrzahl der Bohrlöcher in der folgenden Tabelle nur Mittelwerthe für die Weglänge aus den von Zeit zu Zeit aufgenommenen Diagrammen der Berechnung des aufgewendeten Arbeitsquantums zugrunde gelegt werden. Die in der Tabelle mit * bezeichneten Werte sind aus speciell bei der betreffenden Bohrung aufgenommenen Diagrammen ermittelt und daher frei von dem sonst bis 10% betragenden Fehler, welcher aus der wechselnden Größe der pro Schlag entfalteteten mechanischen Energie resultirt. Form und Größe einer der aufgenommenen Schlagkurven sind aus nachstehender Figur ersichtlich, welche dieselbe in photographischer Verjüngung wiedergibt. (Fig. 1).

Fig. 1. Schlagcurve, d. i. Weg des Fäustel-Schwerpunktes.

nach Havrez

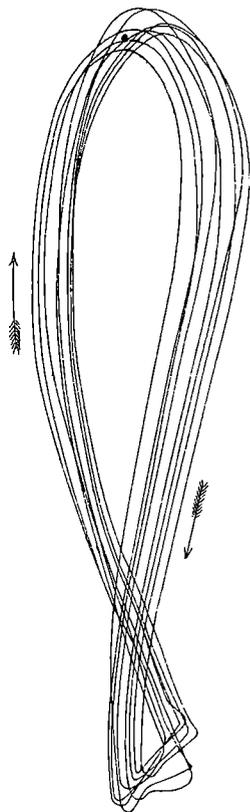
$$2s = 63 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Schlagzahl pro Minute } p = 96, \\ \text{Schlagzeit } t = 0.39 \frac{60}{n} = 0.24 \text{ s} \\ \text{Endgeschwindigkeit } v = \frac{2s}{t} = 2.58 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$\text{Fäustelgewicht } Q = 1.725 \text{ kg}$$

$$\text{Mechanische Arbeit eines Schläges}$$

$$A = \frac{Qv^2}{2g} = 0.585 \text{ mkg.}$$



Weniger als der Weg, war die Zeit veränderlich. Das Tempo ist jedenfalls eher in der Gewalt des Arbeiters liegend, da die örtlichen Verhältnisse darauf von geringerem Einflusse sind. Temperaturschwankungen je nach der Tageszeit, sowie das Moment der Ermüdung nach mehrstündiger Arbeit ließen aber immerhin Differenzen auftreten. Ich maß in der Regel die für 30 aufeinanderfolgende Schläge nöthige Zeit und fand für dieselbe im Mittel aus 15 Beobachtungen an verschiedenen Tagen 18.67 Sekunden; die Extreme waren 17.5 und 19.8 Sekunden, also Schwankungen von 6% über und unter dem Mittel. Will man daher ganz genau vorgehen, so ist auch hier bei jedem Bohrloch eine Schlagzeitbestimmung angezeigt. Für die vorliegende Berechnung wurde aber

durchwegs obiger Mittelwerth zu Grunde gelegt, d. h. die Zahl der Schläge per Minute mit

$$n = 96$$

in Rechnung genommen.

Professor v. Ržiha erwähnt der Versuche des Stadt-Bauinspektors Siebeneicher in Berlin*), welche — ebenfalls an Pflasterungsmaterialien vorgenommen — infolge der Eigenart des verwendeten Apparates**) zu hohe Werte für die Bohrfestigkeit ergaben, als daß sie mit den von anderer Seite gefundenen Resultaten verglichen werden konnten***). Leider verfügte auch ich anfangs nur über den dort gerügten Kronenbohrer (in der Modifikation als Kreuzbohrer mit zwei senkrecht stehenden Schneiden), half mir aber durch Parallelbeobachtungen mit geradlinigen Meißelbohrern über dieses Moment der Unsicherheit hinweg, und fand für die an den Gneisgraniten (Steinwürfel I und IX der Tabelle) und bei 11 mm Bohrlochkaliber erhaltenen Wirkungsgrade beider Instrumente das Verhältnis

$$K : M = 100 : 107.4. \text{ (S. auch w. u. S. 118).}$$

Um ein Urtheil über die Genauigkeit des bisher geschilderten Verfahrens zu haben, ließ ich einen zweiten Fäustel mit einem ca. 90 cm langen Stiele versehen, der um sein Ende mittels eines durchgesteckten horizontalen Eisenstiftes leicht drehbar gemacht und mit dieser einfachen Drehungsachse an einer Tischecke fixirt wurde. Dadurch wurde — analog wie bei den eingangs erwähnten Schlagversuchen mit Hilfe des Spitzhammers — ein freies Fallen des Fäustels erzielt, welcher durch zwei vertikale Holzleisten, zwischen denen der Stiel frei beweglich war, eine Führung, aber nirgends eine besondere Reibung erlitt. Da die Hubhöhen durch ein oberhalb des Fäustels befindliches Anschlagbrett genau gleichgemacht waren und auch der Größe nach (307—338 mm) nicht sonderlich von den aus freier Hand geführten Schlägen abweichen, glaube ich die Fehlerquellen Siebeneicher's: die zu geringe Fallhöhe und unkontrollirbare Reibung thunlichst vermieden zu haben. Diese Anordnung hat nun allerdings nicht jene Präzision des Schläges für sich, welche etwa dem von R. Hausse †) angewendeten Apparate mit freifallendem Meißel eignet, sie besitzt jedoch den Vortheil der großen Einfachheit und liefert ausreichend genaue Resultate.

Der absolute Arbeitswerth eines Schläges ergibt sich leicht aus Fäustelgewicht und Hubhöhe

$$a_a = Q \cdot h.$$

Zieht man von dem so ermittelten Werte den kleinen Betrag infolge der Reibung und der Verluste infolge ab und zu etwas excentrischen Stoßes auf den Meißel (schätzungsweise wurden durchwegs 5% angenommen) ab, und multipliziert man mit dem Faktor

$$\mu = \frac{Q}{Q + q} \dagger\dagger),$$

*) A. a. O. S. 16 d. Sep.-Abdruckes.

**) „Deutsche Bauzeitung“ 1879, S. 290 und in E. Dietrich: Die Baumaterialien der Steinstraßen, Berlin, 1884, S. 30.

***) Vgl. die Anmerkung S. 122.

†) Bestimmung der zum Abbohren von Handbohrlöchern nöthigen mechanischen Arbeit. „Berg- und hüttenmänn. Zeitung“ 1882, Nr. 33. S. 313 und Tafel VII, Fig. 5.

††) Nutzeffekt an der Meißelschneide. Ržiha a. a. O. S. 15. Spezielle Werthe: Q (Fäustel beim Bohren mittelst freifallender Schläge) = 2.07 kg.

welcher je nach den verschiedenen Bohrgewichten, die von Fall zu Fall substituiert wurden und infolge ihres geringen Betrages für μ bei den in Rede stehenden Bohrungen mit freifallendem Fäustel auf 10 mm-Meißel den Wert 90,4% lieferte, so erhält man den Nutzeffekt als Schneidarbeit pro Schlag mit $95 \times 90,4 = 85\%$ der absoluten Arbeitsgröße

$$a_s = 0,95 \frac{Q^2 h}{Q + q} = 0,85 Q h.$$

B. Bestimmung der erbohrten Volumina

Dieselbe erfolgte auf dreierlei Weise:

1. Durch Quecksilberausfüllung des Bohrloches und Wägung der Quecksilbermenge G_{Hg} , welches Verfahren die genauesten Werte ergibt, wenn man nur die Vorsicht gebraucht, die Quecksilberkuppe an der Bohrlochmündung durch ein aufgelegtes Glasplättchen abzuflachen und in gleiche Flucht mit der Würfelfläche zu bringen.

$$V_1 = \frac{G_{Hg}}{13,6}$$

2. Durch direkte Wägung des Gewichtsverlustes der angebohrten Gesteine (G) unter Zuhilfenahme des jeweiligen aus den Würfeldimensionen leicht zu ermittelnden spezifischen Gewichtes.

$$V_2 = \frac{G}{s}$$

3. Aus den geometrischen Abmessungen des Bohrloches.

$$V_3 = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot t$$

Diese letzte Methode ist die ungenaueste für so kleine Bohrproben. Der Fehler in der Bestimmung des Durchmessers, welcher bei der Anwendung der Meißelbohrer infolge der starken Abweichung von der kreiszylindrischen Form recht erheblich wird, fällt allzusehr in's Gewicht, wogegen die oft recht ansehnliche Verletzung des Bohrlochrandes unberücksichtigt bleibt. *)

Berechtigterweise ist von diesen drei auf ganz verschiedenen Wegen ermittelten Werten für die Volumina außer dem Falle V_1 (Quecksilberwägung) nur noch die Volumbestimmung aus dem durch die Bohrung erzielten Gewichtsverlust des Probewürfels zulässig, falls jener mit mindestens 2—3% Genauigkeit ermittelt werden kann.

Zur Berechnung der in der Kolumne „Bohrfestigkeit“ der folgenden Tabelle angegebenen Werte wurde durchwegs nur V_1 benützt.

Da aber die beim Beginne des Bohrens randlich abfallenden, etwas größeren (1—3 mm) Splitter einen Substanzverlust bedeuten, welcher nicht durch reine Ueberwindung

Die Gewichte der Bohrer waren sehr gering, daher die Nutzeffekte relativ hohe. Gewichte und Nutzeffekte der Kreuzbohrer:

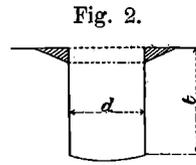
$$\begin{aligned} d &= 10, 15, 20 \text{ mm} \\ q &= 0,22 \quad 0,31, \quad 0,33 \text{ kg} \\ \mu &= 88,8, 84,7, 83,8 \%. \end{aligned}$$

der Meißelbohrer:

$$\begin{aligned} d &= 8, 10, 15, 20, 30 \text{ mm} \\ q &= 0,06, 0,22, 0,24, 0,38, 0,77 \text{ kg} \\ \mu &= 97,1, 88,8, 87,9, 82,0, 69,2 \%. \end{aligned}$$

*) Infolge dieses Umstandes waren in den Granitwürfeln die berechneten Volumina V_3 um 3,3 bis 11, im Mittel um 7% kleiner als die thatsächlich erbohrten Räume V_1 .

der Bohrfestigkeit zu Stande kommt, so ist streng genommen V_1 um einen gewissen Prozentsatz zu groß. Es dürfte der Wahrheit am nächsten kommen, für das Volumen $V_1 - V_3$ des oberen Kegelstutzringes (Fig. 2) die halbe Bohrfestigkeit anzunehmen, und somit die z. B. in den Graniten für V_1 gefundenen Werthe um $3\frac{1}{2}\%$ zu verringern, um den richtigsten Wert V zu finden, welcher dem Arbeitsaufwande thatsächlich entspricht. Für die Berechnung der reduzierten Bohrfestigkeit (vgl. S. 119) wurde dieser Umstand stets in Betracht gezogen.



Die nach vorstehend geschildertem Verfahren begonnene Arbeit an den Pflasterungsmaterialien förderte gar bald so hochinteressante Resultate zutage, daß sich aus der Ausdehnung der Versuche auf andere Gesteinskategorien und namentlich durch die Erweiterung der Bohrproben hinsichtlich des Effektes an verschiedenen weiten Bohrlöchern schöne Ergebnisse erwarten ließen.

Die Ermöglichung der Durchführung dieser Versuche verdanke ich in erster Linie Herrn Professor T o u l a, welcher mir die Mittel der Lehrkanzel zur Verfügung stellte, um das nöthige Material theils aus der Bausteinsammlung der Lehrkanzel selbst zu entnehmen, theils durch Neuherstellung der erforderlichen Probewürfel zu gewinnen. Der Chef der Firma Hauser, Herr Eduard Hauser, sowie dessen Geschäftsleiter Herr Joh. Eltschka förderten durch ihre stets freundliche Bereitwilligkeit, die für die Arbeiten nöthigen Adaptirungen vorzunehmen, sowie durch die Beistellung des zu den Versuchen erforderlichen verlässlichen Arbeiters (Steinmetz K. Müller) meine Untersuchungen. Ich spreche Ihnen an dieser Stelle meinen besten Dank aus.

Die beifolgende Tabelle enthält die ziffermäßigen Resultate der durchgeführten Versuche. Ihre Berechnung erfolgte nach den im Vorhergehenden besprochenen Regeln, und wurde bei ihrer Herstellung, wo immer es anging, darauf Bedacht genommen, daß aus ihren Angaben alle jene Momente zu entnehmen seien, welche in der von Professor v. R z i h a aufgestellten einheitlichen Bohrtabelle*) verlangt werden.

Die Zahl der Bohreretzungen (Punkt 9 dieser Tabelle) wurde keiner speziellen Beobachtung unterzogen, schwankte aber nach den vorhandenen Hiebmarken zwischen 12 und 20. Die Schneidwinkel der verwendeten Meißel (Punkt 8) waren sämmtlich sehr gering und fielen von ca. 60—70° bei den Kreuzbohrern bis unter 45° bei den geradlinigen (Punkt 7) Meißelinstrumenten.

Die so wünschenswerthe Angabe der Druckfestigkeit musste in die Rubrik „Anmerkung“ verlegt werden, da nur für das Granitmaterial eigene Versuche vorlagen, die anderen Werte aber aus der Literatur**) bloß vergleichsweise angeführt werden konnten.

Der neu eingeführte Begriff der „reduzierten Bohrfestigkeit“, welche für die einzelnen Gesteinsarten an-

*) Verhandlungen der Münchener Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden für Bau- und Konstruktionsmaterialien. Bauschinger, Mittheilungen 1886. XIV. Heft, S. 172.

**) Hauenschield, Katechismus der Baumaterialien, S. 186 ff.

gegeben ist, findet sich in den Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen im Nachstehenden erörtert.

D. Folgerungen aus den Untersuchungs-Ergebnissen.

1. Frage nach dem Verhältnisse der Leistungen von Kronenbohrer (Kreuzbohrer) und Meißelbohrer.

(Trockenes Bohren.)

a) In hartem Gesteine (Granit, Gabbro).

Aus Post	wie	Kreuzbohrer	Meißelbohrer	Bohrlochdurchmesser = mm
1 und 3		100	106.9	11.2
" " 27 " 28	"	100	107.8	10.6
" " 37 " 40	"	100	118.7 (120)*	11.0
" " 38 " 41	"	100	113.0 (123)	15.2
" " 39 " 42	"	100	100.0 (101)	21.4
Mittleres Verhältnis 100 : 109.3 (111.7)				

d. h. die Mehrleistung des Meißelbohrers gegenüber dem Kreuzbohrer beträgt in hartem Gesteine bei kleinem Kaliber durchschnittlich etwa 10 %.

Ueber das Verhalten bei Bohrlochdurchmessern über 20 mm liegen eigene Versuche nicht vor. Der Verlauf der Kurven der Bohrfestigkeit (siehe Diagramme w. u.) würde schließen lassen, daß eine Umkehrung des Verhältnisses platzgreift, doch sprechen dagegen die Erfahrungen der Praxis.**)

b) In weichem Material (Leithakalk vom Kaisersteinbruch).

Aus Post	wie	Kreuzbohrer	Meißelbohrer	Bohrlochdurchmesser = mm
59 und 63		100	90 (94)*	9.2
" " 60 " 65	"	100	73 (83)	14.5
" " 62 " 66	"	100	85 (97)	20.5
Mittleres Verhältnis 100 : 82.7 (91.2)				

d. h. in weichen Gesteinen fördert der Kreuzbohrer um 9—17 % mehr als der Meißelbohrer bei Bohrlochdurchmessern zwischen 10 und 20 mm.

2. Frage nach dem Verhältnisse der nach Havrez und durch frei fallende Fäustelschläge ermittelten Arbeitsmengen.

Diese Verhältniswerte differiren, wie nachstehende Tabelle zeigt, sehr stark.

Nimmt man aber das Mittel aus allen, so ergibt sich ein Wert, von welchem viele der beobachteten Fälle nur wenig abweichen. Es sind jene, welche offenbar nur zum geringsten Theile von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern beeinflusst sind.

Daraus geht aber hervor, dass die aus der Formel nach Havrez berechneten Arbeitswerte in der Regel zu klein ausfallen, und dass entweder der Zahlenkoeffizient in der Zeitformel

$$t = 0.39 \frac{60}{n}$$

bei so kleinen Fäustelschlägen ein zu hoher ist, oder daß die Kurvendiagramme unter der bei der freien Ausführung des Schlages stattfindenden Größe etwas zurückbleiben.

*) Die () Zahlen aus dem Verlauf der Kurven der Bohrfestigkeit s. w. u.

***) Man vergl. darüber die Betrachtungen über die zweckmäßigste Bohrerform in Rziha: Tunnelbau I. S. 67 ff.

Aus Post Nr.	Bohrlochdurchm. = mm	gemessene Bohrfestigkeit		Verhältniszahl
		Havrez	freier Fall	Havrez : freier Fall
1 u. 4	11.2	94.4	96.3	100 : 102.0
9 " 11	10.3	110.0	*) 137.8	100 : 125.3
12 " 14	10.9	*) 100.1	102.6	100 : 102.5
17 " 19	10.7	*) 78.6	98.8	100 : 125.7
20 " 22—24	10.8	76.8	111.0	100 : 144.5
27 " 29	10.5	86.9	*) 109.0	100 : 125.4
37 " 44	11.0	141.8	*) 156.4	100 : 113.0
51 " 53	11.0	59.6	63.0	100 : 105.7
52 " 54	20.7	22.6	43.8	100 : 193.8 (!)
Mittleres Verhältnis				100 : 126.5
Mittel aus 1—29 (Granit)				100 : 120.9

Jedenfalls ist eine Korrektur der Havrez'schen Werte nöthig, welche in der vorstehenden Versuchsreihe rund 25 % beträgt.

Bei der Berechnung der reduzierten Bohrfestigkeit wurden alle nach Havrez gemessenen Festigkeitswerte um 25 % (bei den Graniten um 21 %) höher angesetzt. Eine Ausdehnung der Versuche gerade nach dieser Richtung hin wäre besonders erwünscht, da die Differenzen in dieser vorliegenden Versuchsreihe jedenfalls beträchtliche sind, der Genauigkeitsgrad der einzelnen Beobachtungen aber unter Berücksichtigung aller wesentlichen Umstände erheblich gesteigert werden kann.

3. Die Bohrfestigkeit ist eine Funktion der Bohrlochweite.

Während noch Prof. H. Höfer seinen Berechnungen in der so wichtigen Arbeit über die „Häuerleistung bei der Bohrarbeit“**) nach Oberbergrath Förster***) das bekannte „Volumengesetz“ zugrunde legt:

„Ein bestimmter Raumgehalt erfordert gleichen Aufwand von mechanischer Arbeit zu einer Zerkleinerung, mag das Bohrloch enger oder weiter sein“, genügt ein Blick auf die in der Tabelle für die Bohrfestigkeit desselben Materiales angeführten Werte, um die ganz außerordentliche Verschiedenheit dieses Festigkeitsfaktors und seine Abhängigkeit vom Kaliber des Bohrloches wahrzunehmen.

Die folgenden Schemata (Fig. 3—5, S. 120 und 121), in welcher die Bohrfestigkeiten als Ordinaten über den als Abscissen aufgetragenen Durchmesser gezeichnet sind, zeigen diesen Umstand in noch übersichtlicherer Weise.

Man ersieht daraus, daß mit zunehmender Weite des Bohrloches die Bohrfestigkeit in noch schnellerem Maße abnimmt, und daß das Gesetz, welches Prof. Rziha be-

*) Behufs Ausgleichung der Werte bei den in Vergleich gezogenen, um Bruchtheile eines Millimeter differirenden Bohrlochweiten (zwischen 10 und 11 mm) wurde im Granit eine Aenderung von 7 mkg in der Bohrfestigkeit pro Millimeter Durchmesserzuwachs, in Gabbro von 12 mkg angenommen, wie es die Kurven der Bohrfestigkeit (Fig. 3—5) ergeben.

**) „Oesterr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1884“, S. 621.

***) „Jahrbuch für Berg- u. Hüttenwesen in Sachsen“ 1882, S. 26.

züglich des Leistungsgrades beim bergmännischen Eindringen in ein bestimmtes Gestein aufstellte***), die Proportionalität desselben mit der Wurzel aus der Fläche des aufgeföhrenen Profils hier im Kleinen an den wechselnden Querschnitten der Bohrlöcher konsequenterweise sein Analogon finden muss.

Es ist schwierig, dieser auf dem Wege des Experiments gewonnenen Erfahrung zunächst eine andere theoretische Grundlage zu geben, als die ganz allgemein für jede Gewinnungsarbeit geltende Erkenntnis, dass die Zunahme der freien Fläche die relative Größe dieser Arbeit vermindert; ja eine Autorität, wie Prof. W. Schulz in Aachen, kommt in seiner Betrachtung über die Wirkungsweise des Bohrers †) zu dem Schlusse, daß einer theoretischen Berechnung der von der Schneide aufgewandten Arbeit zur Zertrümmerung eines gewissen Volumens Gestein in Bohrlöchern jeder Boden entzogen wird.

Es schien nach solchem Urtheile fast aussichtslos, eine eingehende theoretische Begründung der erwähnten Thatsache versuchen zu wollen. Glücklicherweise ist diese Arbeit bereits gethan, und war es mir eine freudige Genugthuung, in meinen Versuchen eine Bestätigung dessen zu finden, was Dr. Stapff's Untersuchungen lange vorher in mathematischer Form zum Ausdrucke gebracht hatten.

Denn während in der von v. Sparre*) abgeleiteten Formel für die bei jedem Schlage zerdrückte und abgesprengte Gesteinsmenge das Moment der Bohrlochweite nicht berücksichtigt ist, indem für das schließlich erbohrte Volumen

$$V = \frac{L \sin \frac{\alpha}{2}}{2k \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f \right)} \quad **)$$

der Durchmesser d eliminirt erscheint, so zeigt sich diese Größe bei Stapff***) bereits in der Form

$$V = \frac{2 d^2 h^2}{d + 4 h},$$

worin die Tiefe des Eindringens der Schneide pro Schlag †)

$$h = \sqrt{\frac{L}{4kd \left(\tan \frac{\alpha}{2} + f \right)}}$$

Substituirt man nun h in der Formel für V , so erhält man

***) „Centralblatt der Bauverwaltung“, 6. Bd., 1886, S. 395. Das Gesetz der Gesteinsverspannung. Abgeleitet aus den Ergebnissen beim Tunnel von Altena in Westphalen, sowie beim Spitzbergtunnel in Böhmen.

†) Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften von Franzius und Lincke, IV. Bd. Die Baumaschinen. II. Abtheilung, S. 150.

*) Bemerkungen über das Niederbringen tiefer Bohrlöcher von größeren Dimensionen. „Berg- und Hüttenmännische Zeitung“ 1865. 24. Bd., S. 1 und Fortsetzungen.

***) Ebenda S. 52. In der Formel bedeutet L die disponible Arbeit am Bohrkopfe, α den Schneidenwinkel des Meissels (circa 70°), k den Modul der Druckfestigkeit und f den Reibungs-Koeffizient der Meisselschneide am Stein ($f=0.45$).

****) Ueber Gesteinsbohrmaschinen. Stockholm 1869.

†) A. a. o., S. 15, Formel VI und VII. Sowie auch Schulz a. a. o., S. 151.

$$V = \frac{L}{2k \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f \right) + \sqrt{\frac{16k \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f \right) L}{d^3}}}$$

oder für $2k \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + f \right) = a$ gesetzt,

$$V = \frac{L}{a + \sqrt{\frac{8aL}{d^3}}}$$

Nachdem aber die Bohrfestigkeit $F = \frac{L}{V}$, so ist

$$F = a + \sqrt{\frac{8aL}{d^3}}$$

welcher Ausdruck das Abhängigkeitsverhältnis der Bohrfestigkeit vom Bohrlochdurchmesser bestimmt.

Man ersieht daraus, daß sich die Bohrfestigkeit für sehr große Durchmesser einem unteren Grenzwerte

$$F_{\min} = a$$

nähert, während sie für $d=0$ unendlich groß wird. Dem entspricht der asymptotische Verlauf der aus den Versuchen resultirenden Kurve der Bohrfestigkeit einerseits bezüglich einer zur x -Achse Parallelen mit der Ordinate $y = a$, andererseits aber in Beziehung auf die y -Achse selbst.

4. Die reduzierte Bohrfestigkeit.

Will man daher eine das Material wirklich charakterisierende Festigkeitsangabe machen, so genügt es nicht zu sagen: Die Herstellung eines Kubikcentimeter Bohrloch erfordere so und so viele Meterkilogramm Arbeit, sondern es müssen unter Berücksichtigung aller Punkte der von Prof. v. Ržiha aufgestellten einheitlichen Bohrtabelle (siehe oben S. 117) die in vorstehender Formel für die Bohrfestigkeit enthaltenen Größen entweder durch Rechnung bestimmt, oder — was für die Praxis ja ungleich wichtiger erscheint — etwa nach den eingangs geschilderten Methoden durch einfache Versuche ermittelt werden.

Bezüglich des ersteren Weges genüge es, hier auf die Originalarbeit Stapff's, sowie auf die Ausführungen Prof. Schulz' im „Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften“ hinzuweisen. Es wird aber von beiden Autoren auf den Hauptpunkt: Die Abhängigkeit der Festigkeitswerte vom Durchmesser, fast gar kein Gewicht gelegt, offenbar deshalb, weil die beim bergmännischen Handbetriebe vorkommenden Bohrlochkaliber im großen Ganzen wenig voneinander abweichen. Eine Versuchsreihe aber, welche die Beziehungen zwischen Bohrlochweite und Bohrfestigkeit experimentell festzustellen bezweckt, ist, soweit meine Kenntnis der Literatur reicht, bisher nirgends durchgeführt worden. *)

*) Auf Grund einer Mittheilung, welche ich Herrn Prof. v. Ržiha gelegentlich der Besprechung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen verdanke, sei an dieser Stelle angeführt, daß derselbe seit dem Erscheinen seiner Abhandlung „Ueber die Bohrfestigkeit der Gesteine“ eine Arbeit in Vorbereitung hat, in welcher auch das Problem der Abhängigkeit der Bohrfestigkeit von dem Durchmesser des Bohrloches zur Erörterung kommen soll. Die Ankündigung einer, die Theorie und Praxis des Bohrens der Sprenglöcher behandelnden Studie befindet sich bereits im Schlusspassus der zitierten Abhandlung vor.

Für die Praxis sei nun der folgende Weg vorgeschlagen. Zunächst könnte man in der nach Sta p f f konstruirten Formel

$$F = a + \frac{\sqrt{8 a L}}{d^{\frac{3}{2}}}$$

den Betrag der pro Volumseinheit an der Meißelschneide aufgewendeten Arbeit L durch F substituieren, um aus der so erhaltenen quadratischen Gleichung:

$$F^2 - \left(2 a + \frac{8 a}{d^3}\right) F = - a^2$$

F bloß als eine Funktion von a und d darzustellen, u. zw.

$$F = a + \frac{4 a}{d^3} + \frac{4 a}{d^3} \sqrt{1 + \frac{1}{2 d^3}}$$

Dieser rein mathematische Vorgang liefert aber nur für wenig von einander abweichende Lochdurchmesser richtige Werte. Ich belasse daher den Arbeitswert L als Unbekannte in der Formel und bestimme nun aus wenigstens zwei verschiedenen Beobachtungen, also zwei unabhängigen Gleichungen, die durch die Einführung der gefundenen Bohrfestigkeiten und gemessenen Durchmesser erhalten werden, den Wert der Größen a und L , resp. jenen der für die Rechnung wichtigen Konstanten $\sqrt{8 a L}$, welche mit b bezeichnet sei.

Mit Hilfe dieser beiden Konstanten, die für jedes Material speziell zu erheben sind, ist es nun leicht, für den Bohrl Lochdurchmesser e ins, d. h.

$$d = 1 \text{ cm}$$

die entsprechende Bohrfestigkeit

$$F_1 = a + b$$

zu berechnen, welche ich die auf eins reducirte Bohrfestigkeit, oder reducirte Bohrfestigkeit schlechtweg nenne, und als Vergleichsmaßstab für alle Meißelbohrungen, die das volle Kreisprofil aufschließen, in Vorschlag bringen möchte.

Der Einwurf, daß dieser Durchmesser für Vergleichszwecke zu klein gewählt sei, und daß es sich mehr empfehlen dürfte, die Dimension des einmännischen Bohrloches (2.5 — 3.0 cm) hiefür zu wählen, ist vom Standpunkte der Bohrarbeit im Großen gerechtfertigt. Ein kleines Rechenexempel wird aber bei bekanntem a und b leicht aus dem Werte für $F_{1 \text{ cm}}$ jenen für $F_{3 \text{ cm}}$ ermitteln, für eine Versuchsstation dagegen werden schon die leicht herzustellenden kleinen Kaliber maßgebende Werte zu liefern im Stande sein, weshalb hier der Einheit der Vorzug gegeben wurde. In der Tabelle befindet sich übrigens durchwegs auch der auf $d = 3 \text{ cm}$ reducirte Bohrfestigkeitswert angegeben, welcher leicht aus der Relation

$$F_3 = a + \frac{b}{5.2} \text{ *)}$$

zu ermitteln war.

Man wird übrigens gut thun, sich nicht bloß auf die Minimalzahl von zwei Gleichungen zur Bestimmung der beiden Bohrkonstanten zu beschränken, sondern die Reihe

*) $5.2 \doteq 3^{\frac{3}{2}}$.

der verschieden dimensionirten Bohr Löcher möglichst kontinuierlich, bezw. vielgliedrig gestalten. Erst dadurch wird es möglich, den graphischen Verlauf der Kurve der Bohrfestigkeit mit genügender Genauigkeit festzulegen und damit die für die Praxis zweifellos sicherste Grundlage zur Beurteilung einer gegebenen Materialsorte zu schaffen. Man gewinnt bei dieser Gelegenheit auch sofort einen richtigen Einblick hinsichtlich des Grades der Genauigkeit, mit welcher die einzelnen Messungen erfolgten: die Abweichungen von der mittleren Kurvenlage geben den Maßstab hiefür. Daß letztere trotz aller darauf verwendeten Sorgfalt oft ganz beträchtlich werden und — einzeln herausgegriffen — die Richtigkeit der angewendeten Formel sowie des ihr zugrunde liegenden Kalküls geradezu in Frage stellen könnten, wird sich an einigen der in der Tabelle verzeichneten Versuche zeigen. Es kommt dabei auch als ein ganz unfassbarer Faktor der Zustand der Bohrschneide in Betracht, deren verschiedene Abnutzungsgrade Differenzen zu erzeugen im Stande sind, wie sie uns Ha u ß e so drastisch vorführt. *)

5. Beispiele.

I. Es ergeben sich (Tabelle S. 124) als numerische Werte für die Gleichung

$$F \cdot d^{\frac{3}{2}} = a \cdot d^{\frac{3}{2}} + b$$

bei Nr. 40—43

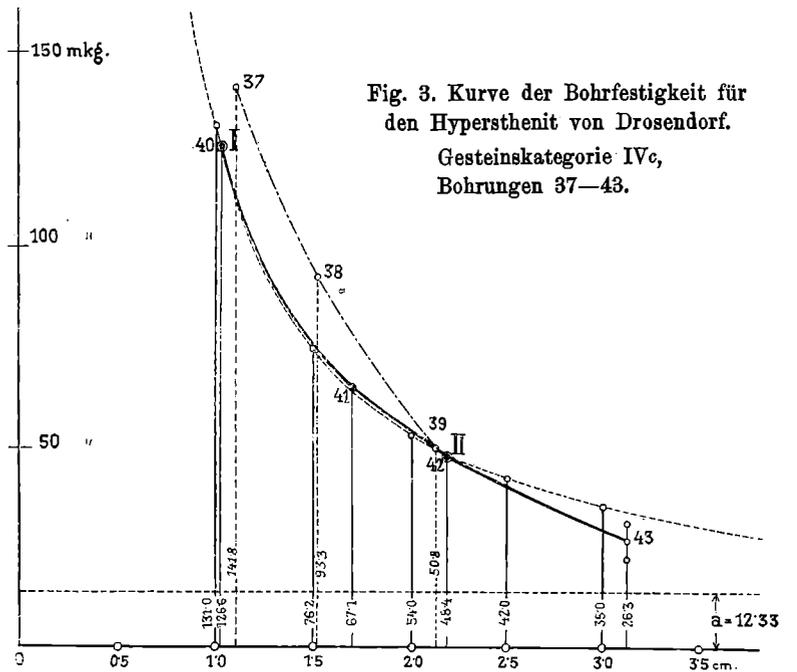


Fig. 3. Kurve der Bohrfestigkeit für den Hypersthenit von Drosendorf. Gesteinskategorie IVc, Bohrungen 37—43.

Hypersthenit von Drosendorf bei Raabs, Niederösterreich.

Bohrung	d	$d^{\frac{3}{2}}$	Gleichung
40	1.02 cm,	1.031	$126.6 \times 1.031 = 1.031 a + b$
41	1.69 "	2.197	$67.1 \times 2.197 = 2.197 a + b$
42	2.20 "	3.263	$48.4 \times 3.263 = 3.263 a + b$
43	3.11 "	5.485	$26.3 \times 5.485 = 5.485 a + b$

Daraus folgt folgende Zusammenstellung der Werte a , b , F_1 und F_3

*) A. a. O. S. 322. Messung Nr. 19, 20 und 21.

Aus	Konstante		Reducirte Bohrfestigkeit	
	a	b	F ₁	F ₃
40 und 41	14·60	115·4	129·96	36·8
40 „ 42	12·33	117·7	130·03	35·0
40 „ 43	3·10	127·1	130·31	27·6
41 „ 42	9·86	125·8	135·63	34·1

Man sieht sofort, daß die Bohrung 43 hinsichtlich der Konstanten ein erheblich verschiedenes Resultat ergibt, und daß der Schluss nahe liegt, es sei die Messung der Bohrfestigkeit *F* unter dem wahren, durch den Verlauf der Kurve (vgl. die Figur) angedeuteten Werte geblieben. Aus diesem Grunde sind auch die Verbindungen dieser Gleichung (43) mit den beiden benachbarten Nummern (41 und 42) völlig unstatthaft, weil das Produkt $F \cdot d^{\frac{3}{2}}$ infolge seines zu kleinen Faktors *F* für *a*, das doch wesentlich positiver Natur ist, einen negativen Wert ergäbe.

Der Vergleich der aus den Gleichungen 40 und 42 berechneten (in der Figur 3 strichlirt gezeichneten) Kurve mit jener, welche auf den durch direkte Messung erhobenen Werten beruht, zeigt indessen die überaus nahe Uebereinstimmung beider. Es ergibt sich erst für die großen Kaliber eine nennenswerthe Differenz, indem die theoretische Linie weniger steil zur Abscissenachse abfällt, als die Versuchskurve thatsächlich zeigt.

Der Grund dieser Erscheinung möge durch das nächste Beispiel erläutert werden.

II. Versuchsreihe von Meißelbohrungen am Gneisgranit aus dem Bachergebirge.
(Würfel X der Tabelle S. 124.)

Nr. d. Bohrtab.	d	d ^{3/2}	F (gemessen)	Gleichungen
33	1·02	1·030	100·8	100·8 × 1·030 = 1·030 a + b
34	1·78	2·375	57·1	57·1 × 2·375 = 2·375 a + b
35	2·19	3·241	37·7	37·7 × 3·241 = 3·241 a + b
36	3·18	5·671	20·0 } 24·1 } mittel	21·2 × 5·671 = 5·671 a + b

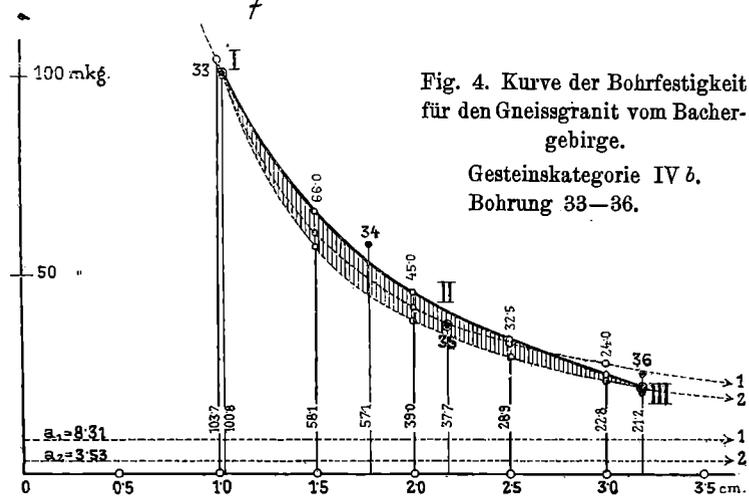


Fig. 4. Kurve der Bohrfestigkeit für den Gneissgranit vom Bachergebirge.

Gesteinskategorie IV b.
Bohrung 33—36.

Aus 33 und 35 folgt 1. a = 8·31 b = 95·32
" 33 " 36 " 2. a = 3·53 b = 100·07

Berechnet man mittelst dieser Konstanten den Wert der Bohrfestigkeit für die im Folgenden angenommenen, von 5 zu 5 mm verschiedenen Kaliber und vergleicht die so gefundenen Resultate mit denjenigen Werten, welche

der Verlauf der gemessenen Bohrfestigkeitskurve ergibt, so erhält man die folgende Zusammenstellung:

d cm	Berechnet		Gemessen
	1	2	
1·0	103·57	103·71	103·5
1·5	60·16	58·06	66·0
2·0	42·00	38·96	45·0
2·5	32·41	28·87	32·5
3·0	26·64	22·81	24·0

Der Verlauf der beiden, durch obige Rechnung gefundenen Linien 1 und 2, welche in Fig. 4 neben der voll ausgezogenen, die Messungsergebnisse verbindenden Kurve eingetragen sind, zeigt folgenden Umstand. Die durch irgend einen angenommenen Koinzidenzpunkt und den als Ausgangspunkt dienenden, in der Nähe der relativen Bohrfestigkeit *F* 1 cm gelegenen Wert geführte Rechnungskurve ergibt stets etwas geringere Ausmaße, als die Messung es anzeigt. Dieses Plus an Arbeitsaufwand, welches in der Figur durch die schraffierte Fläche dargestellt ist, findet am leichtesten durch den Umstand seine Erklärung, daß die Meißelarbeit nicht in der von Stapff vorausgesetzten Weise bloß zur Lostrennung der elementaren Gesteinsströbchen benützt, sondern daß ein Theil derselben zur Zermalmung der abgebrochenen Splitterchen verbraucht wird. Dieser Verlust muss in einer Erhöhung der Bohrfestigkeit aller jener Bohrmaschinen bestehen, welche zwischen den als gemeinsame Anfangs- und Endpunkte beider Kurven gewählten Dimensionen gelegen sind.

III. Wie weit aber die Verlässlichkeit dieser nach den Stapff'schen Anschauungen über die Wirkungsart des Bohrmeißels entwickelten Formel in weniger festem Material, wo der zuletzt erwähnte Arbeitsverlust auf ein Minimum beschränkt bleibt, gehen kann, zeigt das folgende Beispiel, bei welchem die Werte für die Bohrfestigkeit aus dem Verlaufe der Kurve der Bohrfestigkeit, welche die bald positiven, bald negativen Abweichungen der Messungsergebnisse auf graphischem Wege ausgleicht, angenommen wurden.

Aus der Bohrfestigkeitskurve, konstruirt aus den Bohrungen Nr. 63—67 folgt:

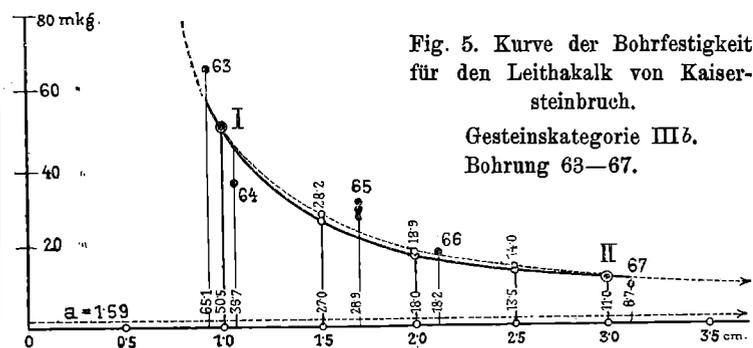


Fig. 5. Kurve der Bohrfestigkeit für den Leithakalk von Kaisersteinbruch.

Gesteinskategorie III b.
Bohrung 63—67.

Kaiserstein (fester Leithakalk) aus dem Kaisersteinbruche bei Bruck a. d. Leitha.

d	d ^{3/2}	F	Gleichungen
1·0	1·000	50·5	50·5 · 1·000 = 1·000 a + b
1·5	1·837	27·0	27·0 · 1·837 = 1·837 a + b

d	$d^{\frac{3}{2}}$	F	Gleichungen
2.0	2.828	18.0	$18.0 \cdot 2.828 = 2.828 a + b$
2.5	3.953	13.5	$13.5 \cdot 3.953 = 3.953 a + b$
3.0	5.196	11.0	$11.0 \cdot 5.196 = 5.196 a + b$

Berechnet man aus der ersten und letzten dieser Gleichungen, welche direkt die auf 1 cm und 3 cm reduzierten Bohrfestigkeiten enthalten, die Konstanten a und b , so findet man dafür die Werte

$$a = 1.59 \text{ und } b = 48.86$$

und unter Zugrundelegung dieser Größen für die

Durchmesser	$d = 1.0$	1.5	2.0	2.5	3.0 cm
die Bohrfestigkeiten	$F = 50.5$	28.2	18.9	14.0	11.0 mkg.
die Kurve gibt	$F = 50.5$	27.0	18.0	13.5	11.0

d. h. die Differenzen zwischen den nach der modificirten Stappf'schen Formel berechneten und den thatsächlich gemessenen Werthen liegen innerhalb der Fehlergrenzen, welche der Beobachtungsmethode anhaften, wodurch die Giltigkeit des in der Formel zum Ausdrucke gebrachten Gesetzes des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Bohrfestigkeit und Lochdurchmesser seine experimentelle Bestätigung erfährt.

Es empfiehlt sich daher unbedingt, zunächst einen Ausgleich der betrachteten Werte auf graphischem Wege vorzunehmen, damit die erheblichen Differenzen im Werte

der Konstanten a und b , welche auf rein rechnerischem Wege resultiren würden, auf ein Minimum herabgedrückt werden. Sucht man nur die reduzierte Bohrfestigkeit selbst, so ist diese direkt aus dem Verlaufe der Kurve abzunehmen für den Fall, daß Versuchsbohrlöcher von angenäherten Dimensionen (1, resp. 3 cm) vorliegen. Es wird aber stets zweckmäßig sein, die Bohrkonstanten zu berechnen, um schließlich für die lange Reihe der verschiedenen Gesteinsmaterialien jene so maßgebenden Faktoren zu erheben, deren Kenntnis gegenwärtig auf die wenigen Fälle beschränkt ist, welche in der Tabelle der vorgeführten Versuchsreihe enthalten sind.

Vielleicht ist es dem Autor gegönnt, dieselbe seinerzeit zu erweitern. Einstweilen möge durch die vorliegende Mittheilung eine Anregung gegeben sein, in der angedeuteten Richtung Versuche zu machen, damit die vielfältige Gelegenheit, welche die bergtechnische Praxis zur Vornahme derselben bietet, wie in so vielen Fällen auch hier dazu beitrage, die Wege wissenschaftlicher Erkenntnis zu ebnen und ihren Fortschritt zu fördern.

Zum Schlusse folge eine ziffermäßige Zusammenstellung der aus vorstehenden drei Beispielen folgenden Bohrfestigkeitswerte in der Form einer für die praktische Berechnung wünschenswerth erscheinenden Perzentualtabelle.

Tabelle

über das Perzentualverhältnis der Bohrfestigkeiten für verschiedene Bohrlochweiten in demselben Gesteine.

d cm	I. Hypersthenit (dunkler, fester Gabbro)				II. Gneisgranit				III. Kaiserstein (fester Leithakalk)				Mittleres Perzentual- verhältnis		
	gemessen		berechnet		gemessen		berechnet		gemessen		berechnet		der gemess. Werte		Mittel aus allen Werten
	mkg	%	mkg	%	mkg	%	mkg	%	mkg	%	mkg	%	im festen	im weichen	
													Gestein I + II	Gestein (III)	
1.0	130.5	100.0	131.0	100.0	103.5	100.0	103.7	100.0	50.5	100.0	50.5	100.0	100.0	100.0	100.0
1.5	77.2	59.1	76.2	58.2	66.0	63.8	58.1	56.0	27.0	53.4	28.2	55.8	61.4	53.4	57.7
2.0	54.8	42.0	54.0	41.2	45.0	43.5	39.0	37.7	18.0	35.6	18.9	37.4	42.7	35.6	39.6
2.5	40.0	30.6	42.0	32.1	32.5	31.4	28.9	28.0	13.5	26.7	14.0	27.7	31.0	26.7	29.4
3.0	28.5	21.8	35.0	26.7	24.0	23.2	22.8	22.0	11.0	21.8	11.0	21.8	22.5	21.8	22.9

Die gemessenen Werte sind aus den graphisch konstruirten Bohrfestigkeitskurven (Fig. 3—5) entnommen, die berechneten folgen aus den Angaben der nachstehenden Bohrtabellen und basiren auf den unveränderten Havrez'schen Werten welche in die Stappf'sche Formel substituirt wurden.

Diese Tabelle gibt für die eigentlichen Sprenggesteine bis auf einen geringen Perzentsatz sehr zuverlässige Resultate. Durch Interpolation oder durch graphische Konstruktion der Perzentualkurve wird es nunmehr leicht möglich, aus den Angaben in der Literatur*), soweit sie das genaue Ausmaß des Durchmessers enthalten, die für jede beliebige Bohrlochweite giltige Bohrfestigkeit zu ermitteln, wodurch die Nothwendigkeit einer die bisher experimentell erprobten Gesteinstypen zusammenfassenden Uebersicht an dieser Stelle entfällt.

Es sei diesbezüglich wiederholt auf die, ein Gesamtbild aller auf unseren Gegenstand Bezug nehmenden Fragen bietende Abhandlung Professors v. R. ž i h a verwiesen, welcher auch die vorliegende Arbeit ihre Entstehung verdankt.

*) Nur bezüglich der Nutzbarmachung der Siebeneicher'schen Versuchsreihe sei hier speziell bemerkt, daß man unter Annahme nahezu gleicher Festigkeitsverhältnisse an unseren Gneisgraniten und den dort untersuchten Graniten von Groß-Rosen in Schlesien und Mauthausen in Oberösterreich auf folgende Relationen kommt. Es war im Mittel für die Granite (Nr. 6 und 9 der Tabelle in Dietrich, a. a. O. S. 32) von Siebeneicher die Verhältniszahl (Bohrerschläge) 3947 gefunden worden; dieser Zahl entsprechen im Mittel aus unseren Versuchen (Bohrungen 1—36) Werthe von $F_1 = 115.3$ und $F_3 = 25.1$ mkg. Daraus resultiren Umrechnungs-Koeffizienten $c_1 = 0.0292$ und $c_3 = 0.00636$, welche eine Bestimmung der Bohrfestigkeit auch für die übrigen untersuchten Gesteine gestatten — vorausgesetzt natürlich, daß der „25 mm starke Bohrer“ bei allen Gesteinen in derselben Dimension zur Anwendung kam.

C. Tabelle

Über die Untersuchungsergebnisse der vorgenommenen Bohrproben.

Post-Nummer	Material	Gesteinskategorie nach Prof. v. Röhra Bohrloch-Nummer	Gewicht der Hg-Füllung g	V ₁ cm ³	Gewichtsverlust beim Bohren g	Spec. Gewicht des Gesteins	V ₂ cm ³	Des Bohrloches			Beanspruchung					Bohrfestigkeit (m/kg pro 1 cm ²)		Anmerkung	
								Tiefe mm	Durchmesser mm	V ₃ cm ³	Richtung des Bohrloches zur Flaserung oder Schichtung	Art des Bohrens	Ganze Länge der Fäustelcurve cm	Zahl der Fäustelschläge	Schneidarbeit m/kg	ge-messene	relative		
																	f ₁ cm		f ₃ cm
1	Gneissgranite aus dem Bachergebirge mittelkörnig Würfel I*)	IV b bis IV c	50.64	3.723	10.0	2.708	3.70	34.5	11.2	3.40		Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	700	351.0	94.4	Parallel zur Flaserung	Druckfestigkeit**) 1140 (nach Prof. R. Böck). Von 1 bis 36 alle Havrez - Werte (um 21%) bei Berechnung der relativen Bohrfestigkeit erhöht. (Vgl. S. 118.) Bohrung mittelst freifallender Fäustelschläge.	
2			36.60	2.690	7.2	2.708	2.66	24.5	11.3	2.46	⊥	"	do.	500	250.7	93.2	107.3 23.5		
3			39.08	2.873	7.7	2.708	2.84	29.0	11.2	2.82	⊥	Meißelbohrer	do.	500	250.7	87.2	Senkrecht zur Flaserung		
4			29.76	2.188	5.7	2.708	2.10	24.5	10.2	2.02		Kreuzbohrer	32.1 (Hub)	400	225.9	103.3	115.2 25.0		
5	Würfel II		42.61	3.133	8.8	2.688	3.28	34.0	10.4	2.89		Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	600	300.8	96.0	Parallel	Druckfestigkeit 1005 (Böck).	
6			37.49	2.757	7.4	2.688	2.75	28.5	10.7	2.56	⊥	"	do.	604	303.4	110.0	116.0 25.4		
7			41.30	3.036	8.5	2.688	3.16	31.4	10.7	2.82		"	*65	500	277.6	91.4	Senkrecht		
8			35.45	2.606	6.5	2.688	2.42	27.5	10.4	2.33	⊥	"	*65	500	277.6	106.5	127.7 27.6		
9	Würfel III		32.39	2.381	7.2	2.688	2.68	26.0	10.3	2.17		Kreuzbohrer	*63	500	264.2	110.0	Parallel	Druckfestigkeit 1005 (Böck). Bohrung mittelst freifallender Fäustelschläge.	
10			28.15	2.070	5.5	2.688	2.04	24.0	9.9	1.83	⊥	"	*63	500	264.2	127.6	131.6 28.1		
11			21.60	1.588	4.3	2.688	1.60	18.5	10.3	1.53		"	31.1 (Hub)	400	218.9	137.8	Senkrecht 133.6 28.5		
12	Würfel IV		38.89	2.859	7.7	2.712	2.84	30.5	10.2	2.50		Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	600	300.8	105.2	Parallel	Druckfestigkeit 1072 und 1046 (Böck). Bohrung mittelst freifallender Schläge.	
13			32.23	2.369	6.8	2.712	2.51	25.0	10.5	2.17	⊥	"	do.	523	262.2	110.7	118.6 25.6		
14			28.90	2.125	5.7	2.712	2.10	21.5	10.9	2.01		"	31.0 (Hub)	400	218.2	102.6	Senkrecht 133.9 28.6		
15	Würfel V		39.37	2.894	7.3	2.712	2.69	30.0	10.3	2.51		Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	500	264.2	91.3	Parallel	Druckfestigkeit 1072 und 1046 (Böck).	
16			36.15	2.658	7.4	2.712	2.72	28.5	10.1	2.30	⊥	"	do.	500	264.2	99.4	109.1 23.9 Senkrecht 115.2 25.3		
17	Würfel VI		48.95	3.600	9.8	2.689	3.64	34.0	11.4	3.47		Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	600	300.8	83.5	Parallel	Druckfestigkeit 1119 (Böck). Ausnahmefall: Bohrfestigkeit ⊥ < als zur Flaserung. Bohrung mittelst freifallender Schläge.	
18			53.16	3.909	10.0	2.689	3.72	35.5	10.9	3.31 (!)	⊥	"	do.	600	300.8	77.0	109.7 24.0		
19			31.31	2.302	6.6	2.689	2.45	23.5	10.7	2.13		"	32.3 (Hub)	400	227.4	98.8	Senkrecht 98.3 21.7		
20	Würfel VII		52.76	3.880	10.2	2.655	3.84	40.0	10.9	3.73		Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	600	300.8	77.5	Parallel	Druckfestigkeit 1132 und 836 (Böck). Bohrung mittelst freifallender Fäustelschläge. do. do.	
21			46.05	3.386	9.2	2.655	3.46	35.0	10.7	3.15	⊥	"	do.	600	300.8	88.8	106.9 23.4		
22			57.79	4.250	5.2	2.655	1.96	22.0	10.8	2.03		"	32.3 (Hub)	400	225.5	114.1	Senkrecht		
23					6.0	2.655	2.26	22.5	10.8	2.08		"	32.8 (Hub)	400	232.8	102.3			
24					5.1	2.655	1.92	19.5	10.7	1.74		"	32.7 (Hub)	400	231.1	117.4			
25	24.34	1.790	4.8	2.655	1.81	17.0	10.9	1.60		Kreuzbohrer	30.7 (Hub)	400	216.1	120.7	Parallel 127.4 27.3				
26	Würfel IX		55.40	4.074	10.6	2.681	3.96	41.0	10.7	3.72	(?) (unentschieden)	Kreuzbohrer	61.8 (Mittel)	600	300.8	73.8	Parallel	Druckfestigkeit 1017 (Böck).	
27			47.06	3.460	8.9	2.681	3.32	35.0	10.5	3.04	⊥ (unentsch.)	"	do.	600	300.8	86.9	91.7 21.2		

*) Die Kantenlänge der verwendeten Würfel betrug 9 oder auch 10 cm. — **) Die Druckfestigkeit der Gneissgranite wurde bei Belastung parallel zur Flaserung erhoben.

Post-Nummer	Material	Gesteinskategorie nach Prof. v. Röhna Bohrloch-Nummer	Gewicht der Hg-Füllung g	V ₁ cm ³	Gewichtsverlust beim Bohren g	Spec. Gewicht des Gesteins g	V ₂ cm ³	Des Bohrloches			Beanspruchung					Bohrfestigkeit (m/kg pro 1 cm ³)		Anmerkung		
								Tiefe mm	Durchmesser mm	V ₃ cm ³	Richtung des Bohrloches zur Flaserung oder Schichtung	Art des Bohrens	Ganze Länge der Fäustelcurve cm	Zahl der Fäustel-Schläge	Schneidarbeit m/kg	Bohrfestigkeit				
																gemessene	relative			
		f _{1cm}		f _{3cm}																
28	Würfel IX		3	46.79	3.440	9.7	2.781	3.59	38.5	10.7	3.45	⊥ (unentsch.)	Meißelbohrer	61.8 (Mittel)	553	277.3	80.6	Senkrecht		Die drei Bohrungen 27 bis 29 geben bei Correctur der Havrez-Werte (+21%) und Reduction auf die gerade Meißelschneide (-10%) fast identische Werte: 94.6, 97.5 und 96.2 m/kg.
29			4	30.24	2.224	6.2	2.781	2.31	20.5	10.8	1.90	do.	Kreuzbohrer	33.8 (Hub)	400	237.8	106.9	110.2	24.1	
30	Würfel X		1	37.00	2.720	7.6	2.655	2.90	29.5	10.5	2.56	(annähernd)	Kreuzbohrer	*61	500	244.3	82.4	Parallel		Druckfestigkeit 1132 und 836 (Böck). Man vergleiche die Tabelle S. 121. Die aus 33 bis 36 aus der gemessenen Bohrfestigkeit abgeleitete Constante a = 3.53 diente zur Berechnung aller Werte der relativen Bohrfestigkeit für die Gneissgranite.
31			2	53.27	3.917	9.9	2.655	3.73	22.6	14.7	3.85	do.	"	*65	500	263.9	67.4	98.5	21.7	
32			3	91.45	6.724	18.0	2.655	6.78	21.3	20.6	7.08	do.	"	*65	500	261.7	38.9	Senkrecht		
33			4	33.85	2.489	6.8	2.655	2.56	30.5	10.2	2.49	⊥ (annähernd)	Meißelbohrer	61.8	500	250.7	100.8			
34			5	65.41	4.809	12.9	2.655	4.86	20.5	17.8	5.12	do.	"	65	500	274.5	57.1	129.8	27.8	
35			6	92.33	6.784	18.3	2.655	6.89	18.7	21.9	7.01	do.	"	65	500	256.1	37.7			
36			7	280.55	20.629	39.2 + 16.2	2.655	20.79	26.7	31.8	21.30	do.	"	*69	600	292.1	20.0			
																				Mittlere Bohrfestigkeit aus 900 Schlägen (438.1 m/kg) = 21.2 m/kg.
37	Gabbro (Hypersthenit) Drosendorf in N.-Oe. grobkörnig	IVc	1	32.40	2.382	7.7	2.979	2.59	23.0	11.0	2.19	—	Kreuzbohrer	*65.5	600	337.9	141.8			Druckfestigkeit ähnlich fester Diorite 1100—1300 (nach Böhme und Institut statistique). Havrez-Werte für die relative Bohrfestigkeit um 130% erhöht. (f. Jahrb. 188.) Mittel 26.3.
38			2	59.82	4.399	13.0	2.979	4.36	24.0	15.2	4.32	—	"	*74	600	410.3	93.3			
39			3	96.11	7.067	21.0	2.979	7.05	20.0	21.4	7.20	—	"	*69.5	600	358.9	50.8			
40			4	33.00	2.426	7.5	2.979	2.52	29.0	10.2	2.37	—	Meißelbohrer	*61	600	307.1	126.6			
41			5	64.76	4.762	14.5	2.979	4.87	22.0	16.9	4.95	—	"	*64	600	319.3	67.1	168.7	34.9	
42			6	83.71	6.155	18.5	2.979	6.21	15.5	22.0	5.89	—	"	*64	600	297.9	48.4			
43			7	256.13	18.833	31.7 + 24.3	2.979	10.64 + 8.16	23.5	31.1	17.88	—	"	*63	600	243.6	22.8			
44			8	29.97	2.204	6.8	2.979	2.28	21.5	11.3	2.17	—	Kreuzbohrer	33.4 (Hub)	600	352.6	160.0			
45	Serpentin von Rothengrub, dicht	IIIb	1	122.72	9.023	21.7	2.6	8.35	26.5	20.3	8.59	—	Kreuzbohrer	65	300	157.0	17.4	52.6	12.6*	Druckfestigkeit von Serpentin 840 (Wieher).
46			2	53.62	4.310	10.2	2.6	3.92	38.5	11.2	3.81	—	"	65	300	166.4	38.6	Constante a = 3.06, b = 49.57 für die relative Bohrfestigkeit.		
47	Krystallinisch-körniger Kalk 1. Von Primersdorf bei Raabs in N.-Oe. (mittel- bis grobkörnig; massig; ähnlich dem etwas gröberkörnigen Marmor von Hratsching ^b , Sterzing)	IVa	1	60.38	4.440	15.0	2.7	5.56	14.0	20.5	4.62	—	Kreuzbohrer	65	200	104.6	23.6	93.6	18.5	Druckfestigkeit krystallinischer Marmor 267 Carrara (Brix) bis 445 (Rondelet).
48			2	42.14	3.098	9.5	2.7	3.52	28.5	11.0	2.71	—	"	65	400	221.8	71.6 (!)			
49			2. Zwischen Grein und Spitz a D. (sehr feinkörnig, weiss und grau gebändert, plattig)	1	85.16	6.262	—	—	—	19.0	21.0	6.58	⊥	Kreuzbohrer	64.5	340	175.2	28.0	Senkrecht	
50			2	35.18	2.587	—	—	—	24.0	11.8	2.62	⊥	"	*64.5	340	183.4	70.9 (!)	96.8	22.6	Die Bohrungen in diesen beiden Gesteinen mussten wegen Brüchigkeit der angebohrten Platten vorzeitig abgebrochen werden; die gemessenen Werte konnten nur mit Zuhilfenahme der Perzentual-Tabelle (s. S. 122) zur Ermittlung der relativen Bohrfestigkeit dienen.

*) Wo nicht besonders bemerkt, sind die Havrez'schen Werte für die relative Bohrfestigkeit um 250% erhöht.

51	1. Hallstätter Ammoniten-Marmor (Triaskalk)	IVa	1	42.25	3.107	8.2	2.65	3.09	29.0	11.0	2.76	—	Kreuzbohrer	68	305	185.1	59.6			Druckfestigkeit dichter Marmore 600 bis 700. Constante $a = 14.3$, $b = 57.2$ für die relative Bohrfestigkeit. Bohrung mittelst freifallender Fäustelschläge. do.
52			2	103.20	7.588	20.7	2.65	7.81	23.0	20.7	7.73	—	"	*68	300	171.8	22.6	71.5	25.3	
53			3	38.26	2.813	7.6	2.65	2.87	26.5	11.0	2.52	—	"	33.6 (Hub)	300	177.3	63.0			
54			4	60.77	4.468	12.3	2.65	4.64	14.5	20.7	4.87	—	"	27.8 "	400	195.6	43.8			
55	2. Istrianer Kreide (Rudisten-) Kalke a) von St. Croce	IVa	1	82.18	6.043	15.9	2.642	6.02	17.0	20.7	5.71	—	Kreuzbohrer	*63	300	147.5	24.4			Druckfestigkeit 510 (Rebhann). $a = 9.73$, $b = 55.6$.
56			2	37.73	2.774	7.3	2.642	2.76	24.0	10.5	2.08	—	"	63	300	156.3	52.7	65.3	20.4	
57	b) Von Reppen-Tabor	IVa	1	78.50	5.772	15.6	2.642	5.83	18.0	20.7	6.05	—	Kreuzbohrer	63	300	147.5	25.5			Druckfestigkeit 438 (Rebhann). $a = 13.5$, $b = 48.2$.
58			2	42.56	3.129	8.5	2.642	3.21	28.0	10.5	2.43	—	"	63	300	156.3	50.0	61.7	22.8*	
59	1. Kaiserstein (harter „echter“ Amelinoder, Pausippstein)	IIIb	1	31.31	2.302	6.0	2.553	2.35	28.0	9.0	1.78	⊥	Kreuzbohrer	58.5	300	134.8	58.6			Druckfestigkeit bis 778 (Rebhann). Bei den Leithakalken wurde von der Reduction der relativen Bohrfestigkeit auf den Meißelbohrer abgesehen und die mittelst des Kreuzbohrers erhaltenen (kleineren!) Festigkeitswerte der Berechnung zu Grunde gelegt. } Mittel 28.9. Um 25% höher (erhöhte Havrezwerte) als auf S. 122, wo $a = 1.59$ und $b = 48.88$.
60			2	68.55	5.040	13.1	2.553	5.13	27.0	14.5	4.46	⊥	"	*56	300	117.5	23.3			
61			3	193.55	14.232	36.4	2.553	14.27	40.5	20.5	13.32		"	58.5	600	254.3	17.9			
62			4	135.74	9.981	25.2	2.553	9.87	27.5	20.5	9.04	⊥	"	58.5	400	169.5	17.0			
63			5	34.15	2.511	6.2	2.553	2.43	35.0	9.2	2.33	⊥	Meißelbohrer	61.8	300	163.6	65.1			
64			6	49.98	3.675	9.5	2.553	3.72	36.0	10.5	3.12	⊥	"	58.5	300	134.8	36.7	63.1	13.7	
65			7	140.15	10.305	13.8 + 12.4	2.553	5.40 + 4.86	46.0	17.2	10.67	⊥	"	61.8	300	148.9	27.5			
66			8	103.65	7.621	20.0	2.553	7.83	20.0	21.2	7.06	⊥	"	61.8	300	138.9	18.2			
67			9	184.45	13.562	33.7	2.553	13.20	18.0	31.1	13.72	⊥	"	61.8	300	117.2	8.7			
68	2. Mannersdorf	IIIb	1	29.67	2.182	5.9	2.468	2.39	26.5	9.5	1.88	⊥ unbest.	Kreuzbohrer	*55.5	300	121.3	55.6	68.8	15.0	Druckfestigkeit 213—926 (Rebhann). Die relative Bohrfestigkeit dieses und der folgenden Leithakalke wurde aus der Perzentual-Tabelle III berechnet. Aus 71 folgt: relative Bohrfestigkeit um 51% höher.
69			2	72.95	5.364	14.0	2.468	5.68	28.5	14.8	4.88	do.	"	*58.5	300	128.2	23.9	56.0	12.2	
70			3	168.10	12.360	29.5	2.468	11.95	33.0	20.9	11.32	do.	"	*57	300	120.8	9.8	37.6	8.2**)	
71			4	232.88	17.123	42.3	2.468	17.13	47.0	20.7	15.89	unbest.	"	*64	500	253.6	14.8	—	—	
72	3. Hundsheim (Conglomerat)	IIIb	1	116.40	8.559	22.3	2.540	8.78	23.5	21.2	8.30	⊥ unbest.	Kreuzbohrer	*58.5	300	127.2	14.9	55.5	12.1	Druckfestigkeit 505 (Rebhann).
73			2	208.15	15.305	39.0	2.540	15.35	42.5	21.2	15.01	unbest.	"	*58.5	500	212.0	13.9	51.9	11.3	
74	4. Höflein	IIIb	1	154.10	11.330	28.2	2.548	11.07	30.0	20.6	10.00	⊥ unbest.	Kreuzbohrer	58.5	300	127.2	11.2	40.6	8.8	
75			2	198.36	14.585	37.6	2.548	14.76	39.0	21.0	13.49	"	"	58.5	500	212.0	14.5	53.6	11.7	
76	5. St. Margarethen	IIIa	1	156.72	11.523	22.0	1.944	11.32	30.5	21.1	10.68	⊥ unbest.	Kreuzbohrer	58.5	200	84.8	7.3	27.1	5.9	Druckfestigkeit 75—415 (Rebhann).
77			2	306.18	22.513	42.9	1.944	22.07	56.0	20.9	19.21	"	"	58.5	400	169.6	7.5	27.6	6.0	
78	6. Breitenbrunn	IIIa	1	19.39	1.425	7.3	1.833	3.98	13.5	10.5	1.17	—	Kreuzbohrer	58.5	50	22.5	15.7	24.9	5.4	Druckfestigkeit 99 (Rebhann).
79			2	35.00	2.573		1.833		26.0	10.5	2.25	—	"	61.8	100	50.1	19.5			
80			3	132.58	9.748		1.833		9.11	28.5	20.1	9.04	—	"	61.8	100	47.3			
81	7. Wöllersdorf	IIIb	1	39.08	2.874	7.7	2.65	2.90	28.5	10.5	2.47	—	Kreuzbohrer	61.8	300	150.4	52.3			Druckfestigkeit 510 (Rebhann). Relative Bohrfestigkeit direct gerechnet $a = 4.73$, $b = 65.3$.
82			2	89.44	6.576	18.1	2.65	6.79	20.0	20.5	6.60	—	"	61.8	300	141.9	21.6	70.0	17.3	
83	Gosau-Sandstein (feinkörnig; weicher Schleifstein)	IIIb	1	42.95	3.158	7.9	2.5	3.16	30.0	11.5	3.12		Kreuzbohrer	65	150	83.2	26.4			Druckfestigkeit der ähnlichen Karpathensande 200—600 (R. Gunesch). Relative Bohrfestigkeit direct $a = 6.9$, $b = 32.2$.
84			2	98.25	7.224	17.9	2.5	7.12	23.0	20.2	7.36		"	65	200	104.6	14.5	39.1	13.1	

*1) Dieser und der vorhergehende Wert für F_3 würden sich mit Bezug auf die zugehörigen Größen von F_1 widersprechen. Die von einander unabhängige Berechnung läßt diese Differenz aber als innerhalb der Fehlergrenzen der Beobachtung liegend erscheinen. — 2. Aus zwei Beobachtungen für $d_1 = 1$ und $d_2 = 2$ cm, folgt durch die Rechnung F_3 stets zu gross!

**1) Diese drei, für verschiedene Bohrweiten nach demselben Gesetze (Percentualcurve III) berechneten Werte differieren ganz bedeutend und zeigen an, dass für die weichen, gebräunten Gesteine der Gesteinsklasse IIIa u. z. Thle. IIIb die zu Grunde gelegte Stauffische Formel keine Gültigkeit mehr besitzt: Der Factor des Zerquetschens der Gesteinsmasse überwiegt die der Stauffischen Anschauung zu Grunde liegende Beanspruchungsart. Es ist daher in Rücksicht zu nehmen, dass alle aus dem 2 cm-Bohrloch abgeleiteten Festigkeitswerthe für geringere Dimensionen zu klein, für größere Weiten aber noch zu groß sind, so dass die für dieses und die folgenden Gesteine (2—6) angegebenen Maaße von F_1 und F_3 einer Correctur im angegebenen Sinne bedürfen, welche bis zu 30% anwachsen kann. Die Versuchsreihe war leider bereits abgeschlossen, als dieses Ergebnis der Rechnung den dringenden Wunsch nach einer Vervollständigung und Wiederaufnahme der Bohrversuche entstehen ließ.