

DK 552.1 : 621.91.01 : 622.24.051

DEC A 681

Prüfung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen

Von W. Späth, Speyer a. Rhein

(Beschreibung eines Prüfgerätes zur gleichzeitigen Messung von Schnittkraft und Arbeit eines Meißels beim „Zerspanen“ eines Probestücks; Aufstellung des Begriffes des „Gleichförmigkeitsgrades“; Meßergebnisse an verschiedenen Gesteinssorten; Beziehungen zwischen verschiedenen Kenngrößen.)

(Description of a testing machine for simultaneous measuring of cutting tool load and operation of a chisel during „machining“ of a sample piece; concept of „degree of uniformity“; data resulting from various types of rock; correlations between the various characteristic data.)

(Description d'un appareillage d'essai pour la mesure simultanée de la capacité de coupe et du travail d'un burin pendant „l'enlèvement de copeaux d'une éprouvette“; résultats de mesures effectuées sur différents types de roches; relations entre différentes valeurs caractéristiques.)

Zur rationellen Durchführung von Bohrarbeiten im Gestein wurden zahlreiche systematische Untersuchungen über die Bohrbarkeit der verschiedenen Gesteinssorten durchgeführt. Ausführliche Modellversuche des Drehbohrens, Schlagbohrens, Drehschlagbohrens und Rollenmeißelbohrens werden von H. Wahl, G. Kantenwein und W. Schäfer (1) beschrieben; auch findet sich hier eine Zusammenstellung zahlreicher Literaturangaben. Gelegentlich des Salzburger Kolloquiums über Felsmechanik beschäftigte sich Prof. Fettweis mit dem Zusammenhang zwischen Bohrbarkeit und Gesteinsfestigkeit; F. Locker stellte eine Klassifikation der Gesteine nach dem Hartmetallverbrauch an den Untertagevortriebsmaschinen auf. Französische Modellversuche in sehr großem Maßstab mit Diamantbohrern beschrieb kürzlich J. Raynal (2).

Neuerdings gewinnt die Bearbeitung von Gesteinen durch „Zerspanen“ besondere Bedeutung. In mehreren Berichten der Conference on Non-Metallic Brittle Materials (3) werden solche Versuche an Kohle beschrieben, wobei ein Meißel oder eine Serie von Meißeln durch die Probestücke „pflügen“.

In dieser Zeitschrift (4) wurde früher über ein neuartiges Schlagwerk berichtet, das zunächst zur Untersuchung der Festigkeit von Werkstoffen entwickelt wurde. Außer der üblichen Schlagarbeit wird hierbei gleichzeitig die beim Schlag auftretende Höchstkraft gemessen. Versuchsergebnisse an verschiedenen Werkstoffen wurden zusammenfassend in dem Buch (5) beschrieben; inzwischen ist auch eine englische Übersetzung dieses Buches erschienen (6).

Dieses Schlagwerk wurde nachträglich zur Untersuchung der Zerspanungseigenschaften von Gesteinen weiter entwickelt. Über diese Arbeiten und die hierbei gewonnenen Ergebnisse sei im folgenden berichtet.

1. Das Prüfgerät

Eine wichtige Voraussetzung für die laufende und restlose Ausnutzung eines Prüfverfahrens für Gesteine ist die schnelle und einfache Gewinnung von

passenden Probestücken aus dem anstehenden Gebirge. Die Probestücke werden für das zu beschreibende Prüfverfahren durch einen Kernbohrer gewonnen. Die anfallenden zylindrischen Kerne mit einem Durchmesser von üblicherweise 40 mm werden anschließend in einzelne Stücke von 20 mm Länge zerlegt.

Erinnert sei kurz an den Aufbau des Gerätes. Auf einer schweren Grundplatte sind zwei Ständer befestigt, die in zwei Lagern die Welle eines Trägheitsrades mit passendem Exzentergewicht aufnehmen.

Auf der Grundplatte ist der Meßbock befestigt, der nunmehr mit einer besonderen Spannhülse ausgestattet ist. In dieser Spannhülse wird das Probestück eingespannt.

Eine Messung geht folgendermaßen vor sich. In der Anfangsstellung besitzt das Trägheitsrad mit dem Exzentergewicht einen bestimmten Arbeitsvorrat. Nach Ziehen einer Arretiervorrichtung beginnt das Rad sich zu drehen, wobei die aufgespeicherte Energie sich in Bewegungsenergie umsetzt.

In der tiefsten Stellung trifft ein am Trägheitsrad befestigter Meißel auf das Probestück auf und gräbt anschließend längs einer Mantellinie eine Furche ein. Hierzu wird eine bestimmte Arbeit verbraucht. Je nach der Größe dieser Arbeit dreht sich das Trägheitsrad nach dem Ziehen der Furche weiter. Ein hierbei mitgenommener Schleppzeiger gibt in bekannter Weise diese verbrauchte Arbeit in Prozent der im Rad insgesamt aufgespeicherten Arbeit an.

Das Probestück stellt ferner dem Ziehen der Furche eine gewisse Widerstandskraft entgegen. Hierdurch wird die Meßfeder des Meßbocks ein wenig ausgelenkt. Infolge der sehr hohen Federkonstanten sind diese Auslenkungen sehr klein; sie bewegen sich in der Größenordnung von wenigen Zehntel Millimeter. Das aus der Federkonstanten der Meßfeder und der trägen Masse des Probestücks mit Einspannung bestehende Schwingungssystem ist entsprechend sehr hoch abgestimmt, so daß dieses schnellen Kraftänderungen beim Ziehen der Furche trägheitslos folgen kann.

Die Auslenkung der Meßfeder verschiebt einen leichten Stößel. Diese Verschiebung ist ein Maß für die beim Ziehen der Furche entstandene Höchstkraft. Zum Messen dieser Verschiebung dient eine Meßuhr, deren Ausschlag nach entsprechender Eichung der Meßfeder die Höchstkraft ergibt.

Eine solche Messung dauert nur wenige Sekunden und liefert sofort die zum Ziehen der Furche benötigte Arbeit in cmkp und außerdem die zu überwindende Höchstkraft in kp. Nach der ersten Messung wird das Probestück in der Spannhülse gelockert und um einen bestimmten Winkel um die Längsachse gedreht. Nach erneuter Fixierung erfolgt die nächste Messung. Auf diese Weise können rasch hintereinander am gleichen Probestück eine Anzahl von Einzelmessungen, in der Regel acht bei den zu beschreibenden Versuchen, durchgeführt werden.

Erwähnt sei noch, daß zusätzlich für das Trägheitsrad eine Rücklaufperre in Form eines Freilaufes angebracht wurde. Hierdurch wird verhindert, daß der Meißel nach dem Ziehen der Furche rückwärts durch die Furche schwingt.

2. Theoretische Überlegungen

Durch die gleichzeitige Bestimmung sowohl der Arbeit zum Ziehen einer Furche als auch der hierbei zu überwindenden Höchstkraft ergeben sich zusätzliche Einblicke in die elementaren Trennprozesse, worauf zunächst eingegangen sei.

Ist P_{\max} die gemessene Höchstkraft und wird angenommen, daß diese Höchstkraft längs der ganzen Furchenlänge L konstant wirksam ist, so ist die hierbei aufzubringende Arbeit A theoretisch zu berechnen gemäß:

$$A = P_{\max} \cdot L$$

Geht man umgekehrt von der am Schleppzeiger abgelesenen Arbeit A aus, so müßte unter den gleichen Annahmen hieraus die auftretende Höchstkraft gemäß:

$$P_{\max} = A/L$$

sich ergeben.

Durch die Messung nur einer der beiden Größen müßte also nachträglich jeweils die andere Größe in einfacher Weise zu berechnen sein. Durch die gleichzeitige Messung beider Größen eröffnet sich demnach eine nachträgliche Kontrolle, inwieweit bei praktischen Versuchen die Annahme einer gleichbleibenden Schnittkraft längs der ganzen Furchenlänge zutrifft.

Von vornherein kann aber nicht erwartet werden, daß diese Annahme zutrifft. Bekanntlich treten selbst beim Zerspanen von plastischen Metallen mannigfaltige Schwankungen der Schnittkraft auf. In noch viel stärkerem Maß sind solche Schwankungen beim Zerspanen von spröden Stoffen, also insbesondere von Gesteinen, zu erwarten. Die hierdurch bedingten Verhältnisse sind schematisch an Hand von Abb. 1 diskutiert.

Im Falle der Abb. 1a sei zunächst angenommen, daß beim Auftreffen des Meißels auf das Probestück

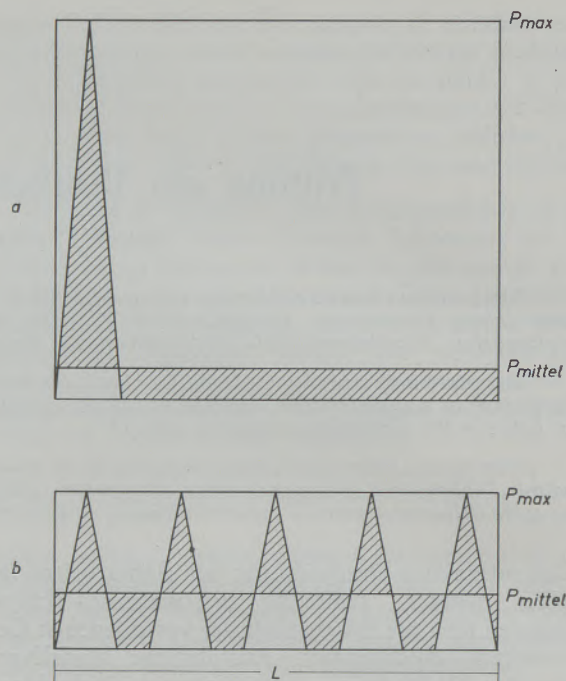


Abb. 1

Schematische Darstellung der beim Zerspanen entstehenden Kraftschwankungen in verschiedenen harten Gesteinsarten

die Kraft sehr steil hochsteigt, daß aber anschließend unter der schließlich erreichten Höchstkraft das Probestück zerspringt. Hierdurch fällt die Kraft plötzlich auf Null und bleibt längs der ganzen „Furchenlänge“ Null.

Im Fall Abb. 1b sei angenommen, daß durch den Meißel beim erstmaligen Auftreffen nur eine kleine Zone längs der Furche abgesprengt wird. Auch in diesem Fall sinkt die Kraft steil herab, worauf der Meißel ein Intervall der Furchenlänge praktisch ohne merklichen Widerstand durchweilt. Bald trifft der Meißel aber wieder auf eine feste Zone, wodurch die Kraft erneut hochschnellt, bis ein weiteres Stück abgesprengt wird. Längs der Furche ist somit eine periodische Folge von hohen Kraftspitzen und dazwischen liegenden tiefen Tälern zu erwarten. Dazu treten selbstverständlich noch Schwankungen der Kraft infolge von Inhomogenitäten des Gefügebau im Probestück.

Aus dem gegenseitigen Vergleich der tatsächlich gemessenen Werte von Arbeit bzw. Höchstkraft ist demnach ein weiterer Kennwert zur Charakterisierung eines Gesteins abzuleiten, der „Gleichförmigkeitsgrad“ genannt sei. Dieser Kennwert ist nachträglich sehr einfach zu berechnen.

Die am Schleppzeiger abgelesene Arbeit entspricht unmittelbar dem Integral des durch die Funktion $f(p)$ gegebenen Kraftverlaufs entlang der Furchenlänge L , also:

$$A_{\text{gemessen}} = \int_{L=0}^{L=h} f(p) dL$$

Dieses Integral kann durch den Flächeninhalt eines Rechtecks dargestellt werden, das auf der Furchenlänge L aufsteht, dessen Höhe aber wesentlich kleiner als die gemessene Höchstkraft ist und einem durchschnittlichen Wert P_{mittel} entspricht.

Wäre andererseits die gemessene Höchstkraft P_{max} längs der ganzen Furche wirksam, so wäre die hierzu erforderliche Arbeit durch den Flächeninhalt eines Rechtecks zu versinnbildlichen, das ebenfalls auf der Furchenlänge aufsteht, dessen Höhe aber durch P_{max} gegeben ist. Der Inhalt dieses Rechtecks ist nachträglich aus der gemessenen Höchstkraft und der bekannten Furchenlänge sofort zu berechnen.

Das gegenseitige Verhältnis der Flächeninhalte dieser beiden Rechtecke liefert unmittelbar den oben genannten Gleichförmigkeitsgrad c . Es ist also anzusetzen:

$$c = \frac{A_{\text{gemessen}}}{A_{\text{theoretisch}}}$$

Dies läßt sich auch schreiben:

$$c = \frac{P_{\text{mittel}} \cdot L}{P_{\text{max}} \cdot L}$$

Da sich die Furchenlänge L heraushebt, so gibt der Gleichförmigkeitsgrad c auch das Verhältnis von mittlerer Kraft zur Höchstkraft an. Der Kehrwert $1/c$ zeigt, wieviel mal höher die Höchstkraft gegenüber der gleichmäßig über die ganze Furchenlänge verteilten Kraft ist.

In Abb. 1a ist der Gleichförmigkeitsgrad sehr klein; entsprechend ist die Höchstkraft wesentlich größer als die mittlere Kraft. Mit steigender Anzahl der Kraftspitzen wird gemäß Abb. 1b der Gleichförmigkeitsgrad größer; er erreicht schließlich den oberen Grenzwert von $c = 1$, wenn die Schwankungen der Kraft um den Mittelwert vernachlässigbar klein sind, wenn also praktisch die Widerstandskraft längs der ganzen Furche konstant bleibt. Dieser Grenzfall wäre etwa beim Durchschwingen des Meißels durch eine zähe Flüssigkeit zu erwarten.

Insgesamt stehen also durch das beschriebene Meßverfahren drei Kennwerte zum Beschreiben des Verhaltens eines Gesteins zur Verfügung. Unmittelbar gemessen werden die zum Ziehen der Furche aufzubringende Arbeit in cmkp und die hierbei auftretende Höchstkraft in kp. Durch Multiplikation der gemessenen Höchstkraft mit der Furchenlänge, also im vorliegenden Fall von 2 cm, wird die theoretisch aufzubringende Arbeit gewonnen, falls diese Höchstkraft gleichbleibend längs der ganzen Furche wirksam wäre. Der Quotient aus der tatsächlich gemessenen Arbeit und der theoretischen Arbeit liefert als dritten Kennwert den Gleichförmigkeitsgrad c .

3. Einige Versuchsergebnisse

Die Durchführung der Messungen sei für zwei verschiedene Steinsorten ausführlich dargestellt. In den beiden Tabellen 1 und 2 geben die Nummern in der ersten Spalte die an jedem Probestück nacheinander durchgeführten 8 Einzelmessungen an. Nach jeder

Messung wird hierzu das Probestück jeweils um 45° um die Längsachse gedreht, so daß, gleichmäßig über den Mantel verteilt, 8 Furchen entstehen.

Die zweite Spalte enthält die gemessenen Kräfte in kp; in der dritten Spalte sind die gemessenen Arbeitsbeträge in cmkp zusammengestellt. Hieraus werden in

Tabelle 1

Messung Nr.	Kraft kp	Arbeit cmkp	Gleichförmigkeitsgrad c
1	38	35	0,46
2	41	32,5	0,40
3	46	36,5	0,40
4	43	36,5	0,42
5	40	34	0,42
6	43	36,5	0,42
7	39	38	0,49
8	43	36,5	0,42
Mittel	42	36	0,43

Tabelle 2

Messung Nr.	Kraft kp	Arbeit cmkp	Gleichförmigkeitsgrad c
1	112	60	0,27
2	225	70	0,16
3	300	55	0,09
4	145	58	0,20
5	200	63	0,16
6	160	68	0,21
7	130	74	0,28
8	160	70	0,22
Mittel	179	65	0,20

der beschriebenen Weise die Gleichförmigkeitsgrade in der letzten Spalte berechnet. Aus den Einzelwerten für die 8 Furchen werden anschließend die arithmetischen Mittelwerte der verschiedenen Kennwerte errechnet, die zur Charakterisierung des jeweiligen Probestücks dienen.

Diese Ergebnisse sind in den Abb. 2 und 3 graphisch dargestellt. Zunächst werden hierzu 8 Strahlen eingezeichnet, deren Numerierung den Nummern in den Tabellen 1 und 2 entspricht. Der Mittelwert der Kraft wird durch den Radius des eingezeichneten Kreises versinnbildlicht, außerdem werden auf den 8 Strahlen die Einzelwerte der Kraft abgetragen. Die so gewonnenen Punkte sind durch eine ausgleichende Kurve miteinander verbunden.

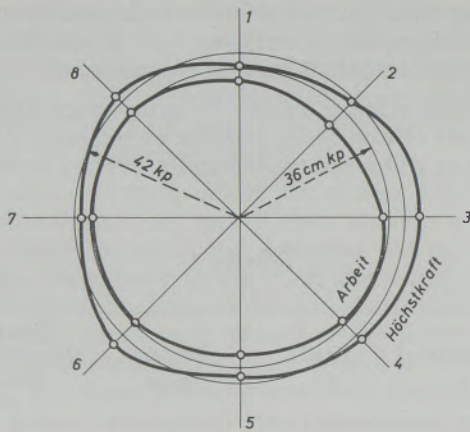


Abb. 2

Graphische Darstellung der acht Einzelmessungen an einem Probekörper nach Tabelle 1

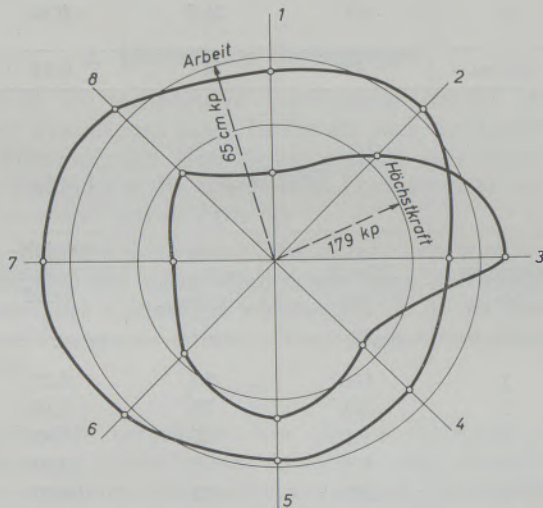


Abb. 3

Graphische Darstellung der acht Einzelmessungen an einem Probekörper nach Tabelle 2

In gleicher Weise wird ein zweiter Kreis gezogen, dessen Radius dem Mittelwert der Arbeit entspricht; auf den Strahlen werden die Einzelwerte der Arbeit abgetragen. Auch diese so gewonnenen Punkte werden durch eine Kurve verbunden.

Durch diese Darstellung wird ein anschauliches Bild von den jeweiligen Eigenschaften gewonnen. Bemerkte sei hierzu, daß wegen der sehr verschiedenen großen Kennwerte für die beiden Sorten verschiedene große Maßstäbe sowohl für die Kraft als auch die Arbeit gewählt wurden.

Man erkennt, daß bei der weichen Sorte nach Tabelle 1 die Schwankungen sowohl der Kraft als auch der Arbeit in mäßigen Grenzen bleiben. Dagegen treten bei der harten Sorte nach Tabelle 2 recht erhebliche Schwankungen der Kraft auf, offensichtlich bedingt durch Inhomogenitäten des Gefüges. Die Schwankungen der Arbeit bleiben jedoch auch hier in verhältnismäßig engen Grenzen.

Der Gleichförmigkeitsgrad der weichen Sorte mit einem durchschnittlichen Wert von 0,43 ist doppelt so groß wie derjenige der harten Sorte mit nur 0,2. Dies bedeutet, daß bei der weicheren Sorte die Schwankungen der Schnittkraft wesentlich geringer als bei der harten Sorte sind. Bei der weichen Sorte erheben sich die Kraftspitzen nur auf etwa das Doppelte des durchschnittlichen Werts; bei der harten Sorte dagegen betragen die Kraftspitzen das 5-fache des durchschnittlichen Wertes.

In dieser Weise wurden von den zur Verfügung stehenden Steinsorten jeweils 4 Probestücke durchgemessen. Die Mittelwerte der 8 Einzelmessungen an jedem Probestück wurden anschließend erneut gemittelt, so daß zur Kennzeichnung einer bestimmten Steinsorte der Mittelwert aus $8 \times 4 = 32$ Einzelmessungen dient.

Das Endergebnis dieser Untersuchungen ist in Abb. 4 zusammenfassend dargestellt. Für die durch A bis G benannten Steinsorten stellt jeweils die Höhe der ersten Säule den Mittelwert der Kraft dar. Die Höhe der mittleren Säule kennzeichnet den Mittelwert der Arbeit. Die Höhe der letzten Säule entspricht dem zugehörigen Gleichförmigkeitsgrad.

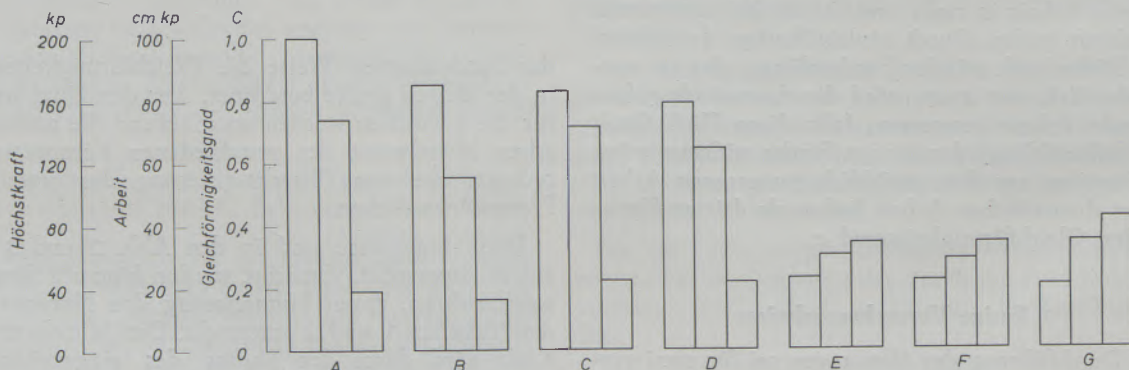


Abb. 4

Mittelwerte von Widerstandskraft, Arbeit und Gleichförmigkeitsgrad für verschiedene Gesteinsorten

Die Skaleneinteilungen für die verschiedenen Größen sind am linken Rand aufgetragen. Insgesamt gewinnt man demnach aus dieser Darstellung ein einprägsames Bild von dem sehr unterschiedlichen Verhalten der untersuchten Steinsorten.

4. Beziehungen zwischen verschiedenen Kennwerten

Die bisher durchgeführten Versuchsreihen können selbstverständlich nur einen ersten Überblick liefern. Trotzdem sei die Frage untersucht, ob sich aus diesen Ergebnissen gewisse gegenseitige Beziehungen zwischen den einzelnen Kennwerten ableiten lassen.

Von theoretischem und praktischem Interesse ist die Frage, ob für die untersuchten Gesteinsorten ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen den bei der schabenden Bearbeitung auftretenden Höchstkräften und der jeweils hierzu verbrauchten Arbeit besteht.

Zur Klärung dieser Frage ist in Abb. 5 auf der Abszissenachse die für die verschiedenen Gesteinsorten ermittelte Höchstkraft aufgetragen. Als Ordinaten dienen die zugehörigen Arbeitsbeträge. Beide Koordinaten stellen jeweils die aus acht Einzelmessungen an jedem Probestück errechneten arithmetischen Mittelwerte dar.

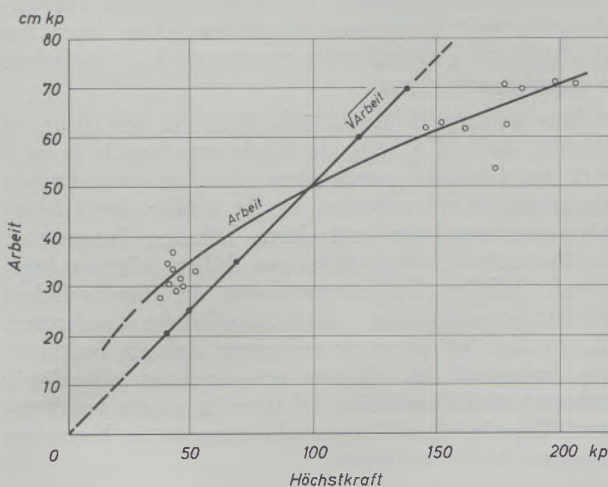


Abb. 5

Zusammenhang zwischen Höchstkraft und Arbeit für die untersuchten Gesteinsorten. Transformation dieser Kurve in eine gerade Linie durch Auftragung der Quadratwurzeln der Höchstkraft

Man erkennt aus dieser Darstellung sofort, daß durch die bisherigen Messungen nur zwei Bereiche mit verhältnismäßig niedrigen und hohen Höchstkräften belegt sind. Immerhin ist die Streuung der Meßpunkte verhältnismäßig klein, so daß die eingezeichnete Ausgleichskurve wenigstens ungefähr den Sachverhalt wiedergeben dürfte.

Aus dem Verlauf dieser Kurve folgt, daß die zum Bearbeiten eines Gesteins aufzubringende Arbeit keineswegs mit der am Meißel auftretenden Höchstkraft verhältnismäßig zunimmt, da sich der Anstieg

der Kurve immer mehr abflacht. Eine überschlägige Betrachtung zeigt, daß die Gesteinsgruppe mit Höchstkräften zwischen 40 und 50 kp einen durchschnittlichen Arbeitsbetrag von etwa 30 cmkp benötigt; dagegen weist die harte Gesteinsgruppe mit Höchstkräften zwischen 150 und 200 kp Arbeitsbeträge von 60 bis 70 cmkp auf. Einer Steigerung der Höchstkraft auf rund das Vierfache entspricht demnach eine Zunahme der Arbeit nur etwa auf das Doppelte. Die Arbeit scheint also nur mit der Quadratwurzel aus der Höchstkraft zuzunehmen.

Entsprechend wurde in Abb. 5 die Quadratwurzel aus den Höchstkräften gezogen, wobei die zugehörigen Arbeitsbeträge nach wie vor linear aufgetragen bleiben. Durch diese Transformation wird recht angenähert eine gerade Linie gewonnen. Für die untersuchten Gesteinsorten und die hierbei benutzten Zerspanungsbedingungen folgt demnach die Faustregel, daß mit zunehmender Höchstkraft am Meißel die von diesem zu leistende Arbeit nur mit der Quadratwurzel dieser Kraft zunimmt.

Diese Beziehung ist letztlich eine Auswirkung des verschieden großen Gleichförmigkeitsgrades der verschiedenen Gesteinsorten, wie sich ohne weiteres aus Abb. 6 ergibt. Hier ist der Zusammenhang zwi-

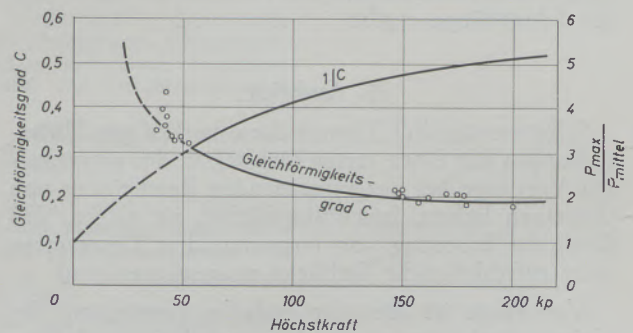


Abb. 6

Verlauf des Gleichförmigkeitsgrades c in Abhängigkeit der Höchstkraft. Die mit $1/c$ bezeichnete Kurve gibt das Verhältnis der Höchstkraft zur mittleren Kraft in Abhängigkeit der Höchstkraft an

schen der Höchstkraft und diesem Gleichförmigkeitsgrad aufgetragen. Auch hier ist mit einer gewissen Berechtigung durch die streuenden Einzelpunkte eine ausgleichende Kurve gelegt. Man erkennt sofort, daß mit steigender Höchstkraft der Gleichförmigkeitsgrad zunächst steil abfällt, dann aber verhältnismäßig flach ausläuft. Insbesondere dieser flache Auslauf ist durch nur wenig streuende Meßpunkte belegt. Nach kleineren Höchstkräften wird gestrichelt gezeichnet, die Kurve extrapoliert. Theoretisch mündet diese Kurve in den Grenzwert 1 ein, also für den Fall, daß die Schnittkraft längs der ganzen Furche konstant bleibt.

In Abb. 6 ist ferner der reziproke Wert $1/c$ des Gleichförmigkeitsgrades eingetragen. Diese Kurve beginnt theoretisch ebenfalls mit 1; sie steigt dann mit wachsenden Höchstkräften zunächst steil an, worauf ihr weiterer Verlauf sich wesentlich abflacht. Im Be-

reich der untersuchten Gesteinssorten tritt demnach ungefähr das Dreifache der Kraftspitzen im Vergleich zur durchschnittlichen Kraft für die weicheren Sorten auf; für die harten Sorten steigt dieses Verhältnis auf das Fünffache an.

Aus diesen verhältnismäßig wenigen Versuchen kann demnach der Vorgang bei der schabenden Bearbeitung von Gesteinen etwa folgendermaßen beschrieben werden. Je härter das Gestein ist, desto höher steigen die Schnittkräfte am Meißel an. Nach Überschreiten der Bruchlast werden aber im harten Gestein längere Elementarzonon abgesprengt, längs denen die Schnittkraft steil abfällt. Bezogen auf eine gegebene Schnittlänge treten daher zwar hohe, aber verhältnismäßig wenige Höchstwerte der Schnittkraft auf. Der Anteil der Wegintervalle, bei deren Durchlaufen der Meißel praktisch widerstandslos fortschreitet und daher keine Arbeit leistet, ist groß. Im Grenzfall eines Zerspringens des Probestücks tritt theoretisch nur eine einzige Kraftspitze auf.

Je weicher das Gestein ist, desto früher wird die Bruchlast erreicht, desto kleiner bleibt aber auch die abgesprengte Elementarzone. Die Frequenz der Lastspiele steigt entsprechend an. Im Grenzfall eines ideal zähen Mediums bleibt die Widerstandskraft konstant, so daß Höchstkraft und mittlere Kraft übereinstimmen und die Arbeit sich als Produkt der Kraft und der Schnittlänge ergibt.

5. Ausblick

Selbstverständlich können diese vorläufigen Untersuchungen nur einen ersten Einblick in die verwickelten Vorgänge bei der zerspanenden Bearbeitung von Gesteinen liefern. Immerhin dürften sie zeigen, daß durch die Erfassung von insgesamt drei Kennwerten recht aufschlußreiche Einblicke zu gewinnen sind.

Vor allem ist die sehr einfache Gewinnung der kleinen Probekörper aus dem anstehenden Gebirge hervorzuheben und auch die schnelle und einfache Durchführung zahlreicher Einzelmessungen. Dieser geringe versuchstechnische Aufwand läßt die Klärung zahlreicher Einzelfragen durch systematische Versuchsreihen erhoffen. Einige dieser Fragen seien kurz erwähnt.

Eine bedeutsame Rolle für die wirtschaftliche Durchführung von Bohrarbeiten spielt der Verschleiß der Werkzeuge. Die bisherigen Versuche ermöglichen einige Hinweise in dieser Hinsicht. Geht man von

der Annahme aus, daß für den Verschleiß der spanenden Fläche eines Werkzeugs (Kolkverschleiß) die Härte des Gesteins, also die gemessene Widerstandskraft, maßgebend ist, so ist zunächst aus diesem Grund eine rasche Zunahme des Kolkverschleißes mit zunehmender Widerstandskraft zu erwarten. Da aber andererseits mit wachsender Widerstandskraft, wie gezeigt wurde, der Gleichförmigkeitsgrad abnimmt, so steht der Meißel für eine gegebene Arbeitsstrecke tatsächlich nur längs eines abnehmenden Anteils dieser Strecke unter Arbeitsdruck. Infolge dieser Abnahme des „Verschleißweges“ nimmt der Verschleiß des Meißels ab. Schon aus der Zusammenwirkung dieser beiden entgegengesetzten Effekte sind in der Praxis schwer überschaubare und deutbare Erscheinungen zu erwarten. Theoretisch ist durchaus der Fall denkbar, daß der Verschleiß eines Meißels für eine bestimmte Gesteinssorte einen Höchstwert erreicht, daß aber sowohl für weichere als auch härtere Sorten der Verschleiß abnimmt.

Andere Gesetze sind hinsichtlich des Verschleißes der Freiflächen zu erwarten. Da bei weicheren Gesteinen die Freiflächen infolge des höheren Gleichförmigkeitsgrades länger schleifenden Einwirkungen ausgesetzt sind, ist es durchaus möglich, daß für diese Art des Verschleißes weichere Sorten anfälliger sind.

Eine besondere Bedeutung ist der Geometrie der Schneiden zuzuschreiben. Die zweckmäßigste Ausbildung für jede Gesteinsart ist offensichtlich durch das beschriebene Prüfverfahren systematisch in einfachen Versuchen zu klären.

Eine wichtige Rolle schließlich dürfte der Umstand spielen, daß die arbeitende Werkzeugschneide je nach Art des Gesteins verschieden schnellen periodischen Lastwechseln unterworfen ist. Je größer der Gleichförmigkeitsgrad ist, mit desto höheren Frequenzen ist zu rechnen. In ungünstigen Fällen können hierdurch infolge Resonanzwirkung in mechanischen Schwingungssystemen Ermüdungsbrüche auftreten. Theoretisch ist daher zu vermuten, daß ein bestimmtes Bohrgerät im allgemeinen durchaus zuverlässig arbeitet, daß aber beim Arbeiten in einem bestimmten Gestein Ermüdungserscheinungen in besonders starkem Maße auftreten.

Für wissenschaftliche Untersuchungen kann selbstverständlich — unter wesentlich höherem Aufwand — die Schnittkraft in ihrem zeitlichen Verlauf etwa durch Dehnungsmeßstreifen und elektronische Anzeige verfolgt werden.

Zusammenfassung

Es wird die Weiterentwicklung eines Schlagwerks zur Untersuchung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen beschrieben. Die beim Eingraben einer Furche längs der Mantellinie eines kleinen zylindrischen Probekörpers an einem Meißel entstehenden Höchstkräfte und die hierbei verbrauchte Arbeit werden gemessen. Die erforderlichen Probekörper werden aus dem anstehenden Gestein in einfacher Weise durch einen Kernbohrer gewonnen; der Kern wird anschließend in kleine Abschnitte zerteilt. Aus den Meßwerten

wird durch einfache Rechnung der Gleichförmigkeitsgrad des Trennprozesses gewonnen. An jedem Probestück lassen sich rasch nacheinander eine größere Anzahl von Einzelmessungen durchführen. In Tabellen und graphischen Darstellungen werden die erzielten Ergebnisse zusammengestellt; auch werden verschiedene gegenseitige Beziehungen der Kennwerte erörtert. Auf weitere sich eröffnende Möglichkeiten zur Klärung der verwickelten Erscheinungen beim praktischen Bohren wird hingewiesen.

Summary

The development of an impact testing machine for investigating the workability of rocks is described. Maximum forces developed and energy consumed during cutting a groove along the convex surface line of a small cylindrical sample with a chisel are measured. The necessary samples are obtained from the rock in place with a core bit in a simple manner; the core is then divided in small sections. Out of the

data it is possible to obtain the degree of uniformity of the separating process by means of a simple calculation. With every sample piece it is possible to conduct a great number of single measurements within a short time. The results are given in tables and graphs; various correlations of the data are discussed. Certain possibilities for clearing up the complicated mechanism of practical drilling are mentioned.

Résumé

On décrit le développement d'un mouton pour l'étude de l'aptitude à l'ouvrabilité de roches. On mesure à cet effet les forces maximales engendrées dans un burin lors de la formation d'une rainure le long d'une ligne sur la surface latérale d'une petite éprouvette cylindrique, de même que le travail ainsi utilisé. Les éprouvettes de la roche étudiée sont obtenues simplement au moyen d'un dispositif de carottage; la carotte est ensuite divisée en petits tronçons. D'après les valeurs obtenues on détermine

par simple calcul le degré d'uniformité du processus de séparation.

On peut effectuer rapidement sur une seule éprouvette un grand nombre de mesures unitaires consécutives. Les résultats obtenus sont récapitulés dans des tableaux et des diagrammes; on discute également les différentes relations entre les valeurs caractéristiques. On donne des indications sur d'autres possibilités qui s'offrent pour expliquer les phénomènes complexes du forage réalisé dans la pratique.

Literaturverzeichnis

1. Wahl, H., G. Kantenwein u. W. Schäfer, Gesteinsbohr-Modellversuche zur Frage des Drehbohrens, Schlagbohrens, Drehschlagbohrens und Rollenmeißelbohrens. Forschungsbericht Nr. 511 des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen.
2. Raynal, J., French Research centre studies oil drilling with diamond bits. *Industrial Diamond Review* 25 (1965), S. 430/35.
3. Proceedings of the 1958 London Conference: Mechanical Properties of non-metallic brittle Materials. Editor: W. H. Walton. Butterworths Scientific Publications London 1958.
4. Späth, W., Der Schlagversuch in der Materialprüfung. *Radex-Rundschau* (1956), S. 39/45. Erfahrungen und Anregungen zum Schlagversuch. *Radex-Rundschau* (1956), S. 327/33.
5. Späth, W., Der Schlagversuch in der Werkstoffprüfung. A. W. Gentner Verlag Stuttgart 1957.
6. Späth, W., Impact Testing of Materials. Adapted by M. E. Rosner. Thames and Hudson London 1961.