

Werk

Jahr: 1930

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:6

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0006

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0006

LOG Id: LOG_0021

LOG Titel: Über die Elastizität von Gesteinen

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

des Untergrundes berechneten Werte $\tau_n = 0.15 \text{ sec}$, $(b_{01})_n = 1\frac{1}{2}$ sind. Aber es mag zu kühn sein, mit dieser einzigen Aufzeichnung diese Übereinstimmung zu behaupten. Da ich keine persönliche Erfahrung von dem Sprengungs-experiment habe, möchte ich mich hier darauf beschränken, einen Hinweis zu geben, daß bei der seismologischen Aufschlußmethode mit einem Horizontal-instrument, unsere Ausführungen ein Prüfungsmittel liefern.

Diese Mitteilung ist ein Teil von einem allgemeineren Problem, auf das mich Prof. T. Shida vor meiner Abreise von Japan hingewiesen hat. Dafür möchte ich ihm hier meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Potsdam, Magnetisches Observatorium, 15. Dezember 1929.

Über die Elastizität von Gesteinen

Von Dr.-Ing. **Hans Breyer**, Kassel — (Mit 4 Abbildungen)

Berichtet wird über die Untersuchung einiger deutscher Erstarrungsgesteine, und zwar über die Bestimmung des Elastizitätsmoduls sowie der federnden und bleibenden Laugen-änderungen unter Berücksichtigung des Gefüges. Festgestellt wird, daß deutsche Gesteine mit entsprechenden amerikanischen in ihren elastischen Eigenschaften übereinstimmen, und daß bei gleichen Drucken basische Gesteine einen höheren Elastizitätsmodul, eine kleinere federnde Formänderung und eine kleinere, bleibende Formänderung als saure Gesteine besitzen. Gefordert wird, ähnlich, wie es schon bei Stahl und Eisen geschieht, auch Gesteine statisch auf ihre elastischen Eigenschaften zu untersuchen und wegen der Bedeutung für Ingenieurbauten, Straßenbau und Eisenbahnbeschotterung Gesteine auch dynamisch auf ihren Widerstand gegen schwingende Beanspruchung zu prüfen.

Versuchsausführung und Probematerial. Die Untersuchungen, über deren Ergebnisse nächstehend berichtet werden soll, sind im Staatlichen Materialprüfungsamt Dahlem im einzelnen in folgender Weise ausgeführt worden:

Der leitende Gedanke dabei war, von den Erstarrungsgesteinen sowohl Tiefengesteine als auch Gang- und Ergußgesteine und von den Sedimenten einige typische Vertreter auf ihr elastisches Verhalten zu untersuchen und dabei gleichzeitig den Einfluß der Erstarrungsform, des Chemismus, des Gefüges und des Erhaltungszustandes der Gesteine zu berücksichtigen. Die Arbeit ist mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, die in dankenswerter Weise ein Diamantsägeblatt zum Schneiden der Proben zur Verfügung gestellt hat, durchgeführt worden. Auch hat Herr Prof. Burchartz, Abteilungsvorsteher der Abteilung für Baugewerbe im Staatlichen Materialprüfungsamt, die Arbeit in jeder Weise gefördert.

Nachdem aus verschiedenen deutschen Gesteinsprovinzen von seiten der Steinindustrie die nötigen Gesteine zur Verfügung gestellt worden waren (siehe

folgende Übersicht), wurden aus den Steinblöcken Gesteinsprismen von etwa $6 \times 6 \times 30$ cm herausgeschnitten, die Endflächen genau planparallel geschliffen und diese Prismen auf Druckelastizität geprüft.

Probematerial.

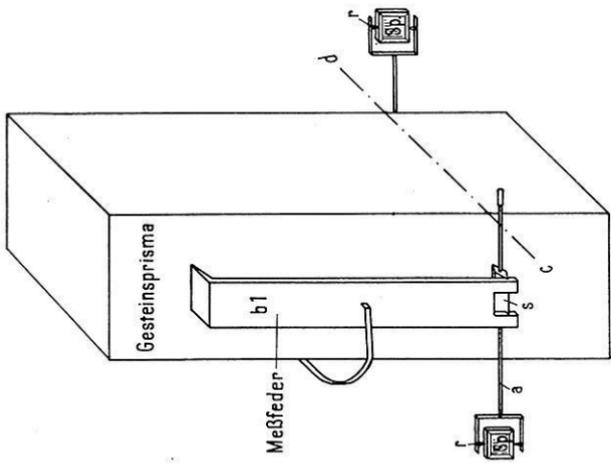
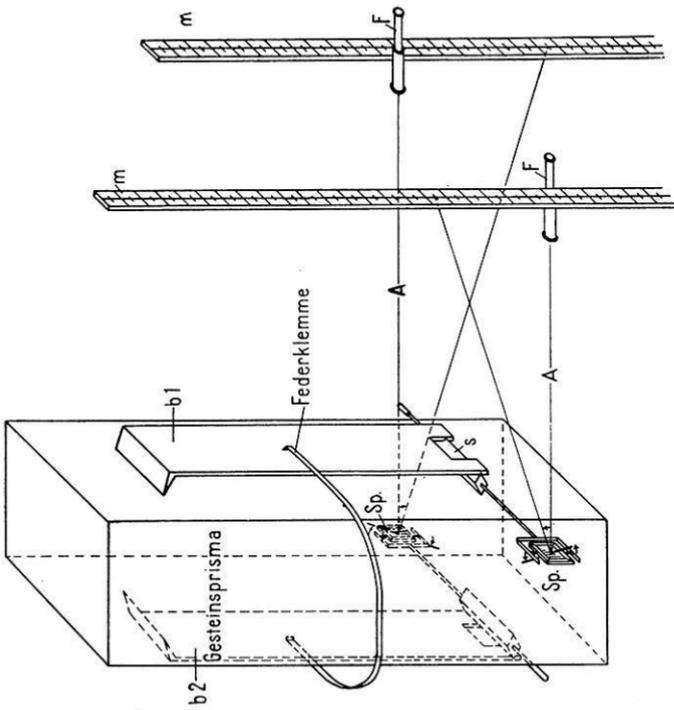
Lfd. Nr.	Kenn-Nr.	Gestein	Herkunft
1	44	Andesit	Wolkenburg, Siebengebirge
2	64	Sandstein	Hamm i. Westfalen
3	4	Quarzporphyr	Löbejün b. Halle
4	45	Basaltlava	Hannebacher Ley, Eifel
5	47	Granit	Jannowitz, Schlesien
6	69	Granit	Dresden
7	30	Kuselit	Ingenhöhl, Saar-Nahegebiet
8	1	Syenit	Freital b. Dresden
9	68	Syenit	Dresden
10	46	Diabas	Neuwerk a. Harz
11	11	Syenit	Riesa-Gröba, Elbe
12	34	Diabas	Nd. Kunnersdorf i. Sa.
13	72	Gabbro	Neurode, Schlesien
14	15	Gabbro	Harzburg
15	79	Säulenbasalt	Ostritz i. Sa.

Zunächst wurden die Proben unter einer Presse zentrisch eingebaut, das Kugellager der Presse, auf dem die jeweilige Probe aufgestellt wurde, vollkommen eben gerichtet, so daß die Endflächen der Prismen satt an den beiden Enden der Presse anlagen. Vor Beginn der Prüfung und der ersten Ablesung wurde auf jede Probe mit der Druckpresse eine kleine Nullast gegeben, um den Proben eine gute Standsicherheit zu verleihen.

Messung. Für die Messung der elastischen Formänderungen wurden Martenssche Spiegelapparate*) benutzt. Die Idee, die Gaußschen Spiegelablesungen für die Materialprüfung zu verwenden, rührt von Bauschinger her, der zuerst einen solchen Apparat für diese Versuche mit Feinmessungen an der Werdermaschine konstruiert hat. Die Martensschen Spiegelapparate stellen eine Verbesserung dieser Apparate dar.

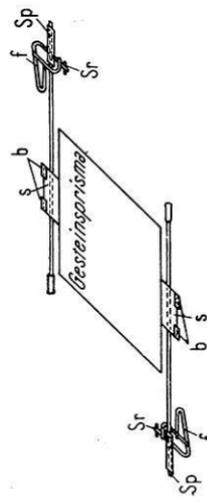
Beschreibung der Spiegelapparate. Ein schneidenförmiger Stahlkörper s von rhombischem Querschnitt, der peinlich sauber mit parallelen Schneidekanten hergestellt ist, trägt in seiner Verlängerung an einer Achse a einen Planspiegel sp , der um seine Horizontalachse drehbar ist und mit Hilfe einer kleinen Schraube sr auch um seine Vertikalachse gedreht werden kann, wobei die Drehung in Spitzen erfolgt, die in eine Fassung r eingelassen sind und in Körnermarken des Spiegels eingreifen. Für die Rückwärtsbewegung des Spiegels beim Zurückschrauben der Schraube sr sorgt eine Feder f . Unter Vermittlung zweier Stahlschienen b_1 und b_2 (Meßfedern) und einer Federklemme werden zwei solcher Spiegelapparate mit ihren Schneidekörpern (wie Abb. 1 zeigt), an zwei gegenüberliegenden Längsseiten am Gesteinsprisma angesetzt.

*) K. Memmler: Das Materialprüfungswesen. Stuttgart, Enke, 1912.



Erleuterungen

- a • Achse des Spiegelapparates
- s • Stahlprisma
- b • Meßfeder (Strahlschiene)
- r • Körner und Körnung
- Sr • Stellschraube
- Sp • Spiegel
- f • Feder
- A • Abstand der Meßlatte vom Spiegel
- m • Meßlatte
- F • Fernrohr



Schnitt c-d

Abb. 1. Gesteinsprisma mit Spiegelapparaten armiert

Die Meßfedern b haben am oberen Ende eine Schneide, während am unteren Ende der Meßfedern eine Nute eingearbeitet ist, die die Meßfeder nach unten hin begrenzt.

Erfährt das Gesteinsprisma unter der Presse durch aufgebrauchten Druck oder Entlastung eine Längenänderung innerhalb der Meßlänge, so wird eine drehende Bewegung der Spiegelschneiden, also auch der Spiegel erfolgen, deren Größe mit Hilfe eines Fernrohres o aus der Verschiebung des Spiegelbildes, der Skala m , gegen das Fadenkreuz im Fernrohr abgelesen werden kann. Wird das Gesteinsprisma auf Druck beansprucht, so erleidet es eine Kompression $\lambda = r \cdot \sin \alpha$, worin r die Breite des Schneidekörpers und α der vom Spiegel durchlaufene Winkel ist. Die Ablesung a der am Fernrohr angebrachten Skala ist, da der Lichtstrahl wegen der Spiegelwirkung den Winkel 2α durchläuft, $a = A \cdot \tan 2\alpha$, worin A der Abstand der Skala von den Spiegeln ist. Das Übersetzungsverhältnis ist:

$$n = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{r \cdot \sin \alpha}{A \cdot \tan 2\alpha}.$$

Da nur sehr kleine Winkel in Frage kommen, so kann $n = \lambda/\alpha = r/2A$ gesetzt werden.

Macht man, wie es gewöhnlich geschieht, die Schneidenbreite $r = 4$ mm, den Abstand der Skala vom Spiegel = 1000 mm (1 m), so ergibt sich eine Übersetzung von $\frac{4}{2 \cdot 1000} = 1:500$.

Eine Zunahme oder Abnahme von 1 mm auf der Skala, die durch das Fernrohr festgestellt wird, entspricht $1/500$ mm Längenänderung am Prisma. Da die Skalenteile, d. h. die Millimeterstriche auf der Skala, durch Fernrohrbeobachtung vergrößert erscheinen, so kann man $1/10$ mm schätzen und ist daher in der Lage, $1/5000$ mm Längenänderung am Gesteinsprisma zu erfassen. Die Messung mit zwei Spiegelapparaten an zwei gegenüberliegenden Seiten der Prismen bietet den Vorteil, daß die Zusammendrückung als Mittelwert aus zwei Ablesungen gewonnen wird und eventuell eintretende Bewegungen des Prismas im Raume keinen Einfluß auf das Meßergebnis haben. Tritt doch eine Schiefstellung des Prismas ein oder wird durch irgendwelche Einflüsse eine einseitige Beanspruchung der Proben verursacht, so wird die Ablesung an einem Spiegelapparat (Meßskala) um so viel vergrößert, als sie an der anderen Meßskala verringert wird. Würde man nur mit einem Spiegelapparat arbeiten, so würde eine einseitige größere oder kleinere Beanspruchung kein fehlerfreies Ergebnis liefern.

Versuchsergebnisse und Auswertung. Die Ergebnisse*) der auf ihr elastisches Verhalten geprüften Gesteine sind in den Schaubild 2 bis 4 graphisch dargestellt. In Schaubild 2 sind in dem Koordinatensystem auf dem wage-

*) Die Meßreihen zur Bestimmung des elastischen Verhaltens der Gesteine sind in der Arbeit „Über die Elastizität von Gesteinen“ in den Beiträgen zur physikalischen Erforschung der Erdrinde, Heft 1, Geologische Landesanstalt, Berlin 1929, veröffentlicht.

Im übrigen sei auch hier auf die Originalarbeit *) hingewiesen.

Von den Erstarrungsgesteinen (Tiefengesteinen) zeigen die geringsten Werte die beiden Granite Nr. 47 und Nr. 69 bei 400 000 bis 500 000 kg/cm², dann folgen zwei Syenite Nr. 1 und Nr. 68 bei 700 000, ein dritter Syenit bei 900 000 und endlich folgen zwei Gabbros Nr. 72 und Nr. 15 bei 1 000 000 kg/cm². Bei den Graniten, die in ihren *E*-Werten sehr gut beieinander liegen, ist der Quarz die Veranlassung zu dem relativ geringen *E*-Wert. Immerhin zeigen auch diese beiden Granite kleine Abweichungen, die nach ihrem petrographischen Befund auch zu erwarten waren. Der Lausitzer Granit Nr. 69 hat im Gegensatz zu Granit Nr. 47 von Jannowitz einen ziemlich hohen Quarzgehalt. Außerdem spricht bei letzterem auch noch die verstärkte Kornbindung des Quarzes mit dem Feldspat mit, die sich ebenfalls im höheren *E*-Modul ausdrückt. Auf die Rolle des Quarzes hat schon Reich **) in seiner Arbeit hingewiesen und ferner den überraschenden Unterschied zwischen den *E*-Werten von Quarz 511 000 und Glimmer 608 000 hervorgehoben. Der Quarz besitzt also einen geringeren *E*-Modul als der Glimmer. Es ist bemerkenswert, daß sich die Mineralzusammensetzung in dem Gesamtelastizitätsmodul dieser Gesteine gut ausdrückt.

Die beiden Syenite Nr. 1 und 68 passen ebenfalls gut zueinander, bei näherer Untersuchung stellte es sich denn auch heraus, daß beide Syenite aus demselben großen Vorkommen des Plauenschen Grundes bei Dresden stammten. Es liegt dasselbe Gesteinsmaterial aus zwei verschiedenen Brüchen vor. Im Gegensatz zu den Graniten findet sich in diesen beiden Gesteinen Quarz nur ganz verschwindend. Feldspate sind sehr reichlich vorhanden, kaum getrübt und die Gesteine recht frisch. Die höheren *E*-Werte dieser beiden Syenite sind im Hinblick auf die beiden Granite ohne jeden Zweifel auf das Fehlen von Quarz, also die Zunahme der Basizität zurückzuführen.

Ganz besonders deutlich tritt der Einfluß des Quarzes auf den *E*-Modul bei Betrachtung der Kurve des Sandsteins, die noch unterhalb der Granite liegt, in Erscheinung. Die *E*-Modulkurve dieses Sandsteins hat steigende Tendenz, was eine Verfestigung des Materials bedeutet und offenbar auf die Komprimierung vorhandener kleiner Hohlräume in dem pflasterartigen Gefüge zurückzuführen ist. Außerdem ist der Quarz ein relativ stark kompressibles Mineral.

Anschließend an die beiden Syenite folgt als nächste Kurve die des Syenits Nr. 11, die auffälligerweise um 200 000 Einheiten höher verläuft. Auch hier muß die höhere Basizität des Gesteins dafür verantwortlich gemacht werden. Das geht auch schon aus nachfolgender Gegenüberstellung der chemischen Analysen hervor.

*) Die Meßreihen zur Bestimmung des elastischen Verhaltens der Gesteine sind in der Arbeit „Über die Elastizität von Gesteinen“ in den Beiträgen zur physikalischen Erforschung der Erdkruste, Heft 1, Geologische Landesanstalt, Berlin 1929, veröffentlicht.

***) H. Reich: Über Gesteinselastizität. Zeitschr. d. deutsch. Geol. Ges., Bd. 79, Jahrg. 1927.

An diesen Syenit schließen sich als letzte zwei Gabbros Nr. 72 und Nr. 15 an. Während die Kurve 15 einen ziemlich geraden Anstieg hat, sinkt die Kurve 72 bei höheren Drucken ab. Dieses unterschiedliche Verhalten der beiden Gabbros findet seine Erklärung in der Verschiedenheit ihres Gefüges. Gabbro Nr. 15 vom unteren Radauberg bei Harzburg ist ein ganz vorzügliches, sehr fein verzahntes Gestein, während der Gabbro Nr. 72 von Neurode stark umgewandelt und vom Gebirgsdruck stark beeinflußt ist. Schon makroskopisch tritt dieser Unterschied bei den Gesteinen in die Erscheinung. Außerdem stand die Probe 72 kurz vor der Bruchgrenze.

	I	II	
SiO ₂	60.52	51.93	
Al ₂ O ₃	16.65	17.90	
Fe ₂ O ₃	2.97	6.12	
FeO	2.15	3.19	Analyse I von Syenit
MgO	2.32	3.99	Nr. 1 und 68
CaO	4.73	7.25	
Na ₂ O	4.43	4.11	Analyse II von Syenit
K ₂ O	4.39	3.42	Nr. 11
H ₂ O + (120°)	0.64	0.53	
H ₂ O — (120°)	0.27	0.09	
TiO ₂	0.88	1.22	
P ₂ O ₅	0.29	nicht best.	

Von den älteren Ergußgesteinen hat den geringsten *E*-Modul der dem Granit entsprechende Quarzporphyr Nr. 4. Daran schließt sich der Melaphyr und als letzte folgen zwei Diabase. Im Gegensatz zu den Kurven der *E*-Moduln von Tiefengesteinen zeigen die Ergußgesteine geringere *E*-Modulwerte. Für das auffällig weite Intervall zwischen Melaphyr und Diabas ist in diesem Falle nicht der Chemismus allein, sondern das Gefüge ausschlaggebend. Der Diabas Nr. 34 ist ein Gestein, das durch die Umwandlung seiner Mineralien an Zähigkeit wesentlich gewonnen hat.

Der Melaphyr dagegen besitzt kein intersertales Gefüge wie der Diabas, sondern ein porphyrisches Gepräge, ist außerdem stark umgewandelt und hat im Gegensatz zum Diabas ein ziemlich großes Porenvolumen = 0.3% Wasseraufnahme.

Andererseits ist auch das Gefüge von Einfluß auf die Größe des *E*-Moduls. Rechts am Rande des Schaubildes 2 steigt bei 1 100 000 kg/cm² fast linear die Kurve des Säulenbasalts Nr. 79 an, während um rund 700 000 Einheiten niedriger die Kurve der Basaltlava verläuft. Über die Basaltlava ist noch zu sagen, daß sie an zwei Prismen auf ihren *E*-Modul untersucht worden ist. Bei 800 kg/cm² Spannung zerbrach ein Prisma in Form von zwei schlanken Pyramidenstümpfen unter Ablösung von schalenförmigen bis keilförmigen Seitenstücken. Daraufhin wurde ein zweites Prisma ebenfalls auf seinen *E*-Modul geprüft und ergab haarscharf genau dieselben Werte.

Die Kurve des Andesits verläuft noch unter der Basaltlava, ist überhaupt die am niedrigsten verlaufende Kurve aller untersuchten Gesteine. Diese Kurve

ist insofern besonders beachtenswert, als sie stetig fallende Tendenz hat. Diese Eigentümlichkeit ist auf die Struktur des Gefüges zurückzuführen. Das Gestein enthält vorwiegend eine glasige Grundmasse, auf die dieses Abfallen der Elastizitätseigenschaften zurückgeführt werden muß. Die einzelnen porphyrischen Einsprenglinge vermögen dem Gestein keinen inneren Halt zu geben.

In Schaubild 3 sind die federnden Längen der untersuchten Gesteine, die bei den verschiedenen spezifischen Drucken gemessen wurden, graphisch aufgetragen. Es ergibt sich ein ganz analoges Bild, wie es sich in der Schaubild 2 findet, in dem die Elastizitätsmoduln der untersuchten Gesteine zusammengestellt sind.

Der Säulenbasalt, der in Schaubild 2 an höchster Stelle erscheint, findet sich in Schaubild 3 an unterster Stelle, bei den niedrigsten Werten für federnde Längenänderung. In dem einen Falle wird die Richtigkeit des Gesteins durch den hohen Elastizitätsmodul, in dem anderen Falle durch die kleine federnde Zusammendrückung ausgedrückt. Sehr deutlich kommt auch in diesen Kurven der Einfluß des Chemismus der Gesteine auf ihre kleinere oder größere federnde Längenänderung zum Ausdruck, und zwar in direkter Abhängigkeit vom größeren oder kleineren Gehalt

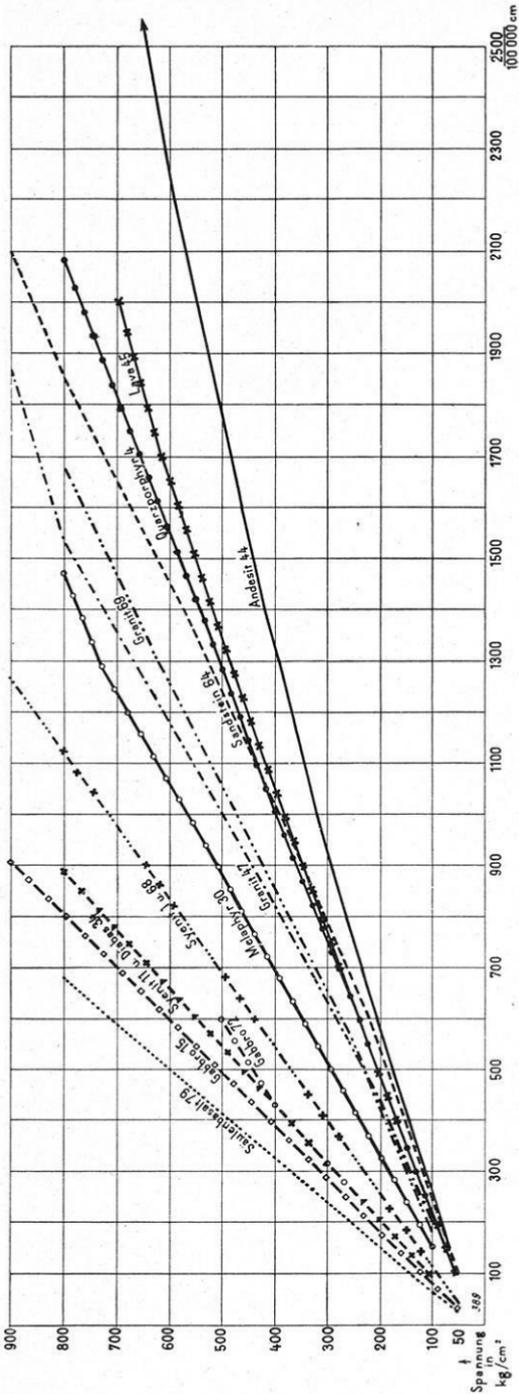


Schaubild 3. Federnde Längenänderung

an Kieselsäure. Hierin finden die verschiedenen verlaufenden Kurven zum größten Teil ihre Erklärung.

Die Granite (Nr. 47 und 69) mit ihrem harten und spröden Quarz sind bedeutend kompressibler bei gleichen Drucken als die Syenite Nr. 1, 68 und 11, und die Gabbros liegen wieder höher als die Syenite. Diese paradox erscheinende Tatsache ist in der unterschiedlichen Kompressibilität der aufbauenden Mineralien der Gesteine begründet*).

Die geringste Kompressibilität haben die Pyroxene, z. B. Hypersthen, $1.01 \cdot 10^{-12}$, bei einem Kieselsäuregehalt von 51.81%. Bei den Feldspaten kommt die Abhängigkeit vom SiO_2 -Gehalt sehr gut zum Ausdruck. Der Quarz hingegen hat trotz größter Härte den größten Kompressibilitätswert, ein um so überraschenderes Ergebnis, als der Quarz keinerlei Spaltbarkeit wie die Feldspate besitzt.

Ferner liegt in Schaubild 3 die Kurve des Melaphyrs über der des Quarzporphyrs. Ein Beweis dafür, daß die höheren Werte der Elastizitätsmoduln und die geringeren Werte der federnden Längenänderungen auch bei den Ergußgesteinen in Abhängigkeit von der größeren Basizität des Gesteins stehen. Auch der Sandstein paßt gut hinein, der hinsichtlich seines Gefüges mit den Graniten verglichen werden kann. Naturgemäß ist bei Sandstein neben den Quarzen, ihrer Größe und Verzahnung und dem Umstand, ob die Quarze frisch oder zerdrückt sind, vor allen Dingen auch das Bindemittel für das elastische Verhalten maßgebend. Wenn nicht, wie in diesem Falle, ein so ausgezeichnet guter Sandstein vorliegen würde, so wäre damit zu rechnen, daß die Kurve des Sandsteins wesentlich flacher verlaufen würde.

Daß die Kurve der Lava einen so geringen Anstieg hat, erklärt sich aus dem großen Porenvolumen dieses Gesteins. Die Wasseraufnahme wurde bei der Lava mit 5.7% bestimmt, während z. B. der Säulenbasalt nur 0.3% Wasseraufnahme hatte. Hierbei ist zu bedenken, daß die Lava nicht einmal vollkommen wassergesättigt wurde, da anzunehmen ist, daß ein großer Teil Poren verschlossen war und dem Wasser keinen Zutritt bot.

Am schlechtesten federt der Andesit. Der Grund hierfür ist in dem relativ hohen Porenvolumen (Wasseraufnahme = 1,4%) zu suchen und offenbar auch auf das Gefüge der Grundmasse zurückzuführen.

Die erwiesene Tatsache, daß der Chemismus der Gesteine sich in ihrem elastischen Verhalten äußert, legt den Gedanken nahe, auch künstliche Gemische, z. B. Zement und Beton, unter diesem Gesichtswinkel zu betrachten.

Der Einfluß der Strukturverhältnisse auf das elastische Verhalten der Gesteine geht aus der Betrachtung der bleibenden Deformationen in Schaubild 4 hervor. Der Sandstein (Nr. 64) mit 0.8% Wasseraufnahme, der hinsichtlich seines Gefüges mit den beiden Graniten (0.2% Wasseraufnahme) verglichen werden kann, hat im Verhältnis zu diesen eine sehr große bleibende Formänderung. Sehr

*) H. Reich: Über Gesteinselastizität. Gerlands Beitr. z. Geophys., Bd. XVII, Heft I, 1927, S. 101.

deutlich tritt dieser Einfluß auch bei Gegenüberstellung vom Säulenbasalt (0.3% Wasseraufnahme) zur Lava (5.7% Wasseraufnahme) in Erscheinung. Während ferner die Kurve des Sandsteins, des Andesits und der Basaltlava geradezu mathematisch ideal verlaufen, beobachtet man bei den anderen Kurven eine Knickung und sprungweisen Anstieg. Die Erklärung hierfür liegt darin, daß bei den erstgenannten Gesteinen eine mehr homogene Masse vorliegt, während bei den letzteren sich die Knickpunkte als Überwindungsstellen von inneren Widerständen darstellen; und zwar können entweder die miarolithischen Hohlräume komprimiert worden sein, oder aber diese Knickpunkte können auch die Stellen andeuten, an denen die Elastizitätsgrenze einiger Mineralien überschritten worden ist. Sie können auch eine Umlagerung der Mineralien darstellen. Auf jeden Fall sind diese Knickpunkte für die technische Gesteinskunde wie auch für die Geologie sehr beachtenswert. Durch systematische Verfolgung dieser Knickpunkte würde sicher unsere Kenntnis von dem Einfluß des Gefüges, der Kornbindung und der Hohlräume auf die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegen Druck und elastische Beanspruchung wesentlich bereichert werden.

Der strukturelle Einfluß wird bei Betrachtung der Kurven

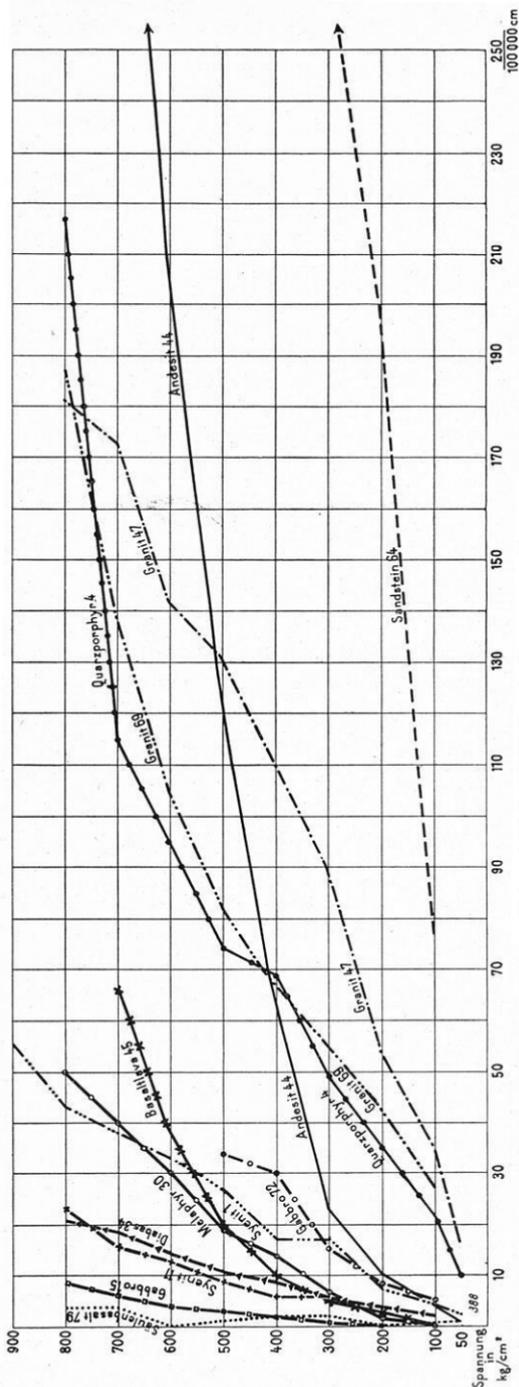


Schaubild 4. Bleibende Längenänderung

vom Sandstein, Granit, Diabas und Gabbro recht sinnfällig: Die körnige Struktur bedingt große bleibende Veränderung, während die ophitische, leistenförmige, verzahnte Struktur naturgemäß der bleibenden Deformation einen großen Widerstand entgegensetzt. Ferner sieht man am Gabbro Nr. 72, daß auch Gleitminerale die bleibenden Deformationen steigern. Der frische Gabbro Nr. 15 zeigt diese Erscheinung nicht.

Endlich sprechen auch die Dichtigkeitsverhältnisse, die durch Bestimmung des spezifischen Gewichts, Raumgewichts und der Wasseraufnahme festgelegt sind, bei den bleibenden Veränderungen mit.

Die Einflüsse der Komponenten (Mineralbestand, Struktur und Dichtigkeitsverhältnisse) lassen sich nicht immer im einzelnen nachweisen, da sie zum Teil einander bedingen. Aber gerade deswegen ist ihre gesamte Bestimmung notwendig.

In nebenstehender Tabelle sind die gefundenen Werte der untersuchten Gesteine und die bei Adams und Williamson sowie die bei Adams und Coker angegebenen Werte zusammengestellt.

Entsprechend den Angaben in der Arbeit von Adams und Coker sind die Elastizitätsmoduln im Mittel im CGS-System und die aus der Kompressibilität errechneten E -Werte von Adams und Williamson in zwei Stufen für 2000 und 10000 Megabars angegeben. Die von mir gefundenen Werte sind sowohl im Mittel im CGS-System als auch in der Dimension Kilogramm/Quadratcentimeter für die Laststufen 100 und 800 kg/cm^2 angegeben.

1000 Megabar bei Adams und Williamson entsprechen bei einer Annahme eines spezifischen Gewichts von 2,5 der untersuchten Gesteine einer Tiefe von 40 km unter der Erdoberfläche. Adams und Coker haben einen Druck von 2000 bis 9000 englischen Pfund auf den Quadratzoll = 70.91 bis 632.79 kg/cm^2 benutzt und Bedingungen geschaffen, wie sie in einer Tiefe von 0.280 bis 4 km herrschen. Es sei auch hier noch einmal darauf hingewiesen, daß Adams und Williamson allseitigen Druck, Adams und Coker und Breyer dagegen einseitig gerichteten Druck, d. h. auf zwei gegenüberliegenden Seiten angewendet haben. In der vorliegenden Arbeit ist mit Höchstdrucken von 800 kg/cm^2 gearbeitet worden, die umgerechnet einer Tiefe von 3.2 km entsprechen. Streng genommen entspricht solchen Tiefenverhältnissen nur die Versuchsanordnung von Adams und Williamson. Bei Adams und Coker und Breyer müßte man sich den Druck als Säule vorstellen.

Die Gesteine sind nach ihren Klassen und nach steigenden E -Modulwerten geordnet. Vergleicht man die gefundenen Zahlenwerte der amerikanischen Gesteine mit denen aus Deutschland, so kann man eine überraschend gute Übereinstimmung hinsichtlich ihres elastischen Verhaltens feststellen und erhält eine Bestätigung der gefundenen Werte.

Die erwähnte Übereinstimmung der Elastizitätswerte ist, wie man sieht, keine zufällige, sondern es zeigt sich, daß die entsprechenden Gesteine aus zwei so verschieden garteten Kontinenten, wie Amerika und Europa, gleiche elastische

Konstanten besitzen. Dies Ergebnis ist für die Geophysik von höchster Bedeutung. Es ist um so bemerkenswerter, als schon eine verhältnismäßig geringe Anzahl ziemlich wahllos herausgegriffener amerikanischer und deutscher Gesteine eine so großartige Übereinstimmung hinsichtlich ihrer elastischen Eigenschaften aufweisen.

Trotz der großen Übereinstimmung zeigen aber die einzelnen Gesteinsfamilien in sich doch noch einige Schwankungen. Es sei davon Abstand ge-

Gestein	Autoren	Herkunft	E-Modul mal 10 ¹¹ im CGS-System	E-Modul in kg/cm ² mal 1000	Kieselsäure- gehalt o/o	Poren- volumen o/o	Gefüge
Zweigliedergranit	A. u. C.	Stanstead	3.92	—	—	—	feinkörnig
Granit	B.	Jannowitz	4.15	375—472	76.28—75.21	0.2	mittelkörnig
"	B.	Dresden	4.36	418—468	66.01	0.2	"
Biebeckitgranit	A. u. C.	Quincy 1	4.64	—	73.93 **)	—	ziemlich grob
Granit	A. u. C.	Baveno	4.71	—	—	—	mittelkörnig
"	A. u. C.	Westerly	5.09	—	72.26 ***)	—	sehr fein
"	A. u. C.	Lily Lake	5.63	—	—	—	ziemlich grob
"	A. u. C.	Quincy 2	5.68	—	73.93 ***)	—	" "
"	A. u. C.	Peterhead	5.71	—	—	—	" "
"	A. u. W.	Washington	6.03—7.76 *)	—	67.46 ***)	0.6	grobkörnig
"	A. u. W.	Westerly	6.87—7.31 *)	—	72.26 ***)	0.7	sehr fein, dicht
"	A. u. W.	Stone Mt. Granit	6.98—7.54 *)	—	71.66 ***)	0.6	feinkörnig
Syenit	A. u. C.	Montreal	6.29	—	—	—	fluidalartig, feinkörn.
"	B.	Dresden	6.71	678—692	60.52	0.2	mittelkörnig
"	B.	Freital	6.78	684—698	60.52	0.2	"
"	B.	Riesa-Gröba	8.63	889—872	51.75—51.93	0.2	mittel bis grob
Gabbro	B.	Neurode	9.14	964—900	51.88	0.4	} ziemlich grob, tektonisch beeinflusst und umgewandelt } sehr fein } Kataklasstruktur } parallel gerichtet
"	B.	Harzburg	9.60	988—969	49.32	0.1	
"	A. u. W.	New Glasgow	10.2—12.0 *)	—	44.67 ***)	—	
"	"	"	10.80	—	44.67 ***)	—	
Diabas	A. u. W.	New Jersey	7.64—10.6 *)	—	50.34 ***)	0.06	feinkörnig
"	B.	Niederwerk	7.93	816—802	44.16	0.2	ziemlich grob
"	B.	Niederkunnersdorf	8.72	899—881	50.26	0.04	verb. grob
Olivindiabas	A. u. C.	Sudbury	9.49	—	48.40 ***)	0.05	ziemlich grob
"	A. u. W.	"	10.1—11.4 *)	—	48.40 ***)	0.05	" "
Basaltlava	B.	Hanneb. Ley	3.56	386—339	39.54	5.7	feinkristallinisch
Basalt	A. u. W.	New Jersey	5.68—8.13 *)	—	51.84 ***)	0.9	dicht
Melaphyr	B.	Ingenhöhl	5.34	556—532	54.13—54.90	0.3	stark umgewandelt
Basalt	B.	Ostritz	11.15	1110—1160	40.56—44.06	0.3	sehr glasreich
Andesit	B.	Wolkenburg	2.74	329—229	62.38	1.4	grob porphyrisch
Porphyr	B.	Löbejün	3.58	357—337	70.85	1.3	" "
Sandstein	B.	Hamm	3.53	321—419	95—98	0.8	ziemlich fein
"	A. u. C.	Ohio	1.58	—	—	—	—
Anorthosit	A. u. C.	New Glasgow	8.25	—	—	—	gebändert
Essexit	A. u. C.	Mt. Johnson Quebec	6.71	—	48.85 †)	—	ziemlich grob

nommen, auf jedes Gestein einzeln noch einmal einzugehen, nur einige Unterschiede mögen hier gewürdigt werden. Bei den Graniten hat der Stanstead-Granit von Adams und Coker den geringsten Elastizitätsmodul, der auf den hohen Glimmergehalt und die Gleitung dieser Mineralien zurückzuführen ist. Wegen

*) E-Modul bestimmt bei 2000 und 10000 Megabar.

***) Analyse aus Rosenbusch, Gesteinselemente, S. 113, Analyse 6.

*) Analysen von Adams und Williamson, S. 482 u. ff.

†) Analyse aus Rosenbusch, Gesteinselemente, S. 218, Analyse 9.

seines feinkörnigen Gefüges war solches Verhalten nicht zu erwarten, denn man sieht, daß der feinkörnige Stone-Mt.-Granit fast den doppelten Wert für *E* erreicht.

Sieht man von den von Adams und Williamson untersuchten Graniten ab, die bei besonders hohen Drucken (10000 Megabar) geprüft worden sind, so findet man, daß die Granite von Jannowitz, Dresden, Baveno und Quincy I gut beieinander liegen. Die ersten drei haben mittelkörniges Gefüge, Quincy I dagegen ist von ziemlich grobem Korn. Dann folgen die Granite: Westerly, Lily Lake, Quincy II und Peterhead. Peterhead und Lily Lake, die von ziemlich grobem Korn sind, ähneln sich auch sonst sehr in der petrographischen Beschaffenheit. Der Einfluß des Druckes, bei dem der Elastizitätsmodul bestimmt wurde, kommt bei Gegenüberstellen der gleichen Gesteine gut zum Ausdruck.

	Adams u. Coker	Adams u. Williamson
Westerly-Granit	509 . 10 ¹¹	687—731 . 10 ¹¹

Bei den Syeniten paßt der Montreal-Syenit gut hinein.

In der Gabbroreihe sieht man am New Glasgower Gabbro wieder den Unterschied zwischen den bei niederen und höheren Drucken gefundenen Werten.

	Adams u. Coker	Adams u. Williamson
New Glasgower Gabbro	10.80 . 10 ¹¹	10,2—12.0 . 10 ¹¹

Während der Harzburger Gabbro durch mineralogische Umwandlung einen Zuwachs an Zähigkeit erhalten hat, ist beim New Glasgower Gabbro der außergewöhnlich hohe Wert des Elastizitätsmoduls auf die Kataklaststruktur im Gestein zurückzuführen, eine Erscheinung, die noch in höherem Maße zur Verbesserung des *E*-Moduls beigetragen hat. Außerdem kann auch der geringere Kieselsäuregehalt verantwortlich gemacht werden.

Die Diabase zeigen auch gewisse Unterschiede, und zwar liegt der Sudburyer Diabas über dem von Niederkunnersdorf. Der Grund hierfür liegt im niederen Kieselsäuregehalt und sehr wahrscheinlich auch daran, daß der Sudbury-Diabas etwas feineres Korn hat als der von Niederkunnersdorf. Der hohe von Adams und Williamson gefundene Elastizitätswert findet seine Erklärung wie oben in dem höheren Druck und an der anderen Versuchsausführung. Der Pallisadeniabas von New Jersey hingegen läßt sich gut eingliedern.

Einen deutlichen Unterschied zeigen die beiden Sandsteine. Der ältere Sandstein (Carbon) zeigt einen höheren, mehr als doppelt so großen Elastizitätswert als der Sandstein von Ohio.

Zum Schluß noch einige Worte über die Bedeutung des Elastizitätsmoduls für die natürlichen Gesteine. Es braucht eigentlich gar nicht gesagt zu werden, daß die Bestimmung und die Kenntnis der elastischen Konstanten von Naturgesteinen auch für den modernen Straßenbau und die Eisenbahnbeschotterung — beides Dinge, die im Zenit des Interesses stehen — von allergrößter Bedeutung sind und daß auf diesen Gebieten den elastischen Eigenschaften der

Gesteine nachgegangen werden muß, um auf solche Weise in die Materie einzudringen.

Nicht laut genug kann die Forderung erhoben werden, auch von Naturgesteinen, ähnlich wie es schon seit langem bei Stahl und Eisen geschieht, den Elastizitätsmodul zu bestimmen und auch Gesteine auf ihren Widerstand gegen schwingende Beanspruchungen zu prüfen. Auf diesem Wege wird es möglich sein, die technische und wirtschaftliche Aufgabe zu lösen, das Material zu finden, das den erhöhten Ansprüchen, die die vermehrten und höheren Verkehrslasten stellen, gewachsen ist.

Über den Horizontalabstand von Pendelstationen

Von Robert Schwinner

Für die geologische Deutung ist es wesentlich, daß die Differenz zwischen zwei benachbarten Schwerestationen nie das falsche Vorzeichen bekomme. Daher wird vorgeschlagen, die Pendelstationen im Querprofil nicht näher aneinander zu rücken, als daß die mutmaßliche Differenz das 6-fache des mittleren Fehlers der einzelnen Messung ist.

Das Netz von Schwerestationen, wie es uns von den älteren Vermessungen her vorliegt, kann sozusagen als „zufällig“ in der Auswahl der Stationsorte bezeichnet werden; wenigstens in geologischer Hinsicht sind systematische Beeinflussungen dabei nicht im Spiele gewesen. Den Horizontalabstand der Pendelstationen zu diskutieren, war da wenig Anlaß, man mußte zufrieden sein, wenn man überhaupt welche antraf. Erst in neuerer Zeit ist diese Frage aufgeworfen worden, anscheinend zuerst im Gefolge von bergmännischen Untersuchungen. Aber auch bei den neueren Landesvermessungen spielt dieses Problem bereits eine Rolle. Die Aufgabe, in einem konkreten Falle eine Art geologischer Prognose zwecks Auswahl der Stationen auszuarbeiten, führte mich darauf, diese Frage auch vom Gesichtspunkt der regionalgeologischen Deutung der Schweremessungen aus zu betrachten.

Die Binsenwahrheit, daß viele Messungen besser sind als wenige und immer irgendwie zu einer Erhöhung der Genauigkeit verwendet werden können, muß natürlich auch für die Häufung von Pendelstationen gelten; aber es gibt da einige Einschränkungen. Liegen die Stationen z. B. sehr nahe zusammen, so wird man zwischen die zickzack gestreuten Punkte leicht eine kontinuierliche Kurve des g -Verlaufes interpolieren können, welche die Unsicherheit der einzelnen Messung weitgehend korrigiert. Wie das bei einer etwas geringeren, wenn auch immer noch großen Stationsdichte steht, ob da in der Ermittlung der sonst noch unbekanntenen Kurve nicht auch prinzipielle Unsicherheiten auftreten können, ist eine offene Frage — die aber offen bleiben kann; denn eine solche Häufung von Pendelstationen