Dichtebestimmung im anstehenden Gestein durch Messung der Schwerebeschleunigung in verschiedenen Tiefen unter Tage

Von **Heinrich Jung**, Clausthal. — (Mit 1 Abbildung)

Im Wilhelmsschacht bei Clausthal wurde versucht, durch Schweremessungen mit dem Thyssen-Gravimeter das natürliche Raumgewicht des anstehenden Gesteins zu bestimmen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen wird mitgeteilt. Die durch Schweremessungen ermittelten Dichten stimmen befriedigend überein mit den Ergebnissen von Vergleichsmessungen an Gesteinshandstücken, die den Strecken unter Tage entnommen wurden.

Einleitung. Auf die Schwierigkeiten, die der Ermittlung des natürlichen Raumgewichts von Gesteinen durch Dichte- und Porositätsbestimmungen an Handstücken im Wege stehen, wurde schon mehrfach hingewiesen*), und es liegt nahe, nach einem Wege zu suchen, der diese Schwierigkeiten umgeht. Am geeignetsten dürfte wohl ein Verfahren sein, bei dem eine Entnahme von Handstücken nicht notwendig ist und die Dichtebestimmung im anstehenden Gestein selbst vorgenommen werden kann. Hierfür kommt die Messung der Schwerebeschleunigung in verschiedenen Tiefen unter Tage in Betracht. Wenn es nämlich gelingt, andere Störungsursachen auszuschalten oder wenigstens mit genügender Genauigkeit in Rechnung zu setzen, so läßt sich aus dem Unterschied der Schwerebeschleunigung unmittelbar über und unter einer Gesteinsplatte das mittlere natürliche Raumgewicht dieser Schicht bestimmen. Selbstverständlich wird dieser Weg wegen der vielfachen Störungsmöglichkeiten nur unter besonders günstigen Umständen Aussicht auf Erfolg haben. Wenn aber solche vorliegen, ist es durchaus möglich, zu einem brauchbaren Ergebnis zu kommen. Im folgenden soll über einen derartigen Versuch berichtet werden.

Der Gedanke, Schweremessungen in verschiedenen Tiefen zur Bestimmung von Gesteinsdichten zu verwenden, ist nicht neu. So hat z. B. kürzlich H. Lorenz**) ältere Pendelmessungen von Airy in Durham (England) und von v. Sterneck in Přibram (Böhmen), die diese jeweils an der Erdoberfläche und unter Tage in 383 m bzw. 972 m Tiefe durchgeführt haben, zu einer Abschätzung der Dichte der obersten Gesteinshülle verwendet. Daß ähnliche Versuche zur Bestimmung örtlicher Gesteinsdichten vorgenommen wurden, ist mir jedoch nicht bekannt, abgesehen von gelegentlichen Drehwaagemessungen unter Tage in Salzbergwerken, die allerdings einem anderen Zweck dienten, nämlich der Aufsuchung von Einschlüssen***). Wie dort genügend hervorgehoben wird,

*) Z. B. von H. Reich (Angewandte Geophysik für Bergleute und Geologen) und neuerdings von F. Breyer (Dichtebestimmungen an Gesteinen aus deutschen Erdölgebieten [Beitr. z. angew. Geophys. **7**, 245ff. (1938)]).

) Zeitschr. f. Geophys. **14, 142ff. (1938).

***) Z. B. A. Birnbaum (Kali 1924), O. Meisser u. F. Wolf [Zeitschr. f. Geophys. **6**, 13ff. (1930)].

macht sich bei solchen Drehwaagemessungen die Wirkung der Grubenhohlräume in der Nähe des Instruments sehr störend bemerkbar. Außerdem ist die Deutung der Meßergebnisse mitunter schwierig.

Bei Messungen der Schwerebeschleunigung hingegen spielt die Wirkung der Grubenbaue keine Rolle, falls man sich nicht unmittelbar über oder unter einem größeren Hohlraum befindet oder in nächster Nähe des Förderschachtes mißt. Sind überdies im Meßgebiet keine bedeutenderen Einschlüsse von erheblich abweichender Dichte vorhanden, so dürfte einer Bestimmung des natürlichen Raumgewichts im anstehenden Gestein keine wesentliche Schwierigkeit entgegenstehen, falls die Schweremessungen mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden können.

Theorie. Sieht man zunächst von der Erdkrümmung und der Unebenheit der Geländeoberfläche ab, setzt man überdies waagerechte Schichtung voraus, so gilt für die Schwerebeschleunigung $g_{(h)}$ in der Tiefe h unter der Erdoberfläche:

$$g_{(h)} = g_{(0)} + \frac{\partial g}{\partial h} \cdot h - 4\pi\varkappa \cdot \sum_0^h \delta\eta = g_{(0)} + \frac{\partial g}{\partial h} \cdot h - 4\pi\varkappa\,\delta_{m\,(0,h)} \cdot h.$$

Hierin ist:

$g_{(0)}$ die Schwerebeschleunigung an der Erdoberfläche senkrecht über dem Meßpunkt unter Tage,

$\varkappa$ die Gravitationskonstante,

$\delta_{m\,(0,h)}$ das mittlere natürliche Raumgewicht der Gesteinsplatte zwischen der Oberfläche und der Tiefe h,

δ, η Dichte und Dicke einer Gesteinsbank zwischen den beiden Beobachtungsorten.

Man erhält somit das mittlere Raumgewicht aus

$$\delta_{m\,(0,h)} = \frac{1}{4\pi\varkappa h} \cdot \left(g_{(h)} - g_{(0)} - \frac{\partial g}{\partial h} \cdot h\right).$$

Das letzte Glied in der Klammer stellt die Freiluftreduktion dar. Eine Breitenkorrektion ist hier nicht erforderlich. Ist die Geländefläche nicht eben, so ist vorher an den gemessenen Schwerewerten eine Geländekorrektion anzubringen.

Für eine Gesteinsplatte zwischen den Tiefen h_1 und h_2 ergibt sich in gleicher Weise:

$$\delta_{m\,(h_1,h_2)} = \frac{1}{4\pi\varkappa \cdot (h_2 - h_1)} \cdot \left(g_{(h_2)} - g_{(h_1)} - \frac{\partial g}{\partial h} \cdot (h_2 - h_1)\right).$$

Meßgelände und Ergebnis der Schweremessungen. Die Messungen wurden ausgeführt im Grubengelände des Wilhelmsschachtes bei Clausthal. Das Gestein dort ist bis in größere Tiefen sehr gleichmäßig (Culm-Grauwacke mit Schieferzwischenlagen), und störende Einschlüsse größeren Ausmaßes sind nicht bekannt.

Das nicht sehr starke Einfallen der Schichten soll bei diesem ersten Versuch nicht berücksichtigt werden. Für die Messungen erwies sich als günstig, daß die Grube stillgelegt ist und somit Betriebsstörungen nicht zu befürchten waren.

Die Schweremessungen wurden in dankenswerter Weise von der „Seismos" G. m. b. H., Hannover, mit dem Thyssengravimeter durchgeführt. Es wurden vier Meßpunkte ausgewählt, und zwar sämtliche in 50 m Entfernung vom Schacht, so daß eine Gravitationswirkung des Schachthohlraums auf die Gravimeter nicht in Frage kommt. Punkt A befindet sich an der Erdoberfläche, B in 105.6 m, C in 255.1 m und D in 351.4 m Tiefe. Es gelang, die Punkte A, C und D senkrecht übereinander zu legen (größte seitliche Verschiebung 5 m), während der Punkt B um 27 m nach Süden und 40 m nach Osten verschoben ist. Die Anlage der Stollen unter Tage erlaubte keine größere Annäherung von B an die übrigen Punkte. Eine Breitenkorrektur ist wegen der Kleinheit der Südverschiebung nicht erforderlich.

Aus den Stollen unter Tage wurde außerdem je ein Gesteinshandstück entnommen und von diesem die Dichte durch Wägung in Luft und Wasser bestimmt. Von besonderen Vorsichtsmaßregeln wurde abgesehen, da diese Dichtebestimmungen nur zum Vergleich mit den Auswertungsergebnissen dienen sollten und auch die Handstücke nur angenähert als Vertreter der angetroffenen Schichten angesehen werden können.

Das Ergebnis der Schweremessungen und Dichtebestimmungen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1

Meßpunkt	Höhe über NN in m	h in m	$g - g_{(A)}$ in mgal	Dichte
A	560.0	0	0	—
B	454.4	105.6	$+\ 9.36 \pm 0.12$	2.73
C	304.9	255.1	$+\ 21.81 \pm 0.23$	2.66
D	208.6	351.4	$+\ 30.08 \pm 0.27$	2.68

Auswertung. *a) Geländekorrektion.* Das Gelände in der Umgebung des Wilhelmsschachtes entspricht in keiner Weise den einfachen, der Theorie zugrunde gelegten Verhältnissen. Zwar liegt Clausthal auf einer Hochfläche, deren Rand sich in etwa 10 km Entfernung befindet. Doch ist diese Hochfläche stark von Tälern zerschnitten. Der Wilhelmsschacht selbst liegt nahe einer Talsohle etwa 40 m unterhalb der Hochfläche. Das Meßgelände ist also in unmittelbarer Nähe von Hügeln umgeben. In weiterer Entfernung sind der Hochfläche Berge aufgesetzt, deren Wirkung bei der hier erforderlichen Genauigkeit nicht zu vernachlässigen ist (Bocksberg-Schalke zwischen Hahnenklee und dem Okertal, 700 bis 800 m hoch; Bruchberg-Acker, 800 bis 900 m; Brockenmassiv, über 1100 m). Von großem Einfluß auf die Geländereduktion erweisen sich überdies die ausgedehnten Flachländer, die dem Harz vorgelagert sind und die zum Teil tiefer liegen als der tiefste Beobachtungsort im Wilhelmsschacht. Die Meßpunkte befinden sich also wohl im Innern des Harzblockes, aber keineswegs, wie es die Theorie voraussetzte, innerhalb des normalen Erdkörpers. Daher sind in diesem Falle umfangreichere Geländekorrektionsrechnungen nicht zu umgehen. Dabei ergaben sich eine Reihe beachtlicher Einzelheiten, so daß es sich wohl lohnt, etwas ausführlicher hierauf einzugehen. Es sei jedoch ausdrücklich bemerkt, daß es sich in dem hier vorliegenden Fall um ein für die Geländereduktion außerordentlich ungünstiges Gelände handelt und daß sich in flacherem Gelände diese Korrektion erheblich einfacher gestaltet.

Bei der Vielgestaltigkeit des Geländes erwies es sich am geeignetsten, das Gebiet um den Wilhelmsschacht, soweit zuverlässige Karten mit Höhenlinien zur Verfügung standen (bis zu 37 km Entfernung)*), in Kreisringe, und diese wiederum durch Radien zu zerlegen. Für jeden Ausschnitt wurde die mittlere Höhe abgeschätzt, sodann diese für jeden Kreisring wiederum gemittelt. Schließlich wurde mittels der genauen Formel für die Schwerewirkung eines Zylinderringes auf einen Punkt seiner Achse die Korrektion für die Meßpunkte A, B, C, D bestimmt**). Hierbei wurde das Gelände bis zur Höhe des Punktes A (560 m über NN) mit der Dichte 2.7 aufgefüllt bzw. abgetragen. Die Gravitationskonstante wurde zu $6.67 \cdot 10^{-8}$ CGS-Einheiten angenommen, entsprechend $4\,\pi\varkappa = 0.0838$ mgal$/[\delta \cdot h]$ (h in Metern). Die Erdkrümmung wurde berücksichtigt durch Verminderung der Meereshöhe der Grund- und Deckfläche bei jedem Zylinderring um die zu diesem gehörige Niveaudepression $s^2/2\,r$ (s = mittlerer Radius des Ringes, r = Erdradius).

Dieses Vorgehen ist insofern nicht ganz richtig, als die Vereinigung der Ausschnitte zu Kreisringen einen systematischen Fehler verursacht, indem sämtliche Beiträge der einzelnen Kreisringe zur Geländekorrektion algebraisch zu klein ausfallen. Dieser Mangel läßt sich durch eine einfache zusätzliche Korrektur beseitigen. Es wurde darauf geachtet, daß bei der gesamten Geländekorrektion der Fehler höchstens einige Hundertstel mgal beträgt. Wegen der Meßgenauigkeit der Gravimeter müssen sich die Zehntel mgal in den Korrektionen noch richtig ergeben, wenn bei der Fehlerabschätzung später die Korrektionsfehler unberücksichtigt bleiben sollen. Demgemäß wurden, um Abrundungsfehler zu vermeiden, bei den Korrektionsrechnungen noch die Tausendstel mgal berücksichtigt.

Das Ergebnis der Geländekorrektion bis zu 37 km Entfernung zeigt Tabelle 2. Sämtliche Werte sind auf zwei Dezimalen abgerundet.

---

*) Es wurden benutzt: Bis zu 1.5 km Entfernung die Grundkarte des Deutschen Reiches 1 : 5000, bis zu 6.5 km Meßtischblätter 1 : 25000, bis zu 24 km Entfernung eine Wanderkarte des Harzes 1: 50000 und bis zu 37 km eine Übersichtskarte des Harzes 1 : 150000. Letztere hatte allerdings keine Höhenlinien, doch reichten die Höhenangaben zur Geländekorrektion aus.

**) Diese Formel läßt sich durch Reihenentwicklung und Abbrechen nach dem linearen Glied noch vereinfachen, wenn die Entfernung genügend groß gegenüber der Stationstiefe und der Höhe des Zylinderringes ist. Die Zulässigkeit dieser Vereinfachung muß von Fall zu Fall geprüft werden. Wenn möglich, wurde davon Gebrauch gemacht.

Tabelle 2. Geländekorrektion bis zu 37 km Entfernung

Meßpunkt	0—1,5 km mgal	1,5—6,5 km mgal	6,5—24 km mgal	24—37 km mgal	Summe mgal
A	+ 0.04	+ 0.03	+ 0.27	+ 0.10	+ 0.44
B	+ 0.42	+ 0.01	+ 0.11	+ 0.05	+ 0.59
C	+ 0.72	— 0.02	— 0.11	— 0.02	+ 0.57
D	+ 0.80	— 0.04	— 0.26	— 0.06	+ 0.43

Es sei bemerkt, daß bei der Berechnung der Geländekorrektion die hier angegebenen Ringe noch mehrfach unterteilt wurden. Eine mehr ins einzelne gehende Wiedergabe würde hier jedoch zu weit führen.

Beachtenswert ist die starke Zunahme der Korrektion im innersten Ring mit wachsender Tiefe des Beobachtungsorts. Der Anziehungsvektor eines Massenelements auf den Meßpunkt ist um so steiler, je tiefer letzterer liegt. Dies kann die vermindernde Wirkung der größeren Entfernung überkompensieren. Die negativen Korrektionsbeiträge der übrigen Ringe auf die in größerer Tiefe gelegenen Meßpunkte *C* und *D* kommen daher, daß über dem Stationsniveau Täler aufzufüllen sind, deren Wirkung durch die wegzunehmenden höheren Berge vermindert, aber nicht aufgehoben wird. Man sieht, daß sich die Verteilung der positiven und negativen Korrektionsbeiträge im einzelnen wohl erklären und übersehen läßt. Doch greifen die Wirkungen derart übereinander, daß es bei einem Gebiet, wie es hier vorliegt, schwer sein wird, vor Ausführung der Korrektionen zu entscheiden, an welcher Stelle Vernachlässigungen und Vereinfachungen der Rechnung möglich sind.

Die Geländeform in größerer Entfernung als 37 km, deren Wirkung, wie sich weiter unten herausstellt, keineswegs vernachlässigt werden kann, wurde großzügiger behandelt. Zunächst wurden die aufzufüllenden Massen in Meereshöhe kondensiert angenommen, und außerdem nur der Unterschied zwischen den Wirkungen auf den betrachteten Meßpunkt und den Bezugspunkt *A* (über Tage), der im folgenden allein verwendet wird, berechnet. Für eine Kugelkappe in Meereshöhe mit der Flächendichte σ, die von der längs der Erdoberfläche gemessenen Entfernung a bis zum Gegenpunkt reicht, ergibt sich durch Reihenentwicklung aus der von F. R. Helmert (Höhere Geodäsie II) angegebenen Formel für eine sphärische Kreisscheibe und Abbrechen nach den linearen Gliedern als Wirkung auf einen Meßpunkt in der Achse mit der Meereshöhe H der Ausdruck

$$2\pi\varkappa\sigma\cdot\left(1+\frac{H}{a}-2\cdot\frac{H}{r}-\frac{a}{2r}\right),$$

worin r den Erdradius bedeutet. Der Unterschied der Schwerewirkungen für zwei senkrecht übereinanderliegende Achsenpunkte mit den Höhen H_1 und H_2 wird demnach

$$2\pi\varkappa\sigma\cdot\left(\frac{1}{a}-\frac{2}{r}\right)\cdot(H_2-H_1).$$

Für eine Kugelzone zwischen den Entfernungen a_1 und a_2 ergibt sich entsprechend:

$$2\pi\varkappa\sigma\cdot\left(\frac{1}{a_1}-\frac{1}{a_2}\right)\cdot(H_2-H_1).$$

Da nur die Differenz $H_2 - H_1$ in diesen Formeln vorkommt, ist die Kondensation in Meereshöhe gerechtfertigt (es könnte auch irgendein anderes Niveau gewählt werden). Die Vernachlässigung, die hiermit verbunden ist, macht sich erst in den höheren Gliedern der Reihenentwicklungen bemerkbar. Daß diese Glieder wegfallen können, wurde durch einfache numerische Abschätzungen geprüft.

Um festzustellen, bis zu welcher Entfernung das Erdrelief berücksichtigt werden muß, wurde zunächst für die entferntesten Teile der Erdkruste zur Bestimmung der Flächendichte σ die Dicke der hinzuzufügenden Schicht von der Dichte 2,7 bestimmt. Die mittlere Meerestiefe beträgt 2700 m *), entspricht also 1000 m Gestein von der Dichte 2.7. Das mittlere Niveau des festen Landes liegt 2450 m unter NN*), und man kommt demnach durch Auflagerung der dem Meerwasser entsprechenden 1000 m Gestein zu einem mittleren Niveau für die Oberfläche der vorhandenen Massen von 1450 m unter NN. Da die Bezugshöhe, bis zu welcher bei der Geländereduktion Massen aufzufüllen sind, 560 m über NN liegt, ist also eine Gesteinsplatte von rund 2000 m Dicke hinzuzufügen. Der innere Radius a der bis zum Gegenpunkt reichenden Kugelkappe wurde nun so bestimmt, daß der Unterschied ihrer Wirkungen auf den tiefsten und höchsten Meßpunkt (A und D) gerade 0,1 mgal beträgt. Es ergibt sich: $a = 637$ km**). Man sieht, daß noch recht entfernte Gebiete beachtliche Wirkungen ausüben, und daß sie, wenn auch nur in großen Zügen, berücksichtigt werden müssen. Bei den übrigen Meßpunkten wurde nach dem gleichen vereinfachten Verfahren die Geländekorrektion für dieses äußerste Gebiet berechnet.

Das Gebiet zwischen 37 und 637 km wurde wieder in mehrere Kugelzonen geteilt und für jede Zone die mittlere Dicke der aufzufüllenden bzw. abzutragenden Massen und hieraus die Flächendichte σ bestimmt. Hier genügt eine rohe Abschätzung mittels einer Übersichtskarte von Europa.

Das Gesamtergebnis der Geländekorrektion zeigt Tabelle 3. Die Werte der ersten Spalte (0 bis 37 km) ergeben sich unmittelbar aus der letzten Spalte der

Tabelle 3. Unterschied der Geländekorrektion für die Meßpunkte B, C und D gegenüber der Station A (über Tage)

Meßpunkt	0—37 km mgal	37—637 km mgal	über 637 km mgal	Summe mgal
B	+ 0.15	— 0.10	— 0.03	+ 0.02
C	+ 0.13	— 0.24	— 0.07	— 0.19
D	— 0.01	— 0.34	— 0.10	— 0.44

*) Entnommen aus E. Tams: Grundzüge der physikalischen Verhältnisse der festen Erde. I, S. 9—10, abgerundet auf ganze 50 m.

**) Nur zufällig ein Zehntel des Erdradius.

Tabelle 2 durch Subtraktion des Wertes in der ersten Zeile (Meßpunkt A) von den übrigen. Abweichungen in der letzten Stelle beruhen darauf, daß sämtliche hier wiedergegebenen Zahlen auf zwei Dezimalen abgerundet sind.

Die letzte Spalte liefert die endgültigen Geländekorrektionen. Wie man sieht, dürfen die Gebiete außerhalb 37 km nicht unberücksichtigt bleiben, wenn die Zehntel mgal sich richtig ergeben sollen.

Zum Vergleich seien noch die Werte angegeben, die man unter Vernachlässigung der Erdkrümmung erhält. Die Rechnungen vereinfachen sich dadurch nur ganz unwesentlich. Im Innengebiet bis zu 37 km fällt nur die Berücksichtigung der Niveaudepression weg. Im Zwischengebiet (37 bis 637 km) tritt keine Änderung ein, da die oben angegebene Formel den Erdradius nicht enthält, und bei dem Außengebiet fällt lediglich das Glied $2/r$ in der ersten Klammer weg (wegen $r = \infty$). Numerisch ergeben sich für das Innengebiet nur Abweichungen in den Tausendsteln mgal, im Außengebiet nur in den Hundertsteln. Als Schlußergebnis erhält man die Werte + 0.01 mgal (B), — 0.21 mgal (C), — 0.47 mgal (D), die von den oben angegebenen nur wenig verschieden sind. Man hätte hier also auch die Erdkrümmung vernachlässigen können. Aber, wie schon gesagt, ist eine erhebliche Arbeitsersparnis damit nicht verbunden. Ferner sei bemerkt, daß diese geringen Abweichungen zwischen der Rechnung mit und ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung nur dadurch entstehen, daß es sich um die Unterschiede zwischen einem Meßpunkt unter Tage und der Station A handelt. Die Abweichungen für die Geländekorrektion einer einzelnen Station sind auch im Innengebiet gelegentlich von der Größenordnung von einigen Hundertsteln mgal und können sich in ungünstigen Fällen soweit anhäufen, daß die Zehntel mgal davon noch beeinflußt werden. Handelt es sich also bei anderer Gelegenheit um die Berechnung der Geländekorrektion mit einer Genauigkeit von einem Zehntel mgal für einen Meßort über oder unter Tage, so darf nicht ohne nähere Prüfung auf die Berücksichtigung der Erdkrümmung verzichtet werden. Im folgenden werden die Werte der Tabelle 3 verwendet.

b) Freiluftreduktion. Auch hier ist angesichts der Meßgenauigkeit der Gravimeter einige Vorsicht geboten. In der Literatur sind für $\partial g/\partial h$ verschiedene Werte angegeben, die zwischen 0.308 und 0.310 mgal/m liegen. In der Praxis wird wohl meist der Wert 0.3086 mgal/m verwendet (H. Reich, Angewandte Geophysik für Bergleute und Geologen I, S. 13). Da bei einem Höhenunterschied von über 350 m eine Einheit der vierten Dezimalen immerhin noch knapp 0.04 mgal ausmacht, muß auf genauere Ermittlung dieser Stelle Wert gelegt werden, wenn die Freiluftreduktion sich in den Zehntel mgal noch richtig ergeben soll. Dies gelingt leicht durch die Formel von F. R. Helmert*):

$$\frac{\partial g}{\partial h} = \frac{2g}{r_0} \cdot (1 + \mathfrak{a} + \mathfrak{c} - 2\,\mathfrak{a} \cdot \sin^2 B),$$

*) Höhere Geodäsie II, S. 96, Formel (12). Hier mit umgekehrtem Vorzeichen, weil h nach unten positiv angenommen ist.

worin g die Schwere am Beobachtungsort, r_0 den Äquatorradius der Niveaufläche durch den Beobachtungsort, B die geographische Breite, $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{c}$ die aus dem Clairautschen Theorem bekannten Größen bedeuten. g ergibt sich genügend genau aus dem in der Tabelle von O. Meisser *) angegebenen Wert der Normalschwere für $B = 51^0 48'$, der Meereshöhe 560 m und der Gesteinsdichte 2,7 zu 981.12 cm/sec². Unter Verwendung von $r_0 = 6379.0$ km, $\mathfrak{a} = 0{,}003\,368$, $\mathfrak{c} = 0.003\,468$ **) erhält man schließlich:

$$\frac{\partial g}{\partial h} = 0{,}3084 \text{ mgal/m}.$$

Mit diesem Wert wurde die in Tabelle 4 angegebene Freiluftreduktion berechnet.

c) Bestimmung des natürlichen Raumgewichts. Zunächst ist festzustellen, ob das der Preyschen Reduktion entsprechende Glied $-4\pi\varkappa\delta_m \cdot h$ in der theoretischen Formel für $g_{(h)}$ noch einer Korrektur bedarf wegen der Erdkrümmung. Da die Geländekorrektion zu einer Kugel führte, die bis zur Höhe von 560 m über NN mit Masse erfüllt ist, müßte man streng genommen auch hier sphärisch rechnen, d. h. die Schwereänderung beim Eindringen in eine Kugel der Auswertung zugrunde legen. Dies ist jedoch bei der Kleinheit der hier vorkommenden Tiefen gegenüber dem Erdradius nicht erforderlich, wie man leicht nachweist, indem man die sphärische Formel nach h/r entwickelt, nach dem linearen Glied abbricht (wobei sich die „ebene" Formel ergibt) und den Einfluß der vernachlässigten höheren Glieder abschätzt. Man kann demnach die oben angegebene Formel unmittelbar verwenden.

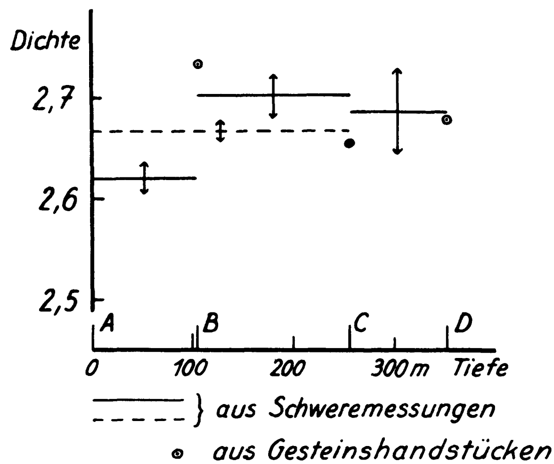

Fig. 1. Dichtebestimmung im Wilhelmsschacht bei Clausthal

Das Ergebnis ist in Tabelle 4 zusammengestellt.

Die angegebenen Werte für δ_m beziehen sich jedesmal auf die Gesteinsplatte zwischen aufeinanderfolgenden Meßpunkten, wie es die Klammern in Tabelle 4 andeuten. Sie sind in der Figur 1 durch waagerechte ausgezogene Striche dargestellt.

*) Zeitschr. f. Geophys. **12**, 63—64 (1936).

**) H. Schmehl: Handb. d. Experimentalphysik XXV, 2. — Der Wert für r_0 wurde um 0.6 km vergrößert, weil hier die Niveaufläche durch den 560 m hoch gelegenen Beobachtungsort gebraucht wird.

Tabelle 4

Meßpunkt	h in m	$g - g_{(A)}$ in mgal	Geländekorrektion in mgal	$-\frac{\partial g}{\partial h}\cdot h$ in mgal
A	0	0	0	0
B	105.6	$+\ 9.36 \pm 0.12$	$+\ 0.02$	$-\ 32.57$
C	255.1	$+\ 21.81 \pm 0.23$	$-\ 0.19$	$-\ 78.68$
D	351.4	$+\ 30.08 \pm 0.27$	$-\ 0.44$	$-\ 108.38$

Meßpunkt	$g' - g'_{(A)} - \frac{\partial g}{\partial h}\cdot h$ in mgal	Unterschied in mgal	Δh in m	$\delta_m = \frac{\text{Unterschied}}{0{,}0838 \cdot \Delta h}$	Dichte aus Handstücken
A	0	$-\ 23.19 \pm 0.12$	$-\ 105.6$	2.620 ± 0.014	—
B	$-\ 23.19$	$-\ 33.87 \pm 0.26$	$-\ 149.5$	2.703 ± 0.021	2.73
C	$-\ 57.06$	$-\ 21.68 \pm 0.35$	$-\ 96.3$	2.686 ± 0.043	2.66
D	$-\ 78.74$				2.68

Die senkrechten Doppelpfeile geben die in Tabelle 4 angeführten Fehlergrenzen an. Diese sind aus den von der „Seismos" angegebenen und in Tabelle 1 sowie Tabelle 4 wiedergegebenen Fehlergrenzen der Gravimetermessungen berechnet, wobei die Höhen und die Reduktionen als fehlerfrei angesehen wurden. Die Kreise in der Figur entsprechen den aus den Gesteinshandstücken bestimmten Dichten.

Für einen ersten Versuch dieser Art ist das Ergebnis recht befriedigend. Sieht man zunächst von dem geringen Wert für die oberste Gesteinsplatte ab, so stimmen die errechneten δ_m ziemlich gut mit den aus den Handstücken bestimmten Dichten überein. Insbesondere ist $\delta_{m\,(B,\,C)}$ ungefähr das arithmetische Mittel der Dichten der aus B und C entnommenen Handstücke. Der niedrige Wert von $\delta_{m\,(A,\,B)}$ kann möglicherweise reell und von leichteren Gesteinsbänken in der Nähe der Oberfläche verursacht sein. Doch könnte auch eine ungenaue Messung im Punkt B vorliegen, obwohl die „Seismos" gerade hier den kleinsten Fehler angibt. Auf dieser Sohle war die Aufstellung des Instrumentes am schwierigsten (enger Stollen, feuchter Boden mit viel Geröll). Möglicherweise spielt auch der Umstand eine Rolle, daß dieser Punkt nicht senkrecht über bzw. unter den anderen lag.

Läßt man die Messung im Punkt B unberücksichtigt, so errechnet man für die Gesteinsplatte von der Tagesoberfläche bis zum Meßpunkt C ein mittleres Raumgewicht $\delta_{m\,(A,\,C)} = 2.668 \pm 0.011$. Dieses ist in der Figur gestrichelt eingetragen. Es stimmt besser mit $\delta_{m\,(B,\,C)}$ und $\delta_{m\,(C,\,D)}$ überein. Allerdings fällt dann die aus dem Handstück für B bestimmte Dichte etwas mehr aus dem Rahmen heraus als vorher. Doch möchte ich diesem Umstand nicht allzuviel Gewicht beilegen.

Berechnet man rückwärts aus $\delta_{m\,(A,\,C)}$ den Unterschied der Schwere in B gegenüber derjenigen in A, so ergibt sich: $g_{(B)} - g_{(A)} = +\ 8{,}93 \pm 0.10$ mgal, was ungefähr $^1/_2$ mgal kleiner ist als der gemessene Wert ($+\ 9.36 \pm 0.12$ mgal) und auch außerhalb der angegebenen Fehlergrenzen liegt.

Zusammenfassung. Es werden die Ergebnisse eines Versuchs mitgeteilt, durch Messung der Schwerebeschleunigung an mehreren möglichst senkrecht übereinanderliegenden Punkten an der Erdoberfläche und unter Tage die mittlere natürliche Raumdichte der Gesteinsplatten zwischen den Meßpunkten zu bestimmen. Voraussetzung hierbei ist, daß keine größeren Gesteinseinschlüsse von erheblich abweichender Dichte im Meßgebiet vorhanden sind. Diese Bedingung kann bei den Versuchen im Wilhelmsschacht bei Clausthal als erfüllt angesehen werden. Ungünstig wirkt sich hier lediglich das sehr gebirgige Gelände aus, indem es zu umfangreichen Geländekorrektionsrechnungen zwingt. Die errechneten Raumgewichte sind meist in guter Übereinstimmung mit den durch Wägung in Luft und Wasser bestimmten Dichten einiger aus den verschiedenen Sohlen unter Tage entnommener Gesteinshandstücke.

Zum Schluß möchte ich Herrn Professor W. Schulz-Clausthal (Institut für Bergbau) meinen besten Dank aussprechen für die Anregung zu dieser Untersuchung, vor allem aber der „Seismos“ G. m. b. H., Hannover, dafür, daß sie einen Gravimetertrupp zur Verfügung stellte, der die Messungen unter Leitung von Herrn Dr. Barnitzke durchführte, ferner der Preußischen Bergwerks- und Hütten-A. G. für die Erlaubnis, die Messungen im Wilhelmsschacht vorzunehmen und für die freundliche Überlassung von Grubenrissen und anderen markscheiderischen Vermessungsergebnissen, Herrn Professor Dr. O. Rellensmann-Clausthal (Institut für Markscheidekunde), Herrn Dipl.-Ing. H. Heyll und Herrn R. Fähmel für ihre Hilfe bei der Ausführung markscheiderischer Ergänzungsmessungen.

Clausthal, Physikalisches Institut der Bergakademie, September 1938.

Diskussionsbemerkung zum Vortrage von H. Jung

M. Rössiger, Potsdam, macht den Vorschlag, das Problem der Schwereverteilung bei verschieden großen Überdeckungen von der umgekehrten Seite aus anzufassen und als Deckschicht ein Medium von genau bekannter Dichte, Meerwasser, zu wählen. Es könnten bei dem heutigen Stande der Meßtechnik, z. B. mit dem statischen Schweremesser von Graf (Askania-Werke, Berlin) auf dem Grunde der Meere Messungen ausgeführt werden. Damit wäre ferner wertvolles Beobachtungsmaterial über die Verteilung der Erdschwere gewonnen.