

**Zeitschrift:** Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft =  
Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della  
Società Elvetica di Scienze Naturali

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 115 (1934)

**Vereinsnachrichten:** Sektion für Ingenieurwissenschaften

**Autor:** [s.n.]

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

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

## 15. Sektion für Ingenieurwissenschaften

Gemeinsame Sitzung der Geologen, Petrographen und Ingenieure

Freitag, 7. September 1934

Präsidenten: Prof. Dr. E. MEYER-PETER (Zürich)

Prof. Dr. P. NIGGLI (Zürich)

Aktuar: Dr. F. DE QUERVAIN (Zürich)

### 1. H. E. GRUNER (Basel). — *Probleme aus der Erdbaumechanik.*

Unter Erdbaumechanik wird die Baumechanik kohärenter Materialien verstanden. Ein kohärentes Material ist ein loses Material, das durch innere Kräfte, wie Adhäsion der feinen Teile, Kapillarkräfte in dem in den Kapillarräumen gebundenen Wasser und elektrische Kräfte zusammengehalten wird, so dass seine physikalischen Eigenschaften besonders studiert werden müssen, wenn dieses Material für schwierige Bauten zur Verwendung kommt. Die früher angewendete Siebanalyse und auch die petrographische Untersuchung allein genügen nicht. Einzelne Teile, wie die reinen Tonpartikelchen, sind von Forschern nach der Debye/Scherrerschen Methode mittelst Röntgenstrahlen erforscht worden und haben hierbei interessante Eigenschaften über Trockenschwindung, Plastizität und Trockenfestigkeit als Funktion der Wasserbindungsfähigkeit der an der Kristalloberfläche der Tonteilchen adsorbierten Kationen ergeben, dagegen sind bei dem kohärenten Material, wie es für den Erdbau in Frage kommt, nicht nur reine Tonpartikelchen, sondern Teilchen sehr verschiedener Grösse.

Die Eigenschaften des Porenwassers in bezug auf Druck und Festigkeit des Materials sind durch Versuche festzustellen, ebenso die Scherfestigkeit, wobei beim Abscheren das Material unter einen bestimmten Druck und auch eine bestimmte Porenwasserspannung zu setzen ist.

Gewisse Forscher untersuchen auch die Konsistenzgrenze, so Atterberg durch Auswalzen und Kneten, während der Referent empfiehlt, das Material auf dem auch für Betonuntersuchungen gebrauchten Rütteltisch auf das Ausbreiten eines Blechkegels von 7 cm Höhe und 15 cm unterem Durchmesser zu untersuchen und dadurch festere Vergleichswerte für die Konsistenz aufzustellen.

Ausserdem hat der Referent das Material in bezug auf seine elektrische Leistungsfähigkeit untersucht, indem in einem Ebonitzylinder Material eingefüllt worden ist und der Widerstand von Wechselstrom, der in der Richtung des Druckes und senkrecht zum Druck durchgeführt worden ist, genau festgestellt wurde. Diese Untersuchungen

zeigten, dass bei einem bestimmten Wassergehalt und bei einem bestimmten Druck ein Minimum des elektrischen Widerstandes erreicht werden kann. Material mit grösstem Schubwiderstand wies auch den grössten elektrischen Widerstand auf. Bei zunehmendem Druck ist ein deutlicher Unterschied in dem elektrischen Widerstand, in der Richtung des Druckes und senkrecht dazu, zu beobachten, was wohl durch die blättrige Form der feinsten Teile und deren Orientierung durch den Druck erklärt werden kann.

**2 a.** MAURICE LUGEON (Lausanne). — *La mise en eau du barrage de Sarrans.*

Le barrage de Sarrans, sur la Truyère, en France, est haut de 110 mètres, de type gravité légèrement incurvé ; il a un cube de béton de 451,000 m<sup>3</sup>. Il est implanté dans un granite, coupé par des diaclases qui débitent la roche en gros parallélépipèdes. En outre des cassures peu nombreuses sillonnent la surface de fondation. Elles sont caractérisées par des filonnets d'argile de 1 à 3 cm d'épaisseur.

Le voile normal d'injection a consisté en 81 forages d'une longueur moyenne de 34,65 m. Il a été injecté 664.855 kg de ciment.

A la mise en eau, qui a été faite cette année, exception faite de faibles pertes qui se sont fait sentir par les joints du barrage, la totalité de pertes par rocher a été de 79,5 litres-minutes, valeur qui est tombée six mois après à 48. C'est là un très beau résultat.

**2 b.** MAURICE LUGEON (Lausanne). — *Utilité de l'auditohmmètre pour l'étude des pertes de barrages.*

On sait que plus une eau contient de sels en dissolution, plus elle est conductrice. Cette propriété est bien connue et a été utilisée assez souvent par les géologues qui s'intéressent à des recherches sur les eaux souterraines. Toutefois cette méthode est peu entrée dans la pratique simplement parce que les instruments n'étaient pas facilement transportables. Depuis quelques années, la maison Chauvin et Arnoux à Paris, à la demande du personnel technique qui s'occupe de l'alimentation en eau potable de cette ville, a construit un appareil léger et robuste facilement transportable. A l'instigation de M. Willemin, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, je me suis mis à utiliser cet auditohmmètre pour l'étude des pertes de retenues et tous deux nous en avons conseillé l'emploi dans de nombreux barrages.

On sait que lorsque l'on met un barrage en charge, il est fréquent de constater des pertes. Avant l'utilisation de l'auditohmmètre, il était nécessaire de faire une analyse chimique de chacune de ces pertes et de les comparer avec l'analyse chimique de l'eau de la retenue, et de répéter très souvent ces opérations. Or une analyse est toujours coûteuse et il faut attendre quelques jours avant de posséder les résultats du chimiste. De sorte que j'ai constaté que les intéressés ne tardent pas à abandonner ces recherches ce qui est souvent fort regrettable pour de multiples raisons.

Avec l'emploi de l'auditohmmètre on obtient un résultat immédiatement et rien n'empêche de renouveler l'opération aussi souvent que l'on en juge la nécessité puisque la dépense ne consiste plus que dans le payement de l'opérateur.

Bien entendu, il est nécessaire de posséder au début une série d'analyses chimiques. Pour les barrages, on peut se contenter de la teneur de la chaux. Avec une dizaine d'analyses tout au plus, en connaissant la résistivité électrique de l'eau analysée, on a bien assez de données pour construire une courbe et déterminer ensuite la teneur en chaux, par interpolation.

On ne se contentera pas d'une seule analyse de l'eau de la retenue car j'ai constaté à plusieurs reprises que la composition de l'eau d'une retenue varie avec la profondeur. La conductibilité est presque toujours plus grande en profondeur qu'en surface. Il peut y avoir parfois inversion. Il est entendu également que la résistivité étudiée sera celle d'eaux à température fixée et on a pris l'habitude de ramener la résistivité à celle d'une eau à 18 degrés.

En ayant soin de construire des courbes de débit de chaque perte, de leur résistivité, de leur température, du niveau dans la retenue, on obtient parfois des résultats surprenants et tout à fait inattendus. L'expérience m'a montré qu'il était suffisant de faire la récolte de ces observations deux fois par mois et cela pendant plusieurs années. Parmi les résultats capitaux que l'on obtient c'est la perte totale en chaux d'un barrage pendant un temps déterminé. Cette décalcification pourra se montrer croissante ou diminuante dans le temps et souvent relativement variable selon les fuites.

Parmi les faits surprenants que je compte mettre en lumière plus tard, je citerai le suivant. Il s'agissait d'un barrage en voûtes multiples. A la mise en eau, il fut constaté de nombreuses venues d'eau dans les intervalles, soit directement au pied des voûtes, soit en avant des contreforts. On ne pouvait accuser que la retenue. Or la recherche de la résistivité électrique de ces prétendues pertes a montré que plusieurs d'entre elles possédaient une résistivité plus élevée que celle de l'eau de la retenue ne pouvaient absolument pas provenir de cette dernière. Ces venues d'eau étaient dues à l'apparition de l'eau phréatique comprimée par la retenue et cherchant une issue au point de moindre pression hydrostatique, soit au pied immédiat du barrage.

Voici quelques chiffres intéressants concernant des eaux de régions granitiques du massif central français, eau ramenée à 18 degrés :

Chaux mmg. au litre	Résistivité
12.5	20,000 ohms
27	10,000 "
47	5000 "
90	2000 "
150	1000 "
270	500 "
335	400 "

Je répète que pour un barrage donné, il est utile de faire un certain nombre d'analyses chimiques pour établir la courbe, celle construite par les chiffres ci-dessus ne s'applique pas à toutes les eaux.

**3. A. KAECH (Bern).** — *I. Teil: Über die Bedeutung der Gletscher beim Projekt, Bau und Betrieb des Kraftwerkes Grimsel-Handeck der Kraftwerke Oberhasli AG.*

Unter Hinweis auf die Pionierarbeit, die Jean Louis Agassiz bei den Gletscherforschungen, hauptsächlich im Gebiet der Aaregletscher von 1838—1845, geleistet hat und auf die Oberflächen- und Geschwindigkeitsmessungen, welche die Kraftwerke Oberhasli AG. seit zwölf Jahren in der Gletscher- und Firnzone des Einzugsgebietes oberhalb der Grimsel machen, wird gezeigt:

1. *Wasserhaushalt*: Bei einem Einzugsgebiet von rund  $95 \text{ km}^2$  ist seit der Zeit des grössten historischen Vorstosses der Gletscher dieses Gebietes, in den Sechziger- bis Siebzigerjahren des letzten Jahrhunderts, die Schnee- und Eisbedeckung von schätzungsweise etwa  $49 \text{ km}^2$  um etwa 10 %, auf zirka  $45 \text{ km}^2$  bis heute zurückgegangen und entsprechend die Niederschlagsspeicherung durch Schnee und Eis von etwa 6 Milliarden  $\text{m}^3$  auf 4,5 Milliarden  $\text{m}^3$ . Dadurch sind die jährlichen Wassermengen während dieser Zeit im Mittel um etwa 10 % aufgereichert worden.

Sollte der Zufluss dieses Gebietes zufolge Klimaänderungen je etwas abnehmen, so könnte mit verhältnismässig einfachen Mitteln das Wasser bedeutender Nebeneinzugsgebiete nach der Grimsel geleitet werden.

Die jährlich der Grimsel von diesem Hochgebirge zufließende Wassermenge kann als praktisch konstant betrachtet werden. Es hängt dies zum Teil mit der ausgleichenden Wirkung der Aufspeicherung der Niederschläge durch Schnee und Eis zusammen, zum Teil aber auch mit der grossen Konstanz der Niederschläge des allen Winden exponierten Gebirgsmassivs. Besonders wertvoll ist, dass gerade in trockenheissen Sommern mit dem geringsten Niederschlag der Zufluss durch Abschmelzung am grössten ist. Während bei Wasserläufen im Mittelland, z. B. der Emme bei Emmenmatt, der grösste Gesamtjahresabfluss in den letzten 14 Jahren mehr als das Doppelte des Mittels und der kleinste nur noch etwa 60 % des Mittels betragen hat, so ist das Maximum und das Minimum des jährlichen Wasserquantums der Aare auf der Grimsel nur wenig über 10 % vom Mittel abgewichen.

Durch unsere natürlichen Seen werden nur die jahreszeitlichen Schwankungen der Wasserführung etwas ausgeglichen. Der Wasserertrag war aber z. B. beim Rhein bei Basel während des Winterhalbjahres 1924/25 nur etwa *halb* so gross wie 1930/31. Ähnlich schwankt auch die Energiedarbietung im Winter bei den Werken am Unterlauf unserer Flüsse.

Hochgebirgswerke wie das an der Grimsel bieten hingegen jedes Jahr die volle Energiemenge dar; solche Speicherwerke kennen keine Energieklemme, sobald sie mit Becken versehen werden, die einen Jahresausgleich ermöglichen, wie dies bei der Grimsel der Fall ist.

*2. Verhalten der Zunge des Unteraargletschers gegenüber dem Speicherbecken:* Aus dem Vergleich der Gletscherbewegungen beim Vorstoss im letzten Jahrhundert und der Abschmelzung durch den Stausee in den letzten Jahren seit der Betriebseröffnung (1932) wird abgeleitet, dass die Schmelzkraft des Stausees so gross ist, dass der Gletscher nach menschlichem Ermessen — in Zeiten, welche in Betracht fallen können — nie in den See vorstossen wird, sondern dass er im Gegenteil durch Abschmelzung bis etwa in die Gegend zurückgehen und nicht mehr über diese vorstossen wird, bei welcher der Wasserspiegel beim höchsten Stau die Talsohle schneidet. Die Zunge wird heute noch etwa 12 m hoch angestaut. Wenn das Sohlengefälle unter dem Gletscher ein ähnliches ist wie bei dem unterhalb gelegenen Aareboden, so wird wohl das Gletscherende in den nächsten etwa zehn Jahren noch zirka 300 m zurückwandern. Das Gletschertor wird eine ähnliche Lage erreichen, wie sie nach einer interessanten Skizze des Luzerner Arztes, Naturforschers, Militärs und Topographen Kappeler um 1720 herum zur Zeit der Kristallfunde am Zinkenstock vorhanden war. Gegenüber dem Stand von 1928 wird der Nutzhinhalt des Stausees um etwa 2.000.000 m<sup>3</sup> zunehmen, wovon heute schon gegen zwei Drittel erreicht sind.

Die Auflandung durch das Geschiebe des Gletschers wird praktisch gleich Null sein, denn die Geschiebezufuhr ist an sich eine unbedeutende, und in wenigen Jahren wird die Stirnmoräne am Uferrand des, wie schon ausgeführt, noch um einige 100 m verlängerten Stausees stagnieren. Auch der Schleifsand, welchen der Gletscherbach aus der Grundmoräne mitbringt, wird sich zum grössten Teil dort ablagern. Der feine, suspendierte Kaolinschlamm, der dem Wasser die graugelbe Färbung gibt, setzt sich innerhalb eines Jahres, also in der Zeit, in welcher der See jeweils gefüllt oder entleert wird, nicht ab; das Wasser geht in der gleichen Trübung durch die Turbinen und wird wie früher erst in dem unterhalb liegenden Brienzersee geklärt.

Im Anschluss an diese Erläuterungen über die Gletscher wird noch mitgeteilt, warum und welche besonderen Massnahmen beim Bau wegen der tiefen Temperatur des Wassers des Stausees nötig waren, und wie das Verhalten der Sperre unter den Schwankungen der Temperatur und des Wasserdruckes durch Pendelanlagen kontrolliert wird.

## *II. Teil: Über einige Erfahrungen beim Bau im Granit Grimsel-Guttannen.*

Sowohl für die *Festigkeit des Granitgebirges Grimsel-Guttannen* als für die sorgfältige Trassierung spricht der Umstand, dass bei rund 16 km Stollen und Schachtbauten an keiner Stelle Druck aus Mürbigkeit des Gebirges getroffen wurde. Das Weitergreifen von Bergschlägen in den Stollen konnte durch einfache Mörtelbewürfe oder bei stärkeren Auslösungen durch Verkleidungen mit einem Rundeisengeflecht, das mittels der Zementkanone mit Zementmörtel beworfen wurde, verhindert werden.

Eine aussergewöhnliche Bergschlagerscheinung beim offenen Aushub für die Zentrale Handeck konnte durch Berieselung mit kaltem Wasser

gemildert werden. Statt abzuwarten, wie sich diese Bergschlagspannungen nach Erreichung der Fundamentsohle im Laufe längerer Zeit verhalten würden, wurde die Auflast möglichst rasch aufgebracht. Unter die Fundamentpfeiler der Maschinen wurde vorsorglicherweise Zementschlempe injiziert, um allfällige Hohlräume zu schliessen. Der Erfolg dieser Massnahme war ein vollständiger.

Über die *Dichtigkeit des Gesteins* bei den Sperren wird vom Bau der grössten der drei für das Kraftwerk auszuführenden *Sperren*, von der 114 m hohen Spitallammsperre, mitgeteilt:

Trotz der frischen Gletscherpolitur der Oberfläche war das Gestein, besonders auf der rechten Seite der Schlucht, ziemlich tief aufgespalten. Zur Tiefdichtung des Fundaments dieser Sperre wurden während des Baues in 81 Kernbohrlöchern von 15,00—37,20 m Länge 367 Tonnen Zement eingepresst. Die Bohrlöcher hatten ein Kaliber von nur 5—3 cm; gebohrt wurde mit schwarzen Diamanten, in je zirka 5 m langen Abschnitten, die jeweils mit Wasserdruk auf ihre Dichtigkeit geprüft und sektionsweise injiziert wurden.

Dabei musste stellenweise, um den Zement in die feinsten Spalten einzupressen, der Druck bis auf 60 Atm. gesteigert werden. Der Erfolg war im allgemeinen ein sehr guter. Auch die stark geschiefereten Granite bei der linken Flanke waren nach dem Aufstau vollständig dicht. Hingegen hat sich auf etwa halber Höhe der Sperre, unterhalb des rechten Widerlagers, eine Durchsickerung gezeigt, welche bei vollem Aufstau  $1\frac{1}{4}$  Sekundenliter erreicht hat. Bei diesem Widerlager ist die Fallrichtung des Felsens gegen die Schlucht überhängend. Dieser Umstand, in Verbindung mit einem etwas zu schematischen Vorgehen beim Ansetzen der Injektionslöcher — senkrecht auf die Oberfläche, statt möglichst senkrecht auf die Fallschichtung — mag wohl der Grund sein, warum das rechte Widerlager anfänglich weniger dicht war als das linke. Die Sperre ist mit Inspektionsgängen versehen. Von diesen aus wurde das rechte Widerlager da, wo es beim ersten Aufstau noch durchlässig war, nachträglich noch mit einigen Bohrlöchern abgetastet und auch diese letzte Durchsickerung durch Zementinjektionen vollständig beseitigt.

Über die *Dichtigkeit von Stollen* wurde ausgeführt, dass zu unterscheiden sei zwischen Stollen, welche senkrecht zum allgemeinen Streichen verlaufen und solchen, welche parallel damit gehen. Wenn möglich sollte die Trassierung immer versuchen, die erstere Lage zu finden. Da das Haslital von der Grimsel bis Innertkirchen ein geologisches Quertal ist, welches ziemlich senkrecht auf das allgemeine Streichen verläuft, so befinden sich auch die Wasserführungen talauswärts in günstiger Lage.

Es war zum vornherein sicher, dass diesen Talhängen entlang das Gestein nur in kleineren Teilen, etwa bei den weicheren Gesteinspartien der Gehängerinnen, oder bei aplitischen Gängen, auf kurze Strecken undichte Stellen aufweisen würde. Beim Stollen, der für den Wassernachschub vom Grimselsee nach dem Gelmersee dient, war eine Auskleidung aus hydraulischen Gründen nicht nötig. Es mussten also nur

die erwähnten kurzen Stellen einen Betonmantel erhalten, wenn der Stollen tief genug im Berg placiert wurde. Dieses Mittel wurde von den KWO angewendet und lange Fensterstollen ausgeführt, mit dem Resultat, dass dieser zu 90 % unverkleidete Stollen *bei einem inneren Wasserdruk von 70 m bei den Erprobungen nur 5 lt/sek Wasser verloren hat*, bei einer Stollenfläche von rund 40,000 m<sup>2</sup>.

Das bei diesem Wasserstollen erreichte günstige Resultat war, abgesehen von dem allgemein günstigen Gestein, möglich, weil der Stollen so tief im Berg liegt, dass die Einsickerungen an den undichten Stellen bei leerem Stollen grösseren Druck aufweisen, als der innere Wasserdruk des gefüllten Stollens beträgt. Nachdem dieser Umstand durch Manometermessungen festgestellt war, konnte sogar im allgemeinen auch auf eine Injektion solcher Stellen verzichtet werden. Beim Verbindungsstollen Grimsel-Gelmer lag die Vermutung nahe, dass dieser Stollen, welcher auf eine Länge von nahezu  $\frac{1}{2}$  km unter dem Rand des Stausees durchführt, von diesem aus Wasserzufluss unter Druck erhalten könnte.

Schon beim Bau zeigte sich, dass dieser Stollen — dank der sorgfältigen Wahl seines Trasses — in einem sehr dichten Gesteinspaket liegt. Er hat zwar verschiedene Kristallhöhlen angefahren, aber keine undichten Gesteine; sogar dieser Stollen konnte deshalb unverkleidet bleiben. Er wurde versuchsweise verschiedene Male bei vollem See entleert: trotz der geringen Distanz vom Seeboden von nur 60—80 m war er bei einer Höhendifferenz von rund 90 m zwischen Seespiegel und Stollenaxe vollständig dicht.

Zusammenfassend wurde mitgeteilt, dass die Erfahrungen an der Grimsel gezeigt haben, dass bei sorgfältiger Trassierung unter *Berücksichtigung der geologischen Einzelheiten Stollen im Granit auch ohne, oder mit nur lokalen Verkleidungen bis zu grossen Innendrucken (70—80 m) bei genügender Tiefenlage im Felsen praktisch vollständig dicht sind*.

Der Vortragende dankt zum Schluss den Herren Geologen, welche die Kraftwerke Oberhasli beraten haben, und stellt fest, dass die Zusammenarbeit der Ingenieure und Geologen bei den Bauten für das Kraftwerk Handeck eine recht fruchtbare war.

#### 4. E. MEYER-PETER (Zürich). — *Anwendung der Modellversuche auf den Flussbau.*

Der Zweck der Korrektion der Gebirgsflüsse besteht in der Erreichung eines Gleichgewichtszustandes der Sohle. Dabei hängt der Erfolg wesentlich ab von der richtigen Wahl der Normalprofilbreite des neuen Flussbettes. Der Abflussvorgang ist rein hydraulisch von sechs Variablen: Wassermenge, Gefälle, Rauhigkeit des Flussbettes, Geschwindigkeit, Wassertiefe und Sohlenbreite abhängig, von denen höchstens drei, z. B. die drei ersten, als gegebene Grössen zu betrachten sind. Die Hydraulik liefert zur Berechnung der drei Unbekannten nur zwei Bestimmungsgleichungen (Kontinuitätsbedingung und Bewegungsgleichung). Daher muss zur eindeutigen Lösung der Aufgabe noch eine

dritte Beziehung bekannt sein. Bei geschiebeführenden Flüssen ist der Zusammenhang zwischen den hydraulischen Faktoren einerseits und dem Geschiebetrieb und der Geschiebegröße anderseits massgebend. An Hand der Beobachtungen in der Natur war es bisher nicht möglich, diesen Zusammenhang zahlenmäßig festzustellen. Dagegen bietet der Modellversuch die Möglichkeit zu seiner Erforschung, vorausgesetzt, dass es gelingt, ihn in eine Form zu bringen, die die Übertragung ins Große gestattet, also dem Ähnlichkeitsgesetz entspricht. Solange bei hydraulischen Vorgängen ausser den Trägheitskräften nur die Schwerkraft eine Rolle spielt, gilt das Froudesche Ähnlichkeitsgesetz. Im Falle nun zu den Trägheitskräften Reibungskräfte hinzukommen, ist das Reynoldssche Ähnlichkeitsgesetz massgebend, das aber mit dem Froudeschen Gesetz unvereinbar ist. Daraus müsste man auf die Unzulässigkeit von Modellversuchen schliessen, bei denen Reibung und Schwerkraft eine Rolle spielen, wie das beim Flussbau der Fall ist, wenn nicht die neuesten Forschungen ergeben hätten, dass die Abhängigkeit des Reibungsgefälles von der Reynoldschen Zahl, bei hohen Werten der letzteren, praktisch ohne Bedeutung wird. (Tatsächliche Abhängigkeit des Reibungsgefälles vom Quadrate der Schnelligkeit.)

Und diesem glücklichen Umstand ist es zu verdanken, dass es tatsächlich doch möglich ist, den Versuchen das Froudesche Ähnlichkeitsgesetz zugrunde zu legen. Ein Geschiebetriebsgesetz, das auf solchen Versuchen basiert, muss formal diesem Gesetz entsprechen. Die Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. hat, auf Grund zahlreicher Versuchsserien in verschiedenen Maßstäben, ein Geschiebetriebsgesetz folgender Form aufgestellt:

$$\frac{q^{2/3} \cdot J}{d} = a + b \frac{g^{2/3}}{d}$$

Hierin bedeuten  $q$ , bzw.  $g$ , die sekundlich pro Meter Flussbreite sich bewegende Wassermenge, bzw. Geschiebemenge, in kg;  $J$  das Energiegefälle,  $d$  den mittleren Korndurchmesser des Geschiebes in m. Die Größen  $a$  und  $b$  hängen in der Hauptsache vom spezifischen Gewicht des Geschiebes ab. Es wurde gefunden für natürliches Flussgeschiebe mit spez. Gewicht 2,66

$$a = 17, \quad b = 0,40.$$

Diese ursprünglich für einheitliches Korn gefundenen Werte gelten, so weit der Fortschritt der Versuche zu schliessen erlaubt, auch für Geschiebegemische, und zwar so, dass man für  $d$  diejenige Siebgröße aus der Mischungslinie herausgreift, die 35 % des Materials durchfallen lässt.

Für Geschiebe aus Braunkohlengrus mit dem spez. Gewicht 1,25 gilt ein analoges Gesetz, aber natürlich mit andern Konstanten, nämlich:

für einheitliches Korn . . . . .  $a = 2,25; \quad b = 0,279$   
für Gemische von 1—3 mm und 1—12 mm .  $a = 1,95; \quad b = 0,248$

$g$  ist hier wegen der Porosität des Materials unter Wasser zu wägen. Bei sehr kleinen Korngrößen, unter 2 mm, scheinen sich also die Kon-

stanten etwas zu ändern, vielleicht wegen des noch nicht untersuchten Einflusses der Form.

Der Aufbau des Gesetzes entspricht dem Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz. Der Zusammenhang zwischen den Abmessungen zweier geometrisch ähnlicher Gerinne und den hydraulischen Größen des Abflussvorganges ist also nach diesem Gesetz zu bestimmen, ebenso die Geschiebemengen. Die Durchmesser der Geschiebe sind im linearen Modellmaßstab zu ändern. Da aber bei starker Verkleinerung des Modells die Geschiebegrößen so klein würden, dass das zu verwendende Gemisch nicht mehr kohäsionsfrei ist, muss zu dem Hilfsmittel der Anwendung spezifisch leichteren Geschiebes als das natürliche, z. B. Braunkohlengrus, gegriffen werden. Dabei muss ein neuer Zeitmaßstab berechnet werden.

Sämtliche, aus der Literatur bisher bekannten Geschiebetriebgesetze erfüllen die Bedingung der Ähnlichkeit nicht. Sie haben sich auch sonst durch die Zürcher Versuche, die mit z. T. wesentlich größerem Geschiebe als bisher arbeiteten, als nicht zutreffend gezeigt, wie an Hand von Versuchsergebnissen nachgewiesen wird.

Die Versuche, die bisher besprochen wurden, beziehen sich auf einen zweidimensionalen Abflussvorgang. Bei den meisten natürlichen Flüssen ist ein dreidimensionaler Abfluss festzustellen (Kiesbankbildung). Es fragt sich, inwiefern das für den zweidimensionalen Vorgang gefundene Gesetz auf den dreidimensionalen angewendet werden kann. Nach der Durchführung von Modellversuchen für den Rhein (Maßstab 1:100) wurde die für bestimmte Abflussvorgänge gemessene Geschiebemenge rechnerisch auf Grund des Geschiebetriebgesetzes für dasselbe Geschiebegemisch nachgerechnet. Dabei musste einzig eine Hypothese über die Verteilung der Geschwindigkeit im Querschnitt aufgestellt werden. Die Querschnittsform war aus den Versuchen bekannt. Die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung bewegten sich zwischen 5 und 10 %.

Auf Grund der bisherigen Ergebnisse, die nach verschiedenen Richtungen noch ergänzt werden müssen, lässt sich folgendes sagen:

Es ist heute möglich, aus den üblichen hydrometrischen und topographischen Aufnahmen einer Flussstrecke und der morphologischen Untersuchung der transportierten Geschiebe die jährliche Geschiebefracht eines Flusses zu berechnen, vorausgesetzt, dass die betrachtete Strecke im Gleichgewichtszustand ist und ihre Sohle nicht mit Geschieben seitlicher Zubringer, die dem Fluss selbst wesensfremd sind, abgedeckt ist. Es wird, bei weiterem Gelingen der Arbeiten, möglich werden, daraus die Wirkung von projektierten Flussbauten auf die Ausgestaltung des Längsprofils, bezw. die bei gegebenem Gefälle zu wählende Normalprofilbreite zu ermitteln.

##### 5. R. HELBLING (Flums). — *Geologische Kartierung mittelst Photogrammetrie.*

Bekanntlich werden mit dem Stereoautographen nicht nur Höhenkurven als kontinuierliche Linien gezogen, sondern auch beliebige Terrainlinien: Flussläufe, Kulturgrenzen, Verkehrswege usw. Es lag daher

der Gedanke nahe, auch geologische Linien, wie Gesteinsgrenzen, Faltungen, Verwerfungen usw. mit dem Autographen zu zeichnen.

Schon seit längerer Zeit hat das *Vermessungsbureau Dr. R. Helbling, Flums*, die praktische Verwendbarkeit dieses Gedankens durch Versuchsaufnahmen in grösserem Umfange zu prüfen versucht. Es handelte sich darum, die Anwendbarkeit der Methode festzustellen, einmal für verschiedene Maßstäbe: kleinere Maßstäbe bei Landesaufnahmen und beliebig grössere Maßstäbe bei technischen Vermessungen, sodann für verschiedene Geländearten: steiles und flaches Gelände, und schliesslich methodisch für Boden- und Flugphotogrammetrie.

Neben eigenen Aufnahmen standen dem Vermessungsbureau Dr. Helbling die topographischen Aufnahmen zur Verfügung, die dieses im Auftrage der eidg. Vermessungsdirektion für Grundbuchzwecke (Übersichtsplan) ausgeführt hatte. Es sei an dieser Stelle ganz besonders Herrn Vermessungsdirektor Baltensperger für die Bereitwilligkeit, dieses Material zu den Versuchen zu überlassen, gedankt.

Es wurde darauf hingewiesen, dass in erster Linie die Photos einer Bearbeitung durch Geologen im Felde bedürfen (Kartierung mit Photos statt Karte oder Plan). Erst auf Grund dieser Vorarbeiten kann dann die Auswertung am Autographen erfolgen. An Hand eines reichen Demonstrationsmateriales konnte die Methode und deren Vorteile an Beispielen erläutert und im besondern darauf hingewiesen werden, dass die photogrammetrische Methode die Möglichkeit schafft, auch genau maßstäbliche Aufrisse des Geländes zu geben, die besonders bei steilem Gelände für eine klare Darstellung nicht nur nützlich sondern notwendig sind. Als Vorteile der Methode wurden genannt:

1. *Die Leichtigkeit der Kartierung im Felde.* Nach einiger Übung ist es leicht mit Photos, sei es in den Originalgrössen oder auf Vergrösserungen, zu kartieren, besonders in grösseren Maßstäben für technische Zwecke.

2. *Die Raschheit der Kartierung.* Die geologische Kartierung kann lange vor Abschluss der topographischen Aufnahmen beginnen, ein Vorteil der namentlich auf Expeditionen in unvermessenen Gebieten oder bei technischen Aufnahmen wertvoll ist.

3. *Die Genauigkeit der Kartierung.* Die Auswertung der geologischen Linien erfolgt in der gleichen Genauigkeit wie die topographischen Höhenkurven, die Situation usw.

4. *Die Klarheit der Darstellung.* Die objektive, von jeder persönlichen Interpretation freie Darstellung durch den Autographen ergibt klare und natürliche Bilder in Horizontal- und Aufrissprojektion. Namentlich letztere sind geeignet, selbst komplizierte Verhältnisse auch Laien verständlich zu machen.

Selbstverständlich ist die Methode auch geeignet für Kartierungen nach Prinzipien ingenieur-geologischer Bodenuntersuchung.

Die knappe Zeit erlaubte nicht auf die Erfahrungen näher einzugehen, die im speziellen bei den einzelnen Versuchsaufnahmen gemacht worden sind, es konnte nur mit Nachdruck darauf hingewiesen werden,

dass nur ein enges Zusammenarbeiten von Ingenieur und Geologe zum Ziele führen kann, und dass die Methode eine gründliche Erlernung voraussetzt.

Ebenfalls aus Mangel an Zeit musste eine Diskussion unterbleiben, es konnte nur einzelnen Gruppen über die Karten und Bilder noch nähere Auskunft gegeben werden.

**6. ARNOLD HEIM (Zürich). — *Die Entstehung der Golderden in der Elfenbeinkolonie.***

Schon seit Jahrhunderten oder Jahrtausenden haben die Negerstämme der tropischen Guineaküste in gleicher Weise Gold gewonnen, wie noch heute, und zwar vornehmlich durch Waschen der eluvialen lateritischen Erden.

Währenddem sonst das Gold meist an saure Eruptiva gebunden ist, haben die Beobachtungen des Referenten im vergangenen Winter ergeben, dass die Goldführung in der Elfenbeinkolonie nur dort vorhanden ist, wo der Untergrund vornehmlich von algonkischen, *basischen* Gesteinen gebildet wird (Gabbro-Diabas-Diorit, Grünsteine). Diese Gesteine sind meist reich an Pyrit, der offenbar Spuren von Gold enthält, wie durch eine Analyse bestätigt wurde. Durch tiefgründige tropische Verwitterung im Laufe von Jahrtausenden hat sich die eisenreiche Lateriterde gebildet, in deren unterem Teil sich das Gold in feinen, reinen Körnchen ausgeschieden und gelegentlich zu kleinen Klümpchen zusammengefügt hat. Näheres in Eclogae geol. Helv. und in „Negro-Sahara“, Verlag Hans Huber, Bern 1934.