

I N H A L T.

	Seite
I. Theorie des Schlämmens.	1
II. Versuche zur Prüfung der theoretischen Grundformel für den Schlammprocess.	17
III. Bisher gebräuchliche Apparate für die Schlammanalyse.	27
IV. Conisch-cylindrischer Schlammapparat mit Piézometerröhre.	44
V. Verfahren bei Anwendung des conisch-cylindrischen Schlammtrichters	52
VI. Versuche mit dem conisch-cylindrischen Schlammtrichter.	69
VII. Bestimmungen der specifischen Gewichte einiger Bodenarten.	79

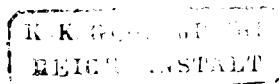
ÜBER
SCHLÄMMANALYSE
UND
EINEN NEUEN SCHLÄMMAPPARAT.

Von
EM. SCHÖNE.

I. Theorie des Schlämmens.

Alle die Methoden, welche man sowohl in der Technik als im Laboratorium zum Schlämmen anwendet, lassen sich im Allgemeinen in zwei Hauptclassen bringen. Die einen gründen sich auf *die Gesetze des Falles im Wasser als widerstehendem Mittel*, die andern machen Anwendung vom *Stosse des Wassers*, vom *hydraulischen Druck*.

Die theoretischen Verhältnisse, welche in beiderlei Hinsicht in Betracht kommen, sind bekannt. Man scheint ihnen indessen in den speciellen Fällen, welche bei der *Schlämmanalyse* statthaben, nicht oder nur in unzureichender Weise die ihnen gebührende Rücksicht geschenkt zu haben. Die Wichtigkeit, welche seit einiger Zeit die Schlämmanalyse bei Pedologen und Geognosten gewonnen hat, mag es daher rechtfertigen, wenn hier der Ver-



such gemacht wird, die Theorie des Schlämmens nach den bestehenden Gesetzen der Hydraulik darzulegen, sowie die Gültigkeit dieser Theorie unter den bei Schlamm-
analysen auftretenden Umständen zu prüfen, resp. einen den thatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Ausdruck für das Schlammresultat zu finden.

Das Schlammresultat ist abhängig: 1. von dem Rauminhalt des Schlammkörpers, 2. von seinem specifischen Gewicht, 3. von seiner Gestalt. Hiebei ist vorausgesetzt, dass man mit, resp. im Wasser schlämmt. Bedient man sich einer anderen Flüssigkeit, so ist deren specifisches Gewicht ⁽¹⁾ mit maassgebend.

Bei den Schlammmethoden, welche von dem Fall im widerstehenden Mittel Gebrauch machen, ist der Widerstand W , welchen das Mittel dem fallenden Körper entgegensetzt,

$$W = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot F \gamma,$$

⁽¹⁾ Ausser dem spec. Gew. spielen sicherlich auch die Molecularverhältnisse (Cohäsion, Adhäsion etc.) der zum Schlämmen dienenden Flüssigkeit eine hervorragende Rolle, wenigstens so weit die feinsten Schlammtheile in Betracht kommen. Die in dieser Beziehung schon seit längerer Zeit gemachten Erfahrungen haben auch in der Technik schon Verwerthung gefunden (z. B. bei der Ultramarinfabrikation). Der Erklärung dieser Verhältnisse scheinen jedoch erst in neuerer Zeit die Naturforscher ihre Aufmerksamkeit zugewendet zu haben (Th. Scheerer, Absetzen aufgeschlämmter Körper etc. Pogg. Ann. LXXXII. 419, ferner Chr. Wiener, Erklärung des atomistischen Wesens des tropfbar-flüssigen Körperzustandes etc. Pogg. Ann. CXVIII. 79, endlich Fr. Schulze, Die Sedimentär-Erscheinungen etc. Pogg. Ann. CXXIX. 366.). Das Studium solcher Molecularwirkungen ist indessen noch nicht dahin gelangt, die betreffenden Beziehungen klar zu formuliren, so dass eine Berücksichtigung derselben beim Aufstellen einer mathematischen Formel für den Schlammprocess nicht möglich war. Untersuchungen mit dem Schlammapparat dürften dagegen vielleicht geeignet sein zur Erklärung dieser in mehrfacher Beziehung bedeutungsvollen Erscheinungen beizutragen.

worin F die den Widerstand aushaltende Fläche — bei Körpern der grösste auf der Fallrichtung senkrecht stehende Querschnitt —, ζ einen Coefficienten, welcher von der Gestalt dieser Fläche abhängig ist, v die Fallgeschwindigkeit, g die Acceleration im luftleeren Raume frei fallender Körper (9,81 Meter), und endlich γ das spezifische Gewicht des Mittels bedeutet. Das letztere ist hier, wo ausschliesslich Wasser angewendet wird, gleich Eins, weshalb die Formel die einfachere Gestalt

$$W = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot F \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (I)$$

annimmt.

Die Formeln für Widerstand und Druck sind bekanntlich dieselben. Es ist daher der hydraulische Druck P , welchen eine stossende Wasserader auf einen Schlammkörper ausübt,

$$P = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot F, \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (II)$$

worin die Buchstaben dieselbe Bedeutung haben, nur dass v hier die Geschwindigkeit des bewegten — übrigens unbegrenzten — Wassers bezeichnet (¹).

In Rücksicht auf die in diesen Formeln von der Gestalt (ζ) und der Grösse (F) der widerstehenden oder gestossenen Fläche abhängigen Werthe erscheint es für

(¹) Diese zuerst von Newton (1710 und 1719) aufgestellte Formel wird augenblicklich allgemein als die richtige anerkannt, obgleich sie früher von einigen Physikern angefochten ist. In neuester Zeit ist wiederum A. Samuelson (Civilingenieur, XIII. Bd. 1. Hft. S. 27. 1867.) gegen diese Theorie aufgetreten und hat den Nachweis ihrer Unrichtigkeit in Aussicht gestellt. So lange dieser Nachweis aber noch nicht geführt ist, wird man die Formeln, welche oben gegeben sind, als gültig anerkennen müssen.

die nachfolgenden Betrachtungen geboten einen *Normalfall* anzunehmen und auf diesen alle die unzähligen Fälle, welche bei den in der Praxis vorkommenden, aus den verschiedenartigsten und unregelmässigsten Gestalten zusammengesetzten Körnergemischen auftreten, zu beziehen. Als solche Normalgestalt aber empfiehlt sich die Kugel. Dadurch erhält ζ einen bestimmten, durch Versuche gefundenen Werth, von welchem weiterhin die Rede sein wird, F aber ist ausdrückbar durch einen Durchmesser d :

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot d^2.$$

Dann erhält man aus obigen Formeln (I) und (II):

$$W = P = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \quad . \quad . \quad . \quad (III)$$

Was zunächst diejenigen Methoden betrifft, welche auf dem Fall im Wasser beruhen, so führen rein theoretische Betrachtungen ⁽¹⁾ zu dem Schlusse, dass die Acceleration bei dem Fall der Körper in widerstehenden Mitteln nach einer gewissen Zeit gleich Null ausfällt, die Bewegung der fallenden Körper also eine gleichförmige wird. Hiermit stehen die Ergebnisse praktischer Versuche, welche in den Jahren 1811 bis 1815 von den schwedischen Gelehrten Nordmark, Lagerhielm, Forselles und Kallstenius ⁽²⁾ zu Fahlun angestellt wurden, ganz im Einklang. Bei den geringen Geschwindigkeiten, also längeren Fallzeiten, welche bei den Schlämmoperationen vorkommen, kann man demnach die Bewegung der

(1) Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, IV. Aufl. 1863. I. 1001 ff.

(2) Gehler's Physikal. Wörterb. X. 2. Abth. S. 1838 ff; auch Kastner's Archiv. Th. XI. S. 305.

fallenden Körper mit Recht als eine gleichförmige ansehen.

Ist daher die Fallhöhe = R bekannt, welche ein Körnchen in t Secunden durchfällt, so ist die Geschwindigkeit v, mit welcher es sich in 1 Sec. herabsenkt:

$$v = \frac{R}{t}.$$

Der Widerstand W nun, welchen ein fallender Körper, nachdem seine Bewegung eine gleichförmige geworden ist, von dem widerstehenden Mittel erfährt, ist gleich dem Druck, welchen der Körper ausübt, oder gleich seinem Gewicht G:

$$W = G. (IV)$$

Das Gewicht eines Körpers ist gleich dem Produkte aus seinem Rauminhalt V und seinem specifischen Gewicht S:

$$G = V.S.$$

Da aber der Körper im Wasser so viel an seinem Gewicht verliert, als das gleiche Volumen Wasser wiegt, so ist im Wasser:

$$G = V.(S-1).$$

Ist nun der Körper eine Kugel mit dem Durchmesser d, so ist

$$G = \frac{\pi}{6} \cdot d^3 \cdot (S-1). (V)$$

Setzt man also in Gleichung (IV) die in (III) und (V) gefundenen Werthe für W und G ein, so ist

$$\zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^3}{6} \cdot (S-1).$$

Daraus ergibt sich der Durchmesser der Schlammkörner:

$$d = v^2 \cdot \frac{3\zeta}{4g \cdot (S-1)}. (VI)$$

Dies wäre der theoretische Ausdruck, welcher die Beziehung ausdrückt zwischen dem Durchmesser eines kugelförmigen Kornes vom spec. Gew. = S und der Geschwindigkeit, mit der es sich herabsenkt. Nach ihm verhielten sich also die Durchmesser wie die Quadrate der Geschwindigkeiten oder die Geschwindigkeiten wie die Wurzeln aus den Durchmessern — bei gleichem specifischen Gewicht; bei gleicher Geschwindigkeit aber verhielten sich die Durchmesser umgekehrt wie das durch 4 verminderte specifische Gewicht.

Bei denjenigen Methoden, bei welchen man durch hydraulischen Druck schlämmt, gelangt man zu dem gleichen Ausdruck mit entsprechender Bedeutung. Bei ihnen sind die theoretischen Verhältnisse complicirter; auch sind mehrere Fälle zu unterscheiden, je nach der Bewegungsrichtung des stossenden Wassers.

Nehmen wir als ersten Fall an, dass die Bewegung des stossenden Wassers senkrecht von unten nach oben erfolgt.

Uebt das bewegte (unbegrenzte) Wasser auf einen in ihm befindlichen, wie wir hier annehmen, kugelförmigen Körper von dem Gewicht G den Druck P aus, so wird der Druck des bewegten Wassers dem durch das Gewicht des Körpers ausgeübten Druck das Gleichgewicht halten, wenn

$$G = P$$

ist; d. i. in diesem Fall wird der Körper schwebend erhalten.

Da wir hier für G und P dieselben Werthe haben, welche in den Gleichungen (III) und (V) ausgedrückt sind, so ergibt sich uns für die Beziehungen zwischen

de Wasserstrom besitzt, sondern es wird schneller oder langsamer dem Wasserstrom folgen, je nachdem sein Durchmesser grösser oder kleiner ist.

Auf ein innerhalb eines Wasserstroms befindliches Korn wirken gleichzeitig zwei Kräfte, die Schwerkraft und der hydraulische Druck. In dem Falle, von welchem zunächst hier die Rede ist, dass der hydraulische Druck senkrecht von unten nach oben erfolgt, fallen die Richtungen beider Kräfte zusammen, sind aber entgegengesetzt. Sind beide Kräfte gleich, halten sie sich das Gleichgewicht, so wird das Korn seinen Ort nicht verändern, sondern schweben. Ueberwiegt aber der hydraulische Druck des mit der Geschwindigkeit v strömenden Wassers, und würde das Korn in Folge der Schwerkraft allein mit der Geschwindigkeit v_1 fallen, so wird die Geschwindigkeit c , mit welcher es sich bei gleichzeitiger Wirkung beider fortbewegt:

$$c = v - v_1$$

sein.

Setzt man hierin den in (VIII) gefundenen Werth für v_1 ein, so ist

$$c = v - \sqrt{\frac{d}{B}},$$

woraus folgt

$$d = (v-c)^2 \cdot B \text{ oder}$$

$$d = (v-c)^2 \cdot \frac{3\zeta}{4g \cdot (S-1)} \cdot \cdot \cdot \quad (\text{IX})$$

Und dies würde die *theoretische* Cardinalformel für den Schlammprozess darstellen, der auf dem senkrecht nach oben gerichteten Wasserstoss beruht. Aus ihr folgt: je kleiner c ist, d. i. je langsamer ein Korn abgeschlämmt wird, desto grösser wird die Differenz $(v-c)$, oder

desto mehr nähert sie sich der Grösse v , mit anderen Worten, desto mehr nähert sich der Durchmesser des Schlammkorns demjenigen, bei welchem ein Schwebenbleiben in dem mit der Geschwindigkeit v bewegten Wasser Statt findet. Weiter ergibt sich aus ihr, dass durch einen sich übrigens gleichbleibenden Wasserstrom (in den gewöhnlichen Apparaten) Anfangs Körner vom kleinsten, dann aber von allmählig sich vergrößerndem Durchmesser abgeschlämmt werden. Wenn man aber, wie in der Praxis fast immer, ein allmähliges Steigen der Durchmessergrößen bei den Körnern eines Gemisches hat, so wird man mit ein und demselben Wasserstrom auch bei einem bis in die Unendlichkeit fortgesetzten Schlämmen immer noch Schlammkörner abführen, weil man sich der Grenze, wo alles Zurückbleibende schwebend erhalten wird, zwar immer mehr nähert, sie aber niemals erreicht. Es muss hierauf aufmerksam gemacht werden, weil daraus folgt, dass durch keinen, auch noch so vollkommen eingerichteten Schlammapparat, ein nach gewisser Zeit eintretendes Klarwerden des abfließenden Schlammwassers erzielt werden kann — vorausgesetzt, dass der Wasserstrom sich wirklich gleich bleibt (¹).

Alle früher für die Schlammanalyse vorgeschlagenen Methoden machen Anwendung von dem senkrecht nach oben gerichteten Wasserstoss. Da in neuester Zeit (von Dietrich) auch ein Apparat vorgeschlagen ist, bei wel-

(¹) Wenn hie und da behauptet worden ist, dass durch irgend einen der vorgeschlagenen Apparate ein endliches, klares Abfließen des Wassers erreicht worden sei, so hat dies seinen Grund in einem Fehler des Apparates gehabt, nämlich darin, dass durch Anwendung eines offenen Nachflussgefäßes eine allmähliche Verminderung der Druckhöhe, also auch der Geschwindigkeit herbeigeführt worden ist.

chem schräg nach oben gerichtete Wasserströme vorkommen, so ist hier auch die Theorie dieses Falles zu erörtern.

Befindet sich der Körper A (Fig. 1. auf Tafel VI) innerhalb eines, wie wir hier im Allgemeinen annehmen, unbegrenzten Wasserstroms von der Richtung und Geschwindigkeit, wie es Linie AC darstellt, so würde er, wenn die Schwerkraft nicht auf ihn wirkte, die Geschwindigkeit und Richtung des Wasserstosses annehmen, d. i. sich in der Zeiteinheit von A nach C bewegen. Bewegte er sich aber zugleich in Folge der Schwerkraft allein senkrecht nach unten z. B. von A nach B, so stellt die Resultirende AD des Parallelogramms der Geschwindigkeiten ABDC die Richtung und Geschwindigkeit des durch beide Kräfte zugleich bewegten Körpers dar. Ist also AB und AC sowie die Neigung α der Stromrichtung gegen die Senkrechte bekannt, so haben wir für

$$AD = \sqrt{AC^2 + AB^2 - 2AC \cdot AB \cdot \cos.\alpha.}$$

Oder setzt man $AD = c$, $AC = v$ und $AB = v_1$,

$$c = \sqrt{v^2 + v_1^2 - 2v \cdot v_1 \cdot \cos.\alpha.}$$

Setzt man wiederum für v_1 den Werth (VIII) ein, so ist

$$c = \sqrt{v^2 + \frac{d}{B} - 2v \cdot \sqrt{\frac{d}{B}} \cdot \cos.\alpha.} \quad . \quad . \quad (X)$$

woraus sich ableitet

$$d = B \cdot (\sqrt{c^2 - v^2 \cdot \sin.\alpha^2} + v \cdot \cos.\alpha)^2 \quad . \quad (XI)$$

als Ausdruck für die Beziehung zwischen Körnerdurchmesser einerseits und Geschwindigkeit des Wasserstroms

(v), und der Bewegung des Kornes selbst (c), so wie der Neigung der Bewegungsrichtung gegen die Senkrechte (α) andererseits.

Aus diesem allgemeinen Ausdruck (XI) lassen sich nun wieder die für specielle Fälle gültigen ableiten.

Ist nämlich $\alpha = 90^\circ$, d. i. ist die Stromrichtung eine wagerechte, so ist $\sin.\alpha = 1$ und $\cos.\alpha = 0$ und es wird

$$d = B. (c^2 - v^2).$$

Ist $\alpha = 0^\circ$, d. i. ist die Stromrichtung senkrecht von unten nach oben, so ist $\sin.\alpha = 0$ und $\cos.\alpha = 1$ so erhält man

$$d = B.(c-v)^2$$

oder vielmehr, was dasselbe ist,

$$d = B.(v-c)^2$$

also den früher in (IX) entwickelten Ausdruck.

Ist aber $\alpha = 180^\circ$, oder erfolgt der Wasserstoss senkrecht von oben nach unten, so ist $\sin.\alpha = 0$, $\cos.\alpha = -1$, und man erhält:

$$d = B.(v + c)^2.$$

Die *Bewegungsrichtung* des Schlammkornes aber, d. i. ihre Neigung (δ) gegen die Senkrechte, ergibt sich, wie folgt.

In dem Dreieck ACD (Fig. 4. Tafel VI.) ist

$$\text{tang. } \gamma = \frac{AC \cdot \sin.\alpha}{DC - AC \cdot \cos.\alpha} = \frac{v \cdot \sin.\alpha}{v_1 - v \cdot \cos.\alpha},$$

folglich auch

$$\text{tang. } \delta = \frac{v \cdot \sin. \alpha}{v_1 - v \cdot \cos. \alpha}$$

Setzt man wieder für v_1 den Werth (VIII) ein, so erhält man

$$d = B \cdot v^2 \cdot \left(\frac{\sin. \alpha}{\text{tang. } \delta} + \cos. \alpha \right)^2$$

$$d = \frac{3\zeta}{4g \cdot (S-1)} \cdot v^2 \cdot \left(\frac{\sin. \alpha}{\text{tang. } \delta} + \cos. \alpha \right)^2. \quad (\text{XII})$$

Ausserdem ist auch

$$\sin. \delta = \sin. \gamma = \frac{v \cdot \sin. \alpha}{c}$$

daher

$$\sin. \delta = \frac{v \cdot \sin. \alpha}{\sqrt{v^2 + v_1^2 - 2v \cdot v_1 \cdot \cos. \alpha}} \quad (\text{XIII})$$

$$= \frac{v \cdot \sin. \alpha}{\sqrt{v^2 + \frac{d}{B} - 2v \cdot \sqrt{\frac{d}{B}} \cdot \cos. \alpha}} \quad (\text{XIV})$$

Wie man sieht, sind die Beziehungen der Körnerdurchmesser zur Geschwindigkeit und Neigung keine sehr einfachen, die sich aber durch die besonderen Einrichtungen, welche z. B. der auf schieferm Wasserstoss beruhende Schlämmapparat Dietrich's besitzt, noch weit mehr compliciren. So lange also nicht eine unabweisbare Nöthigung vorliegt, sollte man bei der Construction neuer Apparate von dem Princip des senkrecht nach oben gerichteten Wasserstroms nicht abgehen. Bei der Bespre-

chung der bisher vorgeschlagenen Apparate komme ich auf den Dietrich'schen zurück.

Ich lasse hier eine Tabelle folgen, welche einige nach der für den senkrecht nach oben erfolgenden Wasserstoss geltenden Schlammformel

$$d = v^2 \cdot \frac{3\zeta}{4g(S-1)}$$

berechneten Zahlenwerthe enthält. Vorher sind indessen noch die Werthe von ζ und S , welche diesen Berechnungen zu Grunde zu legen sind, zu besprechen.

Der Coefficient ζ , welcher von der Gestalt der Fläche, die den Druck aushält oder den Widerstand leistet, abhängt, ist für die Kugelgestalt, die wir hier als Normalgestalt annehmen, von verschiedenen Forschern verschieden gefunden worden. Die oben schon genannten schwedischen Gelehrten ⁽¹⁾ fanden ihn für im Wasser fallende Kugeln im Mittel annähernd = 0,5. Eytelwein ⁽²⁾ bestimmte für den Stoss des Wassers gegen eine Kugel $\zeta = 0,7886$, Piobert ⁽³⁾ (Widerstand gegen Geschützkugeln im Wasser) fand $\zeta = 0,467$. Nach Robins, Hutton, Duchemin und Piobert wächst übrigens der Widerstandscoefficient mit den Geschwindigkeiten. Weisbach ⁽⁴⁾ nimmt bei mässigen Geschwindigkeiten für ζ

⁽¹⁾ Gehler's Phys. Wörterb. X. 2. Abth. S. 1841.

⁽²⁾ Eytelwein, Handb. d. Mechan. fester Körper. u. d. Hydraulik, III Aufl. 1842. S. 211.

⁽³⁾ Weisbach, Ingen. und Masch. Mechan. I. 999.

⁽⁴⁾ Ibidem.

eine zwischen 0,5 und 0,6 liegende Zahl an, und demgemäss ist hier $\zeta = 0,55$ gesetzt (¹).

Was das specifische Gewicht S betrifft, so erscheint es nöthig auch für dieses einen Normalwerth bei den Berechnungen der Schlämmresultate zu Grunde zu legen, zumal da die Unterschiede zwischen den specifischen Gewichten der Mineralien, welche im Allgemeinen den Boden, wie Alluvial- und Diluvialgebilde zusammensetzen, verschwindend klein sind gegen diejenigen, welche die vorkommenden Körnerdurchmesser zeigen. Ich wähle für dieses normale specifische Gewicht dasjenige des Quarzes 2,65, deshalb, weil dieser im Grossen und Ganzen der bei Weitem vorherrschende Bestandtheil der bei Schlämmanalysen vorkommenden Erdgemische ist, und weil es annähernd die Mitte hält zwischen denjenigen der Hauptmineralien (²), welche die Erdarten zusammensetzen. Das specifische Gewicht der in der Natur vorkommenden Erdarten wird zwar etwas (unbedeutend) höher sein, wie sich dies auch durch die specifischen Gewichtsbestim-

(¹) Die beim Schlämmen vorkommenden Geschwindigkeiten sind zwar noch nicht mässige zu nennen, auch liegen die Durchmesser zwischen ganz anderen Grenzen, als zwischen denen obige Erfahrungszahl gefunden wurde. Obgleich nun, wie es scheint, von keiner Seite eine Aenderung des Coefficienten mit der Grösse der Körper angenommen wird, so würden sich vielleicht doch Bedenken gegen die Heranziehung jener Zahl erheben lassen. Allein in Ermangelung anderer blieb nichts Anderes übrig, als sie zu wählen. Es wird sich übrigens im Folgeuden ergeben, dass für die Geschwindigkeitsgrenzen, welche beim Schlämmen in Betracht kommen, der Widerstandscoefficient mit der Abnahme der Geschwindigkeiten eher zu- als abnimmt, sich also umgekehrt wie zwischen höher liegenden Geschwindigkeitsgrenzen verhielte.

(²) Die spec. Gewichte der in den Boden- und Erdarten vorherrschenden Mineralien sind:

Quarz	= 2,65	Feldspath	= 2,33—2,38
Glimmer	= 2,8—3,0	Kalkstein	= 2,6—2,8 etc.

nungen, welche ich besonders zu diesem Zweck ausgeführt habe und weiterhin mittheilen werde, bestätigt. Ich habe es aber vorgezogen dasjenige eines bestimmten Minerals zu wählen, so wie ich auch die sogleich mitzutheilenden mikrometrischen Messungen nur an Quarzkörnern vorgenommen habe. Wenn also in dieser Abhandlung gesagt wird: Bei dieser oder jener Geschwindigkeit des Wasserstroms werden Körner bis zu dem oder jenem Durchmesser abgeschlämmt, so sind hierunter zu verstehen: *Körner, welche hydraulisch gleichwerthig sind Quarzkugeln von diesem Durchmesser.*

Setzt man nun in die theoretische Grundformel

$$d = v^2 \cdot \frac{3 \cdot \zeta}{4 \cdot g \cdot (S - 1)}$$

die Zahlenwerthe für ζ , S und g ein, so ist

$$d = v^2 \cdot \frac{3 \cdot 0,55}{4 \cdot 9,81 \cdot (2,65 - 1)} \text{ Meter,}$$

oder da es für die hier geltenden, geringen Dimensionen, resp. Geschwindigkeiten bequemer ist Alles in Millimetern auszudrücken, so ist

$$d = v^2 \cdot \frac{3 \cdot 0,55}{4 \cdot 9810 \cdot (2,65 - 1)} \text{ Millimeter}$$

oder

$$d = v^2 \cdot 0,000025484 \text{ Millimeter (1).}$$

(1) Setzt man für ζ die Eytelwein'sche Zahl 0,7886, so wird

$$d = v^2 \cdot 0,00003654 \text{ Millimeter.}$$

Tabelle A

über die nach der *theoretischen* Formel $d = v^2 \cdot \frac{3\zeta}{4g \cdot (S-1)}$
 berechneten Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und
 Durchmesser.

Geschwindigkeit.	Durchmesser der Schlammkörner.	Geschwindigkeit.	Durchmesser der Schlammkörner.	Geschwindigkeit.	Durchmesser der Schlammkörner.
v	d	v	d	v	d
Mllm.	Mllm.	Mllm.	Mllm.	Mllm.	Mllm.
0,1	0,00000025	1	0,000025	11	0,00308
0,2	0,0000010	2	0,000102	12	0,00367
0,3	0,0000023	3	0,000229	13	0,00431
0,4	0,0000041	4	0,000408	14	0,00500
0,5	0,0000064	5	0,000637	15	0,00574
0,6	0,0000092	6	0,000918	16	0,00653
0,7	0,000125	7	0,001249	17	0,00737
0,8	0,0000163	8	0,001631	18	0,00827
0,9	0,0000206	9	0,002064	19	0,00921
1,0	0,0000255	10	0,002548	20	0,01021

II. Versuche zur Prüfung der theoretischen Grundformel für den Schlammprozess.

Die Gesetze über den hydraulischen Druck und Widerstand, aus welchen die theoretische Grundformel für den Schlammprozess

$$d = v^2 \cdot \frac{3\zeta}{4g \cdot (S-1)}$$

abgeleitet ist, sind bestätigt worden unter Umständen, die zwischen wesentlich anderen Grenzen liegen als diejenigen — übrigens gleichen, welche beim Schlamm statthaben. So ist der Druck auf oder der Widerstand gegen Flächen bei weit grösseren Dimensionen der letzteren, so wie bei weit grösseren Bewegungsgeschwindigkeiten geprüft, als sie beim Schlamm vorkommen. Es erschien aber gewagt, Gesetze, deren Gültigkeit zwischen gewissen Grenzen wohl als bewiesen gilt, so ohne Weiteres auf ein zwischen ganz anderen Grenzen liegendes Gebiet zu übertragen. Bei den betreffenden, bisher angestellten Versuchen dürfte man niemals mit Körpern (Kugeln) von einem Durchmesser unter 20 Millimeter oder mit Geschwindigkeiten, geringer als 30 bis 40 Millimeter operirt haben; im Allgemeinen haben vielmehr weit grössere Durchmesser und Geschwindigkeiten vorgelegen. Beim Schlamm aber kommen Geschwindigkeiten vor, welche theilweise geringer als 1 Millimeter sind, für gewöhnlich aber 5 Millimeter noch nicht erreichen. Die höchste Grenze der in Betracht kommenden Körnerdurchmesser liegt aber etwa bei $\frac{1}{10}$ Millimeter (d. i. bezogen auf Kugelgestalt).

Ich muss vorausschicken, dass meine, zur Feststellung der *effektiven* Beziehung zwischen Korndurchmesser und

Stromgeschwindigkeit angestellten Versuche nur mit gewissen Einschränkungen als maassgebend anzusehen sind, einmal weil sie bis jetzt noch in zu geringer Anzahl vorliegen, dann aber, weil es mir bisher nicht geglückt ist, ein ganz geeignetes Material für sie zu finden. Gemische von Körnern, deren Gestalt sich der Kugel oder überhaupt einer regelmässigen und gleichmässigen näherte, die aber auch so geringe Durchmesser, wie sie hier in Betracht kommen, besaßen, war schwierig aufzufinden, zumal wenn zugleich die Bedingungen der Unlöslichkeit in Wasser und eines specifischen Gewichtes, welches von dem in der Praxis vorkommenden nicht viel abweicht, erfüllt werden sollten.

Das gewählte Material war eine natürliche Erdart, nämlich die sandige Zwischenschicht (подпочва) welche in einem Theil der Umgebung hiesiger Ackerbau- und Forst-Akademie den Ackerboden von dem eigentlichen, lehmigen Untergrund trennt. Mitbestimmend für die Wahl gerade eines natürlichen Körnergemisches war die Rücksicht, dass dabei ähnliche Bedingungen eingehalten wurden, wie sie für die Fälle gelten, für welche die Schlämmanalyse besondere Wichtigkeit hat. Ausserdem aber erschien unter dem zur Disposition stehenden Material gerade diese Erdart am geeignetsten, weil ihre mit dem blossen Auge noch zu beurtheilenden Körner alle Charaktere eines Triebandes, also eine abgerundete Form besaßen, die feineren und feinsten Körner aber unter dem Mikroskop, wenigstens zum Theil, abgerundet erschienen.

Die Versuche wurden ausgeführt mit dem weiterhin genauer zu beschreibenden, conisch-cylindrischen Schlämmtrichter, dessen Einrichtung es erlaubt eine beliebige,

sehr regelmässig wirkende, durch eine passend angebrachte Druckmesserröhre genau messbare Stromgeschwindigkeit in dem wirksamen, das Schlämmresultat bestimmenden und darum als «*Schlämmraum*» bezeichneten Theile des Apparates zu erzeugen.

Diejenigen Versuche, welche als Grundlage genommen wurden für die Feststellung der empirischen Schlammformel, bildeten 4 Reihen. Jede Versuchsreihe machte eine einzige, ohne Unterbrechung andauernde Schlammoperation aus. Bei einer solchen Schlammoperation wurde mit der kleinsten der gerade gewählten Geschwindigkeiten begonnen und successive bis zur grössten vorgeschritten. An Material wurden bei den die mittleren und grösseren Geschwindigkeiten umfassenden Versuchsreihen je 60 Grm. des obengenannten Erdgemisches, jedoch nur von dem durch ein Sieb mit Oeffnungen von etwa $\frac{2}{3}$ Mm. Durchmesser Abgesiebten verwendet. Für die kleineren Geschwindigkeiten dienten zur Untersuchung nur die feineren, vorher bereits bei einer grösseren Geschwindigkeit aus etwa 100 Grm. desselben gesiebten Bodens abgeschlammten Theile. Die zur mikrometrischen Messung verwendeten Körner wurden dann erst aufgefangen, nachdem die betreffende Geschwindigkeit eine geraume Zeit genau constant gewirkt hatte, d. i. so lange bis das abfliessende Schlammwasser nur noch wenig Theile abführte. Bei den niedrigen Geschwindigkeiten trat dies ein, wenn 2 bis 3 Liter Wasser abflossen (resp. abgetropft) waren, bei den mittleren, wenn 3 bis 4, und bei den höheren, wenn 5 bis 6 Liter den Schlammraum durchströmt hatten. Die Durchmesser der dann aufgefangenen Körner näherten sich so demjenigen, bei welchem ein Schwebenbleiben in dem mit der betreffenden Geschwindigkeit strömenden Wasser eintrat, mit

anderen Worten, man erreichte fast den Fall, für welchen die Schlämmformel gilt. Dass man diesen Fall niemals vollständig erreichen kann, ist bereits gezeigt. Der Fehler indessen, den man beging, wenn man auf ange deutete Weise verfuhr, war sicherlich weit kleiner als diejenigen, welche, wie erwähnt, der—unumgänglichen—Wahl des Schlämmmaterials anhaften müssen.

Bei den zwei Versuchsreihen, aus deren mittleren Resultaten zunächst der empirische Ausdruck berechnet wurde, wurden ein und dieselben Geschwindigkeiten angewendet, nämlich 0,5, 1,205, 2,10, 3,03, 4,08 und 4,91 Millimeter in der Secunde. Diese liegen innerhalb derjenigen Grenzen, in denen für gewöhnlich Schlamm-analysen ausgeführt werden. Die Versuchsreihen für die kleineren Geschwindigkeiten (0,1 bis 0,4 Mllm.) wie für die grösseren (4 bis 12 Mllm.) wurden weiterhin zur Bestätigung der Gültigkeit des gefundenen Ausdrucks für andere Geschwindigkeitsgrenzen unternommen.

Die *mikrometrischen Messungen* wurden mit einem Hartnack'schen Mikroskop und zwar auf dreierlei Weise ausgeführt. Die in der 1. Versuchsreihe bei Anwendung der Geschwindigkeiten von 0,5 bis 4,91 Mllm. erhaltenen Körner wurden mit einem Ocularmikrometer gemessen, bei welchem jede Theilung 0,00333 Mllm. entsprach. (¹) Die in den übrigen Versuchsreihen erhaltenen Körner dagegen wurden vermittelt der camera lucida nach ihren Umrissen auf Papier projicirt (siehe die beigegebenen mikroskopischen Zeichnungen auf Taf. V.) und diese darauf, wie sogleich näher angegeben werden wird, auf zweierlei Art gemessen mit einem Maassstab, der aus der unter ganz denselben Umständen erfolgten

(¹) Dies war der Fall bei dem Hartnack'schen Instrument, wenn Objectiv 2 mit Ocular 2 combinirt wurde.

Projection eines gewöhnlichen, aber genauen Glasmikrometers (Theilung in $\frac{1}{10}$ Mllm.) hergestellt war. Die lineare Vergrößerung der Projectionen war so eine 142,5-fache ⁽¹⁾; nur bei der Messung der kleinsten Körner wurde eine 3mal grössere, also 427,5 fache angewendet ⁽²⁾.

Als Probe habe ich Zeichnungen von so projecirten, bei 6 Geschwindigkeiten ($v = 0,5$ bis $4,91$ Mllm.) erhaltenen Körnern sammt dem entsprechenden Maassstab ⁽³⁾ beigegeben (siehe Taf. V.). Die mit senkrechter Schraffirung versehenen Figuren stellen die Umrissse von Glimmerblättchen dar, die mit schräger Schraffirung sind, wie es scheint, von Hornblendekörnern (an den Kanten grünlich durchscheinend), die über's Kreuz schraffirten aber von Feldspathbruchstücken (am Umfang matt fleischfarben durchscheinend; doch sind dabei wahrscheinlich auch noch andere undurchsichtige Mineralien); alles Andere kann man wegen seiner Farblosigkeit und Durchsichtigkeit als Quarz ansehen.

Ein Blick auf die Verschiedenheit in Form und auch Grösse dieser Umrissse zeigt, welche Mannigfaltigkeit der Gestalt bei den übrigens hydraulisch gleichwerthigen Körnern des zur Untersuchung verwendeten Materials herrscht. Es muss fast nutzlos erscheinen an ihnen Messungen vorzunehmen, die bestimmt sind mathematischen

⁽¹⁾ Diese Vergrößerung wurde bei demselben Instrument erzielt durch Anwendung des Objectivs 2 und eines mit der camera lucida schon verbundenen Oculars, welches den Hartnack'schen Ocularen 2 entspricht. Die Entfernung der Projectionsebene von der camera lucida betrug dabei constant 23 Centimeter.

⁽²⁾ Es wurde nämlich bei sonst unveränderten Umständen das Objectiv 7 angewendet.

⁽³⁾ Für die Lithographie, Taf. V., sind die ursprünglichen Zeichnungen auf $\frac{1}{2}$ verkleinert, so dass die Vergrößerung daselbst nur etwa die 71 fache ist.

Ausdrücken zur Grundlage zu dienen. Ich bin auch weit entfernt zu beanspruchen, dass man aus ihnen ein allgemein gültiges Gesetz ableite, oder gar dass man auf Grund ihrer als — wenigstens bei anderen Verhältnissen — feststehend zu betrachtende, hydraulische Gesetze für die beim Schlämmen auftretenden Umstände umstürze. Sie mögen als ein Versuch betrachtet werden, der von einem Anderen, welchem ein geeigneteres Untersuchungsmaterial zu Gebote steht, revidirt und event. berichtigt werden mag.

Trotz aller Unregelmässigkeit, ist bei einer Vergleichung der projecirten Bilder unter einander ein regelmässiges, durchschnittliches Wachsen der Körner mit den Geschwindigkeiten unverkennbar. Die hier nicht mitgetheilten Projectionen der bei niedrigeren und höheren Geschwindigkeiten erhaltenen Körner würden dies noch weiter bestätigen können. Dies und die verhältnissmässig gute Uebereinstimmung der gefundenen Mittelwerthe mit denjenigen, welche nach der aus den allgemeinen Durchschnittsergebnissen abgeleiteten Formel berechnet waren, möge die Mittheilung dieser Versuche rechtfertigen.

Vor dem Projiciren wurde zunächst, so viel als möglich, die ganze, gerade auf dem Glastäfelchen befindliche Probe nach und nach in das Gesichtsfeld gebracht und für die Zeichnungen Gruppierungen gewählt, welche meinem subjectiven Urtheil nach ein besonders geeignetes Durchschnittsbild lieferten. Für die Wahl derjenigen Körner, welche zum Messen dienten, war maassgebend: 1) Farblosigkeit und Durchsichtigkeit, aus denen geschlossen wurde, dass ein Quarzkorn vorlag, 2) im Allgemeinen eine abgerundete, abgeschliffene Gestalt, 3) ein annähernd kreisförmiger, oder wenigstens elliptischer Umriss, 4) eine dem beobachteten Querschnitt annähernd

entsprechende Dicke (¹). Dies traf, wie sich erwarten liess, im Allgemeinen zu bei denjenigen Körnern, deren Projectionen je die kleinsten Flächeninhalte zeigten (²).

Körner, bei welchen 2 senkrecht auf einander stehende Durchmesser ganz gleich waren, waren sehr selten. Bei den meisten herrschte eine Richtung ein wenig vor. Daher wurden in allen Fällen 2 senkrecht auf einanderstehende Durchmesser (³) gemessen, bei den länglichen Formen annähernd je der grösste und kleinste, die so erhaltenen Werthe als die Achsen (a und α) von Ellipsen betrachtet und daraus ($d = \sqrt{a \cdot \alpha}$) der entsprechende Kreisdurchmesser (resp. Kugeldurchmesser) gefunden (⁴).

Ausserdem aber wurden auch an denselben Figuren, deren Achsen gemessen wurden, Flächenmessungen vorgenommen. Dazu diente ein Planimeter von Amsler-

-
- (¹) Leider besass das von mir gebrauchte Mikroskop kein Focimeter, so dass genauere Bestimmungen der Dicke unterbleiben mussten. Uebrigens würden im vorliegenden Fall solche Bestimmungen, wenn sie wirklich ausgeführt wären, keinen grossen Anspruch auf Genauigkeit machen können.
- (²) Wenn hier und da kleinere vorkamen, so mögen dies solche sein, welche trotz ihres geringeren hydraulischen Werths durch irgend einen Zufall zurückgehalten waren. Ausserdem mögen auch hydraulisch gleichwerthige von kleinerem, dem Auge sich darbietendem Umriss vorhanden sein, deren übrige Gestalt aber zu sehr von der Kugelform abwich.
- (³) Sie sind in den Zeichnungen durch punctirte Linien bezeichnet. Die Zahlen entsprechen den Nummern in Tabelle B.
- (⁴) Man kann hiergegen vielleicht Einwendungen machen. In der That zeigt ein Blick auf die mikroskopischen Zeichnungen, dass die gemessenen Achsen in manchen Fällen eher die Seiten von Rechtecken, als die Achsen von Ellipsen darstellen. Dennoch habe ich hier die kleinste der aus den Messungen ableitbaren, regelmässigen Formen angenommen, weil es höchst wahrscheinlich war, dass die gemessenen Flächen eben die grössten Durchschnitte der Körper darstellten, d. i. dass die Körner nach der der Achse des Mikroskops parallelen Richtung mehr oder weniger abgeplattet waren.

Laffon (¹). Die gefundenen Flächeninhalte wurden als Kreisinhalt genommen und aus ihnen die entsprechenden Durchmesser berechnet. Auf solche Weise bestimmten die Letzteren nur unerheblich von den auf andere Art gefundenen ab.

In Tabelle B. sind die für die beiden Achsen (a und α) von je 6 Körnern gefundenen Grössen, so wie die für jedes Korn sich ergebenden Werthe von $\sqrt{a \cdot \alpha}$ sammt den Mitteln dieser Werthe, ebenso die Mittel der Durchmesser, welche sich aus den Messungen mit dem Planimeter ergaben, endlich auch die aus der gefundenen, empirischen Formel berechneten Durchmesser zusammengestellt. Die Maasse sind im Allgemeinen angegeben in Tausendsteln von Millimetern (den Mikro- oder Millimillimetern Harting's) (²). Die in den drei letzten Columnen enthaltenen Zahlen stellen aber Millimeter dar.

Hierher gehört Tabelle B.

Die gefundenen, mittleren Durchmesser wachsen nun, wie man sieht, keineswegs, wie es die Theorie verlangt, d. h. wie die Quadrate der Geschwindigkeiten. *Vielmehr verhalten sich im Durchschnitt die Durchmesser, wie die elften Wurzeln aus den siebenten Potenzen der Geschwindigkeiten*, also:

$$d : d_1 = v^{\frac{7}{11}} : v_1^{\frac{7}{11}} = v^{0,627} : v_1^{0,627}.$$

während die Theorie verlangt:

$$d : d_1 = v^2 : v_1^2.$$

(¹) *Amsler, Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhalts etc.*; Schaffhausen, 1836. Auch *Bremiker, Theorie des Amsler'schen Polarplanimeters*; Berlin, 1863.

(²) Für die Geschwindigkeiten von 0,1 bis 0,4 Millim. sind die unmittelbar gefundenen Werthe mit 3 dividirt, weil hier eine dreimal stärkere Vergrößerung, zur Messung aber der für die einfache Vergrößerung geltende Maassstab angewendet war.

Wie erheblich die Praxis von der Theorie abweicht, erhellt z. B., wenn man das Verhältniss der in der zweiten Versuchsreihe für die Geschwindigkeiten zwischen 0,5 und 4,91 Ml/m. gefundenen, mittleren Durchmesser dem theoretischen gegenüberstellt. Setzt man den kleinsten Durchmesser = 1, so ist:

Gefunden 1 : 1,5 : 2,7 : 3,3 : 3,8 : 4,2

Berechnet 1 : 4,2 : 17,6 : 36,7 : 66,6 : 96,4.

Wenn man nun auch diese Abweichung des thatsächlichen Verhaltens von dem theoretischen zum Theil auf Rechnung der grösseren oder geringeren Unvollkommenheit des Untersuchungsmaterials ⁽¹⁾ stellen muss, so ist es doch wohl unzweifelhaft, dass das theoretische Gesetz für die beim Schlämmen auftretenden Verhältnisse eine Modification erleiden muss. Diese Modification würde man etwa ausdrücken können durch Einführung eines von der Geschwindigkeit abhängigen (also variablen) Coefficienten (μ). Und legte man für ihn die Durchschnittsresultate meiner Versuche zu Grunde, so würde

$$\mu = v^{-\frac{15}{11}} = \frac{1}{v^{\frac{15}{11}}}$$

und die Schlammformel

$$d = v^2 \cdot B \cdot \mu$$

sein.

Ausser dieser relativen Abweichung aber zeigt eine

⁽¹⁾ Man kann sich durch das Mikroskop überzeugen, dass im Allgemeinen bei Alluvial- und Diluvialgebilden abgerundete Gestalten desto seltener werden, je kleiner das Korn wird, in welchem Fall vielmehr die scharfeckige und platte Form herrschend wird. Dies steht mit der Entstehungsart dieser Erdschichten ganz im Einklang. Wenn aber bei den gemessenen Körnern mit abnehmendem Durchmesser die Abplattung der Gestalt wirklich zunähme, so würde sich die Nichtübereinstimmung der Versuchsergebnisse mit der Theorie wenigstens theilweise erklären.

Vergleichung der empirischen Durchmessergrößen mit den theoretischen, in der Tabelle A. zusammengestellten, dass auch in absolutem Sinne ein nicht unerheblicher Unterschied zwischen Theorie und Empirie besteht. Denn die selbst mit Berücksichtigung des Coefficienten μ aus der theoretischen Formel berechneten Werthe sind mehr als tausend Mal kleiner als die gefundenen. Um daher die theoretische Formel ganz mit der (vorläufig gewonnenen) Erfahrung in Einklang zu bringen, würde noch die Einführung eines constanten Faktors (k) nöthig sein, und wenn man ihn den durchschnittlichen Versuchsergebnissen zufolge

$$k = 1232$$

annahme, so würde man

$$d = v^2 \cdot \frac{3\zeta^2}{4g \cdot (S-1)} \cdot \mu \cdot k \quad (1)$$

haben, woraus sich dann berechnet:

$$d = v^{7/11} \cdot 0,0314 \text{ Millimeter } (2). \quad . \quad . \quad (XV)$$

Diesen empirischen Ausdruck mag man also vorläufig

(1) Vielleicht stehen die Coefficienten μ und k in irgend einem Zusammenhang mit den Molecularverhältnissen der Schlämmlüssigkeit (im vorliegenden Fall des Wassers). Und hier ist vielleicht der Punct, wo der Schlämmaparat dem Studium der Molecularwirkungen verschiedener Flüssigkeiten von Nutzen sein kann (siehe Anm. auf S. 2).

(2) Nach dieser Formel sind in der Tabelle B die in der letzten Columne angegebenen Durchmesser berechnet. Der constante Faktor 0,0314 gilt selbstverständlich nur, wenn Alles in Millimetern ausgedrückt ist. Wird die N fache Grösse eines Millimeters als Maass-einheit angenommen, so wird derselbe

$$B_1 = \frac{B}{N^{7/11}}.$$

Mit Rücksicht auf verschiedene spec. Gewichte ist:

$$d = v^{7/11} \cdot \frac{0,0318}{S-1} \text{ Millimeter.}$$

keinem Fall genaue Trennungen erlauben. Denn im günstigsten Fall sind unmittelbar nach dem Umrühren alle Gemengtheile gleichmässig durch die ganze Flüssigkeit vertheilt. Die Körner vom grössten Durchmesser an bis zu demjenigen, bei welchem nach den im Vorhergehenden entwickelten Formeln die ganze Höhe der Flüssigkeit in beispielsweise t Secunden durchfallen werden kann, werden sich nach Verlauf eben dieser t Secunden sämmtlich abgesetzt haben. Die kleineren aber werden keineswegs sämmtlich im überstehenden Wasser suspendirt geblieben sein. Vielmehr können diejenigen von ihnen, welche sich am Anfang des Fallens in einem entsprechend grösseren Abstand vom Wasserniveau befunden haben, in denselben t Secunden zugleich mit jenen grösseren niedergefallen sein, andere aber, welche sich aus einer der Wasseroberfläche näher liegenden Höhe herabzusenken begannen, den Boden noch nicht erreicht haben, und man wird folglich in dem Absatz keineswegs Körner von einem zwischen bestimmten Grenzen liegenden, hydraulischen Werth haben. Auf diesem Wege werden aus einem Gemisch wohl alle grösseren Körner bis zu einer bestimmten Grenze entfernt werden — ein Zweck, der bei gewissen, technischen Operationen verfolgt und vollkommen erreicht wird —, man wird aber niemals die jenseits jener Grenze liegenden, kleineren vollkommen abscheiden können (1). Ein den Anforderungen der Schlämmanalyse entsprechender Apparat dieser Art wird also so eingerichtet sein müssen, dass das Herabsenken

(1) In der Wirklichkeit wird natürlich der für obige Erklärung vorausgesetzte, ideale, günstigste Fall niemals vorkommen, auch deshalb nicht, weil das Wasser Anfangs, wenn die Körner sich niederzusenken beginnen, nicht in Ruhe, sondern in einer sich allmählig abschwächenden Bewegung ist.

sämtlicher Schlämmkörner annähernd aus einer und derselben Höhe beginnt ⁽¹⁾.

Franz Schulze ⁽²⁾ hat der Schlämmanalyse durch Anwendung des hydraulischen Drucks zuerst eine rationelle Einrichtung gegeben; alle noch seinem bekannten Champagnerglasapparat vorgeschlagenen Schlammapparate sind im Grunde nur Modificationen des seini- gen. Die conische Form, welche er für das Schlammgefäß gewählt hatte, wurde von v. Bennigsen-Förder ⁽³⁾ später mit einer cylindrischen vertauscht. Beide haben

⁽¹⁾ Ich habe versucht, einen diese Bedingung erfüllenden Apparat zu construiren. Derselbe stellte einen Standcylinder von 50^{cm} Höhe und 3^{cm} innerem Durchmesser dar, an welchen 3^{cm} von seinem Boden eine seitliche Abflussröhre, bestimmt für eine durch einen Quetschhahn abschliesbare Kautschukröhre (zum Ablassen des Wassers mit den suspendirt gebliebenen Körnern) angeschmolzen war. Auf seinen oberen Rand war eine dicke Glasplatte genau aufgeschliffen, welche durch eine Klemmvorrichtung angepresst werden konnte. Nach dem Einbringen des zu analysirenden Gemisches wurde der Cylinder bis obenhin mit Wasser gefüllt, darauf die aufgeschliffene Glasplatte so aufgelegt, dass keine Luft im Cylinder zurückblieb, und festgeklemmt. Wenn man nun den Cylinder in die umgekehrte, jedoch senkrechte Stellung (Fuss nach oben) brachte und ihn wenigstens eben so viel Zeit in dieser Stellung belliess, als man für das Absetzenlassen bestimmt hatte, so mussten sich, nachdem der Cylinder in seine gewöhnliche Stellung zurückgebracht war, nur Körner bis zu einer bestimmten Durchmessergränze absetzen — vorausgesetzt, dass die Wirkungsweise des Apparates eine regelmässige wäre. Da indessen das Letztere, bei den gewählten Dimensionen wenigstens, in sehr unzureichender Weise der Fall war, indem die durch das Herabfallen der gröberen Körner innerhalb der Flüssigkeit verursachten, wirbelartigen Bewegungen erhebliche Störungen veranlassten, so habe ich dieses Princip wieder verlassen. Vor Kurzem hat auch A. L. Müller einen von der Fallgeschwindigkeit im Wasser Anwendung machenden Schlammapparat in Aussicht gestellt.

⁽²⁾ J. f. prakt. Chemie. XLVII, 264. 1849.

⁽³⁾ *Chemischer Ackersmann* v. Stöckhardt, 1857. S. 141. Ausserdem *Zeitschr. d. deutsch. geology. Gesellsch.* X. 215. 1858.

ihre Vortheile, weshalb ich sie bei dem von mir angewendeten, unten beschriebenen Apparat vereinigt habe.

Augenblicklich wird wohl der Nöbel'sche Apparat in Folge seiner Empfehlung in dem «*Entwurf zur Bodenanalyse* von Em. Wolff (¹) die verbreitetste Anwendung haben. Darum und weil er in der That bis auf gewisse Punkte *relativ* gute Resultate giebt, werde ich auf seine Theorie hier eingehen.

Bei dem Nöbel'schen Apparat sind vier conische Schlämmgefäße (²) verschiedener Grösse mit einander verbunden. Messungen zufolge, welche ich an mehreren, aus verschiedenen Quellen bezogenen Apparaten angestellt habe, haben die die Schlämmtrichter darstellenden Kegel sämmtlich gleiche Spitzenwinkel (annähernd 28°), die Durchmesser ihrer Basis aber, folglich auch ihre Höhen stehen in dem Verhältniss:

$$1 : 2 : 3 : 4.$$

Daher stehen, nebenbei bemerkt, ihre Inhalte in dem Verhältniss:

$$1^3 : 2^3 : 3^3 : 4^3. \text{ (}^3\text{)}$$

(¹) *Landw.-Versuchs Stationen*, VI. Bd. Auch *Fres. Zeitsch. f. analyt. Chem.* 1864. S. 85.

(²) In allen mir bekannt gewordenen Abbildungen haben die Nöbel'schen Schlämmtrichter keine conische, sondern eine birnenförmige Gestalt (ausgenommen in dem Werke von C. Schmidt, *Химико-физиологическія основанія земледѣлія и скотоводства*). Dagegen sind, wie es scheint, sämmtliche jetzt im Handel vorkommenden Trichter, was ohne allen Zweifel besser ist, rein conisch.

(³) Ueberall findet man die nicht näher motivirte Angabe, dass die Volumina der Trichter sich wie die Cuben aus den vier ersten ganzen Zahlen verhalten sollen; wenn man die birnförmige Gestalt in den Zeichnungen vor sich hat, so ist der Grund hierfür schwer verständlich. Es erklärt sich aber aus dem, worauf der Ton zu legen ist, dass die Durchmesser der grössten Querschnitte sich wie diese Zahlen verhalten.

Das Schlämmresultat ist abhängig von den Geschwindigkeiten, welche in den grössten, auf der Achse senkrecht stehenden Querschnitten der Schlämmtrichter, also in den Basen der Kegel auftreten.

Verfolgt man die Schlammthätigkeit des in einem conischen Raum von der Spitze (unten) nach der Basis (oben) zuströmenden Wassers, so wird man die Körner von einem beliebigen Durchmesser in einem Querschnitt schweben finden, in welchem die ihnen entsprechende Geschwindigkeit herrscht. Da nun die Geschwindigkeiten nach der Basis zu abnehmen, so wird auch in einem entsprechenden Verhältnisse die Grösse der schwebenden Körner abnehmen (¹), und nur diejenigen werden über den grössten Querschnitt hinaus geführt, deren Durchmesser kleiner ist, als der, welcher mit der daselbst auftretenden Geschwindigkeit correspondirt. In dem folgenden, grösseren Kegel wird sich dasselbe Spiel wiederholen u. s. f. Als Resultat wird man Gruppen von Körnern erhalten, deren Durchmesser (hydraulischer Werth) zwischen bestimmten, von den Geschwindigkeiten in den grössten Querschnitten der Schlämmtrichter abhängigen Grenzen liegen.

Nun stehen, wenn in der Zeiteinheit durch verschieden grosse, kreisförmige Querschnitte dieselbe Quantität Wasser durchströmt, die in ihnen auftretenden Geschwindigkeiten (v) im umgekehrten Verhältniss wie die

(¹) So in der Theorie. In der Wirklichkeit entstehen aber immer innerhalb der Flüssigkeit secundäre Bewegungen, die durch das Herabfallen der Körner in der Nähe des Kegelmantels hervorgerufen werden. Diese secundären, wirbelartigen Bewegungen sind desto stärker, je grösser der Spitzenwinkel, und je kleiner der conische Raum im Verhältnisse zu der Menge des anwesenden Körnergemisches ist.

Quadrate der Durchmesser ($D_1 D_2 D_3 D_4$) der Querschnitte.

$$v_1 : v_2 : v_3 : v_4 = \frac{1}{D_1^2} : \frac{1}{D_2^2} : \frac{1}{D_3^2} : \frac{1}{D_4^2}.$$

Da sich aber nach der empirischen Formel (XV) die Durchmesser der Schlämmkörner

$$d_1 : d_2 : d_3 : d_4 = v_1^{\frac{7}{11}} : v_2^{\frac{7}{11}} : v_3^{\frac{7}{11}} : v_4^{\frac{7}{11}}$$

verhalten, so ist auch

$$d_1 : d_2 : d_3 : d_4 = \left(\frac{1}{D_1^2}\right)^{\frac{7}{11}} : \left(\frac{1}{D_2^2}\right)^{\frac{7}{11}} : \left(\frac{1}{D_3^2}\right)^{\frac{7}{11}} : \left(\frac{1}{D_4^2}\right)^{\frac{7}{11}},$$

also bei dem Nöbel'schen Apparat

$$\begin{aligned} d_1 : d_2 : d_3 : d_4 &= \frac{1}{1^{\frac{14}{11}}} : \frac{1}{2^{\frac{14}{11}}} : \frac{1}{3^{\frac{14}{11}}} : \frac{1}{4^{\frac{14}{11}}} \\ &= 1 : 0,414 : 0,247 : 0,171 \\ &= 5,84 : 2,42 : 1,44 : 1. \quad (\text{XXI}) \end{aligned}$$

In Tabelle C sind die verschiedenen Werthe zusammengestellt, welche sich aus den absoluten Dimensionen ⁽¹⁾ der Nöbel'schen Schlämmtichter, wie ich sie an Apparaten verschiedener Herkunft ziemlich übereinstimmend gefunden habe, ergeben.

(1) Die Höhe des Kegels wurde doppelt so gross gefunden als der Durchmesser der Basis. Ist daher σ der Spitzenwinkel, so ist

$$\text{tang. } \frac{\sigma}{2} = \frac{1}{4}$$

woraus für der Spitzenwinkel selbst folgt annähernd

$$\sigma = 28^\circ.$$

Tabelle C.

über die Wirkungsweise des Nöbel'schen Schlammapparats.

№ der Trichter.	Durchmesser ⁽¹⁾ in den grössten Querschnit- ten der Trichter.	Geschwindigkeiten in den grössten Querschnit- ten der Trichter.		Durchmesser der klein- sten, in den Trichtern sich ansammelnden Kör- ner ⁽²⁾ .	
		Wenn 9 Ltr. Wasser in 20 Min. aus- fliessen.	Wenn 9 Ltr. Wasser in 40 Min. aus- fliessen.	Wenn 9 Ltr. Wasser in 20 Min. aus- fliessen.	Wenn 9 Ltr. Wasser in 40 Min. aus- fliessen.
	Centimeter.	Millimeter.	Millimeter.	Millimeter.	Millimeter.
I.	3,75	6,79	3,40	0,106	0,068
II.	7,5	1,70	0,85	0,044	0,028
III.	11,25	0,75	0,37	0,026	0,017
IV.	15,0	0,42	0,21	0,018	0,012

Die in den beiden letzten Columnen befindlichen Zahlen bezeichnen also die Grenzen, zwischen denen die in den einzelnen Trichtern sich ansammelnden Körner ihrer Durchmessergrösse nach liegen.

Aus dem Trichter № IV hinaus in das vorzusetzende Gefäss werden also alle Körner abgeführt, deren Durchmesser kleiner ist als 0^{mm},018 resp. 0^{mm},012. Diese

(¹) Es sind natürlich hier die inneren Durchmesser gemeint. Sie wurden erhalten, indem von den unmittelbar gemessenen, äusseren Durchmessern annähernd so viel abgezogen wurde, als der Wandstärke des Glases entsprach. Die durch Rechnung aus dem unmittelbar ausgemessenen Inhalt des conischen Theils der Trichter gefundenen Durchmesser stimmten mit jenen ziemlich genau überein.

(²) Sie sind berechnet nach der empirischen Formel ($d = v^{7/11} \cdot 0,0314$).

Körnergruppe wird im Folgenden als № V bezeichnet werden.

Wenn man die niedrigste Durchmessergränze = 1 setzt, so hat man nach (XXI):

$$d_4 : d_3 : d_2 : d_1 = 1 : 1,44 : 2,42 : 5,84$$

folglich

$$\begin{aligned} d_3 - d_4 : d_2 - d_3 : d_1 - d_2 &= 0,44 : 0,98 : 3,42 \\ &= 1 : 2,23 : 7,77, \end{aligned}$$

woraus hervorgeht, dass die *Abstände* dieser Grenzen nicht gleich sind, sondern mit abnehmender Trichtergrösse wachsen. Die Folge hiervon wird sein, dass man in den grösseren Trichtern im Allgemeinen eine verhältnissmässig geringere Menge von Schlammkörnern erhalten wird, als in den kleineren. In der That stimmt die Erfahrung hiermit überein. Zieht man beispielsweise aus den Resultaten der 30 chlämmanalysen, welche vor Kurzem von C. Werner ⁽¹⁾ mit verschiedenen Bodenarten angestellt sind, das Mittel, so erhielt dieser Experimentator:

in №	V.	28,4%	
»	»	IV.	8,0%
»	»	III.	15,2%
»	»	II. + I.	48,4% ⁽²⁾

Die Durchschnittsresultate einer grösseren Reihe von mir nach dieser Methode ausgeführter Analysen haben ein ganz ähnliches Verhältniss ergeben.

Im Trichter № IV, für welchen die engsten Grenzen gelten, erhält man im Durchschnitt am wenigsten, in

⁽¹⁾ *Landw. Versuchs-Stationen*, VIII, 408, 1866.

⁽²⁾ Nach den neueren Vorschlägen Wolff's wirkt Trichter N° I nicht mit.

N^o III annähernd doppelt so viel. In N^o II würde man danach etwa 8 mal so viel erhalten, in N^o I und N^o V muss man im Allgemeinen aber verhältnissmässig an meisten bekommen, weil hier das Schlammresultat nach einer Seite hin unbegrenzt ist.

Die *Dimensionen* des Nöbel'schen Apparates sind also derart, dass man sie nicht als glücklich gewählt bezeichnen kann.

Ferner lässt sich Folgendes gegen ihn anführen.

Diejenige Wassermenge, welche durch den ersten (kleinsten) Trichter durchfliesst, d. i. abfliesst, ist 9 Ltr. weniger seinem Inhalt; ebenso sind die Wasserquantitäten, welche die übrigen Trichter *passiren*, gleich 9 Ltr. minus der Summe aus den Inhalten der Trichter von dem betreffenden (inclusive) an bis zum kleinsten. Da nun die Inhalte (K) der Kegel gefunden wurden:

$$\begin{array}{ll} K_1 = 48 \text{ CC}; & K_3 = 1050 \text{ CC}; \\ K_2 = 305 \text{ CC}; & K_4 = 2410 \text{ CC}, \end{array}$$

so sind die die einzelnen Trichter passirenden Wassermengen (Z):

$$\begin{array}{ll} Z_1 = 8952 \text{ CC} & Z_3 = 7597 \text{ CC} \\ Z_2 = 8647 \text{ CC} & Z_4 = 5187 \text{ CC}. \end{array}$$

Im Schlammtrichter N^o IV kommt also fast nur die Hälfte desjenigen Wassers zur Wirkung, welches im ersten schlämmt.

Dies ist ein Grund, weshalb die feineren Schlammtheile ungünstiger gestellt sind, als die gröbereren. Ein weiterer ergibt sich aus folgender Betrachtung.

Wenn ein und dieselbe Wassermasse kreisförmige Querschnitte von verschiedenem Durchmesser passirt, so

wird eine Wasserschicht von bestimmter Dicke einen Querschnitt von kleinerem Durchmesser viel häufiger durchfliessen, als einen solchen von grösserem, daher wird durch ein und dieselbe Wassermenge in einem Schlammraum von kleinerem Durchmesser verhältnissmässig viel vollkommener geschlämmt werden, als in einem solchen von grösserem, d. i. es wird das Schlammprodukt, welches in diesem Schlammraum zurückbleiben soll, viel vollkommener von seinen abschlämmbaren Theilen befreit. Denkt man sich die einzelnen Trichter durchfliessenden Wassermengen (Z) als Cylinder, die je die grösste Querschnittsfläche derselben Trichter zur Basis haben, so ergeben sich die Höhen, wie folgt:

$$h_1 = 811^{cm}; h_2 = 196^{cm}; h_3 = 76^{cm}; h_4 = 29^{cm},$$

d. i. es verhält sich

$$h_1 : h_2 : h_3 : h_4 = 29,4 : 6,7 : 2,6 : 1.$$

Also wird im II. Schlammtrichter 7mal, im I. aber 29-mal vollkommener geschlämmt als im IV. Die Praxis bestätigt diesen Mangel des Apparats auf das augenfälligste (¹).

Wenn man durch den Nöbel'schen Apparat Wasser strömen lässt, welches z. B. einige leichte Staubtheilchen suspendirt enthält, so kann man bemerken, dass die Erhebung des Wassers von der Spitze der Trichter nach ihrer Basis hin keine ganz ruhige und gleichmässige ist, namentlich im unteren Theile. Dies kann man dem Umstand zuschreiben, dass der Spitzenwinkel der Trichter ein zu grosser (28°) ist, und dass der Uebergang des Wassers aus der engeren Verbindungsröhre in das Schlammgefäss nicht allmählig genug erfolgt. Die hierdurch erzeugten, localen Strömungen werden aber

(¹) Die Bestätigung durch den Versuch siehe S. 40 ff.

noch erheblich vermehrt beim Schlämmen selbst, durch die Bewegung der Körner. Letztere fallen nämlich in der Nähe des Kegelmantels, wo von vorn herein in Folge der Reibung an den Wänden eine geringere Geschwindigkeit herrscht, herab, reissen die benachbarten Wassertheilchen mit und veranlassen dadurch innerhalb der allgemeinen Bewegung des Wassers eine secundäre, die sich im Verlauf der Schlämmoperation ganz regelmässig gestaltet. Diese secundäre Bewegung erfolgt nicht immer in gleichem Sinne; sie ist je nach der Stellung des Trichters, je nach der Menge der anwesenden Schlämmkörner etc. verschieden. Häufig richtet sie sich in der Nähe der Achse des Kegels nach oben hin, wendet sich von einer gewissen Höhe an bis zur Basis von der Achse nach dem Mantel zu, um von hier sich wieder nach unten hin fortzusetzen; ein ander Mal ist sie eine andere. Körner, welche dabei über die Ebene des grössten Querschnitts hinausgeführt werden und in den oberen, sich wieder verengernden Theil des Schlammtrichters, wo also die allgemeine Bewegungsgeschwindigkeit des Wassers plötzlich wieder zunimmt, kommen, werden abgeschlämmt. Es ist aber einleuchtend, dass eine gewisse Menge Körner von geringerem hydraulischen Werth, als dem betreffenden Trichter entspricht, zurückgehalten werden müssen, weil sie innerhalb dieser rotirenden Bewegung erhalten und nicht über die Ebene des grössten Querschnitts hinausgeführt werden, andere dagegen von höherem hydraulischen Werth, welche eigentlich in dem Trichter zurückbleiben sollten, werden, da sie durch die innerhalb des Wirbels herrschende, grössere Geschwindigkeit theilweis hoch hinauf, ja über die Ebene des grössten Querschnitts hinausgeführt werden, abgeschlämmt. Die Folge davon ist, dass man in

einem Trichter Körner von einem zwischen bestimmten Grenzen liegenden, hydraulischen Werth nicht ansammeln kann.

Alle diese Störungen treten, wenn man immer unter denselben Umständen schlämmt, ganz regelmässig ein; die Resultate werden also, relativ genommen, immer gleichartig sein. In der That zeigen die Analysen von Wolff und Werner, so wie gleich anzuführende eigene, dass in dieser Beziehung der Apparat Nichts zu wünschen übrig lässt.

Die Schlämmanalyse mit dem Nöbel'schen Apparat hat durch die neueren Vorschläge Wolff's (¹) wesentliche Verbesserungen erfahren. Wenn man, was durchaus nöthig ist, anstatt eines offenen Nachflussgefässes eine Mariotte'sche Flasche anwendet, so dürfte diese Methode nach Möglichkeit vervollkommenet sein.

Zur Prüfung des Nöbel'schen Apparates habe ich unter anderen dasselbe Erdgemisch angewendet, welches ich zur Feststellung der effektiven Beziehung zwischen Stromgeschwindigkeit und Körnerdurchmesser (s. S. 18 ff.) brauchte. Aus einer grösseren Reihe von Versuchen mit gleichem Resultat theile ich folgende mit.

Es wurden zwei verschiedene Proben derselben Erdart genommen und geschlämmt, die Schlämmpunkte einer jeden aber nachher wieder vereinigt und von Neuem geschlämmt. Zu den Resultaten dieser Versuche, welche sich in folgender Tabelle zusammengestellt finden, sind diejenigen einer nach der früher im Entwurf zur Bodenanalyse mitgetheilten Methode ausgeführten Analyse desselben Bodens hinzugefügt. In allen von mir ausgeführten Schlämm-

(¹) Landwirthsch. Versuchs-Stationen. VIII. S. 40^s. 1866.

analysen sind die feinsten Theile nicht durch Verlust, sondern direct bestimmt.

Tabelle D.

In 100 Theilen.

№ der Trichter.	I.	II.	III.	IV.	V.	Sum- me.	
Nach der alten Methode. 9 Ltr. Wasser; 20 Minuten.	41,9	4,1	18,9	14,0	20,0	98,9	
Nach Wolff's verbesserterMe- thode; als Nach- flussgefäß eine Mariotte'sche Flasche. 9 Ltr. Wasser; 40 Mi- nuten.	}	Probe a.	61,3	13,0	10,8	13,8	98,9
		Wiederholung mit Probe a.	60,7	13,2	10,4	13,9	98,2
	}	Probe b.	61,2	13,0	9,7	15,0	98,9
		Wiederholung mit Probe b.	60,5	13,0	9,7	14,6	97,8

Die Zahlen bestätigen zunächst, was im Voraus zu erwarten war, dass die Resultate der Schlämmanalyse nach der von Wolff veränderten Methode ganz andere werden, als nach der alten. Ausserdem aber zeigt sich eine Uebereinstimmung in den nach Wolff's Verbesserungen erhaltenen Resultaten, wie sich in der That nicht besser wünschen lässt. Dies bewiese, dass der Apparat unter gleichen Umständen gleichmässig wirkt.

Dass seine Wirkungsweise aber, *absolut* genommen, eine regelmässige sei, ist damit keineswegs erwiesen. Der Nachweis einer absoluten Regelmässigkeit für irgend einen Apparat hat seine Schwierigkeiten. Denn in den unregelmässigen Gestaltungsverhältnissen der Körner selbst, welche die der Schlämmanalyse zu unterwerfenden Gemische zusammensetzen, liegt ein wesentlicher Grund,

dass die Resultate beispielsweise bei Abänderung von scheinbaren Nebenumständen verschieden ausfallen, ungeachtet dessen, dass die das Ergebniss, wie man erwarten sollte, *allein* bedingenden Hauptumstände dieselben bleiben. Unter diesen Hauptumständen verstehe ich diejenigen, welche in den im Früheren entwickelten Formeln eine Berücksichtigung erfahren haben. Sieht man aber von jenen in den Gestaltungsverhältnissen der Schlämmkörner begründeten Unregelmässigkeiten ab, so müsste, wenn der Nöbel'sche Apparat in absolutem Sinne regelmässig wirkte, beispielsweise bei einer Wiederholung mit einer schon vorher geschlammten Probe, wenn das in dem einen oder dem anderen Trichter erhaltene Schlammprodukt fortgelassen würde, dieser Trichter leer bleiben, oder wiederholte man das Schlämmen mit dem Schlammprodukt aus einem einzigen Trichter, so müsste sich dasselbe einzig und allein in diesem wiederfinden, die anderen aber leer bleiben.

Mehrere Versuche, welche ich in verschiedener Art und mit verschiedenen Körnergemischen angestellt habe, um zu sehen, wie weit der Nöbel'sche Apparat diese Probe aushielte, zeigten, dass die in den einzelnen Trichtern sich ansammelnden Körner, bei Wiederholungen der angegebenen Art sich keineswegs in den entsprechenden Trichtern wiederfanden, sondern sich, und zwar in verschiedenem Maasse, auf mehrere vertheilten. Ich theile folgendes Beispiel mit.

20 Grm. des Untergrundes von den Feldern des ehemaligen landwirthschaftlichen Instituts zu Gorki (im Gouvernement Mohilew), welche vorher mit verdünnter Salzsäure behandelt waren, wurden zunächst nach Wolff geschlammt. Die Schlammprodukte aus jedem einzelnen

Trichter wurden, ohne vorher gewogen zu sein, jedes für sich, von Neuem geschlämmt, und die so gewonnenen Produkte gewogen. Bei diesem 5maligen Schlämmen waren nur 0,2 Grm. oder 1% verloren gegangen. Die Resultate dieser Versuchsreihe sind in folgenden Tabellen mitgetheilt.

Tabelle E.

№ des angewendeten Schlammprodukts.	Bei den Wiederholungen in den einzelnen Fällen erhaltene Schlammprodukte.				Summe.
	I. + II.	III.	IV.	V.	
I. + II.	59,6%	0,8%	0,5%	0,3%	61,2%
III.	0,2 »	21,1 »	0,5 »	0,4 »	22,2 »
IV.	0,2 »	1,9 »	3,2 »	3,8 »	9,1 »
V.	0,2 »	0,4 »	1,9 »	5,0 »	7,5 »
Summe	60,2 »	24,2 »	6,1 »	9,5 »	100,0 »

Berechnet man aber die Procente für jedes einzelne Schlammprodukt, so ergeben sich folgende Zahlen.

Tabelle F.

№ des angewendeten Schlammprodukts.	Bei den Wiederholungen in den einzelnen Fällen erhaltene Schlammprodukte.				Summe.
	I. + II.	III.	IV.	V.	
I. + II.	97,5%	1,2%	0,9%	0,4%	100
III.	0,7 »	95,0 »	2,5 »	1,8 »	100
IV.	1,7 »	21,0 »	35,3 »	42,0 »	100
V.	2,0 »	6,0 »	24,8 »	67,2 »	100
Summe	101,9 »	123,2 »	63,5 »	111,4 »	400

Wie gesagt, man ist nicht berechtigt, aus diesen Ergebnissen einen ganz sicheren Schluss zu ziehen, ob

der Apparat in absolutem Sinne regelmässig wirkt oder nicht. Es wird aber Niemandem entgehen, dass die Versuche zeigen, wie ungleich sich die vier Trichter in Bezug auf Regelmässigkeit der Wirkungsweise verhalten. Während bei diesen Wiederholungen mit den einzelnen Schlämmprodukten, wie Tabelle F. zeigt, in den Trichtern № II und № III sich fast Alles wiederfindet, was sich beim Schlämmen mit der vollen Probe darin angesammelt hatte, findet man in № V nur 67,2%, in № IV aber gar nur 35,3% wieder. In der That ist es namentlich der Trichter № IV, welcher durchaus unbefriedigende Resultate liefert (¹). Aber gerade von ihm, von welchem die für Bonitirungszwecke so wichtige, genaue Bestimmung der sog. «thonigen» Bestandtheile abhängt, sollte man eine besonders nicht nur relativ sondern auch absolut regelmässige Wirkungsweise erwarten.

Die Versuche geben zugleich die experimentale Bestätigung dessen, was im Vorhergehenden a priori gegen den Nöbel'schen Apparat gesagt ist (s. S. 35 ff.). Sie zeigen unter Anderem, dass in den kleineren Trichtern viel vollkommener und günstiger geschlämmt wird, als in den grösseren.

Im Folgenden werden noch andere Versuche mit dem Nöbel'schen Apparat mitgetheilt werden, welche zu seiner Vergleichung mit dem von mir angewendeten Apparat angestellt wurden, und welche eine weitere Bestätigung dessen liefern, was hier ausgesprochen ist.

Es muss endlich noch als ein Mangel des Nöbel'schen

(¹) Diese Thatsache stellt sich dem Auge des Beobachters beim Schlämmen selbst schon so auffallend dar, dass der obige, umständliche Nachweis eigentlich ganz überflüssig ist.

Apparates (und ähnlicher) bezeichnet werden, dass der Experimentator an ein ganz bestimmtes, unabänderliches Verhältniss der Grenzen, zwischen denen die Körnerdurchmesser der Schlammprodukte liegen, gebunden ist.

Was den kürzlich von Dietrich (¹) vorgeschlagenen Apparat betrifft, welcher aus 4 verschieden langen und weiten, sowie verschieden gegen den Horizont geneigten, cylindrischen Röhren besteht, so will ich hier nicht auf eine Erörterung seiner etwas complicirten, theoretischen Verhältnisse eingehen; ich will nur andeuten, warum seine Wirkungsweise dem eigentlichen Zweck der Schlammanalyse, ein Gemisch in ihrem hydraulischen Werth nach bestimmt begrenzte Körnergruppen zu trennen, nicht ganz entsprechen kann.

Stellt ABCD (Fig. 2, Tafel VI.) den senkrechten, durch die Achse gelegten Längsschnitt des Schlammraumes eines solchen geneigten Cylinders, F die Einströmungs- und E die Ausflussöffnung dar, so haben also sämtliche Schlammkörner eine von der Richtung des Wasserstroms abweichende Bewegungsrichtung, die nach den Formeln (XVII) bis (XX) von v , d und dem Winkel α abhängig ist. Ist diese Bewegungsrichtung der Diagonale AC oder einer von A ausgehenden, aber innerhalb des Winkels CAB liegenden Linie, z. B. AS, parallel, so müssen ohne Ausnahme alle diejenigen Körner zurückbleiben, deren Durchmesser gleich oder grösser als der diesen Bewegungsrichtungen entsprechende ist; denn alle diese Körner müssen auf ihrem Wege an die Seite BC anstossen und dadurch an ihrer Weiterbewegung gehindert werden.

Alle diejenigen Körner aber, deren Durchmesser klei-

¹) *Fres. Zeitschr. f. analyt. Ch.* V. 293. 1866.

ner ist, als der Bewegungsrichtung AC entspricht, deren Weg also einer Linie parallel ist, die von A ausgehend innerhalb des Winkels DAC fällt, z. B. AH, werden zum Theil fortgeführt werden, zum Theil aber auch zurückbleiben. Nimmt man den günstigsten Fall an, so sind beim Eintritt des Schlämhwassers in den Cylinder z. B. in der Schicht ABMN alle Körner von irgend einem hydraulischen Werth gleichmässig von AN bis BM vertheilt. Ein Korn nun, dessen Durchmesser z. B. der Bewegungsrichtung AH entspricht, wird wohl fortgeführt werden, wenn es sich zufälliger Weise am Anfang des Durchströmens in oder nahe bei A befindet. Ein anderes aber, übrigens von demselben Durchmesser wird, sobald es sich am Anfang hinreichend nah an B befindet, auf seinem der Linie AH parallelen Wege RQ z. B. in Q an die Seite BC anstossen und zugleich mit anderen hydraulisch höherwerthigen zur Ruhe kommen, woraus folgt, dass zwischen gewissen Grenzen liegende, hydraulisch gleichwerthige Körner nicht vollkommen abgeschlämmt, resp. angesammelt werden, sondern sich auf mehrere Schlämmsylinder vertheilen müssen.

IV. Conisch-cylindrischer Schlämmapparat mit Piézometerröhre.

Die Fingerzeige für den Weg, welcher einzuschlagen ist bei der Construction eines rationellen, den Anforderungen der Schlämmanalyse möglichst vollkommen gerecht werdenden, auf die Gesetze des hydraulischen Drucks gegründeten Apparats ergeben sich einestheils aus der dargelegten Theorie des Schlämmens, anderentheils aus den Vorzügen sowohl wie Mängeln der bisher gebräuchlichen Apparate.

Zunächst muss es, um die Beurtheilung des Schlammresultates nicht unnöthiger Weise zu compliciren, bei dem *senkrecht* nach oben gerichteten Wasserstrom sein Bewenden haben. Sodann erscheint für den Apparat ein conischer Theil nöthig, um dem Körnergemisch Gelegenheit zu geben sich zunächst in seine Bestandtheile ihrem hydraulischen Werth nach zu trennen, und die verschiedenwerthigen Körner an den verschiedenen Stellen des conischen Raumes schwebend und der Schlammthätigkeit des strömenden Wassers fordauernd ausgesetzt zu erhalten. Dabei soll der Spitzenwinkel des betreffenden Conus ein möglichst kleiner (etwa 5—6°) sein, um die Verlangsamung des Wasserstroms sehr allmählig eintreten zu lassen und dadurch localen Strömungen möglichst vorzubeugen. Weiterhin erscheint es von Wichtigkeit, dass derjenige Raum des Schlammgefässes, von dessen Dimensionen zunächst das Resultat abhängig ist, und welcher daher vorzugsweise als «*Schlammraum*» zu bezeichnen ist, auf einer gewissen Länge rein cylindrisch sei, damit die Geschwindigkeit des Wasserstroms, von welcher Alles abhängt, eine Zeit lang constant bleibe und wirke. Der Schlammraum darf eine gewisse Weite nicht überschreiten, weil, namentlich bei geringen Stromgeschwindigkeiten, desto leichter locale Strömungen entstehen, je grösser der Durchmesser des Querschnitts ist. Es ist demnächst für eine auf wissenschaftliche Genauigkeit Anspruch machende Bestimmung dessen, was man eigentlich ausführt, unerlässlich, dass der Apparat mit einer Einrichtung versehen sei, welche eine genaue Messung der in dem Schlammraum zur Wirkung kommenden Geschwindigkeit ermöglicht. Auch soll der Apparat, damit der Freiheit des Experimentirens in keiner Weise Zwang angethan wird, es erlauben innerhalb ge-

wisser Grenzen jede beliebige Stromgeschwindigkeit mit Bequemlichkeit und Genauigkeit herbeizuführen. Endlich soll überhaupt seine praktische Handhabung leicht sein.

Die vollkommene Erfüllung dieser in erster Linie stehenden Bedingungen war aber nur möglich unter Aufgabe der den Nöbel'schen Apparat auszeichnenden, jedoch erst in zweiter Linie stehenden Vorzüge, dass man mehrere Schlammprodukte gleichzeitig neben einander erhält und im Allgemeinen die eigentliche Schlammoperation in kürzerer Zeit ausführt.

Der *conisch-cylindrische Schlammtrichter*, welchen ich für die Schlammanalyse in Vorschlag bringe, ist aus Glas und in Fig. 3, Tafel VI in $\frac{1}{5}$ natürlicher Grösse nach einem durch die Achse gelegten Längsschnitt dargestellt. ABCDEFG bildet ein Stück. Der *cylindrische* Theil BC — der *Schlammraum* — ist 10 Centimeter lang und hat einen inneren Durchmesser von möglichst genau 5 Centimeter. Er soll auf dieser Länge rein cylindrisch sein.

An ihn schliesst sich der 50 Centimeter lange *conische* Theil CD an. Es kommt viel darauf an, dass der Durchmesser an seinem unteren Ende bei D im Lichten in keinem Fall grösser als 5 Millimeter, aber auch nicht kleiner als 4 Millimeter sei. Gleiche Grösse soll der innere Durchmesser in der rein halbkreisförmigen Biegung bei DEF haben.

Die nach oben gebogene Zuflussröhre FG, die etwa bis dahin reicht, wo der cylindrische Theil des Trichters beginnt, kann einen grösseren Durchmesser haben, dies ist jedoch nicht nöthig; kleiner als 5 bis $4\frac{1}{2}$ Millimeter im Lichten darf er aber nicht sein.

Von B an bis zum Halse H verengt sich der Trichter allmählig. Es ist gut, wenn der etwa 2 Centimeter lange

Hals cylindrisch ist; sein Durchmesser soll $1\frac{1}{2}$ bis 2 Centimeter sein. In ihm steckt vermittelst eines Kautschuckpfropfens die an ihrem unteren Ende Z-förmig gebogene Röhre HJKL.

Die Wandstärke des Trichters mag dieselbe sein, wie bei den Trichtern des Nöbel'schen Apparates.

Fig. 4 stellt einen Längsschnitt der *Combination von Abflussröhre und Piëzometer (Druckmesser)* in natürlicher Grösse dar. Sie bildet ein Stück und ist angefertigt aus einer Barometerröhre, deren äusserer Durchmesser 7 bis 10 Millimeter, deren innerer aber möglichst genau 3 Millimeter sein soll.

Die *Abflussröhre* HJK ist bei J unter einem Winkel von 40 bis 45° gebogen; grösser darf der Winkel nicht sein. Das Knie bei J muss möglichst scharf, d. i. der Bogen möglichst kurz sein, ohne dass dadurch das Innere der Röhre verengt würde.

Das Knie bei K muss wo möglich noch schärfer sein, so dass die Achse des Piëzometers KL annähernd in das Centrum der Ausströmungsöffnung bei K fällt.

Form und namentlich Grösse der Ausströmungsöffnung K sind sehr wichtig. Sie soll möglichst kreisförmig sein, abgeschmolzene Ränder und einen Durchmesser von möglichst genau $1\frac{1}{2}$ Millimeter haben. Grösser als $1\frac{2}{3}$, und kleiner als $1\frac{1}{2}$ Millimeter darf letzterer nicht sein. Die Oeffnung muss in jedem Fall bei der vorliegenden Stellung der Röhre am tiefsten Punkte der Biegung bei K, überhaupt so angebracht sein, dass der ausfliessende Wasserstrahl ein wenig schräg nach unten gerichtet ist (etwa wie es der Pfeil andeutet).

Das *Piëzometer* LK ist parallel dem Schenkel HJ der Abflussröhre. Die Theilung auf ihm (in Centimetern),

die in der Zeichnung auf dem Längsschnitt projectirt erscheint, hat ihren Nullpunkt in dem Centrum der Ausströmungsöffnung bei K; sie beginnt bei dem 1-sten Centimetertheilstrich. Sie ist

Von 1 bis 5	Centimtr.	in Millimetern	
« 5 « 10	«	« $\frac{1}{4}$	Centimtr.
« 10 « 50	«	« $\frac{1}{2}$	«
« 50 « 100	«	« $\frac{1}{4}$	«

Die Länge des Piézometers wird daher etwas mehr, wie ein Meter betragen.

Wer einige Uebung am Glasbläsertisch hat, kann sich eine solche Röhre selbst anfertigen und die Theilung von einem genauen Maassstab mit dem Diamanten (oder sonst wie) auftragen.

Die angegebenen Dimensionen des Trichters und der Combination von Abflussröhre und Piézometer haben sich durch längeres und sorgfältiges Ausprobiren als die passendsten ergeben für die gewöhnliche Schlämmanalyse des Bodens. Mit ihnen verfügt man über Geschwindigkeiten im Schlämmraum von etwa 0,2 Millimeter an bis 4 Millimeter. Selbstverständlich kann man sie nach Bedürfniss abändern, und die Abänderung kann einmal den Durchmesser im Schlämmraum (der jedoch nicht grösser als 5^{cm} gewählt werden darf) oder die Grösse der Ausströmungsöffnung unter dem Piézometer betreffen. Zu meinen Versuchen habe ich mich beispielsweise dreier Schlammtrichter mit beziehungsweise $3\frac{1}{4}$ ^{cm}, $3\frac{3}{4}$ ^{cm} und $4\frac{1}{2}$ ^{cm} Durchmesser ⁽¹⁾ im Schlämmraum bedient. Ausserdem brauch-

(¹) In demselben Verhältnisse, in welchem der Durchmesser im Schlämmraum kleiner genommen wird, kann der conische Theil des Trichters kürzer gewählt werden, da es nur darauf ankommt, dass der Spitzenwinkel des Conus nicht grösser wird.

te ich 4 Piézometerröhren mit verschieden grossen Ausströmungsöffnungen ⁽¹⁾, und verfügte so über alle genau messbaren Geschwindigkeiten, welche zwischen 0,02 und 30 Millimetern liegen.

Im Uebrigen sind aber alle Dimensionen und Formen genau so einzuhalten, wie es angegeben. In gewissen Fällen kann eine geringe Abweichung von ihnen den Apparat geradezu unbrauchbar machen.

In landwirthschaftlichen Laboratorien und überall da, wo die Schlämmanalyse zu den öfter sich wiederholenden Arbeiten gehört, ist es gut ihr einen besonderen Platz anzuweisen und daselbst eine geeignete Einrichtung anzubringen.

Die Einrichtung z. B., deren ich mich bedient habe, besteht, wie die skizzirte Vorderansicht Fig. 5. und die Seitenansicht Fig. 6. in $\frac{1}{20}$ natürlicher Grösse andeutet, zunächst aus einem niedrigen *Experimentirtisch* von 1 Meter Länge, 0,5 Meter Breite und 0,6 Meter oder etwas mehr Höhe. Auf seiner hinteren Hälfte steht das für das Nachflussgefäss A bestimmte *Gestell*, welches eine Höhe von 1,25 bis 1,4 Meter und eine Länge (wie der Tisch) von 1 Meter hat; das obere Tragbrett ist $\frac{1}{4}$ Meter breit. Auf letzterem steht das Nachflussgefäss AA, aus welchem das Wasser durch die senkrecht nach unten gerichtete, in einem Hahn H endigende Röhre BB fliesst; dieselbe ist durch einen Kautschuckschlauch mit dem Schlammtrichter C verbunden, welcher durch eine solide, an einem im Tisch befestigten, eisernen Stativ verschiebbare

(¹) Wenn die Ausströmungsöffnung grösser als $2\frac{1}{2}$ bis 3 Millimeter im Durchmesser wird, kann man nicht gut eine Barometerröhre zum Piézometer mehr nehmen. Eine Glasröhre von 5 bis 7 Millimeter innerem Durchmesser ist dann am passendsten.

Klemme (1) gehalten wird und durch einen in der Tischplatte angebrachten Ausschnitt K durchgeht. Die Piézometerröhre *a b c d* wird durch eine an dem oberen Gestell angebrachte Vorrichtung in einer senkrechten Stellung gehalten. Diese Haltevorrichtung besteht bei mir aus einem Ring (G) von starkem Messing- oder Eisendraht, welcher in geeigneter Weise am Gestell oben befestigt ist. Man kann in ihm einen Kork befestigen mit einem Loch, durch welches die Piézometerröhre, ohne sich zu klemmen, durchgeht. An der letzteren befestige ich oben zwischen G und *d* einen Kork *e*, dessen Durchmesser grösser ist, als der des Loches bei G, durch welches die Röhre durchgeht. Hat man das Piézometer aus dem Trichter C herauszunehmen, so kann man es vermittelst dieses Korkes an dem Ring G hängen lassen und ist nicht gezwungen die ganze Röhre jedesmal zu entfernen.

Das *Nachflussgefäss* habe ich, damit während der verschiedenen Stadien des Schlammprocesses die Druckverhältnisse möglichst gleich bleiben, von grosser Grundfläche aber von geringer Höhe gewählt (2). Es ist ein 4-eckiger Kasten aus lackirtem Weissblech, 1 Meter lang,

(1) Dieselbe ist in der Zeichnung, um die Uebersichtlichkeit nicht zu beeinträchtigen, nicht mit angegeben.

(2) Besser aber kostspieliger ist ein Blechgefäss nach Art der Mariotte'schen Flasche. Dasselbe mag einen 3^{dm} langen, 2^{dm},5 breiten und 2^{dm} hohen, allseitig geschlossenen Kasten darstellen, welcher oben eine luftdicht verschliessbare, zum Nachfüllen bestimmte Oeffnung, in der vorderen Seitenwand aber ganz unten einen Tubus hat. In letzterem steckt vermittelst eines Korkes eine senkrecht nach oben gebogene Glasröhre, durch welche beim Ausfliessen des Wassers die Luft in den geschlossenen Raum eintritt, und welche beim Nachfüllen zugleich als Wasserstandszeiger dient. Im Uebrigen ist die Einrichtung, wie oben beschrieben.

2 $\frac{1}{2}$ Decimeter breit, aber nur 1 Decimeter hoch. Auf diese Weise fasst es 25 Liter Wasser. Es ist zum Schutz gegen Staub mit einem Deckel *mlno* versehen, der sich an dem einen Ende aufklappen lässt. Die Klappe hat 2 $\frac{1}{2}$ Decimeter im Geviert. Die Röhre BB, welche entweder fest angelöthet, oder, was sich für den Transport empfiehlt, anzuschrauben ist, befindet sich in der Mitte vorn am Reservoir, geht durch einen entsprechenden Ausschnitt des Tragbretts und hat etwa 3 Centimeter im Durchmesser. Der Hahn H soll keine zu kleine Oeffnung haben, gut eingeschliffen sein, leicht gehen und mit einem längeren Griff versehen sein, damit sich der Wasserzufluss mit Bequemlichkeit reguliren lässt. Man kann das eiserne Stativ für die Klemme so auf dem Tisch anbringen, dass sich das untere Ende der Röhre BB daran befestigen lässt, und giebt letzterer dadurch einen festen Halt.

Wo man sehr viel Schlämmanalysen auszuführen hat, kann man den Tisch, das Gestell und Nachflussgefäss um das Doppelte oder Dreifache verlängern, an dem so vergrößerten Nachflussgefäss mehrere mit Hähnen versehene Abflussröhren (BB) anbringen und durch Aufstellung einer entsprechenden Anzahl Schlämmapparate mehrere Schlämmanalysen gleichzeitig neben einander ausführen.

Zu dieser Schlämmeinrichtung gehört endlich noch ein Sieb (ABCD in Fig. 7 — ein durch die Achse gelegter Längsschnitt in $\frac{1}{2}$ natürl. Grösse). Ueber den Cylinder ABGH aus Zinkblech (Höhe sowie Durchmesser = 5 Centimeter) ist bei GH als Siebboden ein Messingdrahtnetz von einer der feinsten, im Handel vorkommenden Sorten gelegt, welches durch den überzuschiebenden

1½ Centimeter breiten Ring CDEF in Spannung erhalten wird. Die Maschenöffnungen des Drahtnetzes sollen Quadrate darstellen, deren Seite möglichst genau 0,2 Millimeter gross sei. Damit in den Zwischenraum zwischen dem Cylinder ABGH und dem Ring CDEF mit dem Wasser (¹) keine Körner eindringen und sich festsetzen, ist es gut, den Ring bei EF sowohl (ausseren) wie bei HG (innen) ringsherum festzulöthen.

Beim Nichtgebrauch bewahrt man den Schlämmtrichter sowie namentlich die Piëzometerröhre in einem besonders dazu angefertigten Etui auf, welches ausserdem noch das Sieb aufnehmen kann.

V. Verfahren bei Anwendung des conisch-cylindrischen Schlämmtrichters.

Jeder Apparat der eben beschriebenen Art erfordert eine Vorprüfung, ehe er in Anwendung gebracht wird. Dieselbe hat zum Zweck, die genaue Relation festzustellen, welche zwischen Druckhöhe im Piëzometer und Geschwindigkeit im Schlämmraum effektiv besteht. Bei einer bestimmten Druckhöhe im Piëzometer ist die Geschwindigkeit des durch den Schlämmraum strömenden Wassers abhängig: 1) von dem Durchmesser im Schlämmraum und 2) von der Grösse der Ausströmungsöffnung unter dem Piëzometer (bei K, Fig 4). Da es nicht wohl in der Hand des Anfertigers liegt, diesen Theilen des Apparates, namentlich der wichtigen Ausströmungsöffnung eine im Voraus ganz genau bestimmbare Grösse zu geben, so muss dieselbe für jeden Schlämmraum und

(¹) Es wird unter resp. mit Hülfe von Wasser gesiebt, wie — siehe weiterhin.

jede Combination von Abflussröhre mit Piëzometer durch Versuche gefunden werden.

1) *Die Messung des Durchmessers im Schlämmraum* geschieht auf die Weise, dass man auf dem cylindrischen Theil des Schlämmtrichters mit dem Diamanten 2 Marken anbringt, welche in einer der Achse des Cylinders parallelen Richtung genau um 10 Centimeter, oder allgemein um h^{cm} abstehen. Den zwischen diesen Marken liegenden Raum misst man genau mit Wasser aus. Ge- setzt, es wären Z CC gefunden, so ist:

$$Z = h \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2,$$

$$\text{also } D = \sqrt{\frac{4 \cdot Z}{\pi \cdot h}} \text{ Centimeter.}$$

Auf solche Weise erhielt ich für den Durchmesser im Schlämmraum von 3 verschieden grossen Schlämmtrichtern:

in a : $3^{cm},227$; in b : $3^{cm},793$; in c : $4^{cm},489$.

Um sich zu überzeugen, dass der Schlämmraum rein cylindrisch ist, theilt man ihn seiner Länge nach in mehrere Theile und bestimmt den Durchmesser eines jeden für sich (¹).

2) Die zweite Prüfung betrifft *die Beziehung zwischen Ausflussquantum und Druckhöhe am Piëzometer*.

Das Ausflussgesetz:

$$v = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

(¹) Diese Probe habe ich natürlich an allen von mir zur Prüfung der Methode benutzten Schlämmtrichtern gemacht und die Form wenigstens auf einer Länge von 7 bis 8^{cm} fast genau cylindrisch gefunden.

(v = Ausflussgeschwindigkeit; h = Druckhöhe; μ = Ausflusscoefficient; $g = 9,81$ Meter) und

$$Q = v \cdot F = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot F$$

(Q = Ausflussquantum. F = Flächeninhalt der Ausströmungsöffnung) hat zwar hier seine Gültigkeit. Es muss indessen wegen der Enge ⁽¹⁾ der Piézometerröhren sowohl wie der Ausflussöffnungen und aus anderen Gründen, auf die näher einzugehen hier zu weit führen würde, gewisse Modificationen erleiden. Ich habe mich überzeugt, dass es für die vorliegenden Zwecke genügt, diese Modificationen in einer empirisch feststellbaren, für alle Höhen constanten Grösse C , welche von der beobachteten Druckhöhe h *abzuziehen* ist, wenn das theoretische Ausflussgesetz gültig sein soll, zusammenzufassen. Vorzugsweise ist dieser Werth C bedingt durch die Capillarattraction, in Folge deren sich zu der eigentlich zur Wirkung kommenden Drucksäule in den engen Piézometern ein gewisser, bei Röhren von gleichmässigem Caliber für alle Höhen constanter, unwirksamer Theil hinzuaddirt. Ausserdem ist hier C theilweis als abhängig angesehen von dem Widerstand, welchen das Wasser beim Ausströmen aus den *engen* Oeffnungen erfährt, und unter welchem hier nicht ganz das zu verstehen sein dürfte, was sonst gewöhnlich durch den Ausflusscoefficienten ausgedrückt wird. Dieser Widerstand ist desto grösser, je kleiner die Mündung ist, weshalb bei Röhren von gleichem Caliber C wächst, wenn die Mündung enger wird ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Es ist unerlässlich so enge Röhren zu nehmen, weil bei niedrigen Geschwindigkeiten sonst Luftblasen in der Ausflussröhre zurückbleiben und unangenehme Störungen veranlassen. Für grössere Ausflussöffnungen dagegen sind weitere Röhren brauchbar, ja nöthig.

⁽²⁾ Der eigentliche Ausflusscoefficient wächst, wie Buff (Pogg. Ann.

Die Feststellung der effektiven Beziehung zwischen Ausflussquantum und Druckhöhe führt man nun am besten aus, indem man den ganzen Apparat so zusammensetzt, wie es die Figuren 5 und 6 zeigen (¹). Vermittelt des Hahnes H regulirt man sodann den Wasserzufluss so, dass das Ausströmen bei K (Fig. 4) unter einem gewissen, auf dem Piëzometer ablesbaren Druck erfolgt. Die beschriebene Einrichtung erlaubt eine erforderliche Druckhöhe, resp. Geschwindigkeit so genau herbeizuführen, als man es nur irgend fordern kann. Das schliessliche, genaue Einstellen des Hahnes erfolgt am bequemsten durch vorsichtiges Klopfen mit einem Lineal od. dgl. Das Wasserniveau im Piëzometer nimmt wenige

XLVI. 235) gefunden und Weisbach (Ingen. u. Masch. Mech. IV. Aufl. I. 791) bestätigt hat, nicht nur wenn die Mündungen, sondern auch wenn die Höhen abnehmen. Letzteres, für den vorliegenden Zweck nur von unbedeutendem Einfluss, ist hier unberücksichtigt geblieben. Die Art, wie hier der erwähnte Widerstand in den Formeln Ausdruck gefunden hat, mag angefochten werden. Da indessen, wie es scheint, keine Experimentaluntersuchungen über die Verhältnisse beim Ausströmen aus sehr engen Oeffnungen vorliegen, daher eine genauere Formulirung ohnehin nicht möglich war, und weil, wie die Columnen unter $\frac{Q}{\sqrt{h-C}}$ in den Tabel-

len H und J zeigen, die hier gewählte Ausdrucksweise mit den thatsächlichen Verhältnissen sich in keiner erheblichen Disharmonie befindet, so mag man das obige, für die Berechnungen einfachste Verfahren — bei welchem also in dem einzigen Subtrahenten C in Bausch und Bogen die Wirkungen verschiedener Einflüsse zusammengefasst sind — gelten lassen.

- (¹) Man kann auch zu diesem Versuch das Wasser, ohne es erst durch den Schlammtrichter gehen zu lassen, direct in die Piëzometer-röhre leiten. Was auch mit einem Wasserstrom vor seinem Eintritt in die Abflussröhre *a b c* (Fig. 3) oder *HJK* (Fig. 4) vor sich gehen mag, die Relation zwischen Q und h wird dadurch in keiner Weise berührt, auch dann nicht, wenn das Wasser Schlammkörner mit sich führt (von Letzterem habe ich mich durch besondere Versuche überzeugt).

Secunden nach dem Einstellen des Hahns eine absolut unveränderliche (¹) Stellung ein — vorausgesetzt, dass das Niveau im Nachflussgefäss sich nicht ändert. Wird das letztere durch Abfluss einer grösseren Menge Wasser niedriger, so hat man es durch Reguliren des Hahns vollkommen in seiner Hand den Druck im Piézometer constant zu erhalten. Nun stellt man unter die Ausströmungsöffnung ein Messgefäss, je nach dem schnelleren oder langsameren Ausfliessen ein grösseres oder kleineres, und beobachtet auf einer mit einem Secundenzeiger versehenen Uhr die Zeit, welche die Füllung desselben beansprucht. Gesetzt es seine a CC in t Secunden ausgeflossen, so ist die Quantität Q , welche in einer Secunde ausfliesst,

$$Q = \frac{a}{t} \text{ CC.}$$

Man könnte sich damit begnügen zur Prüfung eines Piézometers 2 solche Bestimmungen auszuführen, eine bei einer niedrigen Druckhöhe (von 2 bis 3^{cm}) und eine bei möglichst grosser (etwa 100^{cm}). Damit würde man alle erforderlichen Daten haben.

Ist z. B. bei einer Höhe = h_1 eine Quantität Wasser = Q_1 , bei h_2 dagegen Q_2 in 1 Sec. ausgeflossen, so verhält sich nach dem theoretischen Ausflussgesetz

$$h_1 : h_2 = Q_1^2 : Q_2^2.$$

Nun ist aber von der beobachteten Druckhöhe (h) der

(¹) Nur bei den allerniedrigsten Druckhöhen, bei welchen das Heraus-treten des Wassers aus der Ausströmungsöffnung in langsam sich folgenden Tropfen geschieht, tritt bei der jedesmaligen Tropfenbildung ein Senken und nach dem Abfallen des Tropfens wiederum ein Heben des Niveaus im Piézometer ein. Man notirt sich in diesem Fall die Grenzen, in denen dies Oscilliren stattfindet (siehe Tab. B), für die Berechnungen aber ist die obere Grenze (der höchste Stand) maassgebend.

erwähnte, von der Capillarattraction etc. abhängige Theil C unwirksam. In der Wirklichkeit ist also:

$$h_1 - C : h_2 - C = Q_1^2 : Q_2^2$$

Daraus bestimmt sich

$$C = \frac{Q_1^2 \cdot h_2 - Q_2^2 \cdot h_1}{Q_1^2 - Q_2^2} \text{ Centimeter,}$$

wobei h_1 und h_2 ebenfalls in Centimetern, Q_1 und Q_2 aber in Cubikcentimetern anzugeben sind.

Je grösser man in dieser Formel h_1 und namentlich, je kleiner man h_2 nimmt, desto genauer wird man die Grösse von C bestimmen. Es ist am besten die niedrigste Höhe zu wählen, welche ein genaues Ablesen gestattet, d. i. diejenige, bei welcher das regelmässige Steigen und Fallen in Folge des Tropfenfalls eben zu verschwinden beginnt; dies wird der Fall sein bei

$$h = 1^{cm},5 \text{ oder } 1^{cm},6 \text{ oder höchstens } 1^{cm},7.$$

Als grössere Höhe aber nimmt man etwa 100^{cm} .

Zur Controle kann man den Werth von C aus mehr als 2 Druckhöhen und den ihnen entsprechenden Ausflussquantitäten bestimmen.

Für h_2 wendet man etwa an: $1^{cm},6$, $1^{cm},8$ und 2^{cm} , für h_1 aber z. B. 60^{cm} , 80^{cm} und 100^{cm} . Damit kann man 9 Werthe für C ausrechnen; das Mittel aus ihnen legt man den weiteren Berechnungen zu Grunde.

Nimmt man z. B. diese Höhen und die ihnen entsprechenden Quantitäten aus Tab. J, welche sich auf das Piëzometer bezieht, dessen Dimensionen denen des im vorigen Abschnitt beschriebenen nahe kommen, und in welcher die angegebenen Relationen zwischen h und Q sämmtlich durch den Versuch bestimmt sind, so berechnen sich folgende Werthe für C.

Tabelle G.

Beobachtete Höhen.		Beobachtete Ausflussquantitäten.		Der Capillarattraction etc. entsprechende Höhe. C
h_2 Centimeter.	h_1 Centimeter.	Q_2 Cub. Ctm.	Q_1 Cub. Ctm.	
1,6	60	0,406	4,80	1,18
1,6	80	0,406	5,53	1,21
1,6	100	0,406	6,13	1,17
1,8	60	0,484	4,80	1,21
1,8	80	0,484	5,53	1,19
1,8	100	0,484	6,13	1,19
2,0	60	0,548	4,80	1,23
2,0	80	0,548	5,53	1,23
2,0	100	0,548	6,13	1,21
Mittel				1,20 (¹).

Nachdem man auf solche Weise den Werth für C gefunden hat, kann man die effektiven Druckhöhen für jede Ausflussquantität berechnen. Ist für irgend eine Druckhöhe h die Ausflussquantität Q bestimmt, so folgt die Druckhöhe h_n für irgend eine erforderliche Quantität Q_n :

$$h_n = Q_n^2 \cdot \frac{h-C}{Q^2} + C \text{ Centimeter,}$$

oder die Quantität Q_n für irgend eine Höhe h_n :

$$Q_n = \sqrt{h_n - C} \cdot \frac{Q}{\sqrt{h - C}} \text{ Cubikcentimeter.}$$

(¹) Aus einer grösseren Anzahl von Bestimmungen folgte das genauere Mittel $C = 1,175$ Centimeter.

Dieselben Quantitäten Q , welche in der Secunde ausfließen, passiren auch in derselben Zeit einen beliebigen Querschnitt des Schlämmraums. Ist D der Durchmesser der letzteren, so ist:

$$Q = v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \text{ Cubikcentimeter,}$$

also die auftretende Geschwindigkeit

$$v = Q \cdot \frac{4}{\pi \cdot D^2} \text{ Centimeter.}$$

Um jederzeit im Stande zu sein, leicht und schnell zu beurtheilen, was man mit seinem Schlämmapparat eigentlich ausführt, rechnet man sich mit Hülfe der gegebenen Formeln eine Anzahl Werthe aus und stellt sie in einer Tabelle zusammen. Als Beispiele füge ich hier die Tabellen H, J und K bei, welche die Relationen sowohl für verschiedene Schlämmräume als für verschiedene Piézometer, wie sie zu meinen Versuchen dienten, enthalten.

Hierher gehören die Tabellen H, J und K.

Für den gewöhnlichen Gebrauch werden natürlich diese Tabellen weit einfacher sein können. Die hier mitgetheilten enthalten in der 4-ten senkrechten Columne die gefundenen Werthe von $\frac{Q}{\sqrt{h-C}}$. Dieser Quotient muss nach dem hydraulischen Ausflussgesetz bei ein und demselben Piézometer für alle Höhen gleich sein. Die geringen Schwankungen (in der zweiten Decimalstelle) erklären sich theilweise daraus, dass ich in Ermangelung einer Theilmaschine die Theilung auf dem Piézometer von einem übrigens genauen Metermaass mit dem Diamanten direct aufgetragen hatte, wodurch kleine Ungenauigkeiten nicht ganz zu vermeiden

waren. Gleichwohl geben diese Zahlen den Beweis, dass die Regelmässigkeit der Wirkungsweise meines Apparates in dieser Beziehung allen Anforderungen des Zweckes der Schlämmanalyse entspricht.

Die beiden letzten Columnen der Tabelle H enthalten einige Beobachtungen über den Tropfenfall, welcher statthat bei der Erzeugung der niedrigsten Geschwindigkeiten im Schlämmraum. Diese Beobachtungen wurden unternommen, um zu sehen, in wie weit das Abzählen von Tropfen in einer gewissen Zeit als Mittel zur Bestimmung der Ausflussquantität etc. dienen konnte. Abgesehen davon, dass bei langsamem Tropfenfall das Wasserniveau, wie bereits erwähnt, regelmässig auf- und absteigt, so sind die Unterschiede in den Niveauhöhen bei den allerniedrigsten Ausflussgeschwindigkeiten so ausserordentlich gering, dass die Beobachtung der Druckhöhe im Piëzometer nicht ausreicht, um die Geschwindigkeiten im Schlämmraum ganz genau zu bestimmen. Es ergab sich nun, dass dies Abzählen für den erwähnten Zweck wohl zulässig ist, wenn 1) das ausfliessende Wasser rein ist, namentlich keine Salze aufgelöst enthält, 2) das Glas um die Ausflussmündung herum rein ist und vollständig vom Wasser benetzt wird. Im Uebrigen scheint die Anwesenheit *fester* Schlämmtheile im abtropfenden Wasser nur einen unerheblichen Einfluss auf die Grösse der sich bildenden Tropfen zu haben. Die Tropfen sind desto grösser, wie man sieht, je langsamer ihre Bildung erfolgt — eine Thatsache, welche bereits 1845 von G. Hagen ⁽¹⁾ beobachtet und vor Kurzem von Frederick Guthrie ⁽²⁾ bestätigt ist. Die Grös-

(¹) Abhdl. der Berl. Akad. 1845. S. 42.

(²) Proceed. of the Roy. Soc. XIII. 444. und XIV. 22., auch Pogg. Ann. CXXXI. 128.

se der Tropfen ist, wie ebenfalls die genannten Forscher fanden, ausserdem abhängig von dem Krümmungsradius der Fläche, an welcher die Bildung stattfindet, weshalb für jedes Piëzometer besondere Bestimmungen nöthig sein würden. Das Volumen der Tropfen (ca. 0,1 CC) ist im vorliegenden Fall deshalb so gering, weil der Krümmungsradius der Glasoberfläche in der Biegung, in welcher am Piëzometer № 1 die Ausflussöffnung liegt, in der That etwa nur 2 bis 3^{mm} beträgt (das Volumen eines von horizontaler Ebene abfallenden Wassertropfens beträgt nach Guthrie 0,2655 CC). Diese Bemerkungen mögen als beiläufige angesehen werden. Die Nothwendigkeit, für die Bestimmung der Geschwindigkeiten im Schlämmraum zur Tropfenzählung Zuflucht zu nehmen, kann nur eintreten bei so niedrigen Geschwindigkeiten (unter 0^{mm},1), wie sie bei der gewöhnlichen Schlamm-analyse kaum vorkommen.—

Die Ausführung der Vorprüfungen so wie die Anfertigung der Tabelle für einen einzelnen Apparat beanspruchen kaum einem Tag Arbeit. Ist diese erledigt, so steht der Apparat für jede beliebige Anzahl von Analysen zu unmittelbarer Verfügung. —

Die Ausführung der Schlamm-analyse selbst geschieht in folgender Weise. Ich habe bei dieser Beschreibung besonders den Ackerboden im Auge. Er beansprucht von allen Substanzen, die geschlämmt zu werden pflegen, die grösste Anzahl von Rücksichten.

Der Boden, wie er ist, kann nicht unmittelbar zur Schlamm-analyse genommen werden. Zunächst dürfte es gut sein die zum Schlämmen zu verwendende Probe — 30 Grm. der sog. Feinerde, d. i. des durch ein Sieb mit Löchern von 3^{mm} Durchmesser Durchgegangen —

zur Fortschaffung der organischen Gemengtheile (wenigstens dann, wenn dieselben in einiger Menge vorhanden sind) bei Luftzutritt zu glühen. Erstens haftet die in Wasser unlösliche Humussubstanz, namentlich in daran reichen Bodenarten, trotz fortgesetzten Kochens mehr oder weniger fest an den rein mineralischen Gemengtheilen, wodurch dieselben specifisch leichter werden und einen anderen hydraulischen Werth erhalten, als für die Schlämmanalyse gilt. Uebrigens kittet die Humussubstanz häufig mehrere Körnchen zusammen. Ferner haben die feineren Wurzelfäserchen grosse Neigung sich innerhalb des strömenden Wassers zu verfilzen und Bäuschchen zu bilden, in denen sich mehr oder weniger Körner festsetzen und so der Schlämmtätigkeit des Wassers entziehen. Endlich kann es auch leicht vorkommen, dass solche organischen Reste die Ausströmungsöffnung ganz oder theilweis vorstopfen. Darum erscheint es passend die organische Substanz vorher zu verbrennen, um so mehr als die auf die Resultate der Schlämmanalyse gegründete Beurtheilung der mechanischen Beschaffenheit eines Bodens sich wohl nur mit einiger Sicherheit auf den mineralischen Theil erstrecken kann.

Sodann erscheint es in vielen Fällen nöthig den Boden mit *kalter, ziemlich verdünnter* (1) Salzsäure, wie dies schon v. Bennigsen - Förder vorgeschlagen hat, zu behandeln, um Carbonate, namentlich Kalksteintrümmer zu entfernen. Letztere stellen in den meisten Fällen Stücke von mehr oder weniger loser Beschaffenheit dar, die in

(1) Kochende Salzsäure anzuwenden, wie dies Dietrich (Fres. Zeitschr. f. anal. Ch. V. 298.) vorschlägt, ist deshalb nicht rathsam, weil dadurch Mehr oder Weniger von den zeolithartigen Silicaten zersetzt werden kann, die jedenfalls der Schlämmanalyse mit unterworfen werden müssen.

sehr ungleicher Grösse durch die ganze Erdmasse vertheilt zu sein pflegen, und trotz stundenlang fortgesetzten Kochens und Zerdrückens nur theilweis und zwar in sehr ungleicher Weise zerbröckelt werden. So wenigstens erkläre ich mir die grossen Abweichungen, welche man bei Wiederholungen mit ein und demselben Kalkboden in den Schlämmresultaten oft erhält. Dazu kommt, dass manche an Kalksteinrümmer reiche Bodenarten, die eigenthümliche Eigenschaft haben, beim Kochen mit Wasser auf dem letzteren einen schwierig zergehenden Schaum zu erzeugen, der bei Anwendung meines Schlämmapparates oft störend wird, indem er nämlich, wenn er in die Piézometerröhre gelangt, das genaue Ablesen des Wasserniveaus sehr erschwert ⁽¹⁾. Nach der Behandlung mit Salzsäure, die bis zum Aufhören jeder Kohlensäureentwicklung fortzusetzen ist, ist es nöthig die Salzsäure aus dem Körnergemisch so weit wie möglich auszuwaschen, weil ihre Gegenwart, wie dies die Untersuchungen von Th. Scheerer ⁽²⁾ und Fr. Schulze ⁽³⁾ gezeigt haben, dem Wasser eine gewisse Eigenthümlichkeit giebt, die beim Schlämmen, wie es scheint, von bedeutendem Einfluss sein kann, wenigstens so weit es die feinsten Theilchen betrifft.

Die beiden beschriebenen Operationen, denen man die Schlämmprobe vor ihrer weiteren Behandlung unterwirft, vermehren die Arbeit nicht, da man zugleich mit ihnen 2 ohnehin bei der Bodenuntersuchung nöthige Bestimmungen ausführt.

Hierauf folgt das Kochen der Probe mit Wasser. Danach kann sie jedoch noch nicht direct in den Schlämm-

⁽¹⁾ Wie man sich in diesem Fall helfen kann, siehe S. 66.

⁽²⁾ Pogg. Ann. LXXXII, 419.

⁽³⁾ Ibidem. CXXIX. 366.

apparat gebracht werden, wenigstens dann nicht, wenn sie gröbere Körner in einiger Menge enthält. Bei den anfänglich anzuwendenden, geringen Geschwindigkeiten wird nämlich der Wasserstrom in dem unteren, engeren Theil des Trichters nicht hinreichend stark, um Körner von einem grösseren Durchmesser schwebend zu erhalten. Dieselben setzen sich daher fest und verstopfen den Durchgang für das Wasser. Daher werden vermittelst des beschriebenen Siebes alle gröberen Körner bis zu einem Durchmesser von $0^{mm},2$ entfernt. In dem auf dem Siebe Zurückbleibenden ist so kaum noch etwas von dem enthalten, was in dem Apparat abschlämbar ist (¹).

Man verfährt dabei so, dass man nach dem hinreichenden Kochen durch das Sieb durchgiesst, alle Körner hinein spült und durch Hin- und Her-, resp. Auf- und Abbewe-

(¹) Fr. Schulze (J. f. prakt. Ch. XLVII. 236. ff.) schlämmt nur die durch ein Sieb mit Löchern von $\frac{1}{3}''$ oder etwa $0^{mm},75$ Durchmesser gegangenen Körner. Em. Wolff (Entwurf zur Bodenanalyse; a. a. O.) schlämmt früher die Feinerde direct, also Körner bis zu 3^{mm} Durchmesser, entfernt aber neuerdings die grösseren bis zu 1^{mm} Durchmesser durch das Sieb. E. Dietrich braucht ein Sieb mit Oeffnungen von $\frac{2}{3}^{mm}$ Durchmesser.—Von den beiden Mitteln, deren man sich zu mechanischen Trennungen von Körnergemischen bedient, Sieben und Schlämmen, ist das letztere jedenfalls das umständlichere. Daher ist es angezeigt das erstere soweit fortzusetzen, als es nur irgend möglich ist. Die grösste Geschwindigkeit des Wasserstroms, die man bisher angewandt (nach der früheren Methode im kleinsten der Nöbel'schen Trichter), erreicht noch nicht 7^{mm} in der Sec., bei welcher nach Tab. B rundliche Körner von $0^{mm},4$ fortgeschlämmt werden. Für gewöhnlich dürfte die grösste der anzuwendenden Geschwindigkeiten aber etwa 4^{mm} sein, bei welcher abgerundete Körner bis $0^{mm},07$ bis $0^{mm},08$ abgeschlämmt werden können. Man kann daher wohl sicher sein, dass in dem auf einem Sieb mit Löchern von $0^{mm},2$ Durchmesser Zurückbleibenden sich kaum noch etwas von dem befindet, was abschlämbar ist.

gen Alles, was durchgehen kann, fortschafft. Nachdem man mit Wasser abgospült hat, ist es gut das Schütteln des Siebes in reinem Wasser noch einmal zu wiederholen, um sich von der Entfernung aller betreffenden Theile zu überzeugen, resp. dieselbe zu veranlassen. Das auf dem Sieb Zurückgebliebene kann man für sich bestimmen; besser ist es aber es mit dem später zu vereinigen, was schliesslich im Schlämmtrichter zurückbleibt, und beides gemeinschaftlich zu bestimmen. Die durch das Sieb durchgegangene, trübe Flüssigkeit lässt man in einem möglichst niedrigen Gefäss eine oder mehrere Stunden ruhig stehen, giesst das, was sich bis dahin noch nicht zu Boden gesetzt hat, ab und verwendet zum Schlämmen nur den Bodensatz. Die feinen, suspendirt gebliebenen Theile vereinigt man dann mit den feinsten, beim Schlämmen erhaltenen Theilen. Bei Abwesenheit gröberer Körner fällt das Sieben natürlich fort.

Vor dem Einbringen des Bodensatzes in den Schlämmtrichter muss man sich überzeugt haben, dass in den Röhren, in denen das Wasser dem Schlämmraum zufließt, keine Luftblasen zurückgeblieben sind, welche während des Schlämmprocesses unangenehme Störungen veranlassen könnten. Sodann entleert man den Trichter fast ganz. Während des Hineinspülens der Schlämmprobe lässt man durch entsprechendes Oeffnen des Hahnes sehr langsam Wasser zufließen, um ein Festsetzen der Körner in der Spitze unten zu verhindern. Dieser Wasserzufluss muss etwa so stark sein, als zur Erzeugung der niedrigsten von den bei dem Schlämmen anzuwendenden Geschwindigkeiten nöthig ist. Zum Hineinspülen verwendet man möglichst wenig Wasser, so dass, wenn Alles hineingebracht ist, das Niveau der Flüssigkeit höchstens den Punkt erreicht, wo der conische

Theil des Trichters in den cylindrischen übergeht. Sodann lässt man sich das Wasser *sehr* allmählig in dem cylindrischen Schlammraum erheben. Will man z. B. anfänglich eine Geschwindigkeit von $0^{mm},2$ anwenden, so darf der 10^{cm} lange Schlammraum sich höchstens in 500 Secunden oder $8\frac{1}{3}$ Minuten füllen. Sobald das Wasser (bei K, Fig. 4.) auszufließen beginnt, regulirt man vermittelst des Hahnes den Wasserzufluss so, dass das Niveau in der Piézometerröhre genau den Stand einnimmt, welcher der vorher angefertigten Tabelle zufolge der niedrigsten, im Schlammraum zu erzeugenden Geschwindigkeit entspricht. Das Ablesen des Wasserstandes im Piézometer ist oft schwierig, namentlich anfangs bei den geringeren Geschwindigkeiten, weil sich trotz der vorausgegangenen Behandlung der Schlammprobe mitunter Schaum absetzt; dann befestigt man an dem oberen, offenen Ende des Piézometers einen Kautschuckschlauch und bläst einige Mal kräftig hinein, wodurch man mit Leichtigkeit eine freie Oberfläche herstellen kann. Man lässt nun bei diesem Wasserstande so lange abfließen, bis das Wasser im oberen Theile des Schlammraums fast klar erscheint. Ganz klar kann es aus früher erörterten, theoretischen Gründen niemals werden. Dann verstärkt man den Wasserstrom so weit, dass das Piézometer die der nächst höheren, im Schlammraum herbeizuführenden Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe zeigt, erhält dieselbe wieder bis zum fast klaren Abfließen constant u. s. f., und bekommt so nach einander die gewünschte Anzahl von Gruppen, deren Körner zwischen genau im Voraus bestimmbar, hydraulischen Grenzen liegen.

Wie viel Wasser man zum Abschlämmen einer jeden Gruppe anwenden will, hängt ganz von dem Grad der

Genauigkeit ab, die man fordert. Ich habe mich jedoch überzeugt, dass 3 bis 4, allerhöchstens 5 Liter ausreichen, um eine bestimmte Körnergruppe fast ganz vollständig abzuschlämmen. Bei der Analyse eines sandigen Lehm Bodens wurden z. B., nachdem durch geringere Geschwindigkeiten etwa 25% abgeschlämmt waren, bei Anwendung einer Geschwindigkeit von $0^{mm},85$, in den ersten drei Litern 23,4% erhalten, im vierten dann 1,0% im fünften 0,7%, im sechsten 0,5% im siebenten 0,36%. Je niedriger die Geschwindigkeit, desto weniger Schlammwasser erscheint erforderlich, so dass man sich beim Abschlämmen der feinsten Theile mit 2 Litern wohl begnügen könnte (¹). Alle billigen Anforderungen erfüllt man, wenn man bei Geschwindigkeiten im Schlammraum unter $0^{mm},2$ 2 Liter, von $0^{mm},2$ bis $0^{mm},5$ 3 Liter, von $0^{mm},5$ bis 1^{mm} 4 Liter, von 1^{mm} ab 5 Liter etc. abfließen lässt. Bei den niedrigen Geschwindigkeiten dauert dabei allerdings das Abschlämmen einer Körnergruppe Stunden, ein Uebelstand der schlechterdings nicht zu umgehen ist, wenn man nicht die Allem anderen vorangehenden Ansprüche der Genauigkeit ausser Acht lassen will. Der Uebelstand ist übrigens nicht so schlimm, weil man nach der Einstellung des Wasserniveaus (im Piëzometer) die Schlammoperation sich selbst überlassen und anderen Beschäftigungen nachgehen kann.

Eine grosse Annehmlichkeit bei diesem Verfahren ist, dass man die Schlammprodukte gleich auffangen kann in dem Gefässe (Becherglas oder Standcylinder), in wel-

(¹) Bei meinem Apparat geht beim Abschlämmen der feinsten Theile das Wasser bereits nach Abfluss von $\frac{1}{2}$ Liter wenigstens ebenso klar ab, als aus dem letzten, grössten Trichter bei dem Nöbel-Wolff'schen Verfahren am Schluss.

chem sie sich (in dem Wasser, durch welches sie abgeführt sind) absetzen, und aus welchen sie nach dem Abhebern der klar gewordenen Flüssigkeit sehr leicht in die Porzellanschälchen, in welchen sie gewogen werden, übergeführt werden können. Das Herausspülen des Bodensatzes geschieht am besten mit einer Spritzflasche, welche einen schräg nach oben gerichteten Wasserstrahl anzuwenden erlaubt. Die feinsten, in reinem Wasser sich schwierig klar absetzenden Theile kann man für gewöhnlich aus dem Verlust bestimmen. Ist ihre directe Wägung aber erforderlich, so setzt man dem trüben Wasser so viel Ammoniumsesequicarbonat zu, dass es davon etwa 1 bis 2% enthält (¹). Die Klärung erfolgt so in wenigen Stunden. Das Eintrocknen der Schlämmpunkte geschieht im Sand- oder Wasserbade.

Das schliesslich im Schlämmtrichter Zurückbleibende wird, wie folgt, herausgeschafft. Nach Beendigung der Schlämmpoperation schliesst man den Hahn, entfernt den Pfropfen mit der Piézometerröhre aus dem Trichter, nimmt letzteren aus der Klemme, giesst das in ihm enthaltene Wasser in ein Becherglas, und lässt sodann, während man ihn über demselben in die umgekehrte, senkrechte Stellung bringt, einen kräftigen Wasserstrom durch, bis Alles rein ausgespült ist. Dies führt man schnell aus, um es zu vermeiden, dass sich der Rückstand in der Spitze des Trichters festsetze.

Die Erfahrung, die ich aus zahlreichen, sowohl mit dem Nöbel'schen als meinem Apparat ausgeführten Schlämmpoperationen gewonnen habe, hat mir die Ueberzeugung gegeben, dass das beschriebene Verfahren, auch

(¹) Siehe Fr. Schulze (Pogg. Ann. CXXIX. 36.), die Sedimentär-Erscheinungen etc.

was Bequemlichkeit in der Handhabung betrifft, das Nöbel-Wolffsche übertrifft.

VI. Versuche mit dem conisch-cylindrischen Schlämmtrichter.

Um den experimentalen Nachweis für die Leistungsfähigkeit des vorgeschlagenen Schlammapparates zu geben, weise ich zunächst hin auf die zur Ermittlung der empirischen Schlammformel angestellten Versuche, deren Resultate in Tab. B mitgetheilt sind. Die Ausführung dieser Versuche habe ich überhaupt erst dann für erlaubt gehalten, nachdem zahlreiche, mikroskopische Beobachtungen und Messungen an Schlammprodukten aus verschiedenen Erdgemischen mich überzeugt hatten, dass, wenn eine Stromgeschwindigkeit eine Zeitlang constant gewirkt hatte, durch meinen Apparat immer zu gleicher Zeit Körner von ein und demselben hydraulischen Werth abgeschlämmt wurden, und, dass die immerhin vorkommenden Unregelmässigkeiten von keiner grösseren Bedeutung sind, als das, was man in der Experimentaluntersuchung mit dem Namen «unumgängliche Versuchsfehler» bezeichnet.

Ausserdem theile ich noch als ein Beispiel, in wie weit man es in seiner Gewalt hat durch den Apparat eine beliebig gestellte Aufgabe ausführen zu lassen, Versuche mit, die ich zu seiner Vergleichung mit dem Nöbel-Wolffschen angestellt habe.

Ihr Zweck war, bei meinem Apparat annähernd dieselben Umstände herbeizuführen, wie sie in den einzelnen Trichtern des Nöbel'schen Apparates auftreten, so weit sie nämlich in das Bereich des Regelmässigen (¹)

(¹) Die in den Nöbel'schen Trichtern auftretenden, localen Strömun-

fallen, und festzustellen, ob die nach beiden Verfahren erhaltenen Resultate mit einander übereinstimmen.

Beim Gebrauch des Nöbel'schen Apparates habe ich mich genau nach der neueren Vorschrift Wolff's gerichtet, jedoch anstatt eines offenen Nachflussgefässes eine Mariotte'sche Flasche angewendet. Sämmtliche Trichter wurden also vorher mit Wasser ganz angefüllt und es flossen aus der eigens dazu passend gemachten Ausflussspitze 9 Liter Wasser in genau 40 Minuten aus. Die Geschwindigkeiten in den grössten Querschnitten der Trichter waren daher:

$$v_1 = 3^{mm},4; v_2 = 0^{mm},85; v_3 = 0^{mm},37; v_4 = 0^{mm},21$$

Bei Anwendung desjenigen conisch - cylindrischen Schlammtrichters, dessen Durchmesser im Schlammraum = $4^{cm},489$ ist, mussten zur Erzeugung der genannten Geschwindigkeiten im Schlammraum bei dem hierbei gebrauchten Piézometer № 2 folgende Druckhöhen zur Anwendung kommen (siehe Tab. J):

$$h_1 = 75^{cm}; h_2 = 6^{cm}; h_3 = 2^{cm},2; h_4 = 1^{cm},5.$$

Der kleinste Nöbel'sche Trichter wirkte indessen der Vorschrift gemäss nicht mit; daher wurde auch bei meinem Apparat die grösste Druckhöhe überflüssig.

Zur Herbeiführung gleicher Umstände war weiterhin nöthig für meinen Apparat diejenigen für jedes Schlammprodukt erforderlichen Schlammwassermengen zu berechnen, welche nöthig sind, wenn den Schlammraum ebensoviel Wasserschichten von einer bestimmten Dicke passieren sollen, als durch die grössten Querschnitte der

gen wurden dabei natürlich nicht berücksichtigt, weil sie eben etwas Störendes und Unregelmässigkeiten Veranlassendes sind.

Nöbel'schen Trichter durchgehen. Die erforderlichen Wasserquantitäten müssen den Raum von Cylindern einnehmen, welche den Querschnitt des Schlämmraums in meinem Trichter zur Basis haben, deren Höhen aber diejenigen sind, welche auf S. 36 angegeben sind. Dann ergeben sich nach der Formel

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot 4,489^2 \cdot h,$$

worin Z einen solchen Cylinder bedeutet, für die in den verschiedenen Stadien anzuwendenden Schlämmwassermengen folgende Werthe:

$$\begin{array}{ll} Z_1 = 12838 \text{ CC.} & Z_3 = 1156 \text{ CC.} \\ Z_2 = 3103 \text{ CC.} & Z_4 = 506 \text{ CC.} \end{array}$$

Hierzu wurde indess noch diejenige Menge Wasser gefügt, welche den Schlämmraum auszufüllen vermag, nämlich 150 CC., so dass also zum Abschlämmen der feinsten Theile etwa 660 CC., der nächstfolgenden 1300 CC., weiterhin 3250 CC. dienen (Z_1 kam natürlich hier nicht zur Anwendung).

Alle Proben wurden vor dem Schlämmen genau 10 Minuten lang mit Wasser gekocht, ausgenommen № 1, welche nicht gekocht wurde.

Es wurden folgende Bodenarten geschlämmt:

1. Ackerboden von Odessa. Obere Schicht. Ziemlich kalkhaltig.
2. Untergrund des Ackerbodens von Odessa. Kalkhaltig.
3. Unter dem Untergrund des Ackerbodens von Odessa liegende Schicht. Sehr kalkhaltig.

4. Boden von Petrowskoje Rasumowskoje; Mittelschicht. Vom sog. dreieckigen Felde der Farm hiesiger Akademie. Alluvialer Sand (kalkfrei).

5. Boden von Petrowskoje Rasumowskoje, Untergrund. Vom Felde № XI. Sandiger Lehm.

6. Boden aus dem Kiew'schen von dem Gute des Grafen Bobrinskij, Smäla. Thoniger Untergrund (ca. 10 Fuss unter der Erdoberfläche).

7. Boden von den Feldern des ehemaligen landwirthschaftlichen Instituts in Gorki. Obere Schicht.

8. Wiederholung von № 7, welche in der Weise ausgeführt wurde, dass die nach meiner Methode erhaltenen Schlammprodukte gesammelt und im Nöbel'schen Apparat geschlämmt wurden, andererseits die nach Nöbel erhaltenen in meinem Apparat.

9. Boden von demselben Ort. Mittelschicht.

10. Boden von demselben Ort. Untergrund.

Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tabelle L zusammengestellt. Die Nummern in derselben sind in umgekehrter Reihenfolge, wie sonst üblich, № I bezeichnet also die feinsten Theile, u. s. f.

Tabelle L.

№	Schlämmergebnisse.													
	I.		II.		III.		V.		I + II.		III + IV.		Summa.	
	Nöb.	Sch.	Nöb.	Sch.	Nöb.	Sch.	Nöb.	Sch.	Nöb.	Sch.	Nöb.	Sch.	Nöb.	Sch.
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
1.	5,0	5,7	5,6	5,2	16,0	14,5	71,6	72,5	10,6	10,9	87,6	87,0	98,2	97,9
2.	27,6	25,3	17,7	10,2	21,5	22,8	30,1	38,7	45,3	35,5	51,6	61,5	96,9	97,0
3.	10,8	17,2	12,8	9,8	25,1	19,0	48,2	53,2	23,6	27,0	73,3	72,2	96,9	99,2
4.	13,7	17,5	10,7	7,8	13,7	12,7	59,9	61,4	24,4	25,3	73,6	74,1	98,0	99,4
5.	23,8	26,9	10,4	7,4	4,5	5,7	59,5	58,3	34,2	34,3	64,0	64,0	98,2	98,3
6.	28,9	31,6	9,9	9,1	17,8	15,4	39,6	41,9	38,8	40,7	57,4	57,3	96,2	98,0
7.	11,7	15,1	13,3	10,0	28,1	19,7	45,5	54,0	25,0	25,1	73,6	73,7	98,6	98,9
8.	15,3	15,9	13,9	8,8	27,4	23,4	41,1	49,8	29,2	24,7	68,5	73,2	97,7	97,9
9.	15,8	15,5	14,2	12,3	—	—	—	—	30,0	27,8	—	—	—	—
10.	12,4	13,2	10,3	10,3	28,1	23,1	45,6	52,1	22,7	23,5	73,7	75,2	96,4	98,7

Die Übereinstimmung in den nach beiden Verfahren erhaltenen Resultaten kann man wohl nicht in allen Fällen eine genügende nennen. Sieht man von № 2 und 3 ab, welche sehr kalkreiche und daher sehr unregelmäßige Schlämmergebnisse liefernde Erdarten betreffen, so

wird man im Allgemeinen finden, dass an feinsten Theilen (№ I) durch meinen Apparat mehr als durch den Nöbel'schen, an nächst grösseren (№ II) weniger, an darauf folgenden (№ III) wiederum weniger, an den grössten (№ IV) dagegen wieder mehr erhalten wird. Dies lässt sich vielleicht folgendermassen erklären. Der kleinste der mitwirkenden Nöbel'schen Trichter (№ II nach Wolff's Bezeichnung) erscheint nicht hoch genug, als das sich die in dem unteren Theile bildenden, lebhaften Wirbel bis zum grössten Querschnitt hin genügend abschwächen könnten; in Folge davon wird ein Theil Körner von verhältnissmässig zu hohem Werth über den grössten Querschnitt hinaus- und daher abgeführt. Es bleibt also weniger zurück, als bei regelmässiger Wirkungsweise zurückbleiben sollte. Der grösste (№ IV nach Wolff) der Nöbel'schen Trichter erscheint andererseits zu hoch; die in dem unteren Theil spielenden Wirbel reichen bei Weitem nicht bis zu dem grössten Querschnitt hinauf; ein verhältnissmässig grosser Theil der Schlammkörner wird aber in diesen Wirbeln festgehalten und so verhindert die Ebene des grössten Querschnitts zu erreichen, um abgeschlämmt zu werden. Daher wird also weniger an feinsten Theilen abgeführt, als bei regelmässigem Wasserstrom abgeführt werden sollte. Der mittlere Trichter (№ III nach Wolff) scheint endlich die günstigsten Dimensionen zu haben; denn über die Ebene seines grössten Querschnitts wird im Allgemeinen in Summa fast genau so viel abgeführt, als bei regelmässiger wirkenden Umständen abgeführt wird. Dies kann man daraus schliessen, dass, wenn man die einerseits in I und II, andererseits in III und IV nach beiden Verfahren erhaltenen Zahlen summirt, man im Allgemeinen sehr nah übereinstimmende Summen erhält. Die letzten Columnen

zeigen dies deutlich (wenn man wiederum von den kalkreichen Bodenarten № 2 u. № 3 absieht).

Von den Versuchen, durch welche festgestellt wurde, dass der conisch-cylindrische Schlämmpfänger unter gleichen Umständen gleiche Resultate giebt, möge folgender als Beispiel dienen.

Boden von Gorki. Untergrund. Mit Salzsäure vorher behandelt. 28,52 Grm. Es wurden nacheinander die Körner angesammelt, welche bei folgenden Geschwindigkeiten übergangen: 0,25, 0,5, 1, 2, 3 und 4 Millimeter. Die Schlämmpfänger wurden, nachdem sie gewogen waren, wieder vereinigt und das Schlämmpfänger mit ihnen 2 Mal unter genau denselben Umständen wiederholt.

Tabelle M.

Angewendete Geschwindigkeiten; Millimeter:	0,25	0,5	1	2	3	4	Rest.	Summa.
Grösster Durchmesser der angesammelten Körner; Millimeter:	0,012	0,020	0,032	0,050	0,063	0,076	—	
Bei den Wiederholungen erhaltene Schlämmpfänger, in Procenten.	I. 13,4 II. 12,6 III. 11,9	9,1 8,7 9,5	21,0 21,4 20,8	30,4 29,8 31,7	16,7 16,1 15,5	5,3 5,5 5,5	4,2 4,9 3,8	100,0 99,0 98,7

Hieraus folgt, dass der Apparat in *relativem Sinne* regelmässig wirkt.

Um zu sehen, ob auch in *absolutem Sinne* seine Wirkungsweise eine regelmässige sei, wurde er ähnlichen Proben unterworfen, wie der Nöbel'sche (siehe S. 40 ff.). Dieselben zeigten, dass die Bestimmung der feineren und

für die Beurtheilung des Bodens wichtigeren Bestandtheile hinreichend regelmässig ausfiel, auch bei Abänderung der Nebenumstände ⁽¹⁾. Bei den gröberem Körnern dagegen führte die Abänderung der Nebenumstände auch Abweichungen in den Resultaten herbei.

Aus einer Probe von 15 Grm. (Untergrund von Gorki) z. B. wurden zunächst alle feineren Theile bei einer Geschwindigkeit von 1^{mm} abgeschlämmt und zwar vermittelt 6 Liter Wasser. Das hierauf bei einer Geschwindigkeit von 2^{mm} — ebenfalls mit 6 Liter Wasser — Abgeschlämmte wurde aufgefangen und gewogen. Es betrug 4,43 Grm. (29,5%). Dasselbe wurde darauf für sich allein in den Schlämmapparat gebracht, und anfangs 6 Liter Wasser mit einer Geschwindigkeit von 1^{mm} durchgelassen. Bei regelmässiger Wirkungsweise dürfte nichts abgeführt werden; es wurde auch nur 0,13 Grm. abgeschlämmt. Dann wurden 6 Liter Wasser mit einer Geschwindigkeit von 2^{mm} durchgelassen. Dadurch hätte Alles abgeschlämmt werden müssen; es wurde aber nur 3,40 Grm. erhalten, d. i. etwa nur $\frac{1}{3}$ von dem Erforderlichen. Im Trichter blieben 0,86 Grm. zurück, die man zwar bei derselben Geschwindigkeit noch hätte abführen können, jedoch nur bei Anwendung grösserer Mengen von Schlämwwasser.

Dies Resultat findet seine Erklärung in den unregelmässigen Formverhältnissen der Körner. In dem angeführten Beispiel — und ich habe absichtlich zur Mittheilung eines der ungünstigsten gewählt — liegt verhältnissmässig der grösste Theil der Körner des Gemisches seinem hydraulischen Werth nach sehr nahe der Grenze,

⁽¹⁾ Was hier unter Nebenumstand verstanden ist, siehe S. 40.

welche der angewendeten Stromgeschwindigkeit von 2^{mm} entspricht (d. i. ihr Durchmesser liegt um 0,05 Millimeter herum). Es ist erklärlich, wenn von den unregelmässig gestalteten, dieser — mehr oder weniger unbestimmten — Grenze besonders nahe liegenden Körnern ein nicht unbedeutender Theil, der ein Mal abgeschlämmt wird, ein ander Mal zurückbleibt, je nachdem die Körner das eine Mal dem Wasserstoss eine grössere, das andere Mal eine kleinere Fläche (vorzugsweise) darbieten.

Ich bin bestrebt gewesen, für die Schlammoperation eine solche Einrichtung aufzufinden, bei welcher alles Conventionele ausgeschlossen bliebe, d. h. bei welcher man von allen Umständen unabhängig wäre, welche nicht von unmittelbarer und durch einen mathematischen Ausdruck annähernd zu formulirender Einwirkung auf das Schlammresultat sind. Allein ich glaube mich überzeugt zu haben, dass eine solche Emancipation von den Einflüssen der Nebenumstände bis zu einer gewissen Grenze zwar möglich, in einigermaassen vollkommener Weise aber nicht erreichbar ist, wegen der unregelmässigen Form der Schlammkörper selbst. Man muss sich damit begnügen in dem Schlammraum eine durchaus ruhig und gleichmässig wirkende, messbare Geschwindigkeit zu erzeugen, welche unter denselben Umständen immer dasselbe bewirkt. Im Uebrigen aber bleibt es geboten, zur Gewinnung gleichartiger, vergleichbarer Resultate, immer in gleicher Weise zu operiren.

Die Frage, welche Grenzen man wählen soll, innerhalb deren die in den einzelnen Schlammprodukten zu gewinnenden Körner ihrem hydraulischen Werth nach liegen sollen, mit anderen Worten, welche Geschwin-

digkeiten man beim Schlämmen wirken lassen soll, wage ist nicht zu entscheiden. Es ist zunächst überhaupt in Erwägung zu ziehen, ob denn in allen Fällen ein und dasselbe Verhältniss in dieser Beziehung unabänderlich anzuwenden ist; und dies muss, wenn die Schlämmanalyse zur Entscheidung von rein geologischen Fragen in Anwendung gebracht werden soll, wohl verneint werden. Für die Zwecke der Beurtheilung des Ackerbodens würden sich Gründe sowohl für wie gegen die Wahl eines bestimmten Verhältnisses anführen lassen. Wenn, wovon in neuerer Zeit häufig die Rede gewesen ist, der Schlämmapparat als Mittel für die Schaffung einer allgemeinen Bodenstatistik dienen soll, so dürfte es wünschenswerth sein. Welche Grundsätze aber für die Auswahl dieser Geschwindigkeiten (Durchmessergrößen) in jedem der verschiedenen Fälle maassgebend sein sollen, das muss von der Art jedes Falles abhängen, und wird im Uebrigen zur Zeit kaum mit einiger Sicherheit zu sagen sein. Die Willkür indessen, mit welcher man bisher immer die Geschwindigkeiten auszuwählen pflegte, ist jedenfalls zu verwerfen.

Was die Bezeichnung der bei einer Schlämmanalyse erhaltenen Schlämmprodukte betrifft, so ist es bisher üblich gewesen dieselben mit aus dem gewöhnlichen Leben genommenen Namen (grober, feiner, splittriger, mittlerer, mehliger, thoniger Sand, Schlämmerde, feinerdige Theile, Thon (¹) etc.) zu belegen.

(¹) v. Bennigsen-Förder benannte die nach seinem Verfahren erhaltenen Schlämmprodukte: 1. Strandsand, 2. Diluvialer Mischsand, 3. Flugsand, 4. Glimmersand, 5. Formsand, 6. Thon, nachdem er sich durch das Mikroskop überzeugt hatte, dass dieselben hinsichtlich ihrer Körnergrösse mit den Sandarten, welche diese Namen in Norddeutschland führen, übereinstimmen.

Das Mangelhafte, ja Unrichtige (¹) dieser Bezeichnungsweise ist in neuerer Zeit wohl erkannt, und man hat den Schlämmprodukten, welche z. B. der Nöbel'sche Apparat liefert, die Nummern der Trichter beigelegt, aus denen dieselben erhalten wurden. Dies ist indessen wohl kein Fortschritt; denn unter einer Nummer kann man sich nichts Bestimmteres denken, als etwa unter dem Namen «Mehlsand».

Der einzig rationelle Bezeichnungsmodus ist der, dass man entweder die Produkte nach den Geschwindigkeiten, mit denen sie abgeschlämmt wurden, bezeichnet, oder die diesen Geschwindigkeiten entsprechenden Durchmessergrößen angiebt, zwischen denen die Produkte ihrer Größe (hydraulischem Werth) nach liegen; also etwa so, wie es in Tabelle M angegeben ist.

VII. Bestimmungen der spezifischen Gewichte einiger Bodenarten.

Das spezifische Gewicht von Bodenarten ist häufig bestimmt. Die vorhandenen Zahlen erscheinen jedoch nicht in allen Fällen hinreichend zuverlässig. Da es für die im Vorstehenden beschriebenen Versuche von unmittelbarem Interesse war, genaue Bestimmungen von spezifischen Gewichten, namentlich der Bodenarten, die zu den

(¹) Als ein Beleg für die Unrichtigkeit dieser Bezeichnungsweise mag Folgendes dienen. Der Untergrund von Gorki giebt im Nöbel'schen Apparat über 45% im 2. Schlämmtrichter (№ 10 in Tab. L). Dieselbe Bodenart enthält aber, wie mit meinem Apparat gefunden wurde (siehe Tab. M.) weniger als 5% Körner, deren hydraulischer Werth höher ist, als einem Kugeldurchmesser von 0^{mm},076 entspricht. Körner aber, deren Durchmesser zum bei weitem grössten Theile kleiner als $\frac{1}{10}$ Millimeter ist, kann man wohl kaum als «groben Sand» bezeichnen. Dieser Name wurde aber früher dem Schlämmprodukt im II. Nöbel'schen Trichter gegeben.

Schlammversuchen dienten, zu besitzen, so habe ich eine kleine Reihe von Bestimmungen ausgeführt.

Zu denselben diente ein Pyknometer von der jetzt gebräuchlichen Art, welches aus einem Glaskölbchen besteht, in dessen Hals ein genaues, in $\frac{1}{5}$ Grade getheiltes Thermometer eingeschliffen, und an dessen oberer Wölbung ein senkrecht nach oben gerichtetes, am Ende durch eine aufgeschliffene Kappe verschliessbares Haarröhrchen angeschmolzen ist. Die Proben (3 bis 6 Grm.) blieben in dem Apparat 12 Stunden lang unter Wasser im Vacuum, so dass man sicher sein konnte, dass alle Luft aus den Poren entfernt war ⁽¹⁾. Die im Folgenden mitgetheilten Zahlen beziehen sich auf die bei 120° C. getrocknete Substanz und eine Temperatur von 19° C.; letztere war herrschend in dem Local, in dem die Schlammversuche angestellt wurden. Das hygroskopische Wasser wurde bei dieser Gelegenheit mit bestimmt; die betreffenden Zahlen beziehen sich auf lufttrockne Substanz.

Bodenart.	Specificsches Gewicht.	Hygroskopisches Wasser.
1. Boden von Odessa. Ackerkrume, wenig humushaltig, ziemlich kalkreich.	2,646	2,7%
2. Von demselben Ort. Zweite Schicht, humusfrei, kalkhaltig.	2,689	2,6 »

⁽¹⁾ Die Entfernung der Luft aus den Poren ist es namentlich, welche bei sehr vielen der früher ausgeführten Bestimmungen des sp. Gew. von Erdarten nicht mit der nöthigen Genauigkeit vorgenommen zu sein scheint.

Bodenart.	Specificsches Gewicht.	Hygrosco- pisches Wasser.
3. Von demselben Ort. Dritte Schicht, kalkreich.	2,682	1,6%
4. Boden von Petrowskoje Rasmowskoje. Vom sog. dreieckigen Felde. Mittelschicht. Alluvialer Sand (¹).	2,657	0,5 »
5. Ebenso. Vom Felde XI. Untergrund. Lehm.	2,689	2,2 »
6. Schwarzerde (черноземъ) aus dem Kiew'schen, vom Gute des Grafen Bobrinskij, Smäla.	2,590	2,7 »
7. Von demselben Ort. Mittelschicht. Sand.	2,682	1,0 »
8. Von demselben Ort. Untergrund. Thon.	2,694	2,2 »
9. Obere Schicht von den Feldern des ehemaligen landwirthsch. Instituts zu Gorki (Gouv. Mohilew), in der Nähe des oberen Dniepr. Feiner, thoniger Sand.	2,652	0,8 »
10. Mittelschicht von demselben Ort. Feiner, thoniger Sand. .	2,705	1,7 »
11. Untergrund von demselben Ort. Feiner, thoniger Sand. .	2,694	1,2 »
12. Kalkboden von Jena.	2,713	2,4 »

(¹) Dies ist diejenige Bodenart, welche zu den Versuchen diente, durch welche die empirische Schlammformel gefunden wurde.

B o d e n a r t.	Specificsches Gewicht.	Hygrosco- pisches Wasser.
13. Obere Schicht von alljährlich überschwemmten Wiesen aus dem Orenburgischen. Humus- reich.	2,530	4,1%
14. Untergrund von demselben Ort. Humushaltig.	2,601	4,6 »

Petrowskoje Rasumowskoje
bei Moskau, im Juli 1867.

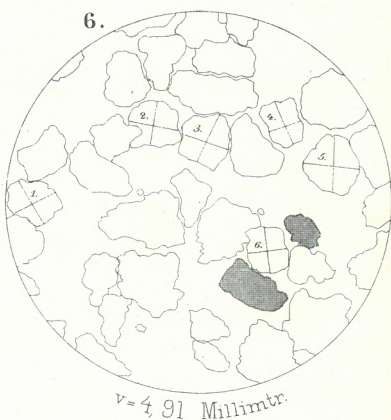
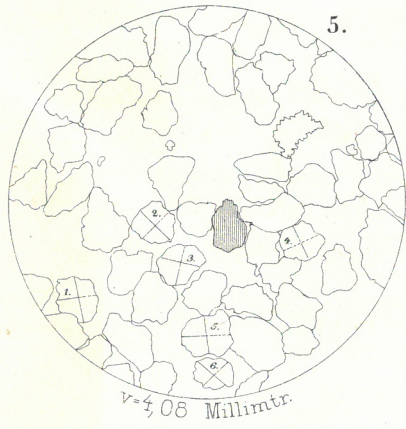
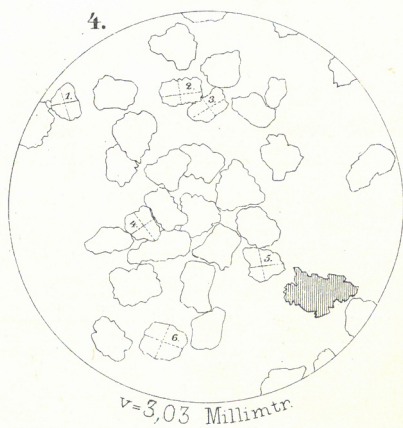
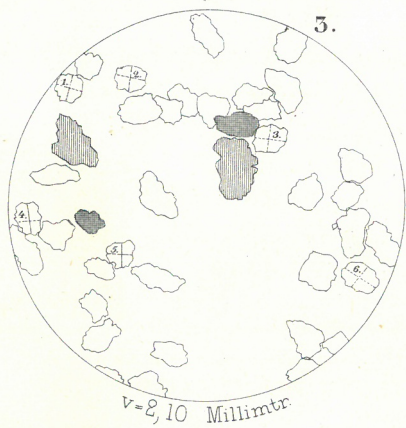
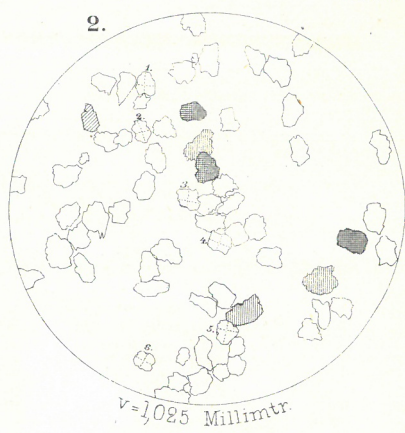
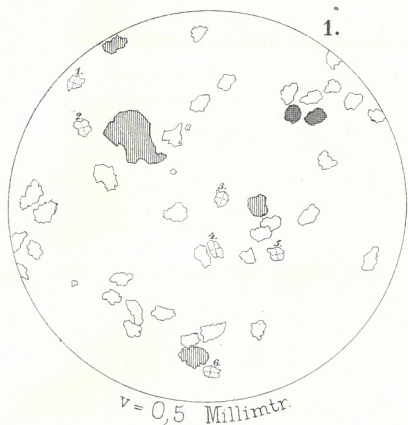


Tabelle B.

Für die mikrometrischen Messungen.

Geschwindigkeit. v. Millimeter.	Gemessene Achsen (a : α) der Schlämmkörner.						$\sqrt{a \cdot \alpha}$.						Durchmesser des entsprechenden, kugelförmigen Schlämmkorns. d.		
	In tausendstel Millimetern.						In tausendstel Millimetern.						Gefunden im Mittel.		Berechnet.
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Durch Messung der Achsen.	Durch Messung mit dem Planimeter.	$d = \sqrt{\frac{7}{11}} 0,0314$
													Millimeter.	Millimeter.	Millimeter.
0,1.....	7,3: 6,7	7,7: 6,0	8,7: 8,7	7,7: 7,3	8,3: 8,0	6,7: 6,3	7,0	6,8	8,7	7,5	8,1	6,5	0,0075	0,0078	0,0072
0,2.....	10,0: 8,7	10,0:10,0	12,3:12,3	9,7: 9,7	11,7:10,3	12,7:10,3	9,3	10,0	12,3	9,7	11,0	11,4	0,0106	0,0109	0,0110
0,3.....	14,3:13,3	15,0:13,0	16,7:14,0	15,0:13,7	16,0:14,7	15,0:13,7	13,8	13,9	15,3	14,3	15,3	14,3	0,0145	0,0146	0,0146
0,4.....	17,3:15,7	16,0:12,0	18,7:18,7	16,3:13,3	13,7:16,7	20,0:16,7	16,5	13,9	18,7	14,4	14,8	18,3	0,0162	0,0160	0,0175
0,5 { I. Versuchsreihe.	23:23	23:20	23:20	22:16	24:20	23:19	23,0	21,4	21,4	18,8	21,9	20,9	0,0201	0,0241	0,0202
{ II. »	23:20	23:17	23:13	27:13	20:20	—	21,4	19,8	17,3	18,7	20,0	—			
1,025 { I. »	40:28	41:27	35:32	38:30	41:36	32:30	33,5	33,3	33,5	33,8	38,4	30,9	0,0325	0,0361	0,0319
{ II. »	37:30	27:23	37:23	33:33	33:33	37:30	33,3	24,9	29,2	33,0	33,0	33,3			
2,10 { I. »	50:45	50:44	56:56	60:46	47:45	68:49	47,4	46,9	56,0	52,5	45,9	57,1	0,0514	0,0529	0,0503
{ II. »	67:43	60:57	43:40	47:43	60:57	60:50	53,7	58,4	41,4	44,9	58,4	54,8			
3,03 { I. »	66,50	71:50	74:45	60:52	65:57	70:70	57,4	59,6	57,7	55,9	60,9	70,0	0,0628	0,0625	0,0635
{ II. »	87,73	73:57	73:70	57:57	60:50	70:60	79,7	64,5	71,4	57,0	54,8	64,8			
4,08 { I. »	90,75	80:70	80:76	76:71	91:75	70:64	82,2	74,8	77,9	73,4	82,6	66,9	0,0758	0,0792	0,0768
{ II. »	93,70	87:63	67:67	83:53	90:73	93:73	80,7	74,0	67,0	66,3	81,1	82,4			
4,91 { I. »	96:85	87:80	98:86	80:64	107:98	97:67	90,3	83,3	91,8	71,6	102,4	80,6	0,0856	0,0820	0,0862
{ II. »	100:80	83:77	97,77	107:67	80:77	90:87	89,4	79,9	86,4	84,7	78,4	88,4			
4.....	65:56	77:53	113:73	85:58	78:71	107:67	60	64	72	70	74	85	0,071	0,075	0,076
5.....	110:72	90:72	110:80	97:69	100:84	90:69	89	80	94	81	92	79	0,086	0,086	0,087
6.....	110:90	100:81	106:75	115:76	129:73	108:76	99	90	90	94	97	91	0,093	0,095	0,098
7.....	105:80	117:90	114:97	118:97	135:94	118:104	92	103	103	107	113	111	0,103	0,106	0,108
8.....	150:126	126:110	126:119	132:112	133:116	132:100	137	118	122	122	124	115	0,123	0,121	0,118
9.....	150:127	142:129	137:104	125:120	155:107	132:114	138	135	119	122	129	123	0,129	0,127	0,127
10.....	167:106	155:117	153:112	166:129	126:120	168:127	133	135	131	146	123	146	0,137	0,139	0,136
11.....	179:115	167:118	149:148	188:165	137:135	152:120	143	140	148	176	136	135	0,150 (?)	0,152 (?)	0,144
12.....	178:128	164:158	140:123	173:132	142:130	193:110	151	161	131	151	136	146	0,149	0,150	0,152

(¹) Die Nummern 1 bis 6 entsprechen auf den mikroskopischen Zeichnungen den in gleicher Weise bezeichneten Körnern

Tabelle H.

Piézometer № 1.

Druck- höhe. h	1000 CC. fliessen aus in t	Wasser- quantität, welche in 1 Secunde aus- fließt. Q	Nach Abzug des der Capillarattrac- tion etc. entspre- chenden Theiles der beobachteten Druckhöhe be- rechnen sich die Quotienten $\frac{Q}{\sqrt{h-C}}$	Geschwindigkeiten in kreisförmigen Querschnitten des Schlammraums mit Durchmessern von:			Beobachtete Anzahl der in 60 Secunden fallenden. Tropfen in 60 Sec.	Daraus be- rechnete An- zahl der in 1 CC. enthal- tenen Tropfen in 1 CC.
				a. 3 ^{cm} ,227 v	b. 3 ^{cm} ,793 v	c. 4 ^{cm} ,489 v		
Centimeter.	Secunden.	Cub. Centim.		Millimeter.	Millimeter.	Millimeter.	Tropfen.	Tropfen.
1,35 — 1,45	11600	0,086	0,27	0,11	0,08	0,05	49,8	9,62
1,365 — 1,465	11000	0,091	0,27	0,11	0,08	0,06	52,5	9,62
1,38 — 1,48	10620	0,094	0,26	0,12	0,08	0,06	54,8	9,36
1,4 — 1,51	9728	0,103	0,26	0,13	0,09	0,07	60	9,73
1,58 — 1,62	6880	0,145	0,28	0,18	0,13	0,09	86,5	9,58
1,7	5960	0,168	0,28	0,21	0,15	0,11	100	9,60
1,8	5360	0,187	0,28	0,23	0,17	0,12	111,5	9,46
1,9	4824	0,207	0,27	0,25	0,18	0,13	123	9,56
2,0	4408	0,227	0,28	0,28	0,20	0,14	139	10,21
2,1	4088	0,245	0,28	0,30	0,22	0,15	149	10,15
2,2	3920	0,256	0,28	0,31	0,23	0,16	158	10,32
2,3	3792	0,264	0,27	0,32	0,23	0,17	165	10,43
2,4	3624	0,276	0,27	0,34	0,24	0,17	171	10,33
2,5	3440	0,291	0,27	0,36	0,26	0,18	177	10,14
2,6	3320	0,301	0,27	0,37	0,27	0,19	187	10,35
2,7	3208	0,312	0,27	0,38	0,28	0,20	197	10,53
2,8	3120	0,321	0,27	0,39	0,28	0,20	200	10,40
2,9	3008	0,332	0,27	0,41	0,29	0,21	206	10,33
3,0	2920	0,342	0,27	0,42	0,30	0,22	217	10,56
3,5	2624	0,381	0,26	0,47	0,34	0,24	—	—
4	2336	0,428	0,86	0,52	0,38	0,27	—	—
5	2040	0,490	0,26	0,60	0,43	0,31	—	—
6	1808	0,553	0,26	0,68	0,50	0,35	—	—
7	1616	0,619	0,26	0,76	0,55	0,39	—	—
8	1472	0,679	0,26	0,83	0,60	0,43	—	—
9	1368	0,731	0,26	0,89	0,65	0,46	—	—
10	1296	0,772	0,26	0,94	0,68	0,49	—	—
15	1008	0,992	0,27	1,21	0,88	0,63	—	—
20	856	1,168	0,27	1,43	1,03	0,74	—	—
25	764	1,309	0,27	1,60	1,16	0,83	—	—
30	688	1,454	0,27	1,78	1,29	0,92	—	—
35	644	1,553	0,27	1,90	1,37	0,98	—	—
40	600	1,667	0,27	2,04	1,48	1,05	—	—
45	556	1,799	0,27	2,20	1,59	1,13	—	—

$$\text{Mittel von } \frac{Q}{\sqrt{h-C}} = 0,27.$$

$$\text{Mittel von } C = 1,35 \text{ Centimeter.}$$

Tabelle J.

Piézometer № 2.

Druck- höhe. h	1000 C.C. fliessen aus in t	Wasser- quantität, welche in 1 Secunde aus- fliesst. Q	Nach Abzug des der Capillarattrac- tion etc. entspre- chenden Theiles der beobachteten Druckhöhe be- rechnen sich die Quotienten $\frac{Q}{\sqrt{h-C}}$	Geschwindigkeiten in kreisförmigen Querschnitten des Schlämraums mit Durchmessern von:		
				a.	b.	c.
				$3^{cm}, 227$ v	$3^{cm}, 793$ v	$4^{cm}, 489$ v
Centimeter.	Secunden.	Cub. Centim.		Millimeter.	Millimeter.	Millimeter.
1,5	2848	0,351	0,39	0,43	0,31	0,22
1,6	2460	0,406	0,39	0,50	0,36	0,26
1,7	2224	0,450	0,39	0,55	0,40	0,28
1,8	2068	0,484	0,39	0,59	0,43	0,31
1,9	1954	0,512	0,38	0,63	0,45	0,32
2,0	1824	0,548	0,38	0,67	0,49	0,35
2,25	1650	0,606	0,37	0,74	0,54	0,38
2,5	1478	0,676	0,36	0,83	0,60	0,43
2,75	1364	0,733	0,37	0,90	0,65	0,46
3,0	1190	0,840	0,39	1,03	0,74	0,53
3,5	1094	0,914	0,38	1,12	0,81	0,58
4,0	972	1,029	0,39	1,26	0,91	0,65
4,5	910	1,099	0,38	1,34	0,97	0,69
5	842	1,188	0,38	1,45	1,05	0,75
6	743	1,346	0,39	1,65	1,19	0,85
7	672	1,488	0,39	1,82	1,32	0,94
8	616	1,623	0,39	1,98	1,44	1,02
9	564	1,773	0,40	2,17	1,57	1,12
10	540	1,852	0,39	2,26	1,64	1,17
12,5	473	2,114	0,40	2,58	1,87	1,33
15	425	2,353	0,40	2,88	2,08	1,49
17,5	391	2,558	0,40	3,13	2,26	1,62
20	364	2,747	0,40	3,36	2,43	1,73
25	326	3,07	0,40	3,75	2,72	1,94
30	301	3,32	0,39	4,06	2,94	2,10
35	274	3,65	0,40	4,46	3,23	2,31
40	256	3,90	0,39	4,77	3,45	2,46
45	242	4,13	0,39	5,05	3,65	2,61
50	228	4,38	0,39	5,35	3,88	2,77
60	208	4,80	0,39	5,87	4,25	3,03
70	192	5,20	0,40	6,36	4,60	3,29
80	181	5,53	0,39	6,76	4,90	3,49
90	170	5,87	0,39	7,18	5,19	3,71
100	163	6,13	0,39	7,49	5,43	3,87
110	155	6,46	0,39	7,90	5,72	4,08
120	148	6,74	0,39	8,24	5,94	4,26
130	142	7,02	0,39	8,58	6,21	4,43
140	137	7,29	0,39	8,91	6,45	4,61
150	133	7,54	0,39	9,22	6,67	4,76
160	129	7,77	0,39	9,50	6,88	4,91

$$\text{Mittel von } \frac{Q}{\sqrt{h-C}} = 0,39.$$

$$\text{Mittel von } C = 1,175 \text{ Centimeter.}$$

Tabelle K.

Piézometer № 3.

Druck- höhe. h	1000 CC. fliessen aus in t	Wasser- quantität, welche in 1 Secunde aus- fliesst. Q	$\frac{Q}{\sqrt{h}}$	Geschwindigkeiten in kreisförmigen Querschnitten des Schlämraums mit Durchmessern von:		
				a.	b.	c.
				$3^{cm}, 227$ v	$3^{cm}, 793$ v	$4^{cm}, 489$ v
Centimeter.	Secunden.	Cub. Centim.		Millimeter.	Millimeter.	Millimeter.
10	162	6,17	1,95	7,5	5,5	3,9
12,5	—	6,82*	—	8,3	6,0	4,3
15	—	7,48*	—	9,1	6,6	4,7
17,5	—	8,45*	—	10,3	7,5	5,3
20	116	8,56	1,91	10,5	7,6	5,4
22,5	—	9,15*	—	11,2	8,1	5,8
25	—	9,65*	—	11,8	8,5	6,1
27,5	—	10,12*	—	12,3	9,0	6,4
30	94	10,63	1,94	13,0	9,4	6,7
32,5	—	11,00*	—	13,4	9,7	7,0
35	—	11,42*	—	14,0	10,1	7,2
37,5	—	11,82*	—	14,5	10,5	7,5
40	82	12,25	1,94	15,0	10,9	7,7
42,5	—	12,58*	—	15,4	11,1	7,9
45	—	12,95*	—	15,8	11,5	8,2
47,5	—	13,30*	—	16,3	11,8	8,4
50	73	13,70	1,94	16,7	12,1	8,7
52,5	—	13,98*	—	17,1	12,4	8,8
55	—	14,31*	—	17,5	12,7	9,0
57,5	—	14,63*	—	17,9	13,0	9,2
60	67	14,95	1,93	18,3	13,2	9,4
62,5	—	15,26*	—	18,7	13,5	9,6
65	—	15,56*	—	19,0	13,8	9,8
67,5	—	15,86*	—	19,4	14,0	10,0
70	62	16,09	1,92	19,7	14,3	10,2
72,5	—	16,43*	—	20,1	14,5	10,4
75	—	16,71*	—	20,4	14,8	10,6
77,5	—	16,99*	—	20,8	15,0	10,7
80	58	17,22	1,93	21,1	15,2	10,9
82,5	—	17,53*	—	21,4	15,5	11,1
85	—	17,79*	—	21,8	15,8	11,2
87,5	—	18,05*	—	22,1	16,0	11,4
90	55	18,24	1,92	22,3	16,1	11,5
92,5	—	18,56*	—	22,7	16,4	11,7
95	—	18,81*	—	23,0	16,6	11,9
97,5	—	19,06*	—	23,3	16,9	12,0
100	52	19,20	1,92	23,5	17,0	12,1
105	—	19,78*	—	24,2	17,5	12,5
110	50	20,00	1,91	24,4	17,7	12,6
115	—	20,71*	—	25,3	18,3	13,1
120	—	21,14*	—	25,8	18,7	13,4
125	—	21,58*	—	26,4	19,1	13,6
130	—	22,01*	—	26,9	19,5	13,9
135	—	22,43*	—	27,4	19,8	14,1
140	—	22,84*	—	27,9	20,2	14,4
145	—	23,24*	—	28,4	20,6	14,7
150	—	23,64*	—	28,9	20,9	14,9
155	—	24,03*	—	29,4	21,3	15,2
160	—	24,41*	—	29,8	21,6	15,4

$$\text{Mittel von } \frac{Q}{\sqrt{h}} = 1,93.$$

Die Capillarattraction etc. war hier so gering, dass $C=0$ gesetzt werden konnte.
* Die mit Sternen versehenen Zahlen sind nach dem Mittel der durch den Versuch be-
stimmten berechnet.

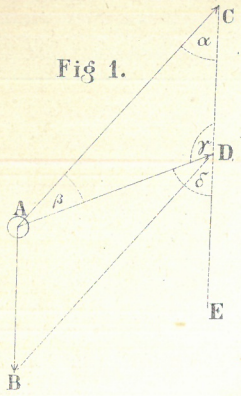


Fig. 1.

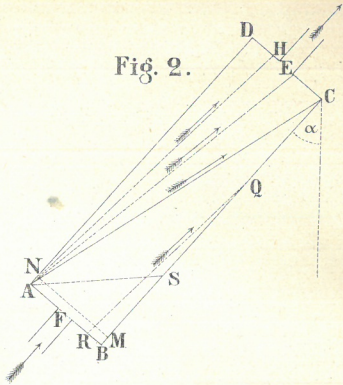


Fig. 2.

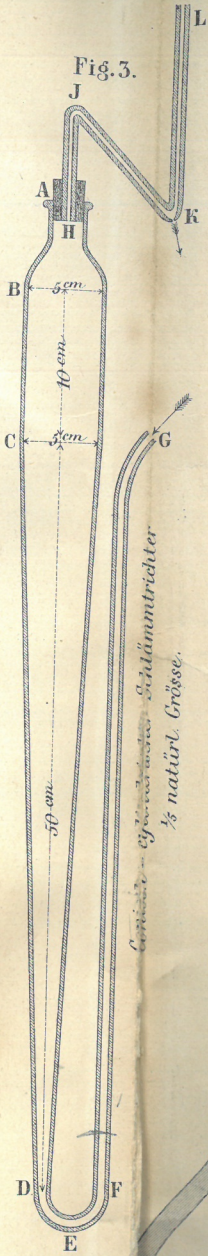


Fig. 3.

Schlammtrichter
1/2 natürl. Grösse.

Fig. 4.
Abflussröhre
mit
Piezometer
Natürl. Grösse.

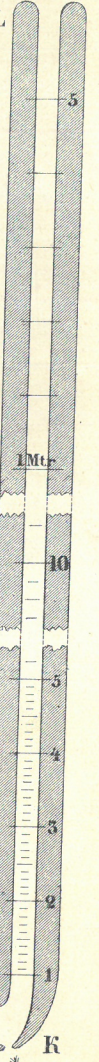
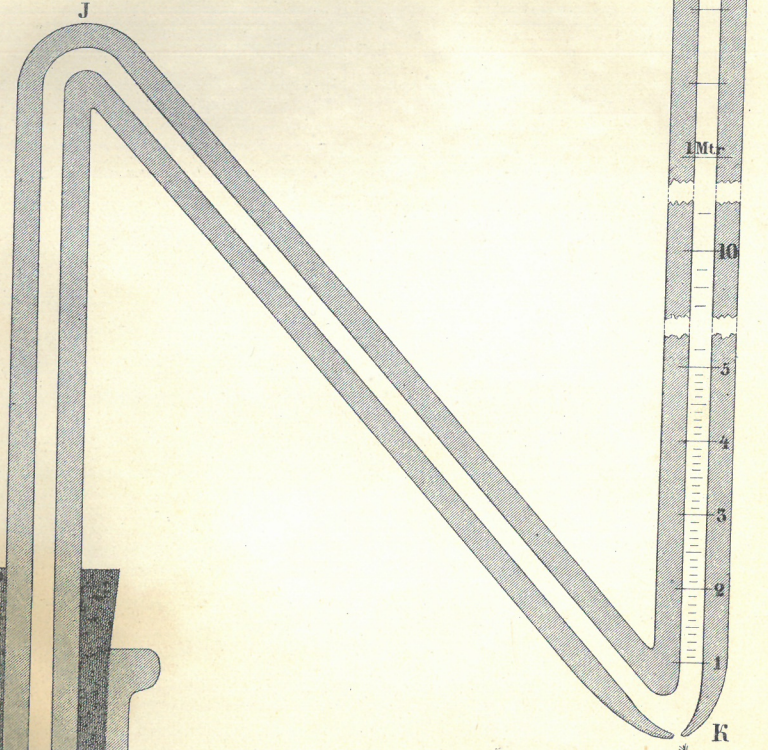


Fig. 5.

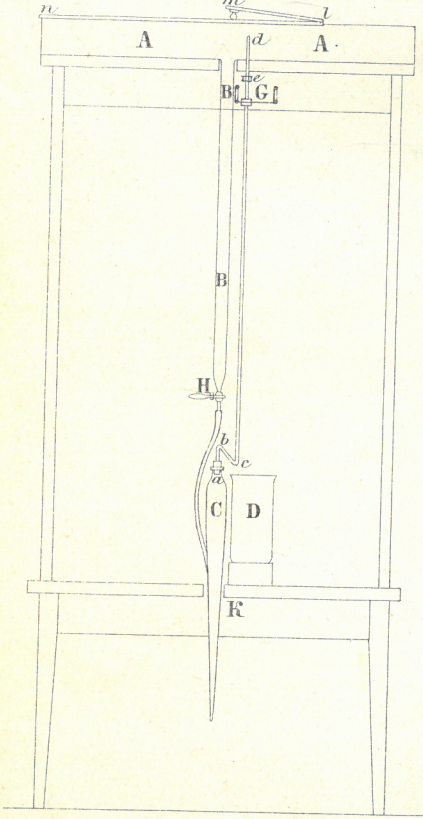


Fig. 6.

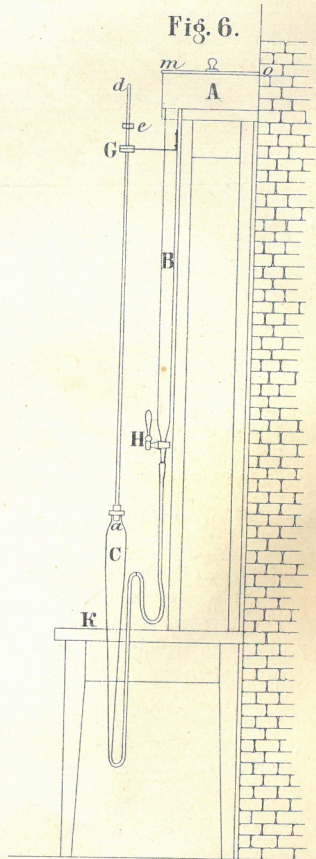
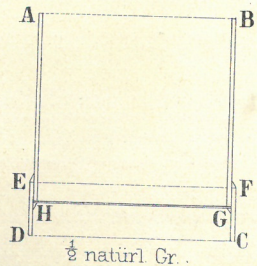


Fig. 7.



1/2 natürl. Gr.

Vorderansicht.

1/20 natürl. Grösse.

Seitenansicht.