



PUBLIKATIONEN DER KGL. UNGAR. GEOLOGISCHEN REICHSANSTALT.

---

# ÜBER DIE METHODEN DER MECHANISCHEN UND PHYSIKALISCHEN BODENANALYSE.

VON

DR. ALEXIUS A. J. VON 'SIGMOND

o.ö. Professor an d. technischen Hochschule, Budapest.

MIT EINER TAFEL UND 8 ABBILDUNGEN IM TEXT.

ANHANG:

NEUER MESSAPPARAT FÜR DIE BESTIM-  
MUNG DER SCHWINDUNG VON BÖDEN.

VON

JOSEPH GLÖTZER

dipl. Ing. Chemiker.

MIT 8 ABBILDUNGEN IM TEXT.

*Herausgegeben von der dem kgl. ungar. Ackerbauministerium  
unterstehenden kgl. ungar. geologischen Reichsanstalt.*

BUDAPEST,

BUCHDRUCKEREI ÁRMIN FRITZ

1916.

---

**Juli 1916.**

---

# Über die Methoden der mechanischen und physikalischen Bodenanalyse.

Von Dr. ALEXIUS A. J. v. 'SIGMOND.

(Vorgetragen in der am 3. Dezember 1913 abgehaltenen Sitzung der ung. geol. Gesellschaft.)

## I.

Bei dieser Gelegenheit will ich über die Erfahrungen, welche ich bis jetzt über die Ausführung und Bedeutung der mechanischen und physikalischen Bodenuntersuchungen erhalten habe, hier kurz Bericht erstatten.

Die mechanische Bodenanalyse gibt ein treues Bild über die Feinheit der den Boden bildenden, mineralischen Bestandteile, aus welchem Bild dann ein wertvoller Schluß auf die Bildungsweise des Bodens zu ziehen ist. Jene vielversprechenden Vermutungen aber, auf Grund welcher man früher der mechanischen Analyse eine so große praktische Bedeutung zugesprochen hat, ergaben sich als unrichtig. Es ist unzweifelhaft, daß aus den Angaben der mechanischen Analyse auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens sehr oft richtige Schlüsse gezogen werden können, nicht selten wird aber das Gegenteil wahrgenommen. Speziell bei Böden, in denen die Quantität der groben und feinen Sandteilchen in den Hintergrund gedrängt ist und Staub, Schlamm und kolloider sog. „roher Ton“ vorherrscht, kann uns die mechanische Analyse über die physikalischen Verschiedenheiten keinen näheren Aufschluß geben, man kann sogar aus den Angaben der Analyse die Verschiedenheiten dieser Bodenarten sehr oft nicht einmal erkennen. Bevor ich diese Behauptung mit Erfahrungen aus der Praxis begründe, halte ich es für notwendig aus den exakten Untersuchungen ATTERBERG's<sup>1)</sup> die wichtigsten kurz zusammenzufassen. Genannter schwedischer Forscher stellte nämlich Bodenkörner verschiedener Größe rein dar, und untersuchte, wie sich diese verschieden feinen Fraktionen die Wasserbewegung betreffend benehmen. Aus seinen Untersuchungen sind folgende die wichtigsten:

<sup>1)</sup> Dr. ALBERT ATTERBERG, KALMAR: Studien auf dem Gebiete der Bodenkunde. Landw. Versuchsstat. LXIX. (1908.) Seite 93.

1. Er bestimmte die *maximale Kapillarität* der verschiedenen feinen Bodenkörner, nämlich jene Höhe in mm, auf welche sich das Wasser in den genannten Fraktionen überhaupt erhebt. Die Versuche dauerten in einzelnen Fällen 72 Tage.

2. Aus dem Gesichtspunkte der Versorgung der Pflanzen mit Wasser ist es wohl wesentlich, wie hoch sich das Wasser aus den tieferen Schichten in 24 resp. 48 Stunden erhebt. Eben darum untersuchte er auch, wie hoch sich das Wasser in den verschiedenen Fraktionen binnen 24 Stunden erhebt.

3. Aus dem Gesichtspunkte der Pflanzen ist es noch wesentlich, wieviel mm die Feuchtigkeit im Falle eines mäßigen Niederschlages oder Begießens über der kapillaren Höhe zurückgehalten wird.

4. Endlich bestimmte er noch, in welcher Zeit die verschiedenen Fraktionen im trockenen Zustande eine Wassermenge, entsprechend einer Wassersäule von 50 resp. 100 mm, aufnehmen können.

ATTERBERG's diesbezügliche Resultate werden in der 1. Tabelle zusammengefaßt.

1. Tabelle.

| Korngröße<br>mm | Kapillarität, d. i.<br>kapillares<br>Hebevermögen<br>für Wasser<br>mm | Kapillares<br>Hebevermögen<br>für Wasser in<br>24 Stunden<br>mm | Der Sand kann<br>folgende<br>Mengen Wasser<br>oberhalb der<br>Kapillargrenze<br>aufbewahren<br>mm | 50 cm'  | 100 cm' |
|-----------------|---|---|---|---|---------|
|                 |   |   |   | Wasser erfordern folgende Zeit,<br>um in dem trocknen Sande<br>niederzusinken |         |
| 5—2             | 25  | 22  | 0   | Sinken gleich   |         |
| 2—1             | 65  | 54  | 5   | "   | "       |
| 1—0·5           | 131   | 115   | 9   | "   | "       |
| 0·5—0·2         | 246   | 214   | 30  | "   | "       |
| 0·2—0·1         | 428   | 376   | 100   | 1' 35"  | 4' 45"  |
| 0·1—0·05        | 1055  | 530   | ?   | 4' 5"   | 13' 30' |
| 0·05—0·02       | kb. 2 m.  | 1153  | ?   | 8' —  | 24' 30' |
| 0·02—0·01       | ?   | 485   | ?   | 16' 30"   | 49' —   |
| 0·01—0·005      | ?   | 285   | ?   | 28' —   | 88' —   |
| 0·005—0·002     | ?   | 143   | ?   | 58' —   | 160' —  |
| 0·002—0·001     | ?   | 55  | ?   | ?   | ?       |

Er scheidet die gröberen resp. feineren Sande auf Grund dieser praktischen Daten in *Wasser durchlassende Sandkörner* mit 2—0·2 mm Durchmesser, und in *Wasser haltende Sandkörner* mit einem Durchmesser von 0·2—0·02 mm. So kommt ATTERBERG auf den Schluß, daß jene Sandböden, welche hauptsächlich aus Körnern gröber als 0·2 mm bestehen, zur Trockenheit neigen, während die feiner gekörnten nicht so leicht austrocknen folglich fruchtbar sind.

Hierauf bestimmte ATTERBERG mittelst direkter Messung und Berechnung, daß Körner feiner als 0·02 mm zum Eindringen der Wurzelhaare der Gräser ungeeignet sind; bei den Schmetterlingsblütlern liegt diese Grenze etwas höher, da die Wurzelhaare der letzteren stärker sind. In Hinsicht der Pflanzenproduktion wie auch der Bodenbearbeitung liegt ein entscheidender Unterschied, zwischen Böden, in welche die Haarwurzeln nur mit größerem Arbeitsaufwand eindringen können und solchen, in welche dieses Eindringen auch beim vollständigen Zusammenschlämmen sich leicht vollzieht. Letztere nennt man leichte, erstere schwerere Böden.

ATTERBERG untersuchte sodann die durchschnittliche Korngröße mehrerer schwedischer, zur Trockenheit neigender Sandböden, diese wurde bei allen größer als 0·2 mm gefunden.

Bei Böden bindigerer Natur wird die Wasserdurchlässigkeit wohl auch durch den wasserdurchlassenden Sand beeinflusst, der Schlamm und Ton drängt aber die Regelmäßigkeit zurück. Wenn wir z. B. den guten Weizenboden aus der Umgebung von Békéscsaba (Cservenák-tanya, 0—30 Schichte) mit dem sodafreien, gebundenen Szikboden von Ósi-pusztá vergleichen, so sehen wir, daß der Weizenboden die Feuchtigkeit schnell in sich zieht, auf den Szikboden dagegen bleibt das Wasser stehen, und es wird nur eine dünne Schichte durchfeuchtet. Vergleicht man die mechanische Zusammensetzung beider Böden, so ersieht man, daß die Menge des wasserdurchlassenden Sandes beim guten Weizenboden von Békéscsaba beträchtlich ist, beim Szikboden dagegen fehlt sie fast ganz, wie dies aus folgenden Daten ersichtlich ist:

## 2. Tabelle.

| Korngröße mm                      | Weizenboden<br>(Cservenák) | Sodafreier gebundener Szik<br>(Ósi) |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 2—0·2 (wasserdurchlassend)        | 25·2                       | 1·31                                |
| 0·2—0·02 (wasserhaltend)          | 48·0                       | 27·57                               |
| 0·02—0·0025 (Schlamm)             | 21·8                       | 52·05                               |
| Feiner als 0·0025 (kolloider Ton) | 5·0                        | 19·07                               |

Es ist selbstverständlich, daß durch die beträchtliche Menge des Schlammes und Tones im Szikboden die Wasserundurchlässigkeit nur erhöht wird. Noch besser tritt diese Wirkung des Tones in den Vordergrund, wenn wir die mechanische Zusammensetzung der wasserdurchlassenden und wasserhaltenden Schichten der Szikböden bei Békéscsaba vergleichen:

3. Tabelle.

|                                 | Tafel 19.      | Tafel 27.      | Tafel 16.      | T. 33., 38., 39. | Tafel 35.      | Tafel 38.      |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| Tiefe der Schichte {            | 180—<br>365 cm | 180—<br>350 cm | 180—<br>210 cm | 210—<br>290 cm   | 180—<br>210 cm | 190—<br>220 cm |
| 0.5—0.01 mm<br>(feines Skelett) | 48.7 %         | 40.8 %         | 57.0 %         | 21.8 %           | 16.6 %         | 25.7 %         |
| 0.01—0.0025 mm<br>(Schlamm)     | 45.4 „         | 51.7 „         | 36.6 „         | 41.7 „           | 45.6 „         | 34.8 „         |
| Feiner als 0.0025 mm<br>(Ton)   | 5.9 „          | 7.5 „          | 6.4 „          | 36.5 „           | 37.8 „         | 39.5 „         |
|                                 | 100.0          | 100.0          | 100.0          | 100.0            | 100.0          | 100.0          |

Die ersten drei lassen das Wasser leicht durch, die drei letzteren dagegen halten es zurück. Der große Ton- und kleine Sandgehalt der letzteren tragen gleich dazu bei, daß diese Schichten das Wasser überhaupt nicht durchlassen. Dies wurde nicht nur durch, an Ort und Stelle erhaltenen Erfahrungen, sondern auch durch Experimente im Laboratorium bestätigt. Ich bestimmte nämlich, welche Zeit das Wasser gebraucht hat, um, in einer 1 m langen, 15 mm breiten, mit Boden gefüllten Glasröhre, sich nur 100 mm zu erheben:

4. Tabelle.

|                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| Tafel 19.                    |                           |
| 180—365 cm Schichte          | 43 Stunden                |
| Tafel 16.                    |                           |
| 180—350 cm Schichte          | 24 „                      |
| Tafel 33, 38, 39.            | Binnen 6 Tagen erhob sich |
| 180—290 cm Schichte gemischt | das Wasser nur 15 mm.     |

Mit ähnlichem Verfahren bestimmte ich die Fähigkeit Wasser durchzulassen von drei untereinander liegenden Schichten der Tafel 19. von Békéscsaba. Folgende Werte wurden gefunden:

## 5. Tabelle.

|           |          |            |
|-----------|----------|------------|
| 0—30 cm   | Schichte | 24 Stunden |
| 60—90 „   | „        | 54 „       |
| 180—210 „ | „        | 8 „        |

Die mechanische Analyse führte zu folgendem Resultate:

## 6. Tabelle.

|   | 0—30 cm | 60—90 cm | 180—210 cm |
|---|---------|----------|------------|
| 0·5—0·01 mm<br>(feines Skelett)         | 44·62   | 34·68    | 46·27      |
| 0·01—0·0025 mm<br>(Schlamm)             | 37·01   | 41·92    | 46·25      |
| Feiner als 0·0025 mm<br>(kolloider Ton) | 18·37   | 23·40    | 7·48       |
|   | 100·0   | 100·0    | 100·0      |

Diese unter sich und mit der Durchlässigkeit (5. Tabelle) verglichen, finden wir wieder den Zusammenhang zwischen Wasserdurchlässigkeit und mechanischer Zusammensetzung. Wenn wir aber diese Resultate mit den vorhergegangenen (3. und 4. Tabelle) vergleichen, finden wir unerklärliche Widersprüche. Die mechanische Zusammensetzung der in Tab. 3. an erster Stelle und in Tab. 6. an letzter Stelle genannten Böden stimmen fast überein, woraus gefolgert werden kann, daß die mechanische Zusammensetzung der Schichten 180—365 cm und 180—210 cm der Tafel 19. so ziemlich die gleiche ist. Dennoch steigt das Wasser nach der 4. Tabelle erst binnen 43 Stunden 100 mm, wo doch nach der 5. Tabelle die 100 mm Wasserhöhe schon in 8 Stunden verschwindet. Einen anderen Widerspruch können wir zwischen der 180—350 Schichte der Tafel 16. von Békéscsaba und der Schichte 0—30 cm der Tafel 19. konstatieren. Auf Grund der Daten der 4. und 5. Tabelle ist die Durchlaßfähigkeit beider Böden gleich, die mechanische Zusammensetzung dagegen sehr verschieden (S. 3. und 6. Tabelle). Es ist unzweifelhaft, daß die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit dieser Art nicht vollkommen ist, da aber die Bestimmung bei allen Böden gleich durchgeführt wurde, könnte man erwarten, daß sie wenigstens relativ vergleichbare Resultate liefert.

Wenn wir die neuesten Angaben FROSTERUS<sup>1)</sup> in Betracht sichten,

1) BENJ. FROSTERUS: Zur Frage nach der Einteilung der Böden Nordwest-Europas Moränengebieten III. (Geotekniska Meddelanden, No. 12.)

treffen wir ähnliche Widersprüche. Die Wasserdurchlässigkeit bestimmte er mit dem Verfahren KOPECKY's;<sup>1)</sup> die Menge des Wassers, die einen Bodenzylinder von 10 cm Höhe und 10 cm<sup>2</sup> wirksamer Fläche binnen 24 Stunden passiert, ist das Maß der relativen Wasserdurchlässigkeit. Die so gefundenen Werte der folgenden drei Böden verschiedener Feinheit sind in der 7. Tabelle zusammengestellt.

| 7. Tabelle. |                         | Binnen 24 Stunden durchgegangene<br>Wassermenge cm <sup>3</sup> |
|-------------|-------------------------|---|
| No. 12.     | Sandiger Lehm (Sand-Mo) | 122 cm <sup>3</sup>   |
| No. 9.      | Lehm (Mo)               | 52 „  |
| No. 7.      | Toniger Lehm (Ton-Mo)   | 240 „   |

Die mechanische Zusammensetzung der drei Böden stellte ich nach der Klassifikation ATTERBERG's in die 8. Tabelle zusammen:

| 8. Tabelle.  |      |      |      |
|--------------|------|------|------|
| Korngröße mm | 12.  | 9.   | 7.   |
| 2·0—0·2      | 10·0 | 5·8  | 3·0  |
| 0·2—0·02     | 75·7 | 22·6 | 40·5 |
| 0·02—0·002   | 9·9  | 48·7 | 26·2 |
| 0·002        | 2·9  | 20·8 | 27·8 |

Der Boden No. 7. enthält den meisten kolloiden Ton, und den wenigsten wasserdurchlassenden Sand, und die binnen 24 Stunden durchgelassene Wassermenge war doch bei diesem Boden die größte. Der Boden No. 9. enthält weniger Ton und mehr wasserdurchlassenden Sand, als Boden 7., seine Wasserdurchlässigkeit ist doch bedeutend kleiner.

Das bisher gesagte zusammengefaßt kann man also sagen, daß in Bezug der Wasserdurchlässigkeit des Bodens die Korngröße nur bei Sandböden entscheidend ist, im Falle lehmiger und toniger Böden gibt uns, bei größeren Unterschieden, die Menge des Schlammes und Tones, wohl einige Orientierung, feinere Unterscheidungen können aber nicht gemacht werden.

Man kann mit einer groben Annäherung nur so viel festsetzen, daß mit der Menge des Schlammes und Tones die Wasserdurchlässigkeit abnimmt. Ein engerer Zusammenhang kann gar nicht erwartet werden, da die Wasserdurchlässigkeit nicht allein von der Korngröße abhängt, vielmehr auch die Lage der Körner (Bodenstruktur), die Menge und Qualität der Bodenkolloide, das Vorkommen verschiedener Salze (Elektrolyte).

<sup>1)</sup> J. KOPECKY: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Prag, 1904.



die Art wie der Boden geschichtet ist und der Wassergehalt einen merklichen Einfluß darauf ausübt, wie schnell und wie tief das Wasser in den Boden eindringt.<sup>1)</sup>

Ähnliche Widersprüche treffen wir beim Vergleich anderer physikalischer Eigenschaften des Bodens mit der mechanischen Zusammensetzung. Diesbezüglich verweise ich nur auf die Untersuchungen FROSTERUS' und PUCHNER's, da ich Erfahrungen in dieser Richtung noch nicht erhalten habe.<sup>2)</sup>

In Betracht der Klassifikation der Böden schreiben viele Fachgenossen auch heute noch der mechanischen Analyse eine große Bedeutung zu. Speziell das amerikanische *Bureau of Soils* führte mit dieser Absicht Tausende von mechanischen Analysen aus. G. N. COFFEY<sup>3)</sup> ein Fachmann des genannten Bureaus hebt, in seinem Studium über Böden der Vereinigten Staaten, aus dem Gesichtspunkte der Klassifikation der Böden, folgende drei physikalischen Eigenschaften hervor: mechanische Zusammensetzung („texture“), Bodenstruktur („structure“) und Farbe des Bodens („color“). Unter diesen spricht er der mechanischen Zusammensetzung den größten Wert zu, weil diese genau zu ermitteln ist. In einer früheren Mitteilung schreibt er:<sup>4)</sup> „Die mechanische Zusammensetzung, das Gewebe des Bodens („texture“) ist dessen wichtigste physikalische Eigenschaft. Diese bildet die nächste Umgebung der Pflanze im Boden . . . Da das Gewebe des Bodens die Umgebung der Pflanzenwurzeln und aus diesem Grunde auch die Pflanzenart die in der gegebenen Bodentype am vorteilhaftesten anzubauen ist festsetzt, ist es wohl notwendig, das Gewebe des Bodens mit der größten Genauigkeit zu bestimmen und den Boden nach demselben zu bezeichnen. Die Benennungen Sand, sandiger Lehm, Lem und Ton werden zur Charakterisierung der Böden viel gebraucht, diese Begriffe sind aber durchaus nicht gehörig festgestellt. Wenn z. B. in einer leichtsandigen Gegend ein sandiger Lehm auf einem tonigen Untergrund vorliegt, so wird dies in der betreffenden Gegend für Ton qualifiziert, kommt aber dieselbe Type in einer Gegend vor, wo schwere, gebundene Böden vorherrschen, so wird dieselbe da gleich für Sand qualifiziert.“

1) Näheres: RAMANN Bodenkunde 3. Auflage. (1911.) 346. l.

2) FROSTERUS: R. d. Seite 19.

H. PUCHNER: Untersuchung über die „Wasserführung“ des Bodens. Int. Mitteil. f. Bodenkunde I. Bd. Seite 99—137.

3) G. N. COFFEY: A Study of the Soils of the United States. (1913.)

U. S. Dep. Agric. Bur. of Soils-Bull. No. 85. Seite 27.

4) G. N. COFFEY: Physical Principles of Soil Classification; Proc. Amer. Soc. Agron. Band I. Seite 181.

Nach PFEIFFER<sup>1)</sup> ist die Benennung der Böden sehr individuell, da es sehr oft vorkommt, daß derselbe Boden von einem Sand, von anderem Lehm genannt wird. Es kann sogar vorkommen, daß derselbe Fachmann denselben Boden verschieden qualifiziert, je nachdem er die Probe in nassem oder feuchtem Zustande genommen hat. Die Bodenbezeichnung kann nur dann korrekt und von den erwähnten subjektiven Einwirkungen frei sein, wenn sie auf einer exakten Analyse basiert.

FROSTERUS sagt in seiner schon zitierten Mitteilung,<sup>2)</sup> daß aus dem Gesichtspunkte der Klassifikation der Mineralböden die physikalischen Eigenschaften des Bodens von großer Bedeutung sind. Die wichtigste unter diesen ist die mechanische Zusammensetzung.

Es sei hier noch erwähnt, wie sich, auf Grund der bisherigen praktischen Erfahrungen, die mechanische Zusammensetzung in Bezug der physikalischen Klassifikation der Böden bewährte. Wenn man die älteren Arbeiten über Bodenkunde durchstudiert, so sieht man, daß der mechanischen Zusammensetzung wohl eine große Bedeutung zugesprochen wurde, die Charakterisierung der Bodentypen auf Grund der Zusammensetzung war aber sehr unsicher. Dies will ich nur mit einem Beispiele beweisen. ALEXANDER CSERHÁTI sagt in seiner Bodenkunde<sup>3)</sup> über die Charakterisierung der Tonböden Folgendes: „In den meisten Lehrbüchern der Bodenkunde wird der Tonboden so charakterisiert, daß er wenigstens 50% Ton enthält. Unter den Kulturböden findet man aber kaum solche Böden. Nach der Analyse FESCA's enthält ein sehr gebundener Boden nur 30% reinen Ton. Was man also gewöhnlich Ton nennt, ist nichts anderes, als Schlamm, also Ton mit verschiedenen fremden Bestandteilen gemischt. Der Gehalt an Schlamm kann bis zu 90% steigen. Böden mit mehr als 80% sind aber schon derartig gebunden, daß sie für Ackerland nur ausnahmsweise, gewöhnlich aber als Wiese oder Weide benützt werden.

Der Gehalt an Schlamm ist aber nach meiner Ansicht nicht allein charakterisierend, da es auch Lehmböden gibt, die 60% Schlamm enthalten, und dennoch nicht unter die Tonböden einzureihen sind. Um einen Boden für Tonboden auszusprechen, ist es, neben dem minimalen 50% Schlammgehalt, noch notwendig, daß der Boden so feinkörnig sei, daß beim Zerreiben des Bodens zwischen den Fingern kein Sand herauszuspüren sei.“

<sup>1)</sup> Landw. Jahrbücher. Band 41. (1911.) Seite 17.

<sup>2)</sup> Ebendort. Seite 7.

<sup>3)</sup> CSERHÁTI S.: Talajismeret. II. verbesserte Auflage. (1902.) Seite 142.

CSERHÁTI hat in sich den Gelehrten und praktischen Landwirt vereinigt, der, einerseits die Fachliteratur und Forschungsweise seiner Zeit, andererseits unsere ungarischen Böden aus praktischem Gesichtspunkte und aus mittels unmittelbaren Ertragsversuchen erworbenen Erfahrungen, gut gekannt hatte. Aus seiner oben zitierten Beschreibung ist ersichtlich, daß die Charakterisierung der Böden auf Grund der mechanischen Zusammensetzung sehr unsicher war, vielmehr, da die Korngröße des abschlämmbaren Teiles auch unbestimmt war und die Resultate verschiedener Forscher so nicht vergleichbar waren.<sup>1)</sup>

Was Genauigkeit anbetrifft, sind die mechanischen Analysen der kgl. ungar. Geologischen Anstalt viel vollkommener.<sup>2)</sup> Allein auf Grund dieser zahlreichen Analysen wäre es ebenfalls schwierig die richtige Grenze zwischen Lehm- und Tonböden festzustellen.

Die meisten gleichartig durchgeführten und auf die Korngröße basierten mechanischen Analysen wurden von dem amerikanischen Bureau of Soils ausgeführt. WHITNEY setzt die Zahl der unter 15 Jahren analysierten Böden auf 20,000. In folgender Zusammenstellung wiedergebe ich die amerikanische offizielle Klassifikation auf Grund der Korngröße, die fast gleiche Klassifikation COFFEY's wird nachfolgend graphisch gekennzeichnet.

<sup>1)</sup> Nach dem Verfahren Kühn's wurde bei einer Wassersäule von 30 cm nach 5 Minuten abgeschlämmt, was nach den Untersuchungen ATTERBERG's eine Korngröße von annähernd 0.05 mm bedeutet.

<sup>2)</sup> Siehe die bezüglichen Mitteilungen der kg. ung. geologischen Reichsanstalt.

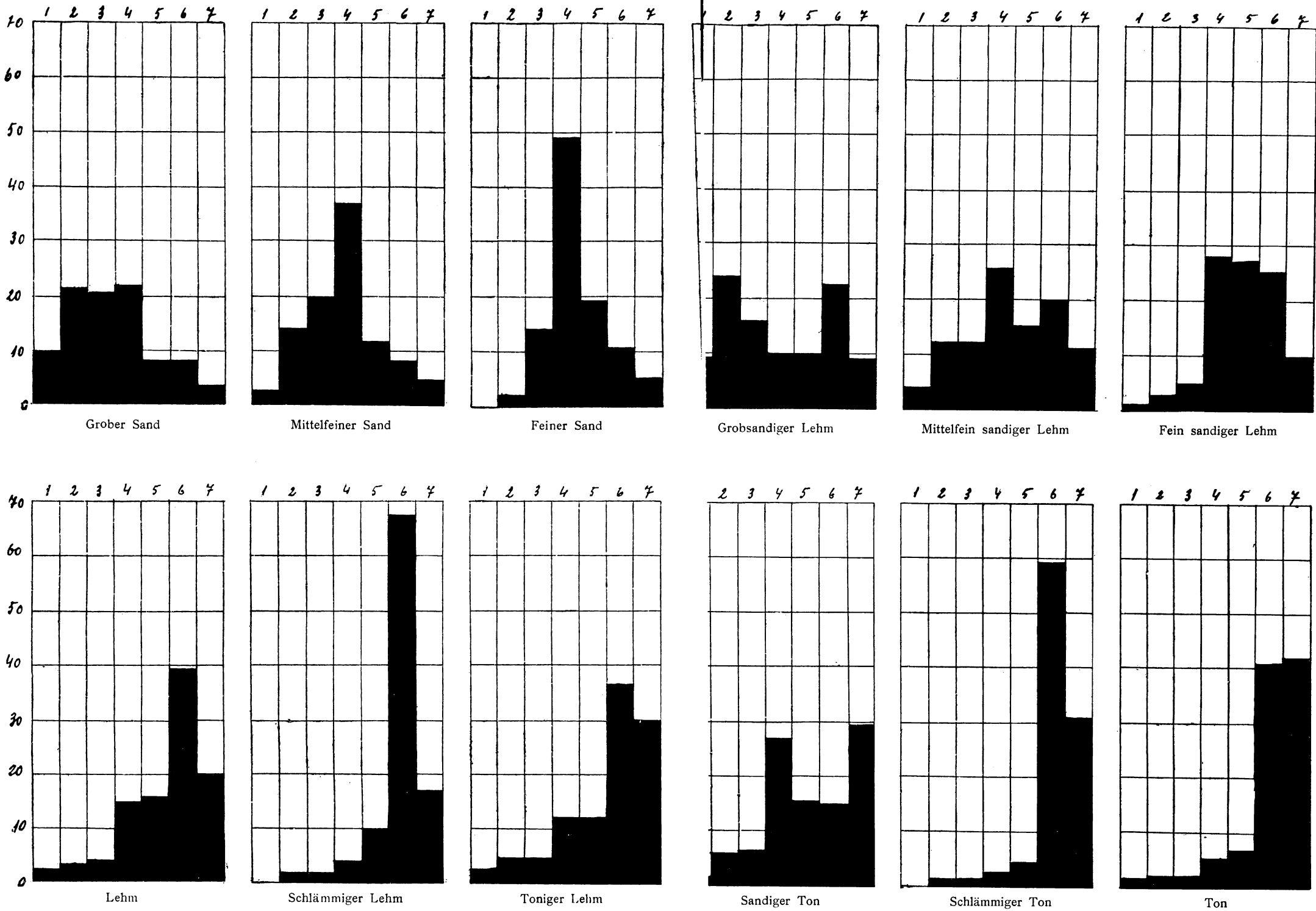
## 9. Tabelle.

Die Bodenklassifikation auf Grund der mechanischen Analyse nach dem Bureau of Soils:<sup>1)</sup>

| Klasse             | 1.<br>2—1       | 2.<br>1—5    | 3.<br>5—25 | 4.<br>25—1   | 5.<br>1—05      | 6.<br>05—005    | 7.<br>005—0     |
|--------------------|-----------------|--------------|------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Grober Sand        |                 | mehr als 20% |            |              | weniger als 10% | 0—15            | 0—10            |
|                    | mehr als 50%    |              |            |              |                 | weniger als 20% |                 |
| Mittelfeiner Sand  | weniger als 10% | mehr als 50% |            |              | weniger als 10% | 0—15            | 0—10            |
|                    |                 |              |            |              |                 | weniger als 20% |                 |
| Feiner Sand        | weniger als 10% |              |            | mehr als 50% |                 | 0—15            | 0—10            |
|                    |                 |              |            |              |                 | weniger als 20% |                 |
| Sandiger Lehm      | mehr als 20%    |              |            |              |                 | 10—35           | 5—15            |
|                    |                 |              |            |              |                 | 20%—50%         |                 |
| Fein sandiger Lehm |                 |              |            | mehr als 40% |                 | 10—35           | 5—15            |
|                    |                 |              |            |              |                 | 20%—50%         |                 |
| Lehm               |                 |              |            |              |                 |                 | 5—15            |
|                    |                 |              |            |              |                 | als 55%         |                 |
|                    |                 |              |            |              |                 | mehr als 50%    |                 |
| Schlammiger Lehm   |                 |              |            |              |                 | mehr als 55%    | weniger als 25% |
| Toniger Lehm       |                 |              |            |              |                 | 25—55           | 25—35           |
|                    |                 |              |            |              |                 | mehr als 60%    |                 |
| Sandiger Ton       |                 | mehr als 30% |            |              |                 | weniger als 25% | mehr als 20%    |
|                    |                 |              |            |              |                 | weniger als 60% |                 |
| Schlammiger Ton    |                 |              |            |              |                 | mehr als 55%    | 25—25           |
| Ton                |                 |              |            |              |                 |                 | mehr als 35%    |
|                    |                 |              |            |              |                 | mehr als 66%    |                 |

<sup>1)</sup> „Instructions to field parties and description of soil types.“

Diagrammen der mechanischen Zusammensetzungen der hauptsächlichsten Bodentypen (nach COFFEY).<sup>1)</sup>



<sup>1)</sup> COFFEY: A Study of the soils of the United States, ebendort Seite 28.

Ich gebe zu, daß die Mehrzahl der Fälle der obigen Klassifikation entspricht und so mit einer bestimmten Annäherung aus den Angaben der mechanischen Analyse grobe Schlüsse auf den physikalischen Charakter des Bodens zu ziehen sind. Aber dies wird selbst vom Bureau of Soils nicht eingehalten. So z. B. setzt die 9. Tabelle für den sandigen Lehm folgende Grenzwerte fest: mehr als 20% grober Sand (Korngröße = 2—0.25 mm, Nummer der Fraktion: 1, 2, 3), mehr als 20% und weniger als 50% Schlamm (Korngröße = 0.05—0.005 mm, N. der Fraktion: 6) und Ton (Korngröße = 0.005—0 mm, N. der Fraktion: 7), von dem ist der Schlamm weniger als 35%, der Ton weniger als 15%. In der 11. Tabelle stellte ich einige Bodentypen zusammen, die vom Bureau of Soils untersucht und als sandige Lehme bezeichnet wurden.<sup>1)</sup>

11. Tabelle.

| Sandige Lehmböden    | Grober          | Feiner | Schlamm | Ton | Zusammen |
|----------------------|-----------------|--------|---------|-----|----------|
|                      | Sand            |        |         |     |          |
|                      | P r o z e n t e |        |         |     |          |
| Volusia . . . . .    | 12              | 18     | 47      | 16  | 93       |
| Oakland . . . . .    | 16              | 40     | 31      | 13  | 100      |
| Manchester . . . . . | 33              | 50     | 11      | 6   | 100      |
| Winnebago . . . . .  | 26              | 36     | 25      | 15  | 103      |
| Wheatland . . . . .  | 9               | 44     | 26      | 22  | 101      |

Unter diesen sandigen Lehm Böden entspricht nur der vierte, der sandige Lehm von Winnebago den Anforderungen.

In anderen Fällen werden Böden mit viel ähnlicherer mechanischer Zusammensetzung mit verschiedenen Namen gekennzeichnet. Z. B.:

12. Tabelle.

|                         | Grober          | Feiner | Schlamm | Ton |
|-------------------------|-----------------|--------|---------|-----|
|                         | Sand            |        |         |     |
|                         | P r o z e n t e |        |         |     |
| Volusia sandiger Lehm . | 15              | 18     | 47      | 16  |
| Volusia Lehm . . . .    | 5               | 20     | 46      | 27  |

<sup>1)</sup> Aus den Daten des „Instruction to field partici etc.“ zusammengestellt.

Oder es wird ein Boden Lehm, sogar Tonboden genannt, welcher mehr Sand und weniger Ton enthält, als ein anderer sandiger Lehm.

13. Tabelle.

|                         | Grober          | Feiner | Schlamm | Ton |
|-------------------------|-----------------|--------|---------|-----|
|                         | Sand            |        |         |     |
|                         | P r o z e n t e |        |         |     |
| Volusia sandiger Lehm . | 12              | 18     | 47      | 16  |
| Bernardston Lehm . .    | 18              | 34     | 34      | 14  |
| Griffin Tonboden . . .  | 33              | 17     | 25      | 25  |
| Shelby Tonboden . . .   | 14              | 32     | 40      | 13  |

Aus diesen einigen Beispielen ist schon ersichtlich, daß der mechanischen Zusammensetzung aus dem Gesichtspunkte der Bodenklassifikation selbst vom amerikanischen Bureau of Soils keine große Bedeutung zugesprochen wird, da der Boden schon bei der Aufnahme auf Grund praktischer Kennzeichen bezeichnet wird. WHITNEY selbst, der Vorstand des Büreaus, äußert sich in einem zu ATTERBERG am 11. Februar 1911. geschriebenen Briefe folgend:<sup>1)</sup>

„Die mechanische Analyse ist nur dann von Nutzen, wenn zwischen der mechanischen Zusammensetzung und den physikalischen und biologischen Eigenschaften des Bodens irgendein näherer Zusammenhang festzusetzen ist. Wir wissen zwar, daß solch ein Zusammenhang existiert, präzisiert wurde er aber noch nicht festgestellt. Die Eigenschaften des Bodens stehen mit der mechanischen Zusammensetzung in sehr verwickeltem Zusammenhänge . . .“

HILGARD äußert sich ebendort folgend: Bisher wurde die komplizierte Gleichung noch nicht gelöst, auf Grund welcher aus den Korngrößen die Bearbeitbarkeit des Bodens zu bestimmen wäre.

In Erwägung des oben gesagten kann man jetzt, aus dem Gesichtspunkte der praktischen Klassifikation der Böden, der mechanischen Zusammensetzung nur eine Rolle zweiten Ranges zusprechen und eben darum hat es auch keinen Zweck die Bodenkörner für praktische Zwecke so weitgehend einzuteilen, wie es die Amerikaner machen. Die von der II. agrogeologischen Konferenz ausgesandte internationale Kommission

<sup>1)</sup> ATTERBERG: Über die Klassifikation der Bodenkörner. III. Mitteilung für die Mitglieder der internationalen Kommission für die Einteilung der Bodenkörner. Seite 2.

für die Klassifikation der Bodenkörner hat, bei ihrer in Berlin am 31. Oktober 1913. gehaltenen Zusammenkunft, auf Vorschlag ATTERBERG's folgende Gruppen zur Klassifikation der Bodenkörner angenommen:

#### 14. Tabelle.

Grenzwerte der Korngrößen, die durch die int. Kommission angenommen wurden:

|                                  | Korngröße           |
|----------------------------------|---------------------|
| Felsenstücke, Blöcke etc.        | Größer als 20 mm    |
| Steine                           | 20—2 mm             |
| Grober Sand (wasserdurchlassend) | 2—0.2 mm            |
| Feiner Sand (wasserhaltend)      | 0.2—0.02 mm         |
| Schlamm, Staub                   | 0.02—0.002 mm       |
| Roher Ton (Kolloide)             | Feiner als 0.002 mm |

Hier bemerke ich nur, daß betreffend der Benennung der einzelnen Fraktionen durch die int. Kommission keine Entscheidung getroffen wurde, es wurden nur die Grenzwerte der einzelnen Fraktionen festgestellt. Weiter blieb auch eine weitere Klassifikation innerhalb der obigen Hauptgruppen frei. Die weitere Einteilung wird für die Zukunft freigelassen. Der Beschluß der obigen int. Kommission bezieht, daß man die Gegenwerte der Hauptgruppen allgemein annimmt, damit die Resultate verschiedener Arbeiten vergleichbar werden. Die Angaben des bis jetzt verfolgten Verfahrens des amerikanischen Bureau of Soils sind nach ATTERBERG leicht umrechenbar. Zur Summe der „Fine gravel“, „Coarse sand“, „Medium sand“ addiert man  $\frac{1}{5}$  des „Fine Sand“, der so gefundene Wert entspricht beiläufig der Gruppe 2—0.2 mm;  $\frac{4}{5}$  des „Fine Sand“ zu „Verg. fine sand“ und  $\frac{1}{3}$  „Silt“ addiert gibt beiläufig die Gruppe 0.2—0.02 mm;  $\frac{2}{3}$  des „Silt“ und  $\frac{1}{4}$  des „Clay“ entspricht der Gruppe 0.02—0.002 mm; endlich gibt das verbleibende  $\frac{3}{4}$  des „Clay“ die Gruppe feiner als 0.002 mm.

Viel einfacher ist die Umrechnung jener Analysenergebnisse, welche mit der Methode der kgl. ung. Geologischen-Reichsanstalt erhalten wurden, da in dieser Klassifikation die Werte von 2, in jeden Dezimalen vorkommen, hat man nur die entsprechenden Fraktionen einfach zu addieren nötig. Augenscheinlich ist die Grenzzahl für den kolloidalen Ton etwas größer, als bei ATTERBERG. Wir wissen aber aus ATTERBERG's Bestätigungen, daß eben diese Größengrenze nicht scharf gezogen werden kann. Nachdem aus der Menge des Rohtones ohnehin, wie schon oben gezeigt wurde, nur grobe Schlüsse auf die physikalischen Bodeneigenschaften gezogen werden können, so können wir auch sagen, daß die Resultate der



Methode der kgl. ung. Geologischen-Reichsanstalt ohne jede Schwierigkeit auf die Grenzwerte ATTERBERG's umgerechnet werden können. Die intern. Kommission wurde noch darin einig, daß sie unter den Methoden der mechanischen Analyse die Methode ATTERBERG's als normale empfiehlt, im Falle der Benützung einer anderen Methode ist es wünschenswert die Korngrößen mit der Methode ATTERBERG's übereinstimmend anzugeben. Mit der Methode ATTERBERG's, die aus der Fachliteratur wohl schon bekannt ist,<sup>1)</sup> will ich mich jetzt nicht eingehender befassen, da ich das Studium der Methode noch nicht beendet habe.

## II.

Der erste Agrogeologe unseres Landes, BÉLA v. INKEY, äußerte sich in der II. internationalen agrogeologischen Konferenz bezüglich die Klassifikation der Bodenkörner, wie folgt:<sup>2)</sup>

„Wie fast überall, so ist auch hierin die Praxis des Lebens den wissenschaftlichen Forschungen vorangeeilt; sie hat Bodentypen aufgefaßt, benannt und von einander unterschieden. Die Wissenschaft kann und soll ihr hierbei nachfolgen, soll den Sprachgebrauch durch tiefere Begründung rechtfertigen, ihn auch erweitern und ordnen. Sie muß daher vor allem untersuchen, welche Merkmale der Bodenarten die wesentlichen sind und auf welche Grundprinzipien sich die verschiedenen Eigenschaften der Bodenarten zurückführen lassen. Dies ist der Weg, welcher zur natürlichen Systematik der Böden führt, . . .“

Diese Grundbegriffe wurden von ATTERBERG bei der Klassifikation der schwedischen Mineralböden berücksichtigt. Die Böden werden vom Landwirte nach der zur Bearbeitung notwendigen Arbeit, in schwere (Ton-), gebundene (Lehm-) und leichte oder lockere (Sand-) Böden eingeteilt. Unter den Lehmböden wird ja nach der Feinheit der Bodenkörner ein Unterschied zwischen tonigen bzw. sandigen Lehm gemacht. Die Sandböden zerfallen nach Feinheit der Bestandteile in Lehm-, Fein-, oder Grobsandböden. Der Landwirt zieht bei der Bodenqualifikation den Humusgehalt auch in Rücksicht, er unterscheidet je nach der Farbe humusreiche, humushaltige und humusarme Böden. Die Sandböden pflegt man noch nach ihren Benehmen gegen Wasser in gute bzw. trockene Sandböden einzuteilen.

<sup>1)</sup> ATTERBERG: Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. Int. Mitt. f. Bodenkunde, Band II. (1912.) Heft 4. S. 312.

<sup>2)</sup> Verhandl. d. zw. intern. Agrogeologenkonferenz. Stockholm, 1911, S. 257.

In Erwägung dieser Prinzipie unterbreitete ATTERBERG für die agromische Klassifikation der Böden folgenden Vorschlag:<sup>1)</sup>

#### A) Tone, d. h. plastische Böden.

I. *Klebeplastische Tone* („hochplastische Tone“), Tone die klebende Plastizität besitzen (Int. Mitt. f. Bodenk. 1911. S. 3., 21., 26., 31.). Hierher gehören die schwersten Tone. Festigkeitszahl meistens über 40. Enthalten gern kolloidale Teilchen als vorherrschende Bestandteile.

II. *Nicht klebeplastische Tone*. („Lehmige Tone“).

II. a) *Mittelschwere Tone*. Festigkeitszahl 40—31. Enthalten meistens Mo als vorherrschenden Bestandteil.

II. b) *Ziemlich schwere Tone*. Festigkeitszahl 30—16. Enthalten bald Mo, bald Schluff als vorherrschende Bestandteile.

#### B) Lehme.

Nicht plastische, mehr oder weniger bindige Böden. Enthalten bald Mo, bald Schluff als vorherrschende Bestandteile.

I. *Ziemlich schwere Lehme*. („Tonige Lehme“.) Festigkeitszahl 30—16.

II. *Leichte Lehme*. („Sandige Lehme“ und „Lößböden“). Festigkeitszahl 15—8.

#### C) Sand-, Mo- und Schluffböden.

Lose Böden. Festigkeitszahl 7—0.

I. Kapillarität höher als 34 cm. („Feinkörnige Sandböden“, „Staublöß“). Nach der mechanischen Analyse weiter einzuteilen.

II. Kapillarität niedriger als 34 cm'. Grobe, trockene Sandböden, nur für Waldkultur zu benutzen.

Innerhalb dieser Hauptklassen stellt er noch Unterklassen nach dem Humus, bzw. Kalkgehalt auf.

Bei dieser Gelegenheit will ich meine Meinung über die Klassifikation der Böden nicht weiter darlegen. Die Klassifikation ATTERBERG's erwähnte ich nur, um die Wichtigkeit der physikalischen Eigenschaften aus dem Gesichtspunkte der praktischen Bodeneinteilung hervorzuheben. Schon aus den zitierten Mitteilungen FROSTERUS' und COFFEY's ist ersichtlich, daß der Klassifikation der Böden betreffend der physikalischen Eigenschaften eine große Bedeutung zuzusprechen ist.

<sup>1)</sup> 5. Mitteilung für die Mittglieder der internationalen Kommission. Seite 3.

Die physikalischen Eigenschaften sind nicht nur für die Klassifikation von Wichtigkeit, sie können auch auf dem Gebiete der praktischen Bodenkunde eine große Rolle spielen. Speziell dieser Gesichtspunkt bewegte mich dazu, die Methoden der physikalischen Untersuchung eingehender zu studieren.

Die physikalischen Eigenschaften des Bodens kann man in zwei Hauptgruppen einteilen. In die erste reihe ich jene ein, welche wenigstens innerhalb bestimmter Grenzen *konstant* und für die Untersuchung im Laboratorium geeignet sind. Diese können für die Klassifikation und systematische Kennzeichnung der Böden geeignet sein. In die zweite Gruppe gehören jene Eigenschaften, welche *in großem Maße veränderlich sind* und weniger den Charakter, als den *momentanen physikalischen Zustand des Bodens kennzeichnen*. Diese sind also für die Klassifikation der Böden kaum in Betracht zu ziehen, für die Beantwortung vieler praktischer Fragen sind sie aber unentbehrlich. Meistens sind sie nur mit, an Ort und Stelle anwendbaren Methoden richtig zu bestimmen.

Die Beurteilung der zur Bearbeitung notwendigen Arbeit ist für die praktische Beurteilung der Böden von erstklassiger Wichtigkeit. Der praktische Landwirt kann es wohl auch beurteilen, ob sein Boden schwer bearbeitbar, zäh, sehr gebunden, mässig gebunden oder locher ist. Er kann aber diese Werte nicht näher bezeichnen, nicht in Zahlenwerten angeben. Dies hat nicht nur für die praktische Beurteilung (Klassifikation) der Böden eine Bedeutung, wie es von ATTERBERG für die schwedischen Böden festgesetzt wurde, sondern es kann auch bei der Beurteilung vieler praktischer Fälle notwendig sein. So z. B. bei der Beurteilung der Güte, Arbeitsfähigkeit, Kraftausnützung von neuen Maschinen. Alle diese Versuche, wenn sie auch mit noch so großer und gründlicher mechanischer Kontrolle durchgeführt werden, haben den Fehler, daß man den physikalischen Zustand des Bodens nicht kennt. Es ist aber leicht begreiflich, daß ein und dieselbe Arbeitsmaschine, z. B. ein Pflug in einem lockeren Sand-, oder mässig gebundenem Lehm Boden eine viel kleinere Arbeit leisten wird, als in einem gebundenen oder gar in einem zähen Tonboden. In Ungarn tritt in neuerer Zeit das Pflügen mit gemieteten Dampfpflügen immer mehr in den Vordergrund, was im richtigen Maßstabe angewendet, eine erfreuliche Erscheinung ist, da in dieser Weise die Vorteile der tiefen Bodenbearbeitung nicht nur durch die großen Domänen, sondern auch durch die kleineren Güter, deren jährliche Ackerfläche die, mit der Beschaffung eines Dampfpfluges verbundenen Kapitaleinlagen gar nicht ertragen würde, ausgenützt werden können.

Die Beurteilung des Bodens aus dem Gesichtspunkte der zum Pflügen notwendigen Arbeit, ist in diesem Falle sowohl für den Landwirt.

als auch für den Besitzer des Dampfpfluges wichtig. Im guten Boden ist das Pflügen leicht, es erfordert weniger Heizmaterial und Zeit, als im schweren, oder in einem in schlechtem physikalischen Zustande sich befindlichen Boden. Beim Abschluß des Vertrages für das Dampfpflügen wäre es beim Festsetzen des Einheitspreises allein richtig und gerecht, wenn man auf Grund der Beschaffenheit des Bodens die anzuwendende Arbeit schon vorhinein beurteilen könnte. Zu dem ist aber die heutzutage gebräuchliche, praktische Einteilung der Böden in schwere, gebundene, mäßig gebundene und leichte oder lockere Böden nicht zureichend. Die Bindigkeit der Böden kann sehr verschieden sein, sie wird von dem eigenartigen Zustande des Bodens, sowie Wassergehalt, lockerer, zerblöckelter resp. dichter Konstitution stark beeinflußt.

Die Bindigkeit des Bodens ist ein sehr verwickelter Begriff. Die strengen Tonböden sind schwer zu bearbeiten, da sie bei einem bestimmten Wassergehalte klebrig, bei einem anderen plastisch oder zäh und im trockenen Zustande sehr hart sind. Im allgemeinen kann man also sagen, daß zur Bearbeitung der strengen Tonböden umso mehr Arbeit notwendig ist, je trockener der Boden ist. Im Falle sandigen oder humosen Lehm Bodens hat diese Regel keine Geltung mehr. PUCHNER hat u. A. die Erfahrung gemacht, daß bei Sand und Humus die Bodenteilchen bei einem bestimmten, mittleren Wassergehalte am meisten zusammenhaften, mehr oder weniger Wasser vermindert die „Kohärenz“.<sup>1)</sup> Wenn man also, aus dem Gesichtspunkte der Bearbeitbarkeit bei verschiedenen Böden, die Stufe der Bindigkeit vorhinein beurteilen will, muß man besonders zwei physikalische Eigenschaften bestimmen: die Festigkeit und den Wassergehalt des Bodens.

Die Festigkeit des Bodens kann man aus mehreren Gesichtspunkten bestimmen. Die allgemeine Mechanik betrachtet folgende Festigkeiten der festen Körper, s. w.: 1. Druck-, 2. Zug-, 3. Schub-, 4. Biegungs- und 5. Drehungsfestigkeit. Die ersten drei nennt man absolute, die letzten zwei relative Festigkeiten. Von der ersten abgesehen, spielen die anderen für sich selten eine Rolle, sie werden gewöhnlich in zusammengesetzter Form beobachtet. Bei der Bodenbearbeitung, speziell bei der Arbeit des Pfluges wirken in verschiedenem Masse alle Festigkeitswiderstände zusammen. Eben darum sagt GOLOGURSKY,<sup>2)</sup> daß man alle vorher genannten Festigkeiten kennen muß, um die Änderung des Bodenzustandes während der Bearbeitung und die Größe und Ursachen der zu überwältigenden

<sup>1)</sup> Int. Mitteilungen f. Bodenkunde. III. Band. (1913.) Seite 142.

<sup>2)</sup> Dr. T. M. GOLOGURSKY: Die technologischen Prozesse bei der Bodenbearbeitung. 1913. Krakau. Seite 19.

Widerstände erkennen zu können. Die Auseinandersetzungen und mathematischen Berechnungen GOLOGURSKY's können wohl als wissenschaftliche Grundlage für die Konstruktion der Maschinen für Bodenbearbeitung und für die Beurteilung der Arbeit dieser dienen, sie eignen sich aber zur Lösung der vorgenannten praktischen Aufgaben schwerlich. Hier muß man einfach und schnell durchführbare Untersuchungsmethoden treffen, welche uns über den notwendigen Kraftaufwand bei der Bodenbearbeitung orientieren können. Die Lösung dieser Aufgabe halte ich nicht für unmöglich, obwohl ich zugebe, daß die in der Praxis sich vorgebenden Verhältnisse so verschieden sind, daß die Lösung der Aufgabe im ersten Momente als unmöglich erscheint.

Der beim Pflügen auftretende Widerstand wird zusammengesetzt aus der *Festigkeit des Bodens*, u. zw. aus allen fünf genannten Modifikationen, aus der *inneren Reibung*, d. h. der Reibung der Bodenteilchen untereinander und aus der *äußeren Reibung*, d. h. der Reibung zwischen den Bodenteilchen und der wirksamen Fläche des Pflugeisens. Mit wissenschaftlicher Pünktlichkeit kann man also die zu überwindenden Widerstände nur dann bestimmen, wenn man die Werte aller dieser Gegenkräfte ermittelt hat. Dies ist auch nicht unmöglich, es erfordert aber viel Arbeit und Berechnung und ist nach GOLOGURSKY immer noch mit bestimmten Einschränkungen nur anwendbar, und führt nur zu annähernden Resultaten. Ich glaube, für die landwirtschaftliche Praxis genügt, wenn man praktisch ermitteln kann, wie sich die zum Pflügen notwendige Kraft mit der Festigkeit (nach ATTERBERG) und dem Wassergehalte des Bodens ändert. So gelangt man zwar auch nur zu annähernden Werte, aber auf einem kürzeren Wege und wenn zwischen der Festigkeit (nach ATTERBERG) des Bodens und den anderen widerstehenden Kräften irgendein Zusammenhang existiert, so werden die wissenschaftlichen Mängel der Bestimmung durch praktische Verhältniszahlen ergänzt.

Zur Bestimmung der Festigkeit des Bodens habe ich das durch ATTERBERG ausgearbeitete Verfahren und den Apparat gewählt. Dieser bestimmt eigentlich keine der fünf genannten Festigkeitsgrößen für sich. Das Grundprinzip des Verfahrens ist dasselbe, welches von VÖLCKER (1819) zuerst angewendet und von SCHÜBLER (1838) näher ausgearbeitet wurde.<sup>1)</sup> ATTERBERG bestimmt die Kraft in Kg.-en, welche zum Zerspalten des Normalprismas notwendig sind. Bezüglich der Konstruk-

<sup>1)</sup> Die historische Entwicklung der Festigkeitsbestimmung siehe: ATTERBERG: „Die Konsistenz und die Bindigkeit der Böden.“ Int. Mitteilungen für Bodenkunde, Band II. (1912.)

tion und Handhabung des Apparates sei auf ATTERBERG's diesbezügliche Mitteilung verwiesen.<sup>1)</sup> Ich halte es doch für notwendig die Durchführung des Verfahrens so zu beschreiben, wie es in meinem Laboratorium ausführt wird.

### Die Durchführung des ATTERBERG'schen Verfahrens für Festigkeitsbestimmung.

Zur Bestimmung der Festigkeit benützt ATTERBERG folgenden Apparat:

Zwischen den Keilen „a“ wird ein aus dem Boden geformtes Prisma untergebracht und die Wagschale „b“ solange belastet, bis das Prisma gespalten ist.

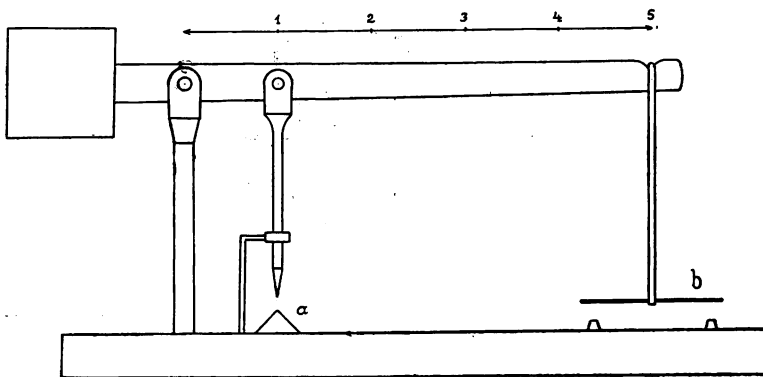


Fig. 1.

Bei Böden, deren Festigkeit man bestimmen will, muß die Ausrollgrenze und der Wassergehalt, im Falle nicht plastischen Bodens, die Fließgrenze bekannt sein.

Zur Bereitung des Prismas, wird aus 130 g gehörig fein zerkleinerten Boden mit soviel Wasser ein Brei bereitet, daß der Wassergehalt etwa 2—6 Einheiten höher als die Ausrollgrenze zu liegen kommt. Bei dieser Wassermenge ist die Feuchtigkeit des Bodens auch in Betracht zu ziehen. Wenn z. B. die Ausrollgrenze eines Bodens gleich 28, die Feuchtigkeit 2,5% ist, so nimmt man auf 102,5 Teile Boden  $28 + 4 - 2,5 = 29,5$  Teile Wasser. Die Wassermenge kann darum nicht genau angegeben werden, weil es vom Boden abhängt, mit wie viel Wasser er zu solch einem Brei vermischbar ist, welcher die Form gut ausfüllend ein tadelloses Prisma

<sup>1)</sup> ATTERBERG: Ebendort.

liefert. Wenn die gerechnete Wassermenge nicht zureichend wäre, gibt man cc.-weise noch Wasser dazu, wäre das Wasser zu viel, mischt man noch Boden dazu. Nach einiger Übung trifft man die richtige Wassermenge ohne sie zu berechnen. Der Brei wird in einer Porzellanschale solange mit einem starken Spatel geknetet, bis er vollkommen homogen und luftfrei geworden ist.

Der Wassergehalt des Breies ist darum von Bedeutung, weil je kleiner er ist, desto größer im trockenen Zustand die Festigkeit wird. ATTERBERG vermischte einen Boden, dessen Ausrollgrenze 26 war, mit 41·4, 35·4 und 29·1 Teilen Wasser, die Festigkeit des trockenen Prismas ergab sich für 46·2, 50·0 resp. 52·5 kg. In unserem Laboratorium wurde ein Boden aus Békéscsaba mit 28·2 resp. 23·7% Wasser zu einen Brei

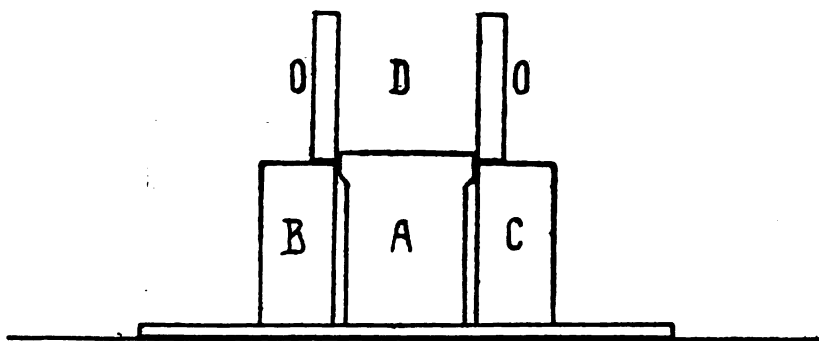


Fig. 2.

geknetet, die Ausrollgrenze war 18; die gefundene Festigkeit betrug 52·7 resp. 58·6 kg.

Der sorgfältig hergestellte Brei wird sodann in eine messingene Form geknetet. Die Form besteht aus 4 Teilen. *A* = Messinggestell, *B* und *C* sind lose Seitenstücke, auf welchen die eigentliche Form *O* ruht. Der plastische Boden wird so in das Innere (*D*) der Form geknetet, daß er die Form überall gut ausfüllt. Dies geschieht am besten mit einem Nickelspatel, mit welchem dann die obere Fläche des Prismas geebnet wird. Sodann werden die Teile *B* und *C* weggenommen und die Form mit Vorsicht heruntergedrückt. So bleibt das Bodenprisma auf der oberen Fläche des Gestells *A*. Um es von hier leichter entfernen zu können, ist es ratsam, noch vor dem Einkneten des Bodens diese Fläche mit einem Stück Papier zu bedecken. Die Dimensionen des Prismas sind  $2 \times 2 \times 9$  cm. Die obere Fläche wird bezeichnet, daß immer diese Fläche unter den oberen Keil des Apparates zu liegen komme. 130 g Boden sind für 2 Prismen hinreichend.

Die geformten Prismen werden auf eine Glas- oder Metallplatte gesetzt und getrocknet. Strenge, schwere Böden sind zuerst an der Luft und erst dann im Trockenschrank zu trocknen, sonst werden sie rissig. Um ein gleichmäßiges Trocknen zu erreichen, wird das Prisma während des Trocknens mehrmals umgedreht.

Das Prisma wird so in den Apparat gesetzt, daß die Mitte genau zwischen den Keilen zu liegen kommt und die Längskanten mit der hinter den Keilen platzfindenden Metallplatte parallel sind. Auf der Scheibe wird in ein Litergefäß solange Bleischrot geschüttet, bis das Prisma gespalten wird. Das Gefäß wird sodann samt Schrot gewogen. Um zu vermeiden, daß der Boden aus der Luft Feuchtigkeit anzieht, werden die Halbprismen während des Wägens in den Exiccator gestellt. Die Halbprismen und die resultierenden Würfel werden wieder gespalten, so daß ein Prisma 7 Bestimmungen ermöglicht. Bei sehr festen Böden kann man die zum Apparat gehörigen Bleigewichte von 5 Kg benutzen und dann erst den Bleischrot ins Gefäß schütten.

Aus den genügend übereinstimmenden der 7 Resultate wird das Mittel gezogen. Sehr abweichende Resultate sind auf das fehlerhafte Herstellen des Prismas zurückzuführen. Das Verhältnis der Stangenteile bis zum Angriffspunkt der Keile und bis zum Angriffspunkt der Schale ist 1 : 5, so ist also der gefundene Mittelwert mit 5 zu multiplizieren. Vor der Bestimmung ist die lineare Breite des Prismas, in deren Richtung die Keile wirken werden, womöglichst mit  $\frac{1}{10}$  mm Genauigkeit zu messen. Der Boden zieht sich nämlich während dem Trocknen zusammen und so wird die ursprüngliche Breite von 20 mm vermindert. Die Festigkeit wird aber immer auf ein 20 mm breites Prisma angegeben und so ist der gefundene Wert zu korrigieren. Die zur Spaltung notwendige Kraft steht mit der Breite des Prismas im gleichen Verhältnis, das auf 20 mm Breite bezogene Gewicht ist also gleich =

$$\frac{20 \times \text{gefundenes Gewicht}}{\text{Breite des Prismas}}$$

Die Empfindlichkeit des Apparates beträgt 25 g, was bei den Keilen 125 g entspricht. Neuerdings konstruierte ATTERBERG einen mit Kugellager versehenen Apparat, dessen Empfindlichkeit auf 5 g gesteigert wurde.

Z. B.: Die Breite des Prismas betrug 18.8 mm.



Die notwendigen Gewichte waren: 6250 g

6680 „

6350 „

6330 „

6020 „

6210 „

5600 „

$$\frac{43440 \text{ g}}{7} = 6200 \text{ g}$$

## Szilárdság (= Festigkeit)

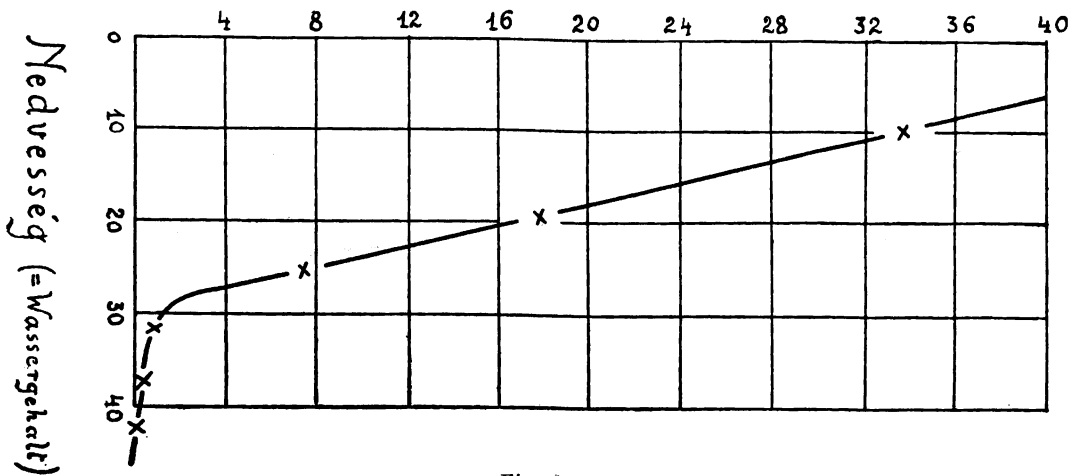


Fig. 3.

$$x = \frac{20.6200}{18.8} = 6600 \text{ g.}$$

$$\text{Festigkeit} = 6600 \times 5 = 33 \text{ kg.}$$

$$\text{Wassergehalt} = 3.8\%.$$

Der Wassergehalt des gespaltenen Prismas spielt eine große Rolle, eben darum zerkleinert man nach den 7 Bestimmungen die Halbwürfel einzeln in einem Porzellanmörser und aus jedem Halbwürfel eine kleine Probe nehmend bestimmt man den Wassergehalt der vereinigten Proben.

Da in der Praxis nicht die Festigkeit im trockenen Zustande von größter Bedeutung ist, kann man auch die Festigkeiten des Bodens bei

verschiedenen Wassergehalten bestimmen. Man stellt auf einmal eine ganze Reihe Bodenprismen her und läßt sie an der Luft trocknen. Täglich oder halbtäglich wird Festigkeit und Wassergehalt je eines Prismas bestimmt. Wenn der lufttrockene Zustand erreicht wird, muß das Trocknen im Trockenschrank fortgesetzt werden, aus welchen je stündlich ein Prisma zur Bestimmung herausgenommen wird. Die so gefundenen Werte können in einem Diagramm zusammengefaßt werden, dessen Bild bei plastischen Böden beiläufig folgend aussieht:

Bei der scharfen Biegung der Kurve entspricht der Wassergehalt beiläufig der Ausrollgrenze, bei der Fließgrenze ist die Festigkeit = 0. Zwischen den Plastizitätsgrenzen kann natürlich nicht von streng genommener Festigkeit gesprochen werden und da bestimmt man die Zähigkeit, welche eigentlich die zwischen den Plastizitätsgrenzen auftretende Festigkeit ist.

Zur Bestimmung der Zähigkeit formt ATTERBERG Würfel, welche auf eine Platte gesetzt mit einem Metallspatel gespaltet werden. Letzterer wird nämlich soweit belastet, bis er zur Mitte des Würfels eindringt. Das dazu angewendete Gewicht in Grammen gibt die Zähigkeit

Mit steigender Belastung dringt der Spatel erst langsam, bald schneller in den Würfel, aber nur bis zur Mitte, von da an ist schon eine bedeutend größere Belastung zum Weitereindringen des Spatels notwendig. Eben darum nimmt ATTERBERG jenes Gewicht an, welches den Spatel bis zur Mitte des Würfels drückt.

Bei der scharfen Biegung des obigen Diagramms kommt also die Festigkeits- und Zähigkeitskurve zusammen, dieser Punkt stimmt natürlicherweise mit der Ausrollgrenze überein, welche gleichzeitig auch die Festigkeitsgrenze ist.

#### Resultate einiger Bestimmungen:

|              |         |         |         |         |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
| Wassergehalt | 11.5 %  | 8.6 %   | 5.2 %   | 4.3     |
| Festigkeit   | 31.5 kg | 36.7 kg | 38.8 kg | 44.5 kg |

Im Zusammenhange mit der Plastizitätszahl bei verschiedenen Böden:

|                                  |         |         |         |         |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Plastizitätszahl                 | 9.3     | 16.1    | 18.8    | 22.5    |
| Festigkeit im trockenen Zustande | 61.1 kg | 84.2 kg | 89.3 kg | 95.8 kg |

Es zeigt sich, daß in diesem Falle die Festigkeitszahl mit der Plastizitätszahl parallel läuft.

Die Festigkeitszahl des bei 100° getrockneten Bodens ist ein absoluter Wert, sie ist also eine konstante, charakterisierende Eigenschaft des Bodens. Die Festigkeitszahl ist eine Hauptbasis der Bodenklassifikation ATTERBERG'S.

Die Festigkeit hängt aber im großen Maße von Wassergehalte ab.

Eben darum ist zur Beurteilung der zur Bodenbearbeitung notwendigen Arbeit die Festigkeit des bei 100° getrockneten Bodens nicht zureichend, man muß auch die Festigkeitskurve kennen, um die zu einem bestimmten Wassergehalte gehörige Festigkeit leicht berechnen zu können.

Unter den physikalischen Eigenschaften des Bodens ist das Zusammenhaften, die sog. „Konsistenz“ nicht weniger charakteristisch, als die Festigkeit. Die Konsistenz ändert sich auch mit dem Wassergehalte. ATTERBERG unterscheidet drei Haupttypen der Konsistenz, u. zw. den festen, plastischen und den fließbaren Zustand. Der erste und letzte kommt in jedem, der plastische nur im Falle der Tonböden vor. Eben darum ist die Plastizität eine charakteristische Eigenschaft der Tonböden.<sup>1)</sup>

ATTERBERG setzt die Plastizitätszahl fest, indem er die Grenze, bei welcher der Boden nicht mehr zerfließt und die Grenze bei welcher er sich nicht mehr in dünne Drähte ausrollen läßt, bestimmt. In beiden physikalischen Zuständen bestimmt er den Wassergehalt und nimmt die Differenz dieser als Maß für die Plastizität an. Je plastischer also der Ton ist, umso größer ist die Wassergehaltsdifferenz zwischen der unteren Grenze des Zerfließens, also der oberen Grenze der Plastizität (*Fließgrenze*) und der oberen Grenze des festen Zustandes, also der unteren Grenze der Plastizität (*Ausrollgrenze*). Das Festsetzen des Begriffes der Plastizität betreffend verweise ich wieder auf die diesbezüglichen Mitteilungen ATTERBERG's. Hier bespreche ich das Verfahren so, wie es in meinem Laboratorium durchgeführt wird.

### Die Bestimmung der Fleissgrenze nach ATTERBERG.

Die Plastizität beginnt dort, wo das Zerfließen des Bodens oder die fließbare Konsistenz endet. Solange nämlich der Boden noch so viel Wasser enthält, daß die einzelnen Bodenteilchen voneinander zuweit entfernt sind, daß die Kräfte, welche die Bodenteilchen zusammenhalten könnten, nicht zur Geltung gelangen, benimmt sich die Mischung, wie eine Flüssigkeit. Sobald aber der Wassergehalt soweit abnimmt, daß die Bodenteilchen genug nahe aneinander kommen, verursacht einerseits die innere Reibung der Teilchen, anderseits die Kohäsion das Festwerden des Bodens. Man unterscheidet zwei Gruppen der festen Körper. *Die spröden nicht plastischen Körper sind jene, bei welchen die innere Reibung größer ist als die Kohäsion, bei den plastischen Körpern dagegen ist innerhalb der Plastizitätsgrenzen die innere Reibung kleiner als die Kohäsion,*

<sup>1)</sup> ATTERBERG: Die Plastizität der Tone. Int. Mitt. f. Bodenkunde. Bd. I. (1911.)

*wenn man also den von der inneren Reibung verursachten Widerstand überwältigt, fällt der Körper noch nicht auseinander, sondern behält seine neue Form.* Die Sand- und Lehmböden sind nicht plastisch. Bei diesen geht die Fließgrenze daher gleich in den spröden festen Zustand über. Die Tonböden sind plastisch, folglich ist bei diesen, binnen gewissen Feuchtigkeitsgrenzen, die innere Reibung kleiner als die Kohäsion. Mit der Abnahme des Wassergehaltes kommen aber die Teilchen immer näher aneinander und so wächst auch die innere Reibung, bis sie endlich bei der unteren Grenze der Plastizität, der Ausrollengrenze, wo der Körper nicht mehr formbar ist, mit der Kohäsion gleich, oder größer als die wird.

Die Fließgrenze wird folgend bestimmt.

### *Bestimmung der Fliessgrenze.*

Zur Bestimmung folgender Grenzen benützt man fein zerkleinerten, bei schweren Böden den 0·2 mm, dick passierten Boden.

In einer runden Porzellanschale von 10 cm Durchmesser bereitet man aus 5 g Boden einen Brei. Zu diesem Brei mischt man in kleinen Mengen Bodenpulver und macht nach jeder Zugabe folgende Probe:

Der Brei wird am Rande der Schale beiläufig 1 cm hoch ausgebreitet und mit dem Spatel in zwei gleiche Teile geteilt (wie es in Figur 4. ersichtlich). Sodann wird die Schale mehrmals kräftig an die innere Hand geschlagen. Die Fließgrenze wird erreicht, wenn die zwei Teile nicht mehr zusammenfließen, es dürften höchstens ihre unteren Kanten sich berühren.

Dies erreicht, bestimmt man den Wassergehalt, welcher auf 100 Teile trockenen Boden angegeben den Wert der Fließgrenze angibt.

Früher verfuhr ATTERBERG derart, daß die zwei Teile zu  $\frac{3}{4}$ , dann halb zusammenfließen. Mit diesem Verfahren aber müßten auch solche Böden für plastisch bezeichnet werden, welche sonst überhaupt keine Plastizität aufweisen können. Die hier durchgeführten Versuche zeigten außerdem, daß zwei parallel ausgeführte Versuche nicht genügend übereinstimmen. Ein Boden, dessen Fließgrenze 33 betrug, ergab beim halben Zusammenfließen die Werte 50·6 und 46·2.

Es wurden noch Versuche ausgeführt, bei welchen so viel Feinboden dem Brei zugemischt wurde, daß die Teile sich nicht mehr rührten. In diesem Zustande aber konnte der Boden überhaupt nicht für flüssig erklärt werden und zeigte eine ausgeprägte Plastizität und so kann dieser Wert als Fließgrenze nicht betrachtet werden.

Mit dem oben vorgeschriebenen Verfahren ATTERBERG's gelangt

man nun wirklich zum richtigen Werte, denn bei der bestimmten Grenze hört der Boden auf flüssig zu sein und fängt an Plastizität zu zeigen. Wenn man zugibt, daß die beiden Teile zum Teile zusammenfließen, hat man die Grenze noch nicht erreicht, wenn man aber erwartet, daß die Teile sich nicht mehr bewegen, hat man sie schon überschritten.

Es wurde noch erprobt die Grenze so zu erreichen, daß man zum plastischen Brei Wasser mischt. Dies hat aber den Nachteil, daß der dicke Brei sich viel schwerer mit Wasser, als der dünne mit Boden mischen läßt.

Was die Werte zweier paralleler Bestimmungen betrifft, war die

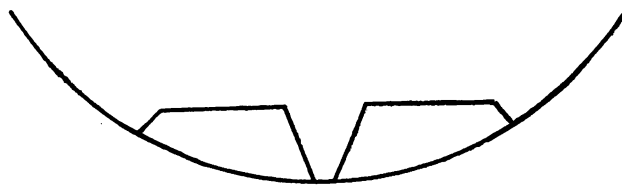


Fig. 4.

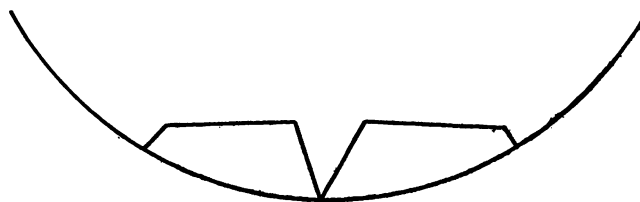


Fig. 5.

maximale Differenz der publizierten ATTERBERG'schen Resultate 1·3, er verlangt aber, daß die Differenz nicht größer als 1 sei. Es sind immer zwei Bestimmungen parallel auszuführen, und wenn deren Differenz größer als 1 ist, ist der Versuch zu wiederholen.

Einige Resultate der in meinem Laboratorium ausgeführten parallelen Bestimmungen sind:

|                            |    |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| Plastizitätszahl . . . . . |    | 9·3  | 16·1 | 17·2 | 18·8 | 19·3 | 21·3 | 22·5 |
| Fließgrenze . . . . .      | a) | 23·0 | 33·7 | 34·6 | 38·2 | 38·3 | 40·5 | 43·5 |
|                            | b) | 23·3 | 35·0 | 35·4 | 38·7 | 38·9 | 41·0 | 43·9 |

### *Bestimmung der Ausrollgrenze.*

Aus dem bei der Bestimmung der Fließgrenze zurückgebliebenen Brei wird ein Teil unter dem Finger auf einem Papier zu einem dünnen Draht ausgerollt. Der Draht wird zusammengebogen und wieder ausgerollt. Die Drähte müssen so ausgerollt werden, daß sie sich immer in der Längsrichtung ausdehnen, sonst wird die Grenze leicht überschritten. Wenn der Draht sich nicht mehr ausrollen läßt, sondern in kleinere Stücke zerfällt, ist die Grenze erreicht und man bestimmt den Wassergehalt der Drähte.

Die Bestimmung dieser Grenze ist viel genauer auszuführen, als die der Fließgrenze. Nach ATTERBERG soll die Differenz zweier parallel ausgeführter Bestimmungen nicht mehr als 0.5 betragen.

Einige Resultate aus meinem Laboratorium:

|                          |    |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| Plastizitätszahl . . . . |    | 9.3  | 16.1 | 17.2 | 18.8 | 19.3 | 21.3 | 22.5 |
| Ausrollgrenze . . . .    | a) | 13.7 | 18.2 | 17.7 | 19.3 | 18.8 | 19.2 | 21.0 |
|                          | b) | 14.2 | 18.4 | 17.9 | 20.1 | 19.6 | 19.5 | 21.4 |

Die Plastizitätszahl ist nicht nur für die Beurteilung der Tonböden, sondern auch für die Bodenbearbeitung von Wichtigkeit. ATTERBERG fasste die schwedischen Böden auf Grund der Plastizitätszahl in 11 Klassen und 35 Unterklassen zusammen.<sup>1)</sup> Aus dem Gesichtspunkte der Bodenbearbeitung betrachtet, ist der Boden im plastischen Zustande für die Bearbeitung nicht geeignet, da die aufgeworfenen Schollen zusammenbleiben und nach dem Austrocknen schwer zu zerbröckeln sind. Die Ausrollgrenze ist gleichzeitig auch die Festigkeitsgrenze. Von da an wächst die Festigkeit rapid. Eben darum ist für die Bodenbearbeitung jener Wassergehaltszustand am geeignetsten, bei welchen der Boden nicht mehr plastisch ist, aber noch zusammenhaftet. Die Grenze des Zusammenhaftens wird von ATTERBERG folgend bestimmt:

### *Die Bestimmung der Haftgrenze nach ATTERBERG.*

Es werden die zerfallenen Bodendrähchen, wie sie von den vorigen Grenzbestimmungen zurückbleiben, mit den Fingern auf einer Papierunterlage zusammengepackt. Die Klumpen werden zerdrückt, dann die Stückchen wieder zusammengepackt usw., bis die Bröckchen zusammenzuhaften aufhören.

<sup>1)</sup> ATTERBERG: Die mech. Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. Int. Mitt. f. Bodenkunde. Bd. II. (1912.)

## Resultate paralleler Bestimmungen:

|                            |    |     |      |      |     |
|----------------------------|----|-----|------|------|-----|
| Plastizitätszahl           |    | 9.2 | 18.8 | 22.5 | 9.3 |
| Grenze des Zusammenhaftens | a) | 0.2 | 14.1 | 16.0 | 9.4 |
|                            | b) | 9.8 | 12.8 | 15.5 | 8.6 |
| Differenz                  |    | 0.4 | 1.3  | 0.5  | 0.8 |

Mit den Plastizitätsbestimmungen ist noch die Klebegrenze im engen Zusammenhange, diese liegt bei mittelschweren Böden oberhalb des Fließgrenze, bei schweren Tönen aber zwischen den Plastizitätsgrenzen. Im letzteren Falle also wird die Bearbeitung der plastischen Böden bei zu hohem Wassergehalte noch durch die große Klebrigkeit erschwert.

Nach ATTERBERG bestimmt man die Klebegrenze folgend:

## Bestimmung der Klebegrenze.

Unter Klebegrenze wird jene Grenze verstanden, bei welcher der Boden aufhört an Metalle, speziell an Eisen zu kleben. Zur Bestimmung bedient man sich eines Nickelspatels, da das Eisen leicht rostet und der Boden an Nickel und Eisen ungefähr gleich stark anklebt.

In einer Porzellanschale wird ein noch klebriger Brei bereitet und zu diesem allmählich Bodenpulver gemischt. Nach jedem Zumischen wird der Spatel über den Brei gezogen. Wenn der Boden sich vom Spatel vollständig, wenn auch schwer entfernen läßt, ist die Grenze erreicht und man bestimmt den Wassergehalt auf 100 Teile trockenen Boden bezogen. Die Differenz zweier parallel ausgeführten Bestimmungen soll nicht größer sein als 1.

## Einige Resultate unserer Bestimmungen:

|    | Plastizitätszahl | Fließgrenze | Ausrollgrenze | Klebegrenze |
|----|------------------|-------------|---------------|-------------|
| 1. | 18.8             | 38.5        | 19.7          | 43.5        |
| 2. | 22.5             | 43.7        | 21.2          | 54.0        |
| 3. | 16.1             | 34.4        | 18.3          | 41.1        |
| 4. | 9.3              | 23.2        | 13.9          | 28.9        |
| 5. | 17.2             | 35.0        | 17.8          | 41.8        |
| 6. | 19.3             | 38.6        | 19.3          | 41.3        |
| 7. | 21.3             | 40.7        | 19.4          | 40.8        |

## III.

Die bisher beschriebenen physikalischen Eigenschaften sind unter bestimmten Verhältnissen konstant. Eben darum sind diese nicht nur für die Erkennung der physikalischen Eigenschaften des Bodens, sondern auch aus dem Gesichtspunkte der praktischen Klassifikation der Böden beachtenswert.

Unter den physikalischen Eigenschaften findet man aber auch solche, welche sich zwar mit dem Zustande des Bodens ändern, bei der praktischen Beurteilung des Bodens aber doch eine Rolle spielen. So z. B. die Wasserkapazität, welche sich zwar mit der Struktur des Bodens ändert, den Boden aber doch charakterisiert. Die Größe des Hohlraumes im Boden wird *Porenvolumen* genannt. Dies ist auch eine sich ändernde, aber doch charakteristische Eigenschaft. Das Wasseraufsaugvermögen und die wasserhaltende Kraft: alle diese werden im Laboratorium umsonst bestimmt, denn die Resultate werden je nach den Umständen an Ort und Stelle von den richtigen sehr abweichen. Das Verdienst KOPECKY's ist es, an Ort und Stelle ausführbare Bestimmungsmethoden ausgearbeitet zu haben. Gleichzeitig wies er auf die praktische Bedeutung dieser hin.<sup>1)</sup>

Aus den Untersuchungen KOPECKY's ergab sich, daß aus der Wasserkapazität, der Porosität und der absoluten Luftkapazität festgestellt werden kann, ob die Notwendigkeit einer Bodenverbesserung resp. Drainierung vorliegt oder nicht.

Jede Pflanze benötigt — wie bekannt — zur normalen Entwicklung unbedingt eine bestimmte minimale Luftmenge, weil sonst die Wurzeln ersticken. Bei trockenem Boden füllt die Luft auch den Hohlraum für Wasser aus. Es ist aber wünschenswert, daß auch in den nassen Jahreszeiten, wo der Boden mit Wasser gesättigt ist, die benötigte minimale Luft in den Hohlräumen zur Verfügung steht. Nach KOPECKY's Erfahrungen, wenn bei Wiesen und Grasland das Wasser das Porenvolumen derartig ausfüllt, daß für die Luft kaum 6% des gesammten Bodenvolumens übrig bleibt, dann nehmen die saueren Gräser überhand und die wertvollen Futtergrasarten sterben aus. Die Wurzeln der Landpflanzen erfordern noch mehr Luft. Bei diesen ist die Minimalgrenze der Luftkapazität nach KOPECKY 10%.

<sup>1)</sup> R. KOPECKY: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens, 1904. Prag; ungarisch beschreiben von H. HORUSITZKY. Term. Tud. Közlöny. LXXXVII. Pótfüzet: weiters: Abhandlungen über die agronomisch-pedologische Durchforschung eines Teiles des Bezirkes Welwarn. 1909. Prag.



KOPECKY berechnet die Luftkapazität wie folgt: er bestimmt das Porenvolumen und substrahiert aus diesem die nach Volumen berechnete Wasserkapazität, die resultierende Differenz ist jenes Volumen, welches noch im Falle der Sättigung des Bodens mit Wasser, der Luft zur Verfügung steht. Den so gefundenen Wert nennt er „absolute Luftkapazität“. Die Resultate der grundlegenden Untersuchungen KOPECKY's sind in der folgenden Tabelle angegeben:

15. Tabelle.

|  | Ackergrunde |       |       |       |       |       |       | Wiesengrunde |       |       |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|  | 1.          | 2.    | 3.    | 4.    | 5.    | 6.    | 7.    | 8.           | 9.    | 10.   |
| Wasserkapazität dem Volumen nach %                   | 47·60       | 41·10 | 33·96 | 34·90 | 39·30 | 37·10 | 34·60 | 40·20        | 46·00 | 46·80 |
| Scheinbares spezifisches Gewicht                     | 13·4        | 1·34  | 1·54  | 1·52  | 1·29  | 1·26  | 1·34  | 1·26         | 1·18  | 1·25  |
| Wirkliches spezifisches Gewicht                      | 2·58        | 2·49  | 2·60  | 2·60  | 2·55  | 2·51  | 2·65  | 2·58         | 2·56  | 2·51  |
| Porosität % . . .                                    | 48·0        | 46·1  | 40·7  | 41·4  | 49·3  | 49·3  | 49·5  | 51·0         | 53·9  | 50·2  |
| Luftkapazität % .                                    | 0·40        | 5·0   | 6·8   | 6·5   | 10·0  | 12·4  | 1·47  | 10·8         | 7·9   | 3·4   |
| Notwendigkeit einer Melioration, bzw. einer Drainage | ja          | ja    | ja    | ja    | nein  | nein  | nein  | nein         | nein  | ja    |

Die Luftkapazität des Bodens hängt von der Pflanze und der Art der Bodenbearbeitung ab, wie es die folgenden Daten KOPECKY's be- weisen:

16. Tabelle.

|    |  | Poren<br>% | Wasserkapazität am<br>Felde % | Absol.<br>Wasserkapazität % | Luftkapazität<br>am Felde<br>% | Absol.<br>Luftkapazität<br>% |
|----|--|------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1. | Im gesäten Getreide .                                    | 50·72      | 24·63                         | 32·34                       | 25·09                          | 17·38                        |
| 2. | Im 1 jähr. Kleefelde .                                   | 48·20      | 27·70                         | 32·99                       | 20·50                          | 15·50                        |
| 3. | Im Luzernfelde . . .                                     | 47·10      | 28·68                         | 32·82                       | 18·42                          | 14·28                        |
| 4. | Im alten Kleefelde . .                                   | 44·19      | 29·14                         | 34·01                       | 15·05                          | 10·18                        |
| 5. | In 1 jähr. Kleefelde (Vor 3<br>Jahr. mit Dampf gepflügt) | 53·38      | 25·21                         | 34·50                       | 28·17                          | 18·88                        |
| 6. | Ackerkrume in Rübe .                                     | 52·65      | 24·93                         | 36·29                       | 27·72                          | 16·36                        |

Auf Grund dieser Untersuchungen kann man nicht nur die Notwendigkeit einer Drainierung beurteilen, sondern auch die Fälle, in denen eine Verbesserung durch zielbewußtes Bearbeiten möglich ist, festsetzen. Aus diesen geht also unzweifelhaft hervor, daß die Bestimmung des Porenvolumens und Wasserkapazität an Ort und Stelle zu wertvollen praktischen Resultaten führen kann, leider ist aber die KOPECKY'sche Untersuchungsmethode nicht in jedem Falle anwendbar, und außerdem schwerfällig. TRNKA befaßte sich eingehend mit den Nachteilen des KOPECKY'schen Apparates und konstruierte zur Bestimmung des Volumengewichtes des Bodens ein Volumenometer.<sup>1)</sup> In Grundprinzip stimmt dieses mit dem SEGER'schen Volumenometer<sup>2)</sup> überein, welches zur Bestimmung der Porosität der Tone dient.

Die Methode TRNKA's wurde an einigen Szikböden ausgeprobt. Das Verfahren wird in meinem Laboratorium wie folgt durchgeführt:

### Die Bestimmung des Bodenvolumens nach TRNKA.

Aus dem Boden, dessen Volumgewicht zu bestimmen ist, wird eine kleine Scholle genommen, in welcher die Lage der Bodenpartikeln un-

<sup>1)</sup> Dr. TRNKA R.: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. 1909. Prag.

<sup>2)</sup> Dr. K. BISCHOF: Die Feuerfesten Tone, III. Ausgabe. 1904. Leipzig. Seite 90.

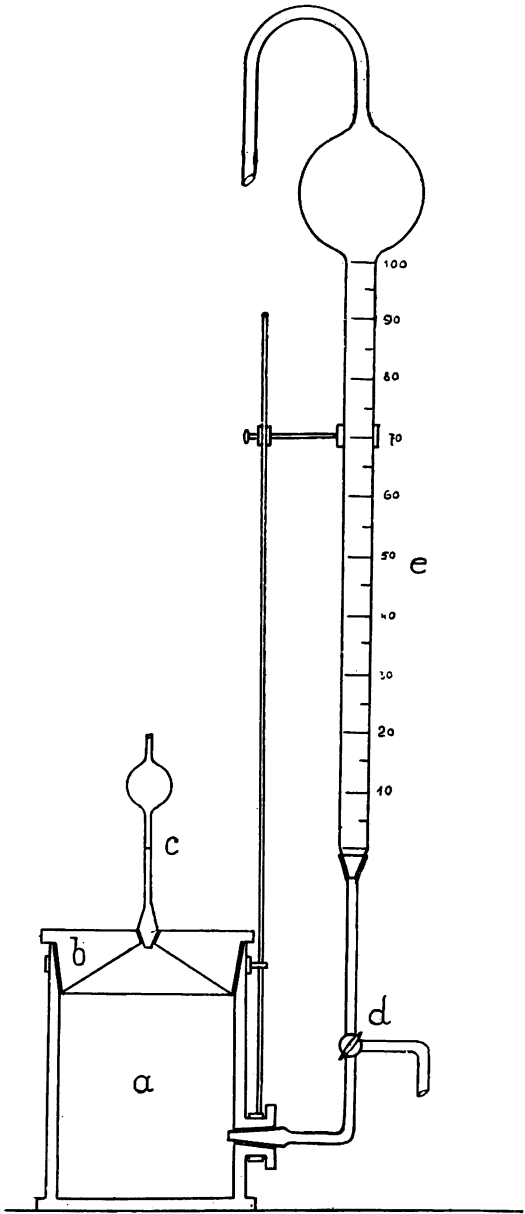


Fig. 6.

verändert geblieben ist. Dies wird erreicht indem man das zur Prüfung bestimmte Schöllchen aus der Mitte einer größeren, mit dem Spaten herausgehobenen Scholle abbricht. Diese Scholle wird auf einem Nickel-Draht befestigt und vollkommen ausgetrocknet. Da das Gewicht des Drahtes bekannt ist, kennt man auch das Gewicht der Scholle. Das Volumen bestimmt TRNKA, indem er das Volumen des durch die Scholle verdrängten Wassers mißt. Um sie aber in Wasser eintauchen zu können, wird sie vorerst mit einer Paraffinschicht überzogen. Das auf beiläufig 50° C vorerwärmte Schöllchen wird in Paraffin von 50° C solange eingetaucht, bis die Bildung von Luftblasen ein Ende nimmt. Sodann wird die Scholle auf einem kühlem Ort schnell abgekühlt und nach dem Abkühlen abermals auf eine sehr lange Zeit in Paraffin getaucht. Das zweite Eintauchen ist darum notwendig, weil der Boden nach dem ersten Eintauchen des Paraffin in sich zieht und an einigen Stellen die Scholle unbedeckt bleibt. Nach dem zweiten Eintauchen dagegen erstarrt das Paraffin sofort nach dem Herausnehmen, da die Scholle kalt war. Beim erstenmal darf aber nicht kalt eingetaucht werden, denn in diesem Falle bilden sich an der Oberfläche Luftblasen.

Das Volumen der so vorbereiteten Scholle bestimmt TRNKA im folgenden Apparate:

„a“ ist ein dickwandiges, zylindrisches Gefäß, in welchen der gläserne Stoppel „b“ passt, der sich innen gegen die Mitte konisch verengt, wo das Röhrchen mit Marken unter der kugelförmigen Erweiterung aufgesetzt ist. An der Seite ist in den Tubus ein Glashahn mit doppelter Bohrung eingeschliffen, mit dessen Hilfe das Gefäß „a“ einerseits mit der Bürette „e“, andererseits aber auch mit dem Ausflußröhrchen verbunden werden kann. Die Bürette „e“ besitzt oben eine kugelförmige Erweiterung und ein gebogenes Röhrchen, auf welchem vorteilhaft ein dünner Gummischlauch angebracht wird.

Der Vorgang bei der Benützung des Apparates ist nach TRNKA folgender:

„Man füllt das Gefäß (a) mit Wasser bis zur halben Höhe des Stöpselschliffes, wobei man den Hahn (d) so dreht, daß das Gefäß (a) mit der Bürette kommuniziert, dann saugt man um auch die Bürette samt der kugelförmigen Erweiterung mit Wasser zu füllen, worauf man die Verbindung mit dem Zylinder unterbricht. Hierauf setzt man den Stöpsel (b) durch mäßiges Drehen fest auf, und verbindet mit dem Hahn (d) das Gefäß mit der Bürette (e). Das Wasser steigt nun nach dem Gesetze kommunizierender Gefäße gegen den Stöpsel (b) und in das Röhrchen (c), bis es in der kugelförmigen Erweiterung mit dem Wasserstande in der Bürette sich ausgleicht. Dann dreht man den Hahn

so, daß das Wasser aus dem Zylinder und der Bürette so lange in ein untergestelltes Gefäß (g) abfließen kann, bis es zum Nullstrich der Bürette sinkt. Dadurch bleibt auch im Röhrchen (c) das Wasser in einer bestimmten Höhe stehen, die man an der Einteilung abliest; dadurch erhält man die Grundlage für die weitere Bemessung. Behufs mehrmaliger Kontrolle, ohne Wasser nachzugießen oder wegzugießen, vergewissert man sich jener Höhe, die als Basis genommen wird, indem man einfach den Zylinder mit der Bürette verbindet, das Wasser in die Bürette saugt, den Stöpsel herausnimmt und wieder aufsetzt. Selbstverständlich darf man bei der Wegnahme des Stöpsels kein Wasser verloren gehen lassen. Wenn man die Basis der Berechnung festgestellt hat, schreitet man an die Bestimmung des Inhaltes des Klümpchens.“

„Man saugt wieder das Wasser in die Bürette, nimmt den Stöpsel vorsichtig ab und legt die an einem dünnen Drahte aufgehängte Scholle in den Zylinder. Hierauf setzt man den Stöpsel wieder wie früher auf, verbindet die Bürette mit dem Zylinder und läßt das Wasser so lange in den Zylinder überfließen, bis es zu jenem Punkte steigt, welcher beim Leerversuche mit dem Nullpunkte der Bürette übereinstimmte. In diesem Augenblicke unterbricht man die Verbindung und das Volumen der Wassersäule in der Bürette über dem Nullpunkte entspricht dem Volumen des verdrängten Wassers, resp. dem Volumen der Erdscholle. Es empfiehlt sich jede Bestimmung mindestens zweimal durchzuführen, weil man dadurch Fehler in der Beobachtung vermeidet.“

Auf diese Weise bekommt man das Volumen der Scholle samt Paraffin und Draht. Aus diesem Werte sind das Volumen des Paraffins und Drahtes abzuziehen. Das Volumen des Drahtes kann ein für allemal im selben Apparate bestimmt werden, man kann es aber auch aus dem Gewicht und dem spezifischen Gewicht des Nickels ausrechnen. Das Volumen des Paraffins wird ebenfalls aus dem Gewichte und spezifischen Gewichte des Paraffins berechnet. Das Gewicht bestimmt man, indem man das mit Paraffin überzogene Schöllchen wägt und aus diesem Werte das Gewicht der Scholle in Abzug bringt. Das spez. Gewicht kann auch mit dem TRNKA'schen Apparat bestimmt werden, im Durchschnitte aber kann es für 0.9 genommen werden.

Da das Gewicht und Volumen der Scholle bekannt ist, kann man das Volumengewicht ausrechnen:

$$T_s = \frac{R}{a - (P + d)} \quad \text{wo:}$$

$T_s$  = Volumengewicht

$R$  = Gewicht der Scholle

$a$  = die in der Bürette abgelesenen  $\text{cm}^3$

$d$  = Volumen des Drahtes

$P$  = Volumen des Paraffins, welches  $= \frac{R_p - (R + D)}{0.9}$ , wo

$R_p$  = Gewicht der Scholle + des Paraffins + Drahtes

$(R + D)$  = Gewicht der Scholle + des Drahtes ist.

Z. B.: Volumengewicht des Paraffins = 0.95

Gewicht des Ni Drahtes = 1.07 g

Volumen des Ni Drahtes = 0.1 cm<sup>3</sup>

Scholle + Draht = 53.249 g

Scholle + Draht + Paraffin = 59.954 „

Paraffin = 6.705 „

Abgelesene cm<sup>3</sup> = 32.0 cm<sup>3</sup>

$$T_s = \frac{R}{a - (P + d)} = \frac{52.1790}{32.0 - (7.05 + 0.1)} = \frac{52.170}{24.85} = 2.099$$

$$P = \frac{R_p - (R + D)}{0.95} = \frac{59.9540 - 53.2490}{0.95} = \frac{6.7050}{0.95} = 7.05$$

Abweichungen parallel ausgeführter Bestimmungen:

|           |   |    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|---|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volum-    | { | a) | 2.058 | 1.956 | 2.091 | 2.115 | 2.093 | 2.016 | 2.061 | 2.090 | 2.073 | 1.956 |
| gewicht   | { | b) | 2.146 | 2.075 | 2.107 | 2.167 | 2.192 | 2.128 | 2.101 | 2.106 | 2.143 | 2.080 |
| Differenz |   |    | 0.088 | 0.119 | 0.016 | 0.052 | 0.099 | 0.112 | 0.040 | 0.016 | 0.070 | 0.024 |

Zur Berechnung des Porenvolumens muß man auch das spezifische Gewicht des Bodens bestimmen.

#### a) Bestimmung des spez. Gewichtes nach Kopecky.

In einer kleinen, gewogenen Porzellanschale gibt man circa 10 g gepulverten, lufttrockenen Boden. Nach dem Trocknen bei 100° wird das Gewicht genau bestimmt. Sonach überschüttet man mit Wasser und kocht vorsichtig auf, bis alle Luft entfernt ist. Die so vorbereitete Probe wird nach dem Auskühlen vorsichtig in ein 50 cm<sup>3</sup> Pyknometer gewaschen, dessen Gewicht leer und mit dest. Wasser ein für allemal bestimmt wurde. Das bei 15° C aufgefüllte Pyknometer ist sodann zu wägen.

Aus dem Gewichte des Bodens und des verdrängten Wassers ist das spez. Gewicht auszurechnen.

$$F_s = \frac{a}{(P_v - P) - (P_t - a - P)} = \frac{a}{P_v + a - P_t}$$

wo  $F_s$  = spez. Gewicht

$a$  = Gewicht des ausgetrockneten Bodens

$P_v$  = Gewicht des Pyknometers mit Wasser

$P$  = Gewicht des leeren Pyknometers

$P_t$  = Gewicht des Pyknometers mit dem Boden und Wasser.

Pl.  $P = 39.2854$  g;  $P_v = 90.0822$  g;  $a = 9.9156$  g;  $P_t = 96.2604$  g;

$$f_s = \frac{9.9156}{90.0822 + 9.9156 - 96.2604} = \frac{9.9156}{3.7374} = 2.653$$

b) *Bestimmung des spez. Gewichtes, wie sie in unserem Laboratorium ausgeführt wird.*

Ein Pyknometer von  $100 \text{ cm}^3$  wird leer und mit dest. Wasser von

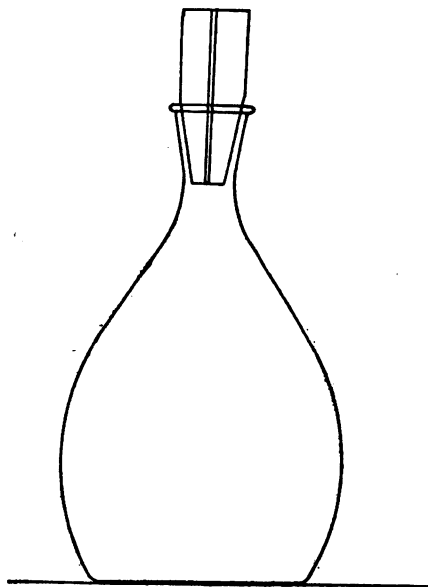


Fig. 7.

$15^\circ \text{ C}$  gewogen. Als Pyknometer dient ein Glaskölbchen von  $100 \text{ cm}^3$ , in welches ein mit dünner Bohrung versehener Glasstöpsel paßt.

In den Pyknometer wägt man circa 20 g lufttrockenen Boden (gleichzeitig mit der Bestimmung des spez. Gewichtes wird auch die Feuchtigkeit des Bodens bestimmt). Im Pyknometer wird der Boden mit so viel Wasser überschüttet, daß er eben bedeckt wird. Sonach wird das Pyknometer in den in der Figur 8 ersichtlichen Apparat gesetzt und neben Evakuiren gelinde im Wasserbade erwärmt, bis ein langsames Kochen erreicht wird. Dadurch erreicht man, daß aus dem Boden die Luft vollkommen entweicht. Wenn dies geschehen, wird das Pyknometer

herausgenommen und nach dem Erkalten mit Wasser von 15° C aufgefüllt und nach Aufsetzen des Stöpsels gewogen.

Aus dem Gewichte des lufttrockenen Bodens, aus der Feuchtigkeit desselben und aus dem Gewicht des vom Boden verdrängten Wassers ist das spez. Gewicht auszurechnen.

$$F_s = \frac{T - N}{P_v - P - [P_t - (T - N) - P]} = \frac{T - N}{P_v + T - N - P_t} \text{ wo}$$

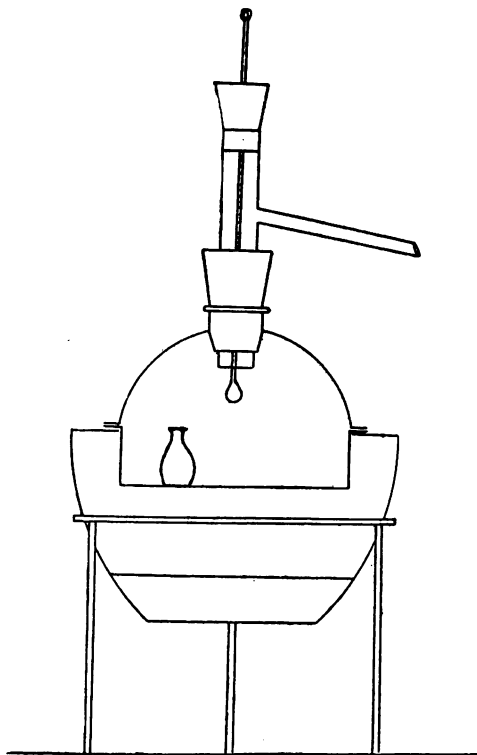


Fig. 8.

$F_s$  = spez. Gewicht

$T$  = Gewicht des abgewogenen lufttrockenen Bodens

$N$  = Gewicht der Feuchtigkeit

$P_v$  = Pyknometer + Wasser

$P$  = Pyknometer leer

$P_t$  = Pyknometer + Wasser + Boden

bedeutet.

Bei der vergleichenden Beurteilung dieser genannten Methoden



gebührt entschieden der zweiten der Vorzug. Beim Aufkochen bildet sich stets ein Schaum auf der Oberfläche, welcher sogar nach längerem Stehen nicht verschwindet. Beim Aufsetzen des Pyknometers wird dieser Schaum herausgedrängt und da dieser leichtere Bodenteile in sich schließen kann, wird die Methode weniger genau, als die andere, bei welcher der Schaum, allerdings nach längerer Zeit, aber doch vollständig verschwindet. Das Überwaschen des Bodens in den Pyknometer kann auch eine Fehlerquelle sein, außerdem ist auch das Wägen des vollkommen trockenen Bodens schwer, da er sehr hygroskopisch ist.

Die Berechnung ist zwar bei der zweiten Methode durch die Rechnung mit der Feuchtigkeit etwas komplizierter, als bei der ersten, die Genauigkeit aber ist eine größere. Die Bestimmungen mit der zweiten Methode ergeben fast in jedem Falle etwas höhere Werte als die der ersten (Kopecky'schen) Methode, aus was ersichtlich ist, daß die Luft mit dem einmaligen Aufkochen nicht vollständig entfernt werden kann.

Aus dem spez. Gewichte und Volumgewichte wird das Porenvolumen, wie folgt, ausgerechnet:

### *Bestimmung des Porenvolumens.*

Das Gewicht eines  $\text{cm}^3$ -Bodens ohne Poren ist gleich dem spez. Gewichte ( $F_s$ ). In Wirklichkeit aber ist das Gewicht eines  $\text{cm}^3$  trockenen Bodens gleich dem Volumgewichte ( $T_s$ ). Die Differenz beider ( $F_s - T_s$ ) wird als Maß des Porenvolumens dienen, da sie ausdrückt, wieviel Luft in einem  $\text{cm}^3$  Boden enthalten ist. Die Differenz in Prozenten gibt das Porenvolumen an:

$$F_s : (F_s - T_s) = 100 : x$$

$$x = \frac{F_s - T_s}{F_s} 100.$$

Beispiel:  $F_s = 2.653$

$T_s = 2.099$

---


$$F_s - T_s = 0.554$$

$$x = \frac{0.554}{2.653} 100 = 20.88\%.$$

## Einige Resultate:

|     | Volumgewicht | Spez. Gewicht | Porenvolumen |
|-----|--------------|---------------|--------------|
| 1.  | 2·102        | 2·636         | 20·26%       |
| 2.  | 2·016        | 2·644         | 23·75%       |
| 3.  | 2·099        | 2·685         | 21·82%       |
| 4.  | 2·141        | 2·643         | 18·99%       |
| 5.  | 2·142        | 2 735         | 21·68%       |
| 6.  | 2·072        | 2·662         | 22·16%       |
| 7.  | 2·081        | 2·653         | 21·56%       |
| 8.  | 2 098        | 2·661         | 21·16%       |
| 9.  | 2·108        | 2·697         | 21·84%       |
| 10. | 2·018        | 2·684         | 24·81%       |

Wenn man diese Daten mit den Daten KOPECKY's vergleicht, so sieht man, daß die Werte des Porenvolumens der Szikböden sehr niedrig sind, aus welcher Erscheinung auf eine große Dichte dieser Böden geschlossen werden kann. Ich habe aber erfahren, daß die Szikböden im feuchten Zustande bedeutend mehr Wasser enthalten, als dem gefundenen Porenvolumen entspricht. Aus dem geht also hervor, daß die Szikböden in sehr feuchtem Zustande nicht nur die Luft vollkommen ausschliessen, sondern, daß auch die Poren in feuchtem Zustande größer sind. Diese Erscheinung ist im engen Zusammenhange mit der großen Schwindung dieser Böden, welche auch durch das Vorkommen großer Risse bestätigt wird. Gleichzeitig geht aber aus diesen auch hervor, daß die Methode TRNKA's für die Bestimmung des Porenvolumens der Szikböden nicht geeignet ist. Der KOPECKY'sche Apparat gibt noch bessere Resultate, dieser ist aber zu schwach und wird leicht deformiert. Zur Bestimmung des Porenvolumens der Szikböden ist also eine vollkommenere Methode notwendig, als die jetzigen sind. Zur Bestimmung des Porenvolumens der Sand- und lockeren Böden besitzen wir ebenfalls keine der Praxis entsprechende Methode.

Endlich will ich hier noch die an Ort und Stelle ausführbare Be-

stimmung der Bodenfeuchtigkeit nach dem Volumen erwähnen. Meine Methode und den dazu gehörenden Apparat habe ich schon bei einer anderen Gelegenheit besprochen.<sup>1)</sup> Diese Methode habe ich nur an schweren Szikböden ausprobiert, bei welchen das Zusammenpressen des Bodens vernachlässigt werden kann. Der Vorteil der Methode ist, daß sie an Ort und Stelle schnell und ohne jeder speziellen Fachbildung auszuführen ist. Bei den heuer ausgeführten Versuchen auf der Wiese von Békéscsaba stellte es sich heraus, daß die verschiedenen Tafeln der Wiese bei der Berieselung sehr verschiedene Wassermengen aufnehmen. Mit dieser Methode kann man auch beurteilen, wieviel Wasser bei ähnlicher Bewässerung in den Boden gelangt und wie tief das Wasser in den Boden eindringt. In dieser Beziehung benehmen sich die verschiedenen Szikböden sehr verschieden. Die unten folgenden Daten werden als Resultate eines einzigen Versuches nicht als definitiv betrachtet, allein schon aus diesen Angaben ist schon genügend ersichtlich, wie verschieden die Durchfeuchtung der einzelnen Tafeln ist.

17. Tabelle.

| Tafel<br>nummer | Qualität<br>des Bodens | Vegetation           | Tiefe der<br>Schichte | Wassergehalt in Vol. % |                      | Zunahme<br>pro ha m <sup>3</sup> |
|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|
|                 |                        |                      |                       | vor d.<br>Berieselung  | u. d.<br>Berieselung |                                  |
| 20.             | 0—30 I.                | Luzerne              | 0—20                  | 35·2                   | 42·2                 | 140                              |
|                 |                        | ausgestorben         | 20—40                 | 26·4                   | 36·0                 | 192                              |
|                 | 60—90 III.             | Gras wächst gut      | 40—60                 | 37·2                   | 39·0                 | 36                               |
| 14.             | 0—30 I.                | Luzerne              | 0—20                  | 24·6                   | 44·6                 | 400                              |
|                 |                        | an einigen           |                       |                        |                      |                                  |
|                 | 60—90 I—II.            | Stellen ausgestorben | 20—40                 | 29·2                   | 42·6                 | 268                              |
|                 |                        | Gras wächst gut      | 40—60                 | 26·4                   | 41·6                 | 304                              |
| 5.              |                        | Luzerne ist während  | 0—20                  | 21·2                   | 41·2                 | 400                              |
|                 | I.                     | 12 Jahren gut        | 20—40                 | 33·2                   | 41·4                 | 164                              |
|                 |                        | gewachsen            | 40—60                 | 31·6                   | 39·2                 | 151                              |
| 9.              |                        |                      | 0—20                  | 27·4                   | 42·8                 | 308                              |
|                 | I.                     | „                    | 20—40                 | 31·8                   | 40·2                 | 168                              |
|                 |                        |                      | 40—60                 | 30·6                   | 38·2                 | 152                              |
| 6.              |                        |                      | 0—20                  | 29·2                   | 39·4                 | 204                              |
|                 | I.                     | „                    | 20—40                 | 31·4                   | 47·2                 | 316                              |
|                 |                        |                      | 40—60                 | 30·2                   | 38·2                 | 160                              |
| 38.             |                        | Szik-                | 0—20                  | 26·0                   | 39·4                 | 268                              |
|                 | III.                   | vegetation           | 20—40                 | 35·2                   | 34·6                 | 12                               |
|                 |                        |                      | 40—60                 | 39·2                   | 40·4                 | 24                               |

<sup>1)</sup> *Vízügyi Közlemények.* Jahrg. 1912. Heft 5.

sind, daß eine weitere Näherung unmöglich ist. Der in diesem Zustande zwischen den Teilchen sich noch vorfindende Hohlraum ist noch immer mit Wasser gefüllt, dessen weitere Verdampfung aber keine weitere Zusammenziehung nach sich ziehen kann, da sich die Partikeln bereits gegenseitig berühren.

Der bei dieser, von ARON<sup>2)</sup> „Schwindungsgrenze“ genannten Grenze auftretende Wassergehalt wird ebenfalls von ARON *Porenwasser* genannt und er setzt auch fest, daß dieses Porenverhältnis beständig ist, daß es nämlich von dem Wassergehalt des Anfangsstadiums unabhängig ist. Die Schwindungsgrenze wird also bei ein und demselben Boden bei jeder Bestimmung denselben Wert ergeben.

Nach SCHUMACHER<sup>1)</sup> übt die Feinheit der Teilchen nicht nur auf die Schwindungsgrenze, sondern auch auf die Art der Schwindung einen Einfluß.

Es ist leicht erklärlich, daß die im Boden erhaltenen kleinsten Partikeln, die tonigen Teilchen auf die Schwindung selbst einen Einfluß haben können. Infolge der großen chemischen und physikalischen Verwandtschaft dieser Teilchen zum Wasser sind sie fähig viel Wasser aufzunehmen und damit aufzuquellen. In diesem Zustande sind sie fähig sandige erdige Teile zu binden, wie es bei plastischen Böden auch der Fall ist.

Von der Aufquellung der Teilchen abgesehen, erklärt die Kleinheit der Teilchen selbst eine größere Schwindung. Nehmen wir an, daß zur Umhüllung von „ $a$ “ größeren Teilchen „ $n$ “ Moleküle Wasser erforderlich sind. Diese „ $n$ “ Moleküle Wasser werden aber von Teilchen halb so großer Oberfläche nicht „ $a$ “, sondern „ $2a$ “, von zehntel so großer Oberfläche „ $10a$ “ Teilchen mit Hüllen der selben Breite versehen können. Bis daher die Abdampfung der „ $n$ “ Moleküle Wasser, im Falle der größeren Teilchen eine Zusammenziehung nach sich zieht, welche „ $2a$ “-mal so groß ist, wie die Breite der Wasserhüllen der einzelnen Teilchen, wird diese Zusammenziehung im Falle der kleineren Teilchen schon bei der Abdampfung von weniger als „ $n$ “ Moleküle Wasser sovielmal größer sein, als die kleinen Teilchen in der großen linear enthalten sind.

Nehmen wir an (Figur 1), daß die Breite der Wasserhülle sowohl bei den größeren, als auch bei den kleineren Teilchen gleich  $x$  sei. Die Zusammenziehung wird im Falle der größeren Teile  $4x$ , im anderen aber schon  $8x$  betragen. Die Oberfläche der 4 kleineren Teile (annähernde

1) Dr. JULIUS ARON: Plastizität, Schwindung und andere Fundamenteigenschaften des Tones bedingen die Form der Tonteilchen, Notigblatt IX. S. 167.

2) Sprechsaal 1878. S. 23.

# ANHANG.

## Neuer Messapparat für die Bestimmung der Schwindung von Böden.

Von JOSEF GLOETZER, Dipl. Ing. Chem.

(Vorgetragen in der am 28. Januar 1914. abgehaltenen Sitzung der ung. geolog. Gesellschaft.)

(Mitteilung aus dem landw. chem. technologischen Laboratorium der Technischen Hochschule zu Budapest.)

Der Boden zieht sich bei Wasserabgabe zusammen, unterliegt einer Schwindung, welche Schwindung beim Trocknen (Trockenschwindung) nur auf physikalische Gründe zurückzuführen ist. Erst bei einem Schwinden beim Brennen müßte man mit chemischen Gründen auch Rechnung tragen.

Das Wasser, welches die Bodenteilchen umhüllt und zwischen ihnen Platz findet, verdunstet beim Austrocknen allmählich, die noch zurückbleibenden Wassermoleküle ziehen sich infolge der Kohäsion an und bringen damit die Bodenteilchen auch immer näher aneinander.<sup>1)</sup> Indessen wächst die Dichte stetig, bis zu einem maximalen Werte, welcher erreicht wird, wenn die Teilchen einander nicht mehr näher rücken können, also dann, wenn die Schwindung aufhört. Die Größe der Schwindung hängt vom Wassergehalte im Anfangsstadium ab, denn je mehr Wasser ursprünglich im Boden enthalten ist, umso größer ist auch die Wasserhülle, welche die einzelnen Teilchen umgibt und es ist daher die Entfernung der Bodenkörner voneinander auch größer. Wenn sich nun das Wasser entfernt, müssen die Teilchen einen größeren Weg hinterlegen, um sich einander gegenseitig berühren und so wird auch die Summe dieser Bewegungen, die Schwindung größer sein.

Das Schwinden hört noch vor dem vollständigen Austrocknen auf. Es findet nämlich ein Ende, wenn die Teilchen derartig zusammengedrückt

<sup>1)</sup> SCHUMACHER's Auffassung. Siehe BISCHOF: Die feuerfesten Tone. Seite 25.

| Tafel<br>nummer | Qualität<br>des Bodens | Vegetation     | Tiefe der<br>Schichte | Wassergehalt in Vol. % |                      | Zunahme<br>pro ha m <sup>3</sup> |
|-----------------|------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|
|                 |                        |                |                       | vor d.<br>Berieselung  | u. d.<br>Berieselung |                                  |
| 36.             | III.                   | Szikvegetation | 0—20                  | 26·6                   | 37·4                 | 216                              |
|                 |                        |                | 20—40                 | 38·0                   | 38·6                 | 12                               |
|                 |                        |                | 40—60                 | 38·4                   | 37·0                 | 28                               |
| 17.             | II.                    | Alter Rasen    | 0—20                  | 35·6                   | 45·8                 | 204                              |
|                 |                        |                | 20—40                 | 39·4                   | 44·0                 | 92                               |
|                 |                        |                | 40—60                 | 41·4                   | 44·2                 | 56                               |
| 16.             | II.                    | „              | 0—20                  | 28·8                   | 46·0                 | 344                              |
|                 |                        |                | 20—40                 | 39·6                   | 40·0                 | 80                               |
|                 |                        |                | 40—60                 | 41·0                   | 40·6                 | 80                               |

Aus den Daten dieser Tabelle ist vor allem ersichtlich, daß die Wasseraufnahme der verschiedenen Tafeln sehr verschieden war. Durchschnittlich nahm der Boden umso mehr Wasser auf, je trockener er war. In Erwägung der Bodenqualität nimmt man wahr, daß die Böden mit schärferem Szikcharakter (speziell die tieferen Schichten) weniger Wasser aufnehmen und daß auf den ausgeprägten Sziktafeln das Wasser kaum tiefer, als 20 cm dringt (s. 38. und 36. T.). Wo aber nur die unteren Schichten einen Szikcharakter tragen (wie z. B. bei der Tafel 20, 17 und 16), dort ist die Wasseraufnahme der tieferen Schichten kaum merkbar.

Die mit (—) bezeichneten Daten, welche einen Wasserverlust bedeuten würden, können aus Versuchsfehlern hervorgegangen sein.

Da die Wasseraufnahme auch von der Menge der Bewässerung abhängen kann, wurde die Menge des Rieselungswassers und aus dieser während der Bewässerung in den Boden gelangte Teil bestimmt. Die diesbezüglichen Daten enthält die 18. Tabelle.

18. Tabelle.

| Nummer<br>der Tafel | Menge des Rieselungs-<br>wassers auf 1 Hektar<br>m <sup>3</sup> | Zunahme an Feuchtigkeit<br>bis zu einer Tiefe von<br>60 cm pro ha m <sup>3</sup> | Wie viel % Wasser<br>ist in den Boden<br>gesickert |
|---------------------|---|--|--|
| 20.                 | 2220  | 368  | 17   |
| 14.                 | 1806  | 972  | 53   |
| 5.                  | 1803  | 716  | 39   |
| 9.                  | 1502  | 628  | 42   |
| 6.                  | 1382  | 680  | 49   |
| 38.                 | 928   | 280  | 30   |
| 36.                 | 764   | 200  | 26   |
| 17.                 | 645   | 352  | 55   |
| 16.                 | 499   | 344  | 69   |

Aus den Daten der 18. Tabelle ist ersichtlich, daß in den meisten Fällen die Menge des aufgenommenen Wassers mit der Reichlichkeit des Giessens wächst, entgegengesetzte Erfahrungen sind aber auch nicht selten. So z. B. war die Begiessung der Taf. 20 am reichlichsten, die aufgenommene Wassermenge war dennoch ungefähr mit der 17. Taf. gleich, wo doch die Tafel 20 mehr als 3-mal so viel Wasser bekam. Die letzte Rubrik der Tabelle gibt uns Aufschluß darüber, wo wir einen zu großen Überfluß an Rieselungswasser benützt haben. Da der Wassergehalt der Böden ähnlicher Qualität nach der Bewässerung ziemlich übereinstimmt, grob zwischen den Grenzen 40—45% wechselt, welcher Wert vom bisher gefundenen Maximum von 53·8% nicht mehr fern steht und wenn man die Wasserkapazität der guten Grastafeln auf 50% schätzt, so kann man sagen, daß dieser Wert nach der Bewässerung ziemlich angenähert wurde. Daraus kann man entschieden folgern, daß die Begiessung der 20. Tafel gar nicht sparsam war. Am sparsamsten war die Bewässerung der 16. Tafel. Von den Sziktafeln 38 und 36 ging auch ein großer Wasserüberschuß in die Kanäle. Hier hat aber das Rieselungswasser nicht nur die Aufgabe, den Boden zu befeuchten, sondern auch die Bestimmung, die Bodensalze auszulaugen. Aus den gefundenen Resultaten ist aber ersichtlich, daß auch bei so großen Überschuß an Wasser, das Auslaugen sich nur auf die obere 0—20 cm Schicht beschränkt, welche Erfahrung mit neueren Daten unsere, schon ältere Erfahrung bestätigt, daß das Auslaugen der Szikböden III. Klasse, mit Berieselung sehr langsam vor sich geht und sich hauptsächlich nur auf die oberen Bodenschichten beschränkt.

Aus den erwähnten Erfahrungen kann man einsehen, daß die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften eine sehr wertvolle wissenschaftliche Grundlage für die praktische Bodenklassifikation und Beurteilung bildet. Die konstanten physikalischen Eigenschaften haben mehr für die Bodenklassifikation, die nicht konstanten für die Beurteilung des zeitmäßigen Zustandes des Bodens einen nicht nur wissenschaftlichen, sondern auch großen praktischen Wert.

Hier sei noch bemerkt, daß die Laboratoriumsarbeiten von Herrn Ing. Chemiker JOSEPH GLÖTZER ausgeführt wurden, den ich als Gehilfe mit einer Dotation des kgl. ungar. Ackerbauministerium angestellt habe.

Kugelgestalt vorausgesetzt) ist dabei nur halb so groß, wie die der 2 größeren und so wird die sie umgebende Wassermenge auch nur halb so groß sein. Diese Erscheinung kann beim Boden mathematisch genau natürlich nicht erwartet werden, da die Form der Bodenteilchen sowohl von der Kugel abweichend sein kann, als auch die Gestalt der Teilchen unter sich mannigfaltige Verschiedenheit aufwiesen kann. Diesbezüglich ist wohl keine Regel aufstellbar, es ist aber leicht ersichtlich, daß, abgesehen von der eventuellen Aufquellung, schon die Größe der Bodenteilchen die Schwindung beeinflussen wird. Und da die Plastizität des Bodens hauptsächlich von den kleinen, tonigen Charakter tragenden Teilchen bedingt wird und diese wieder die Schwindung beeinflussen, so wird aus der Größe der Zusammenziehung und der abgegebenen Wassermenge auch ein Schluß auf die Plastizität zu ziehen sein. BISCHOF<sup>1)</sup> ist auch der Anschauung, daß zwischen Plastizität und Schwindung ein enger Zusammenhang zu suchen sei.

ATTERBERG<sup>2)</sup> zieht, als Folgerung seiner diesbezüglichen Versuche,

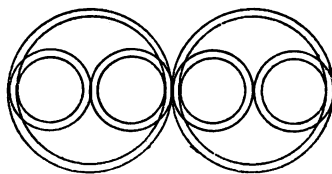


Fig. 1.

den Schluß, daß die von der Ausrollgrenze bis zur Schwindungsgrenze abgegebene Wassermenge in keinem bestimmten Verhältnis zur Plastizität steht. Er betrachtete aber nur die abgegebene Wassermenge und die Plastizität, den zu der Wassermenge gehörigen Faktor, welcher mindestens ebenso wichtig ist als diese, die Größe der Zusammenziehung ließ er außer Acht. Er setzt aber fest, daß diese von der Ausroll- bis zur Schwindungsgrenze abgegebene Wassermenge im allgemeinen bei den sehr plastischen und humusreichen Böden größer ist, als bei den anderen.

Die Kenntnis des Wasserverlustes reicht also nicht zu, eine Folgerung auf die Plastizität ziehen zu können, es wird dies erst bei Kenntnis der Größe der Zusammenziehung möglich sein.

Aus den Vorhergegangenen scheint es begründet, daß neben der

1) BISCHOF: Die feuerfesten Tone, Seite 24.

2) ATTERBERG: Die Plastizität der Tone. Int. Mitteilungen für Bodenkunde. Bd. I. Heft 1.



Bestimmung der Schwindungsgrenze, auch die Größe der Schwindung mitbestimmt werde, daß wir somit ein wirklich klares Bild des Ablaufes der ganzen Schwindung bekommen.

### *Das Messen des Schwindens.*

Der Boden zieht sich beim Trocknen in allen Richtungen zusammen. Nach ARON's<sup>1)</sup> und DUEBERG's<sup>2)</sup> Bestimmungen ist bei Tönen und tonigen Erden von homogener Beschaffenheit diese Schwindung in allen Richtungen gleich. Die Schwindung in einer Richtung ist die *lineare*, die in zwei Richtungen die quadratische und die in drei Richtungen die *kubische* Schwindung. Am einfachsten ist die lineare Schwindung zu messen, aus welcher dann die quadratische und kubische auszurechnen sind. Diesbezügliche Bestimmungen führte DUEBERG<sup>3)</sup> aus und eben er gibt auch die Formeln der Umrechnung an. Es sei die Kantenlänge eines Bodenwürfels vor dem Trocknen  $a$ , im trockenen Zustande  $b$ , so ist die lineare Schwindung  $(a-b)$ , die quadratische  $(a^2-b^2)$  und die kubische  $(a^3-b^3)$ . Das Verhältnis der Schwindung ist also:  $(a-b) : (a^2-b^2) : (a^3-b^3)$ .

### *Die älteren Methoden.*

ARON,<sup>1)</sup> welcher sich eingehend mit dem Studium der Schwindung der Tone befasste, misst die Schwindung an einem Tonprisma (mit der erforderlichen Menge Wasser geformt), welche er mit einem Längs- und zwei möglichst nahe zu den Enden anzubringenden Querstrichen versieht. Das Prisma wird auf eine, schon vorher gewogene, Glasplatte gestellt. Der Abstand der beiden Querstriche wird mit einem Lineal aus Messing gemessen, welches in mm geteilt ist und einen Nonius mit Lupe samt Fadenkreuz trägt. Das Lineal ist auf einem Brette derart befestigt, daß man die Glasplatte samt Tonprisma darunter stellen kann. Nun stellt man das Fadenkreuz der Lupe nacheinander auf die beiden Querstriche ein, liest am Lineal ab und die Differenz der beiden Ablesungen gibt den Abstand der Striche an. Jede Ablesung ist nochmals auszuführen, die Differenz von zwei nacheinander ausgeführten Bestimmungen ist selten größer als 0.1 mm; wenn aber die Striche nicht mit der möglichst größten Sorgfalt hergestellt sind, so kann sich auch eine Differenz

<sup>1)</sup> BISCHOF: Die feuerfesten Tone, Seite 26.

<sup>2)</sup> Über lineare, quadr. und kubische Ausdehnung und Schwindung. Töpfer u. Ziegler Zeitung. 1888. 22.

<sup>3)</sup> BISCHOF: Die feuerfesten Tone, Seite 85.

von 0.3 mm ergeben. Auf die Herstellung guter Marken ist also wohl zu achten.

Nachdem der Abstand beider Querstriche bekannt ist, wägt man das Tonprisma samt Glasplatte. Die Bestimmungen sind in möglichst kurzer Zeit zu wiederholen und so bekommt man das verdampfte Wasser und die dazu gehörigen Schwindungen. Wenn an der Luft kein Gewichtsverlust mehr stattfindet, so wird das Prisma in einem Trockenschrank, bei einer Temperatur, welche sich allmählich bis zu 100° C erhebt, weiter getrocknet, bis sein Gewicht konstant bleibt. So kann man aus einer Reihe von Messungen ein Bild vom Zusammenhange des Wasserverlustes und der Schwindung in Auge fassen.

JOCHUM<sup>1)</sup> formt mit der genügenden Menge Wasser 200 mm lange und 15—15 mm breite Tonprismen, welche er auf polierten Zn-Platten trocknet und während des Trocknens mehrmals umdreht, um ein möglichst gleichmäßiges Trocknen zu erreichen. Zn-Platten werden von ihm

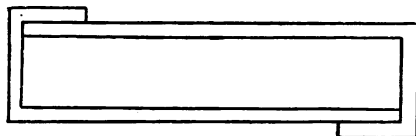


Fig. 2.

benützt, weil der Ton zu diesem Metall die kleinste Adhäsion zeigt. Zur Messung bedient sich JOCHUM eines Zirkels oder Lineals, mit welchem er alle vier längere Kanten des Prismas mißt und aus den vier Resultaten den Mittelwert als richtig nimmt. Die Längen der Kanten bestimmt er nur im Anfangs- und lufttrockenen Zustande, die dazwischen fallenden Werte werden nicht bestimmt. Es wird somit nur die Größe der ganzen Schwindung bestimmt, vom Gange der Schwindung gibt uns diese Methode keine Aufklärung. Man kann mehrere Zwischenbestimmungen machen, wegen der größeren Genauigkeit ist aber die Methode ARON's wohl besser als die JOCHUM's. JOCHUM legt nicht allein auf die Bestimmung der Trockenschwindung Wert, sondern auch auf die Schwindung beim Brennen.

ATTERBERG<sup>2)</sup> benützt die Methode ARON's. Das Prisma formt er aus einem Brei, dessen Wassergehalt um 3—5 Einheiten höher, als die

<sup>1)</sup> BISCHOF: Die feuerfesten Tone, Seite 85.

<sup>2)</sup> ATTERBERG: Die Plastizität der Tone. Int. Mitteilungen für Bodenkunde. Bd. I. Heft 1.

Ausrollgrenze liegt. Dabei sei aber bemerkt, daß sehr gebundene Böden oft mehr, minder gebundene mitunter auch weniger Wasser erfordern. Das Prisma hat die Dimensionen 85, 20, 20 mm und der Brei wird zur Herstellung des Prismas in der in Figur 2 ersichtlichen Form geknetet.

Nach sorgfältigem Ebnen der Oberfläche wird die Form entfernt und das Prisma mit Marken versehen und sonach kann das Messen begonnen werden. Um ein gleichmäßiges Trocknen zu erreichen legt ATTERBERG das Prisma auf zwei Klötze, dies hat aber den Nachteil, daß sich das Prisma trotz öfteren Umdrehens biegen kann.

Wie schon erwähnt, benützte ATTERBERG die ARON'sche Methode nur zur Festsetzung der Schwindungsgrenze, auf die Größe und Gang der Schwindung legte er keinen besonderen Wert.

### *Der neue Messapparat.*

Wie ersichtlich, gestatten diese Methoden kaum eine Genauigkeit von 0.1 mm. Ein weiterer Nachteil dieser Methoden ist, daß das Prisma während der Messung unbedeckt bleibt. Die Messung, Kontrollmessung und Wägung erfordern eine Zeit, während welcher eventuell ein Wasserverlust auftreten kann, welcher schon eine weitere meßbare Zusammenziehung zur Folge hat. Um einerseits die Messung genauer zu machen, andererseits den vorhin erwähnten Fehler zu vermeiden, konstruierte ich einen Apparat, dessen Beschreibung im Nachfolgenden folgt. (Der Apparat wurde durch den Mechaniker der techn. Hochschule MATHIAS PODSZTREHLEN verfertigt.)

Aus dem Boden wird, mit etwas weniger Wasser als der Fließgrenze entspricht, ein Brei gebildet und aus diesem ein 6 cm langes, 2 cm breites und  $\frac{1}{2}$  cm hohes Prisma auf einer polierten Zn-Platte geformt. Die horizontalen Dimensionen der Platte sind in jeder Richtung um 0.5 cm größer, als die des Prismas. Als Höhe wurde nur 0.5 cm gewählt, um einerseits das Trocknen zu beschleunigen, andererseits aber auch das beim Trocknen auftretende Werfen des Prismas zu vermindern. Die aus Messing hergestellte Form ist identisch der von ATTERBERG benützten, beide Hälften tragen aber noch 2—2 gebogene Ansätze, welche es ermöglichen die Form in immer dieselbe Stelle setzen zu können, außerdem aber die Form auf der Platte auch noch befestigen, so daß ein Wegrutschen während dem Einkneten des Breis verhindert wird (Figur 3).

Auf einer Längsseite der Zn-Platte befindet sich ein Einschnitt, ein in diese passender, am Meßapparat selbst angebrachter Stift fixiert die Platte im Apparate. An den beiden Enden ist die Platte durchbohrt, diese Löcher dienen zur Aufnahme der Stifte des Deckels.

Der Brei wird sorgfältig in die Form geknetet und die Oberfläche (am geeignetsten mit einer anderen Zn-Platte) geebnet. Nach Entfernung der Form wird das Prisma mit von den Enden  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{2}$  cm weit liegenden leeren Querstrichen versehen. Der Abstand der Marken wird somit 5 cm betragen.

Die Marken werden mit folgendem Apparate hergestellt: (Fig. 4. und 5.)

Das messingene Gestell *A* trägt in der Mitte einen Zylinder, durch welchen die Stange *B* ragt. Diese Stange wird durch die im Zylinder angebrachte Feder stetig nach oben gedrückt. Auf das untere Ende der Stange ist mittels zweier Schrauben der stählerne Teil *D* befestigt (welchen die Stange *G* so fixiert, daß er nur auf- und abwärts beweglich ist), dessen Enden heruntergebogen und geschliffen sind. Der Abstand der Schneiden beträgt 5 cm. Die Stange ist oben mit einem Schraubengang für die Gegenschrauben *E* versehen, ganz oben trägt sie den Druckknopf *F*.

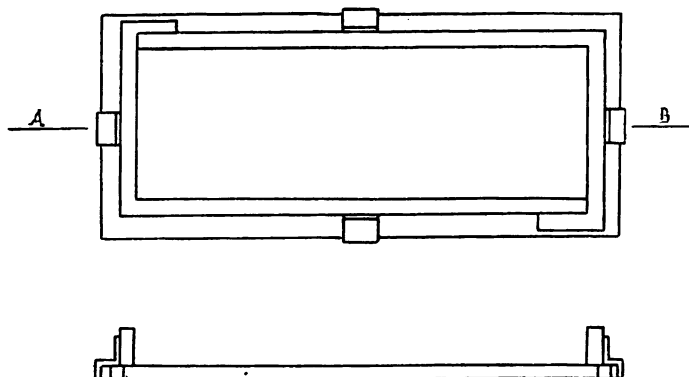


Fig. 3.

Der Apparat wird auf das, sich auf der Platte befindlichen Prisma gesetzt und die Schneiden durch Drücken des Knopfes *F* auf das Prisma gedrückt. Die Feinheit der Striche kann durch die Schrauben *E* geregelt werden.

Das so mit Marken versehene Bodenprisma wird mit einem Deckel bedeckt, welcher aus einem messingenen Rahmen und über diesem befestigter, dünner Glasplatte besteht. (Fig. 6.)

Die Dimensionen des Deckels sind so gewählt, daß das Prisma darin Platz findet, die Glasplatte kommt aber nur  $\frac{2}{10}$ — $\frac{3}{10}$  mm über dem Prisma zu liegen. Die Anwendung des Deckels verhindert ein Entfernen von Wasser, und somit kann ein Fehler durch Wasserabgang während der Messung und Wägung nicht begangen werden.

Zum Messen des Abstandes der Marken dient der in Figur 7 und 8 ersichtliche Apparat. (Figur 7 eine Oberansicht, Fig. 8 ein Querschnitt  $A-B$ ).

Die innere Weite des aus Messing hergestellten Gestells ( $A$ ) ist so groß, daß die Zn-Platte darin gerade Platz findet. Zum Fixieren der Platte im Apparat dient der, mit der Feder  $M$  versehene Stift ( $N$ ), welcher die Vorderwand des Gestells durchdringend in den Ausschnitt der Platte paßt. Die hintere Wand des Gestells ist stärker gehalten und ist in der Längsrichtung mit einem runden Ausschnitt versehen. In diesem

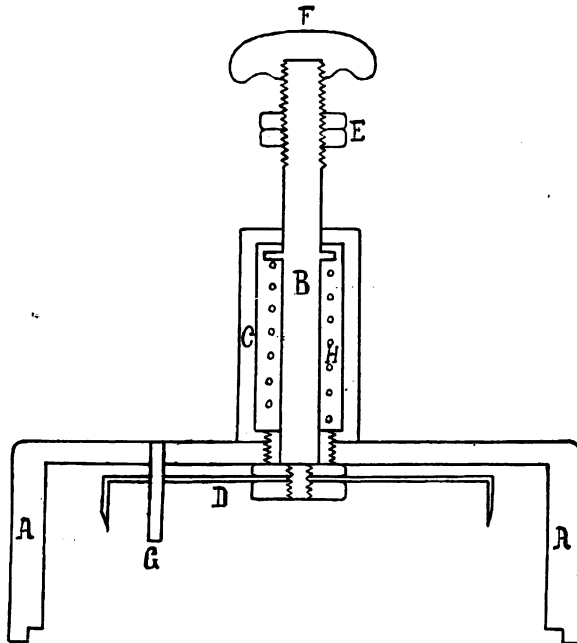


Fig. 4.

können sich die Walzen  $C_1$  und  $C_2$  bewegen. Auf diese Walzen, die durch die Federn  $K_1$  und  $K_2$  beständig nach ihnen gedrückt werden, sind mit Schrauben die Rahmen  $B_1$  und  $B_2$  befestigt, welche Fadenkreuze aus Metall ( $L_1$  u.  $L_2$ ) tragen. Auf dem Rahmen  $B_1$  ist das Linial  $D$  befestigt, welches sich mit dem Rahmen zusammen bewegt. Der  $O$ -Punkt der Einteilung ist genau in der Verlängerung des längeren Fadens. Auf den Rahmen  $B_2$  ist ein abgeschliffenes Plättchen ( $E$ ) aufgeschraubt, dessen Marke in der Verlängerung des Fadens von  $B_1$  liegt.

Durch Bewegung der Rahmen werden die Fadenkreuze über die Marken des Prismas gebracht. Die Rahmen werden durch die beiderseits

angebrachten Schraubenmutter  $F_1$  und  $F_2$  bewegt, welche jede auf einer unendlichen Halbmillimeterschraube laufen. Das andere Ende dieser Schrauben ist an den Walzen befestigt, die die Rahmen tragen. Eine einmalige Umdrehung der Schraubenmutter zieht also eine Bewegung des Fadenkreuzes von  $\frac{1}{2}$  mm nach sich. Die Schraube  $F_2$  ist mit einer Trommel ( $G$ ) versehen, welche in 25 gleiche Teile eingeteilt ist. Eine Einheit dieser Trommel wird also eine Bewegung des Fadenkreuzes von  $B_2$  bedeuten, welche also 0.02 mm ist. Zur Ermöglichung der Ablesung an der Trommel ist am Gestell ein Ansatz ( $H$ ) angebracht, welcher mit einer Marke versehen ist. Die Trommel ist unabhängig von der Schraube und

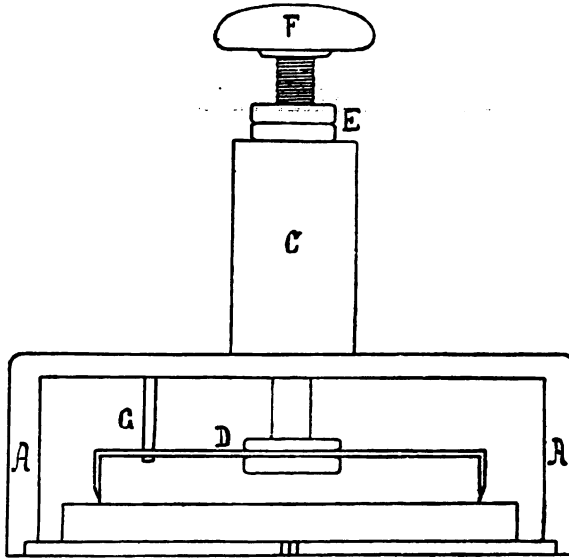


Fig. 5.

auch von der Schraubenmutter zu drehen, um die Einteilung des  $O$ -Punktes auf die Marke in jeder Stellung der Rahmen zu ermöglichen.

Durch die Achsenbettungen  $O$ , und  $O_2$  geht die Achse des, im Querschnitte sichtbaren, drehbaren Spiegels. Um nämlich die Einstellung der Fadenkreuze auf die Marken genau ausführen zu können, ist der Apparat mit den Spiegeln  $T_1$  und  $T_2$  versehen. Beide Rahmen tragen einen kleinen, um  $60^\circ$  nach hinten gebogenen Spiegel, während auf der vorderen Wand des Apparates ein grösserer an einer Längsachse drehbarer Spiegel angebracht ist. Die Marke und das Fadenkreuz widerspiegeln sich im größeren Spiegel und dieses Bild wird auf dem kleinen Spiegel aufgefangen und beobachtet. Die Anwendung dieser Spiegel ermöglicht nicht nur

eine genauere Einstellung, sondern macht diese auch bequemer, indem sie den Gebrauch einer Lupe zur Einstellung überflüssig macht.

Zur Ausführung der Messung wird die Zn-Platte samt des bedeckten Prismas in den Apparat geschoben und zwar soweit bis der Stift in den Ausschnitt der Platte kommt. In dieser fixierten Stellung des Prismas werden die Mitten der Fadenkreuze nacheinander genau über die Marken gestellt. In den kleinen Spiegel sehend bewegt man den Rahmen mit Hilfe der Schraube solange nach links oder rechts, bis die Mitte des Fadenkreuzes und die Marke am Prisma in der Mitte des Spiegels genau übereinander zu liegen kommen. Nachdem so die Fadenkreuze voneinander genau so weit entfernt, als die Marken sind, liest man am Lineal die ganzen und halben

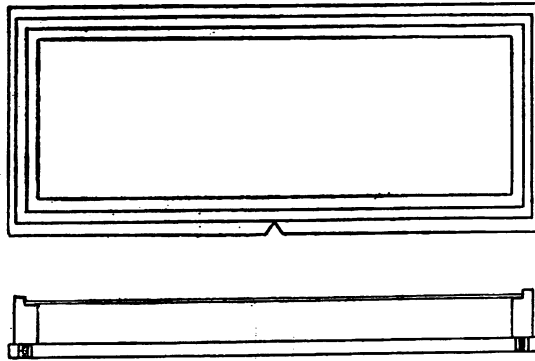


Fig. 6.

Millimeter ab. Zur Ablesung der  $\frac{1}{100}$  mm macht man sich den Stand der Trommel und dreht die zur Trommel gehörige Schraube solange bis die Marke am Rahmen genau auf den nächst niedrigeren Teilstrich des Lineals eingestellt ist (Zu dieser Einstellung kann man sich einer Lupe bedienen.). Die Anzahl Teilstriche der Trommel, mit welcher sie gedreht wurde, mit 2 multipliziert, gibt die  $\frac{1}{100}$  mm an, die noch zur ursprünglichen Ablesung am Lineal zu addieren sind.

Jede Ablesung ist noch zweimal zu wiederholen und der Mittelwert dieser drei Ablesungen ist als richtig anzunehmen. Einige Abweichungen dieser drei Bestimmungen zeigt die 1. Tabelle.

1. Tabelle.

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ablesungen . .  | 50·90 | 45·34 | 47·33 | 47·53 | 47·33 | 47·72 | 50·58 | 48·17 | 47·24 |
|                 | 50·94 | 45·42 | 47·31 | 47·52 | 47·32 | 47·68 | 50·54 | 48·17 | 47·25 |
|                 | 50·89 | 45·39 | 47·32 | 47·53 | 47·32 | 47·70 | 50·52 | 48·15 | 47·25 |
| Differenz . . . | 0·05  | 0·03  | 0·02  | 0·01  | 0·01  | 0·04  | 0·06  | 0·02  | 0·01  |

Wie ersichtlich, beträgt die Differenz zwischen dem kleinsten und größten Wert einer Bestimmung 0·01–0·06 mm. Unter den bisher ermittelten ca. 300 Bestimmungen gaben nur 2 eine Differenz von 0·06 mm, man muß also fordern, daß die Differenz von drei Ablesungen höchstens 0·05 mm betrage. Im Falle die drei Ablesungen um mehr als 0·05 mm

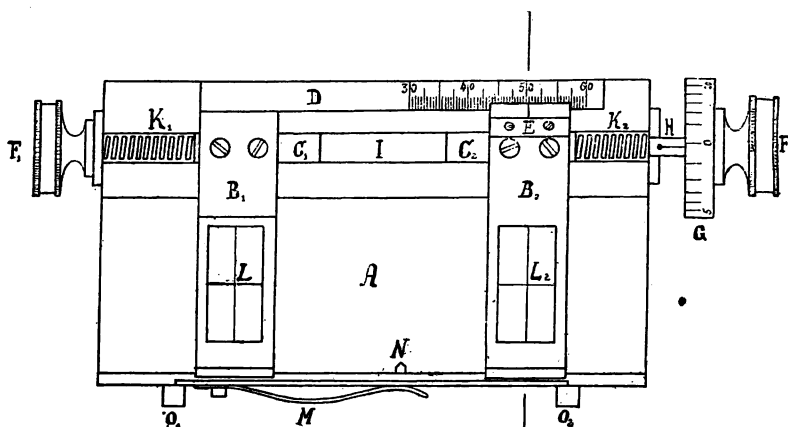


Fig. 7.

untereinander verschieden wären, ist die Bestimmung zu wiederholen, es sind also 3 neue Ablesungen vorzunehmen.

Ist der Abstand der Marken bekannt, so wird das Prisma samt Platte und Deckel gewogen. Nach dem Wägen wird der Deckel heruntergenommen und das Prisma an der Luft getrocknet. Das Prisma löst sich nach kurzer Zeit von der Platte und es ist dann öfters umzudrehen, um die Trocknung gleichmäßiger zu machen. Je öfter, aber wenigstens in jeder  $\frac{1}{2}$  Stunde sind neue Messungen vorzunehmen. Wenn der Boden lufttrocken geworden ist, wird das Prisma ohne Deckel in einen Trockenschrank gesetzt, und bei einer Temperatur, welche sich langsam bis zu  $105^{\circ}$  erhebt, getrocknet. Sollte der Fall eintreten, daß die Schwindung bis zum luftgetrockenen Zustand nicht aufgehört hat (wenn nämlich die letzten 5 Messungen mit mehr als 0·05 mm abweichen), so ist das Prisma aus dem Trockenschrank in kurzen Zeiträumen herauszunehmen, um noch weitere



Messungen vorzunehmen, bis die Schwindungsgrenze erreicht wird und die Schwindung aufhört. Auf diese Weise gelangt man zu einer Reihe Daten, aus welchen das Verhältnis der Schwindung und der abgegebenen Wassermenge deutlich zu ersehen ist.

Die Schwindungsgrenze kann bei jener Ablesung als erreicht betrachtet werden, welche als erste von dem Mittelwerte der nachfolgenden (und der fraglichen) Ablesungen mit weniger als 0.05 mm abweicht. Der zu dieser Ablesung gehörige Wassergehalt, auf 100 Teile trockenen Boden bezogen, gibt die „*Schwindungsgrenze*“.

Die Größe der Zusammenziehung wird im Apparate in mm abgelesen. Diese Werte werden wohl genügen um im einzelnen Falle das Verhältnis zwischen Schwindung und Wassergehalt zu finden, um aber Schwindungen mehrerer Böden vergleichen zu können wird man eine

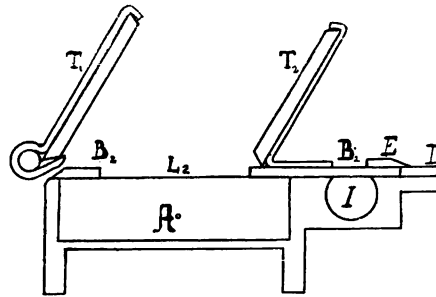


Fig. 8.

andre Ausdrucksart suchen müssen, da diese Werte, wenn der ursprüngliche Abstand der Marken auch bei allen Versuchen gleich war, von dem Wassergehalt abhängen werden, welche die Böden am Anfange der Bestimmung hatten.

Um vergleichbare Werte zu bekommen, welche bei wiederholten Versuchen, unabhängig vom Anfangswassergehalte wieder bestimmbar sind, ist es notwendig, daß man nicht absolute, sondern relative Werte, das heißt, daß man die Schwindung nicht in mm, sondern im Verhältnisse zum Abstand beider Marken bei einem, immer gleichen, Wassergehalt, angebe. Früher hat man die Schwindung in Prozenten der ursprünglichen Entfernung der Marken angegeben.<sup>1)</sup> Dies hatte aber wieder den Nachteil, daß, da der Wassergehalt im Anfangsstadium immer verschieden ist, vergleichbare Resultate nur durch Umrechnen zu erreichen wären. Den

<sup>1)</sup> H. DUCBERY: Über lineare, quadr. und kubische Ausdehnung und Schwindung. Töpfer u. Ziegler Zeitung, 1888. 22.

Brei immer mit derselben Menge Wasser zusammengekneten ist fast unmöglich und wenn schwer möglich, so sehr umständlich, da während dem Mischen schon eine unkontrollierbare Menge Wasser verdunstet. Zwei, mit demselben Boden, aber nacheinander ausgeführte Bestimmungen werden verschiedene auf demselben Wassergehalt bezogene Werte ergeben, (ausgenommen den Fall, man erratet den gleichen Wassergehalt im Anfangsstadium) die Schwindungen und somit auch das Verhältnis zur gleichen ursprünglichen Entfernung der Marken werden verschieden sein, dieses Verhältnis wird größer oder kleiner werden, je nachdem der ursprüngliche Wassergehalt kleiner oder größer war.

Zur Erklärung diene folgende Betrachtung. Die Größe der linearen Zusammenziehung ist gleich

$$x = 2 \ n. \ a + n. \ e,$$

wo  $n$  die Anzahl der zwischen beiden Marken sich lineal vorfindenden Teilchen,  $a$  die Breite der Wasserhüllen der einzelnen Teilchen und  $e$  den mittleren Wert der Zusammenschrumpfung der einzelnen Teilchen bedeutet. Letztere Werte werden nur vom jeweiligen Wassergehalte abhängen, u. zw. diesem direkt proportioniert sein. Ihre Werte betragen bei der Schwindungsgrenze 0.

$$a = \alpha (v - b)$$

$$e = \beta (v - b),$$

$v$  ist der jeweilige Wassergehalt in Prozenten,  $b$  der Wassergehalt bei der Schwindungsgrenze;  $\alpha$  und  $\beta$  sind Proportionskonstanten.

Die Größe der Schwindung wird also sein:

$$x = 2 \ n. \ \alpha (v - b) + n. \ \beta (v - b), \text{ daraus}$$

$$x = n (v - b) (2 \alpha + \beta)$$

und da  $2 (2 \alpha + \beta) = \gamma$  beim selben Boden konstant ist

$$x = \gamma. \ n. (v - b)$$

Die Schwindung ist also der Anzahl der, zwischen den Marken Platz findenden Teilchen ( $n$ ), also dem Abstände der Marken und dem jeweiligen Wassergehalt über der Schwindungsgrenze ( $v-b$ ) direkt proportioniert.

Nimmt man an, daß  $v$  der Wassergehalt im Anfangsstadium ist, so wird die ursprüngliche Entfernung der Marken

$$p_1 = d. \ n. + \gamma. \ n. (v - b)$$

betragen, wenn  $d$  den mittleren Durchmesser der Teilchen bedeutet. Der kleinste Abstand der Marken (im ganz zusammengezogenen Zustande) beträgt.

$$\mu_2 = d. n,$$

da bei der Schwindungsgrenze  $v = b$ , also  $v - b = 0$  ist.

Betrachten wir nun das Verhältnis der Schwindung, welche sich auf einem zwischen den Ausgangs- und bei der Schwindungsgrenze auftretenden Wassergehalt ( $v$ ) bezieht, zur ursprünglichen Entfernung der Marken. Der Abstand der Marken wird bei einem Wassergehalt  $v_1$

$$\mu_3 = d. n + \gamma. n (v_1 - b).$$

betragen. Die zu  $v_1$  gehörige Schwindung aber

$$\mu_3 - \mu_2 = d. n. + \gamma. n (v_1 - b) - d. n = \gamma. n. (v_1 - b)$$

Das Verhältnis zum ursprünglichen Abstand der Marken ist

$$\frac{\mu_3 - \mu_2}{\mu_1} = \frac{\gamma. n. (v_1 - b)}{(d. n + \gamma. n (v - b))} = \frac{\gamma (v_1 - b)}{\gamma (v + \frac{d}{\gamma} - b)} = \frac{v_1 - b}{v + \left(\frac{d}{\gamma} - b\right)}$$

da bei demselben Boden  $\frac{d}{\gamma} - b = \varepsilon$  konstant ist

$$\frac{\mu_3 - \mu_2}{\mu_1} = \frac{v_1 - b}{v + \varepsilon}$$

Diese Verhältniszahl wird also nicht nur vom Wassergehalte, auf welchen sie sich bezieht ( $v_1$ ), abhängen, sondern auch vom Wassergehalte im Ausgangsstadium ( $v$ ). U. zw. steht sie mit diesem im verkehrten Verhältnisse, d. h. sie ist kleiner oder größer je nachdem der ursprüngliche Wassergehalt größer oder kleiner ist. Bei ein und demselben Boden wäre es, wenn auch umständlich, doch möglich den Brei immer mit demselben Wassergehalte zu vermischen, im Falle mehrerer Böden ist dies aber ausgeschlossen, da die verschiedenen Fließgrenzen eine verschiedene Wassermenge zum Vermischen bedingen. Bei demselben Wassergehalt wird also diese Verhältniszahl im Falle mehrerer Böden nicht nur von den den Boden charakterisierenden Faktoren ( $b$  und  $E$ ), sondern auch vom ursprünglichen Wassergehalt im jeden einzelnen Falle abhängen. Um vergleichbare Resultate zu erlangen, wird es notwendig sein die Schwindung auf den zu immer gleichem Wassergehalt gehörigen Markenabstand zu beziehen, also  $v$  konstant machen.

Es kann noch die Möglichkeit, die Schwindung auf die kleinste, also bei der Schwindungsgrenze auftretende Entfernung der Marken zu beziehen, in Vordergrund treten. Wenn man das Verhältnis der Schwindung zum kleinsten Markenabstand betrachtet:

$$\frac{\mu_3 - \mu_2}{\mu_2} = \frac{\gamma. n. (y_1 - b)}{d. n.} = \frac{\gamma (v_1 - b)}{d}$$

so ist ersichtlich, daß diese Verhältniszahl von dem ursprünglichen Wassergehalte unabhängig ist und so, nur von den Bodenkosten (g, b, d) und vom Wassergehalte auf welche sie sich bezieht, abhängig, vergleichbare Werte liefert.

Diese letztere Wertangabe der Schwindung erscheint wohl einfacher, als die auf gleichen Wassergehalt bezogene. Sie wird wohl eher eine Charakteristik der Ausdehnung, als der Zusammenziehung sein, dies wird aber bei der anderen Methode für Wasserwerte über  $v$  auch der Fall sein.

Die lineare „Schwindungszahl“ wird also angeben, wie groß die lineare Zusammenziehung des Bodens, von einem Wassergehalte (auf welchem sich die Schwindungszahl bezieht) bis zur Schwindungsgrenze, ist, ausgedrückt in Prozenten der kleinsten Markenentfernung.

Als Beispiel stehe eine vollständige Bestimmung hier:

| Ablesungen              | Mittelwert | Gewicht<br>g | Wassergehalt<br>% | Schwin-<br>dung mm | Lineare<br>Schwindungs-<br>zahl |
|-------------------------|------------|--------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| 50·35 }<br>36 }<br>36 } | 50·36      | 66·9724      | 35·3              | 4·63               | 10·12                           |
| 50·23 }<br>28 }<br>26 } | 50·26      | 66·7344      | 32·2              | 4·53               | 9·90                            |
| 49·56 }<br>57 }<br>56 } | 49·56      | 66·3636      | 27·5              | 3·83               | 8·38                            |
| 48·46 }<br>47 }<br>45 } | 48·46      | 66·0560      | 23·5              | 2·73               | 5·97                            |
| 47·47 }<br>49 }<br>52 } | 47·49      | 65·6858      | 18·8              | 1·76               | 3·85                            |
| 47·10 }<br>14 }<br>12 } | 47·12      | 65·5478      | 17·0              | 1·39               | 3·04                            |
| 46·73 }<br>68 }<br>70 } | 46·70      | 65·3914      | 15·0              | 0·97               | 2·12                            |

| Ablesungen              | Mittelwert | Gewicht<br>g | Wassergehalt<br>% | Schwin-<br>dung mm | Lineare<br>Schwindungs-<br>zahl |
|-------------------------|------------|--------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| 46·32 }<br>30 }<br>34 } | 46·32      | 65·2290      | 12·9              | 0·59               | 1·29                            |
| 46·02 }<br>02 }<br>02 } | 46·02      | 65·0232      | 10·2              | 0·29               | 0·63                            |
| 45·93 }<br>93 }<br>91 } | 45·92      | 64·9014      | 8·7               | 0·19               | 0·41                            |
| 45·72 }<br>72 }<br>74 } | 45·73      | 64·8122      | 7·5               | —                  | —                               |
| 45·77 }<br>76 }<br>79 } | 45·77      | 64·6800      | 5·8               | —                  | —                               |
| 45·76 }<br>75 }<br>74 } | 45·75      | 64·6070      | 4·9               | —                  | —                               |
| 45·72 }<br>71 }<br>75 } | 45·73      | 64·2278      | —                 | —                  | —                               |
| 45·70                   | —          | 64·2278      | —                 | —                  | —                               |
| 45·72                   | —          | 64·2252      | 0                 | —                  | —                               |

Im Laufe der Bestimmung werden nur die Distanzen der Marken und die dazu gehörigen Gewichte notiert. Wassergehalt und Schwindungszahl ergeben sich erst am Schlusse, wenn das Gewicht des trockenen Prismas und die kleinste Markenentfernung bekannt sind. Im gegebenen Falle ist diese kleinste Entfernung 45·73 mm, die Differenz von dieser Zahl ergibt in jedem einzelnen Falle die Schwindung in mm, und dieser Millimeterwert in Prozenten von 45·73 gibt die Schwindungszahl. Die Schwindungszahl ist also =  $\frac{\text{Schwindung in mm} \times 100}{\text{kleinster Markenabstand.}}$

Das Verhältnis zwischen linearer, quadratischer und kubischer Schwindungszahl zeigt die 2. Tabelle. (DUEBERG.)

2. Tabelle.

| Lineare                       | Quad-<br>ratische | Kubische | Lineare | Quad-<br>ratische | Kubische | Lineare | Quad-<br>ratische | Kubische |
|-------------------------------|-------------------|----------|---------|-------------------|----------|---------|-------------------|----------|
| S c h w i n d u n g s z a h l |                   |          |         |                   |          |         |                   |          |
| 0·5                           | 1·00              | 1·51     | 10·5    | 22·10             | 34·92    | 20·5    | 45·20             | 74·97    |
| 1·0                           | 2·01              | 3·03     | 11·0    | 23·21             | 36·76    | 21·0    | 46·41             | 77·16    |
| 1·5                           | 3·02              | 4·57     | 11·5    | 24·32             | 38·62    | 21·5    | 47·62             | 79·36    |
| 2·0                           | 4·04              | 6·12     | 12·0    | 25·44             | 40·49    | 22·0    | 48·84             | 81·58    |
| 2·5                           | 5·06              | 7·69     | 12·5    | 26·56             | 42·38    | 22·5    | 50·06             | 83·83    |
| 3·0                           | 6·09              | 9·27     | 13·0    | 27·69             | 44·29    | 23·0    | 51·29             | 86·09    |
| 3·5                           | 7·12              | 10·87    | 13·5    | 28·82             | 46·21    | 23·5    | 52·52             | 88·37    |
| 4·0                           | 8·16              | 12·49    | 14·0    | 29·96             | 48·15    | 24·0    | 53·76             | 90·66    |
| 4·5                           | 9·20              | 14·12    | 14·5    | 30·10             | 50·11    | 24·5    | 55·00             | 92·98    |
| 5·0                           | 10·25             | 15·76    | 15·0    | 32·25             | 52·09    | 25·0    | 56·25             | 95·31    |
| 5·5                           | 11·30             | 17·42    | 15·5    | 33·40             | 54·08    | 25·5    | 57·50             | 97·67    |
| 6·0                           | 12·36             | 19·10    | 16·0    | 34·56             | 56·09    | 26·0    | 58·76             | 100·04   |
| 6·5                           | 13·42             | 20·79    | 16·5    | 35·72             | 58·12    | 26·5    | 60·02             | 102·43   |
| 7·0                           | 14·49             | 22·50    | 17·0    | 36·89             | 60·16    | 27·0    | 61·29             | 104·84   |
| 7·5                           | 15·56             | 24·23    | 17·5    | 38·06             | 62·21    | 27·5    | 62·56             | 107·27   |
| 8·0                           | 16·64             | 25·97    | 18·0    | 39·24             | 64·30    | 28·0    | 63·84             | 109·72   |
| 8·5                           | 17·72             | 27·73    | 18·5    | 40·42             | 66·40    | 28·5    | 65·12             | 112·18   |
| 9·0                           | 18·81             | 29·50    | 19·0    | 41·61             | 68·52    | 29·0    | 66·41             | 114·67   |
| 9·5                           | 19·90             | 31·29    | 19·5    | 42·80             | 70·65    | 29·5    | 67·70             | 117·17   |
| 10·0                          | 21·00             | 33·10    | 20·0    | 44·00             | 72·80    | 30·0    | 69·00             | 119·70   |

Der Wassergehalt wird, wie die physikalischen Konstanten alle, auf 100 Teil trockenen Boden bezogen, angegeben.

In gegebenen Falle wird die Schwindungsgrenze bei 7·5 erreicht. Da diese Grenze nach ARON konstant ist, wird die Genauigkeit ihrer

Bestimmung allein von der Anzahl der Ablesungen in der Nähe der Grenze, abhängen.

Den Wassergehalt und die Schwindungszahl auf ein Koordinatensystem aufgetragen, bekommt man ein Diagramm, welches den Zusammenhang beider Faktoren treu widerspiegelt.

In der 3. Tabelle sind die Daten einiger Bestimmungen und folgend die lineare, quadratische und kubische Schwindungskurven ein und desselben Bodens angegeben.

3. Tabelle.

|    | Plastizitätsgrenze | Plastizitätszahl | Schwindungsgrenzen | Lineare Schwindungszahl |      |      |      |      |      |       |       |
|----|--------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|    |                    |                  |                    | 5                       | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35    | 40    |
|    |                    |                  |                    | % Wassergehalt          |      |      |      |      |      |       |       |
| 1. | 20.4               | 0                | 12.1               | 0                       | 0    | 0.70 | 1.82 | —    | —    | —     | —     |
| 2. | 27.2<br>18.0       | 9.2              | 4.8                | 0.06                    | 0.86 | 1.76 | 4.19 | 6.70 | —    | —     | —     |
| 3. | 38.5<br>19.7       | 18.8             | 7.5                | 0                       | 0.60 | 2.12 | 4.39 | 6.87 | 9.18 | 10.10 | —     |
| 4. | 43.7<br>21.2       | 22.5             | ?                  | 0.25                    | 0.68 | 2.40 | 4.63 | 7.01 | 9.03 | 11.05 | 11.93 |
| 5. | 34.4<br>18.3       | 16.1             | 5.9                | 0                       | 0.66 | 2.66 | 4.81 | 7.08 | 8.90 | —     | —     |
| 6. | 23.2<br>13.9       | 9.3              | 6.5                | 0                       | 0.59 | 2.07 | 4.39 | —    | —    | —     | —     |

Wie ersichtlich sind sowohl die Schwindungsgrenzen als auch die Schwindungszahlen bei den einzelnen Böden wohl verschieden. Aus diesen Verschiedenheiten aber jetzt schon weitgehendere Schlüsse zu ziehen, wäre noch frühzeitig und dies wird erst nach eingehenderem Studium möglich sein.

Diese Ausdrucksart der Schwindung, die Schwindungszahl liefert wohl vergleichbare Werte, sie wird aber praktisch einen geringen Wert besitzen. Es wird wohl wichtiger sein, zu wissen, wie viel Prozente des Volumens (fläche oder linear) der Boden, von einem bestimmten Wassergehalt bis zum Austrocknen, oder bis zu einem anderen, kleineren Wassergehalt verliert. Wenn die zum fraglichen Wassergehalt gehörige Schwindungszahl, oder zwischen zwei Wassergehalten die Differenz die-

ser bekannt ist, so ist dieser Wert mit der Formel  $x = \frac{100 \cdot a}{100 + a}$  leicht auszurechnen ( $x$  ist der gesuchte Wert,  $a$  die Schwindungszahl oder die Differenz dieser). In der 4. Tabelle sind diese Werte angegeben.

4. Tabelle.

| Lineare<br>Schwindungs-<br>zahl | Lineare   | Quad-<br>ratische | Kubische | Lineare<br>Schwindungs<br>zahl | Lineare   | Quad-<br>ratische | Kubische |
|---------------------------------|---|-------------------|----------|--------------------------------|---|-------------------|----------|
|                                 | Zusammenziehung   |                   |          |                                | Zusammenziehung   |                   |          |
|                                 | von jenem Wassergehalte, auf<br>welchen sich die lineare Schwin-<br>dungszahl bezieht % |                   |          |                                | von jenem Wassergehalte, auf<br>welchen sich die lineare Schwin-<br>dungszahl bezieht % |                   |          |
| 0.5                             | 0.50  | 0.99              | 1.49     | 15.5                           | 13.42   | 25.04             | 35.10    |
| 1.0                             | 0.99  | 1.97              | 2.94     | 16.0                           | 13.79   | 25.68             | 35.94    |
| 1.5                             | 1.49  | 2.93              | 4.37     | 16.5                           | 14.16   | 26.32             | 36.76    |
| 2.0                             | 1.96  | 3.88              | 5.77     | 17.0                           | 14.53   | 26.95             | 37.56    |
| 2.5                             | 2.44  | 4.82              | 7.14     | 17.5                           | 14.89   | 27.57             | 38.36    |
| 3.0                             | 2.91  | 5.74              | 8.48     | 18.0                           | 15.25   | 28.18             | 39.14    |
| 3.5                             | 3.38  | 6.65              | 9.80     | 18.5                           | 15.61   | 28.78             | 39.90    |
| 4.0                             | 3.85  | 7.54              | 11.10    | 19.0                           | 15.97   | 29.38             | 40.66    |
| 4.5                             | 4.31  | 8.42              | 12.37    | 19.5                           | 16.32   | 29.97             | 41.40    |
| 5.0                             | 4.76  | 9.30              | 13.61    | 20.0                           | 16.67   | 30.56             | 42.13    |
| 5.5                             | 5.21  | 10.15             | 14.84    | 20.5                           | 17.01   | 31.13             | 42.85    |
| 6.0                             | 5.66  | 11.00             | 16.04    | 21.0                           | 17.35   | 31.70             | 43.55    |
| 6.5                             | 6.10  | 11.83             | 17.21    | 21.5                           | 17.69   | 32.26             | 44.25    |
| 7.0                             | 6.54  | 12.66             | 18.37    | 22.0                           | 18.03   | 32.81             | 44.93    |
| 7.5                             | 6.98  | 13.47             | 19.50    | 22.5                           | 18.37   | 33.36             | 45.60    |
| 8.0                             | 7.41  | 14.27             | 20.62    | 23.0                           | 18.70   | 33.90             | 46.26    |
| 8.5                             | 7.83  | 15.05             | 21.71    | 23.5                           | 19.03   | 34.43             | 46.91    |
| 9.0                             | 8.26  | 15.83             | 22.78    | 24.0                           | 19.35   | 34.96             | 47.55    |
| 9.5                             | 8.68  | 16.60             | 23.83    | 24.5                           | 19.68   | 35.48             | 48.18    |
| 10.0                            | 9.09  | 17.36             | 24.87    | 25.0                           | 20.00   | 36.00             | 48.80    |
| 10.5                            | 9.50  | 18.10             | 25.88    | 25.5                           | 20.32   | 36.51             | 49.41    |
| 11.0                            | 9.91  | 18.84             | 26.88    | 26.0                           | 20.63   | 37.01             | 50.01    |
| 11.5                            | 10.31   | 19.56             | 27.86    | 26.5                           | 20.95   | 37.51             | 50.60    |
| 12.0                            | 10.71   | 20.28             | 28.82    | 27.0                           | 21.26   | 38.00             | 51.18    |
| 12.5                            | 11.11   | 20.99             | 29.76    | 27.5                           | 21.57   | 38.48             | 51.75    |
| 13.0                            | 11.50   | 21.69             | 30.70    | 28.0                           | 21.88   | 38.96             | 52.32    |
| 13.5                            | 11.89   | 22.37             | 31.61    | 28.5                           | 22.18   | 39.44             | 52.87    |
| 14.0                            | 12.28   | 23.05             | 32.50    | 29.0                           | 22.48   | 39.91             | 53.42    |
| 14.5                            | 12.66   | 23.72             | 33.38    | 29.5                           | 22.78   | 40.37             | 53.95    |
| 15.0                            | 13.04   | 24.39             | 34.25    | 30.0                           | 23.07   | 40.83             | 54.48    |



Es sei noch bemerkt, daß der hier publizierte Apparat auch zur Messung der Schwindung der Tone vorteilhaft zu verwenden ist, da dieser neben seiner größeren Genauigkeit auch zur Bestimmung des beim Brennen auftretenden Schwindens brauchbar gemacht werden kann, dadurch, daß man sich statt der Zn-Platte einer Porzellanplatte mit glatter Oberfläche bedient.

Herrn Prof. ALEXIUS von 'SIGMOND, auf dessen Initiative der Apparat konstruiert wurde, spreche ich auch hier meinen verbindlichsten Dank, für die wohlwollenden Ratschläge und Unterstützung, aus.