

nisse Nordböhmens und des Homberger Gebiets während des ersten Würm-Interstadials schließen (kühl und Nadelwald). Die rezenten Böden zeigen eine wesentlich geringere Podsolierung, was auf ein günstigeres Klima und Laubwald hinweist.

Schriften

- BLANCKENHORN, M.: Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25.000, Bl. Homberg a. d. Efze mit Erläuterungen. Berlin 1920.
- GRUPE, O.: Über Jüngeren und Älteren Löß im Flußgebiet der Weser. — Jb. d. preuß. geol. Landesanst. **17**, 1916. Berlin 1918.
- KRAUSS, G., HÄRTEL, F. & a. Standortsgemäße Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland (mit grundsätzlichen Bemerkungen über „gleiartige“ Bodenbildungen). — Tharander Forstl. Jahrb., **90**, H. 7/8. Berlin 1939.
- SCHÖNHALS, E.: Über die Stratigraphie der jüngeren Diluvialablagerungen Nord- und Mittelböhmens und ihre fossilen Verwitterungsdecken (Bodenprofile). — Jb. Reichsamt Bodenf. 1943 (im Druck).
- SCHWARZ, FR.: Geologie der Gegend zwischen Kassel und dem Reinhardswald. — Abh. d. preuß. geol. Landesanst.; N. F. **132**. Berlin 1930.
- SELZER, G.: Diluviale Lößkeile und Lößkeilnetze aus der Umgebung Göttingens. — Geol. Rdsch. **27**. 1936.
- STREMME, H.: Die Böden des deutschen Reiches und der Freien Stadt Danzig. Mit Übersichtskarte i. M. 1:1.000.000. — Erg.-H. 226 zu „Petermanns Mitteilungen“. Gotha 1936.

Untersuchungen über Wasseraufnahmefähigkeit von Böden mit Enslin-Geräten verschiedener Größe

Mitgeteilt von R. KÖHLER und W. DIENEMANN, nach Untersuchungen von A. KARPINSKI

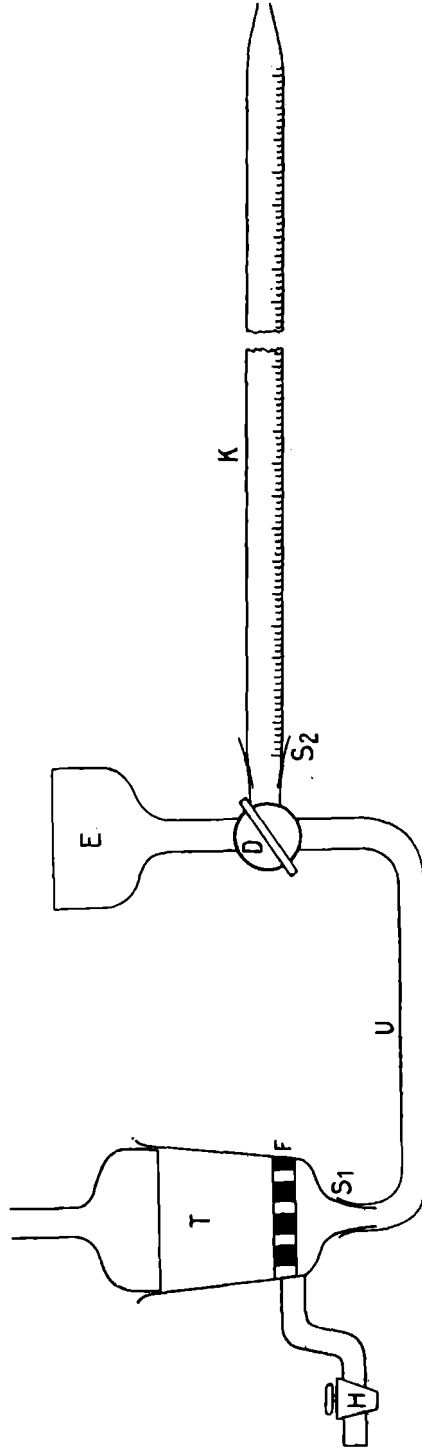
(Mit 1 Abb. und 5 Tab.)

I. Problemstellung und Aufgabe

Zur Ermittlung der Wasseraufnahme von quellbaren Stoffen nach Menge und Geschwindigkeit bedient man sich eines von O. SCHMIDT ausgearbeiteten Gerätes, das im allgemeinen als Enslin-Gerät bezeichnet wird. Da das Gerät in Geologenkreisen wenig bekannt ist, sei es hier kurz beschrieben (vgl. Abb. 1). Das U-förmig gebogene Glasrohr U und die 3 cm fassende Kapillare K (Ablesegenauigkeit 0,005 ccm) sind durch einen Dreiwegehahn D mit einem Einfülltrichter E verbunden. Links sitzt auf dem U-Rohr ein Glasfiltertiegel T mit einer Filterplatte F. K und F liegen horizontal und in einer Ebene. Die Schiffe S_1 und S_2 dienen zum Auseinandernehmen des Geräts. Bei der Messung werden U und K mittels D verbunden, luftblasenfrei mit destilliertem Wasser gefüllt, H geschlossen und dann der Boden auf das Filter gebracht. Die aufgesaugte Wassermenge wird abgelesen und in ccm bezogen auf 100 g des bis unter 0,2 mm feingepulverten und bei 105° getrockneten Bodens angegeben und als W_{∞} bezeichnet.

Schema des Enslin-Gerätes

Abb. 1



Beschreibungen des Gerätes finden sich u. a. in den Arbeiten von ENSLIN (1) und ENDELL (2). ENDELL hat sich auch mit einigen Fehlerquellen befaßt, die bei der Benutzung des Gerätes zu beachten sind. Solche Fehlerquellen ergeben sich u. a. aus der Art der Probeaufgabe auf die Filterplatte, der Teilchengröße und dem Anfangswassergehalt.

Um vergleichbare Werte zu erhalten, müssen also Art der Probeaufgabe, Größe der Einwaage und Anfangswassergehalt gleichgehalten werden. Auch die Temperaturen im Versuchsraum müssen möglichst konstant sein. Darüber hinaus erhebt sich aber die Frage, wieweit dennoch Abweichungen bei der Wiederholung der Untersuchung ein und desselben Bodens im gleichen Gerät unter gleichen Bedingungen auftreten und wieweit sich unter sonst gleichen Bedingungen mit verschiedenen großer Einwaage oder in verschiedenen Geräten ausgeführte Untersuchungen vergleichen lassen. Gerade mit der letzten Frage hatten wir uns zu befassen. Bisher wurde in unserem Laboratorium ein Enslin-Gerät benutzt, welches eine Filterplatte von 50 mm \varnothing und ein Aufnahmegefäß von 60 mm Höhe hatte, während diese Werte beim üblichen Gerät nur 20 und 30 mm betragen. Das größere Gerät wurde besonders auch deshalb benutzt, weil bei ihm mit der größeren Einwaage von 1,0 g gearbeitet und so durch den kleineren Umrechnungsfaktor die Fehlerquellen heruntersetzt werden konnten. Herr Prof. KARPINSKI wurde beauftragt, vergleichende Untersuchungen mit einem zweiten Gerät üblicher Größe (weiterhin als kleineres Gerät bezeichnet) und mit Einwaagen von 0,2 g, 0,3 g, 0,5 g und 1,0 g an verschiedenen Böden durchzuführen.

II. Versuchsbedingungen

Es wurden zwei tertiäre Braunkohlentone von Brück (I und II) und ein Geschiebemergel von Posen (III) untersucht, und zwar die bis unter 0,2 mm feingepulverten und bei 105° getrockneten Anteile unter 2 mm. Das plastische Verhalten der drei Böden zeigt die Tabelle 1. Jede Bestimmung wurde dreimal durchgeführt, die Temperaturen wurden ständig beobachtet und zeigten während der Bestimmungen nur unwesentliche Schwankungen. Die Proben wurden gleichmäßig unter Zuhilfenahme eines kleinen Trichters mit kurzem Hals auf die Filterplatte aufgebracht.

III. Folgende Fragen sollten geklärt werden

1. Welches Gerät ergibt genauere Ergebnisse?
2. Bei welcher Einwaage sind die Bestimmungen am genauesten?
3. Wieweit lassen sich die in beiden Geräten erzielten Werte vergleichen?
4. Wie verhalten sich die Zeiten für die Erreichung des Endwertes der Wasseraufnahme bei beiden Geräten und den verschiedenen Einwaagen?

Die Werte für die einzelnen Bestimmungen sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Ergebnisse der Wasseraufnahme-Bestimmungen dreier Böden nach Enslin mit verschiedenem Gerät
und verschiedenen Einwaagen

Nr.	Boden Art	Fließgrenze fl % H ₂ O zur Trockene	Ausroll- grenze a	Plastizitäts- zahl p = fl — a	Einwaage in g	Wasseraufnahme W _∞ (ccm/100 g Boden)					
						im großen Gerät			im kleinen Gerät		
						Einzel- werte	Mittelwert	mittlerer Fehler	Einzel- werte	Mittelwert	mittlerer Fehler
I	Tertiärer Ton von Brück	43	25	18	1,0	77,5	77,5	0,5	76,5	77,2	3,1
						78,0			74,5		
						77,0			80,5		
						76,0			76,0		
I	Tertiärer Ton von Brück	43	25	18	0,5	75,5	75,2	1,0	75,5	75,5	0,5
						74,0			75,0		
						75,0			76,6		
						76,6			78,3		
I	Tertiärer Ton von Brück	43	25	18	0,3	80,0	77,2	2,6	78,3	77,7	1,0
						75,0			76,6		
						76,6			78,3		
						80,0			78,3		
I	Tertiärer Ton von Brück	43	25	18	0,2	77,5	77,5	2,5	82,0	72,3	2,5
						80,0			85,0		
						75,0			80,0		
						77,5			80,0		
II	Tertiärer Ton von Brück	73	34	39	1,0	102,0	101,5	0,5	100,0	101,0	1,0
						101,0			102,0		
						101,5			101,0		
						101,0			97,0		
II	Tertiärer Ton von Brück	73	34	39	0,5	102,0	102,3	1,5	97,0	98,0	1,7
						104,0			97,0		
						101,0			100,0		
						103,3			101,7		
II	Tertiärer Ton von Brück	73	34	39	0,3	103,3	102,5	1,4	101,7	101,1	1,0
						103,3			101,7		
						104,0			106,5		
						100,0			105,0		
II	Tertiärer Ton von Brück	73	34	39	0,2	102,5	102,2	2,0	104,0	105,2	1,3
						102,5			104,0		
						102,5			104,0		
						102,5			104,0		
III	Diluvialer Geschiebemergel von Posen (sandig-schluffi- ger Lehm)	23	11	12	1,0	48,0	48,5	0,5	51,0	50,7	0,6
						48,5			50,0		
						49,0			51,0		
						49,0			56,0		
III	Diluvialer Geschiebemergel von Posen (sandig-schluffi- ger Lehm)	23	11	12	0,5	49,0	49,3	0,6	52,0	53,0	2,6
						49,0			51,0		
						49,0			51,0		
						49,0			52,0		
III	Diluvialer Geschiebemergel von Posen (sandig-schluffi- ger Lehm)	23	11	12	0,3	51,7	51,1	1,0	55,0	55,6	1,0
						51,7			55,0		
						50,0			56,7		
						50,0			56,7		
III	Diluvialer Geschiebemergel von Posen (sandig-schluffi- ger Lehm)	23	11	12	0,2	55,0	53,3	1,4	60,0	58,3	1,4
						52,5			57,5		
						52,5			57,5		
						52,5			57,5		

Zu 1: Welches Gerät gibt genauere Ergebnisse?

Die Genauigkeit der Geräte soll an dem mittleren Fehler betrachtet werden, der in Tab. 1 in der üblichen Weise aus den Abweichungen vom Mittelwert berechnet ist. Dieser mittlere Fehler ist bei Ton I für das große Gerät im Durchschnitt 1,65, für das kleine 1,78, für Ton II 1,35, bzw. 1,25 und für den Geschiebemergel 0,88, bzw. 1,4. In Anbetracht der mit manchen Unsicherheiten behafteten Versuchsbedingungen kann die Genauigkeit beider Geräte als annähernd gleich angesehen werden (Mittel des mittleren Fehlers 1,29, bzw. 1,48). Über die Größe des mittleren Fehlers soll später gesprochen werden.

Zu 2: Bei welcher Einwaage sind die Bestimmungen am genauesten?

Nach Tab. 2 sind bei dem größeren Gerät die großen Einwaagen von 1,0 und 0,5 g vorteilhafter, da hier der mittlere Fehler (berechnet als arithmetisches Mittel der mittleren Fehler für die drei Böden) kleiner bleibt. Das ist auch zu erwarten, da bei den kleinen Einwaagen schon infolge des größeren Umrechnungsfaktors sich jeder Fehler entsprechend vergrößert.

Tabelle 2

Durchschnittlicher mittlerer Fehler der Werte von W_{∞} bei verschiedenem Gerät und verschiedenen Einwaagen

Einwaage	Im großen	Im kleinen
	Gerät	
1,0 g	0,50	1,56
0,5 g	1,03	1,60
0,3 g	1,60	1,00
0,2 g	1,96	1,73

Beim kleinen Gerät ist der mittlere Fehler bei einer Einwaage von 0,3 g am kleinsten. Es muß allerdings dahingestellt bleiben, ob der große mittlere Fehler bei 0,2 g Einwaage auch noch bei Vergrößerung der Versuchszahl bestehen bleibt. Eine Verkleinerung des mittleren Fehlers, d. h. eine Vergrößerung der Genauigkeit bei größeren Einwaagen findet beim Arbeiten mit dem kleinen Gerät nicht statt. Dies hat seinen Grund wahrscheinlich in der für die größeren Proben zu kleinen Filterfläche. Der Boden bildet hier eine viel dickere Schicht, ein Teil klebt an den Wandungen des Trichters usw., so daß es oft schwer ist, diese relativ größeren Bodenmengen auf dem Trichter des kleinen Gerätes immer mit gleicher Wirkungsmöglichkeit unterzubringen.

Nach unseren bisherigen Untersuchungen ist also beim großen Gerät die Genauigkeit bei Einwaagen von 1,0 und 0,5 g, beim kleinen bei einer solchen von 0,3 g am größten.

In Tab. 3 sind die mit beiden Geräten erhaltenen Mittelwerte für W_{∞} für die verschiedenen Einwaagen noch einmal zusammengefaßt. Sie zeigt, daß die Größe der Einwaage bei dem großen Gerät einen nur geringen Einfluß auf die absolute Größe von W_{∞} ausübt, nur bei dem

Tabelle 3

Zusammenstellung der Mittelwerte für die Wasseraufnahme (W_{∞}) bei verschiedenen Einwaagen

Einwaage	Ton I		Ton II		Geschiebemergel	
	Im großen	Im kleinen	Im großen	Im kleinen	Im großen	Im kleinen
	Gerät		Gerät		Gerät	
1,0 g	77,5	77,2	101,5	101,0	48,5	50,7
0,5 g	75,2	75,5	102,3	98,0	49,3	53,0
0,3 g	77,2	77,7	102,5	101,1	51,1	55,6
0,2 g	77,5	82,3	102,2	105,2	53,3	58,3
Durchschnitt. Wert	76,8	78,2	102,1	101,3	50,6	54,4
Mittlerer Fehler der Mittelwerte . . .	1,1	2,9	0,4	2,9	1,8	3,3

Geschiebemergel ist mit der Verringerung der Einwaage eine Zunahme der Wasserbindung festzustellen. Beim kleinen Gerät schwanken die Werte für W_{∞} etwas mehr, auch ist hier die Zunahme der Wasserbindung mit Verkleinerung der Einwaage bei allen drei Böden deutlich ausgeprägt.

Der mittlere Fehler der Mittelwerte aus allen Einwaagen jedes Bodens ist stets beim großen Gerät kleiner als beim kleinen, das große Gerät arbeitet also genauer.

Die bisherigen Untersuchungen zeigten also, daß beim großen Gerät ein Schwanken der Einwaagen von 0,2 bis 1,0 g keinen nennenswerten Einfluß auf den Wert von W_{∞} ausübt. Beim kleinen Gerät jedoch wurde eine Zunahme des Wertes für W_{∞} bei Verminderung der Einwaage festgestellt. Diese Vergrößerung tritt besonders bei der kleinsten Einwaage (0,2 g) hervor. Da auch die großen Einwaagen für das kleine Gerät weniger günstig sind (vgl. oben), scheint für dieses eine Einwaage von 0,3 g am geeignetsten zu sein.

Zu 3: Wieweit lassen sich die in beiden Geräten erzielten Ergebnisse vergleichen?

Es sollen nur die Werte von W_{∞} miteinander verglichen werden, welche mit den als am zuverlässigsten festgestellten Einwaagen gefunden wurden, also mit 1,0 g und 0,5 g beim großen und 0,3 g beim kleinen Gerät. Für Ton I ergeben sich Werte von 77,5, bzw. 75,2 gegen 77,7, für Ton II 101,5, bzw. 102,3 gegen 101,1 also keine nennenswerten Unterschiede. Für den Geschiebemergel sind die entsprechenden Werte 48,5, bzw. 49,3 gegen 55,6, also eine stärkere Abweichung. Diese Abweichungen scheinen also nicht nur durch das Gerät, sondern auch durch den Boden bedingt zu sein, da ja (vgl. Tab. 1) die Werte für den Geschiebemergel — also einen in der Körnung (trotz Zerkleinerung bis unter 0,2 mm) und petrographischen Zusammensetzung ungleichmäßigeren Boden — überhaupt stärker schwanken. Gerade bei derartigen Böden läßt sich eben trotz sorgfältigster Vermischung nicht immer eine genügend gleichmäßige Durchschnittsprobe herstellen.

.Zu 4: Die Geschwindigkeit der Bestimmungen

Als weiterer Umstand, der für die Bewertung der Geräte mitbestimmend sein kann, kommt auch noch die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme selbst in Frage. Die Dauer des Wasseraufnahmeproganges bei verschiedenen Einwaagen in den beiden Geräten ist in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4
Dauer der Messungen mit verschiedenen Einwaagen

Boden	Einwaage in g	Dauer der Messungen			
		im großen Gerät		im kleinen Gerät	
		Einzelwerte	Mittelwert	Einzelwerte	Mittelwert
Ton I	1,0	4 h 5 h 6 h	5 h	4 h 5 h 8 h	5,7 h
	0,5	30' 1 h 1,5 h	1 h	1 h 2 h 5 h	2,7 h
	0,3	1' 10' 10'	7'	30' 30' 1,5 h	50'
	0,2	15'' 30'' 1'	35''	30' 1 h 1 h	50'
Ton II	1,0	3 h 4 h 5 h	4 h	5 h 5 h 7 h	5,7 h
	0,5	30' 1,5 h 2 h	1,3 h	1 h 2,5 h 3 h	2,2 h
	0,3	10' 20' 1,5 h	40'	1,5 h 1,5 h 1,5 h	1,5 h
	0,2	30' 30' 1 h	40'	1 h 1 h 1,5 h	1,2 h
Geschiebemergel	1,0	30'' 5' 10'	5,2'	10' 1,5 h 1,7 h	1,1 h
	0,5	1' 5' 10'	5,3'	5' 5' 30'	13'
	0,3	15'' 1' 1'	0,45'	10' 15' 30'	18'
	0,2	15'' 30'' 30''	25''	15'' 15'' 15''	15''

In der Tabelle ist nicht die ganze für die Messungen nötige Zeit aufgetragen, sondern nur die Zeit bis zum Stillstand der Wasseraufnahme, die sich nachher praktisch nicht mehr ändert. Daraus folgt, daß für die Beobachtungen außer der in der Tabelle bezeichneten Zeit noch die Zeit für die wiederholten Ablesungen zur Kontrolle der Beendigung des Versuches nötig ist. Hierfür sind noch $\frac{1}{3}$ bis 1 Stunde notwendig.

Aus der Tabelle geht hervor, daß bei der Untersuchung desselben Bodens sich mit der Verminderung der Einwaage auch die für die Beobachtungen nötige Zeit vermindert, und daß zur Erreichung eines Endwertes der Wasseraufnahme das kleinere Gerät etwas mehr Zeit als das große verlangt.

Für das große Gerät ist nur vom Gesichtspunkt des Zeitaufwandes aus gesehen eine Einwaage von 0,5 g zu empfehlen, die Einwaage von 1,0 g verlangt wesentlich mehr Zeit.

Bei den empfohlenen Einwaagen von 0,3 g für das kleine Gerät und 0,5 g beim großen sind nach der Tabelle 4 für die Erreichung des Endwertes 5 Minuten bis $1\frac{1}{2}$ Stunden notwendig, mit der nachfolgenden Kontrollmessung etwa $2\frac{1}{2}$ Stunden.

Auch die Bestimmung der Geschwindigkeit der Wasseraufnahme bestätigt somit, daß dem größeren Enslingerät dem kleineren gegenüber ein gewisser Vorteil zugesprochen werden muß.

Für einige Böden, die eine große Menge von Humus enthalten, kann die Zeit bis zur Beendigung der Wasseraufnahme viel länger sein. Dies zeigen entsprechende Bestimmungen für zwei solcher Böden, nämlich einen Schlamm aus dem Baldeney-See mit 14% Humus und einen Emschlick mit rd. 10% Humus. Die Resultate sind in Tabelle 5 aufgeführt. Die beiden Böden wurden bei den Einwaagen 0,5 und 0,3 g in den beiden Geräten untersucht. Die Zeit des Schlusses der Wasseraufnahme ist in der Tabelle 5 angeführt.

Tabelle 5
Dauer der Messungen bei zwei stark humosen Böden

B o d e n	Einwaage g	Dauer der Messungen	
		im großen Gerät	im kleinen Gerät
Schlamm aus dem Baldeney-See, 14% Humus	0,5	30'	3 h
	0,3	30'	1 h
Emschlick, rd. 10% Humus	0,5	5'	> 4 h
	0,3	3'	> 5 h

Zeichen > bedeutet, daß die Bestimmung in der bezeichneten Zeit unterbrochen wurde, ohne daß die Wasseraufnahme vollkommen beendet war.

Aus der Tabelle geht hervor, daß im großen Gerät der Schluß der Wasseraufnahme in einigen Minuten bis $\frac{1}{2}$ Stunde erfolgte. Im kleinen Gerät wurden als Endzeiten für die Wasseraufnahme des einen Bodens 1—3 Stunden, des anderen sogar mehr als 4—5 Stunden beobachtet.

IV. Zusammenfassung

Es ist klar, daß aus den wenigen Versuchsreihen Folgerungen nur mit Vorsicht gezogen werden dürfen. Die Messungen sollen daher zu gegebener Zeit erweitert werden.

Die bisherigen Versuche lassen unter den genannten Einschränkungen immerhin erkennen, daß die Genauigkeit beider Geräte als annähernd gleich angesehen werden kann und daß im besonderen beim großen Gerät eine Einwaage von 0,5 g, beim kleinen eine solche von 0,3 g am günstigsten ist. Ferner hat sich gezeigt, daß bei Böden mit ungleichmäßiger Zusammensetzung (wie der Geschiebemergel), die Werte für W_{∞} eine größere Streuung zeigen, so daß besonders in diesen Fällen mehrere Bestimmungen angebracht sind.

Literaturangabe

- ENDELL, K., LOOS, W., MEISCHEIDER, H., BERG, V.: Über Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt der Tonminerale und bodenphysikalischen Eigenschaften bindiger Böden. — „Veröffentlichungen des Instituts der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo) an der Techn. Hochschule Berlin, Heft 5, 1938.
- ENSLIN, O.: Über einen Apparat zur Messung der Flüssigkeitsaufnahme von quellbaren und porösen Stoffen und zur Charakterisierung der Benetzbarkeit. — „Die Chemische Fabrik“, 1933, Heft 13, Seite 147/148.