

Die Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche durch die Benetzung mit organischen Flüssigkeiten

Von LEO BESEMER, Königsberg (Pr.)

Mit 2 Figuren

Die Bodenoberfläche ist von allen physikalischen Bodeneigenschaften die wichtigste. Ihre Größe interessiert uns besonders vom pflanzenphysiologischen Gesichtspunkte aus. Denn von ihr hängt in hohem Maße ab: wasserhaltende und wasserfassende Kraft, Hohlraumvolumen, Kohärenz, Plastizität, Verdunstungsfähigkeit, Adsorption und Absorption von Pflanzennährstoffen und alle physiologischen Vorgänge.

Die Bodenoberfläche ist die Summe der Oberflächen der einzelnen Bodenkonstituenten¹⁾. Sie ist eine für den betreffenden Boden typische, mithin spezifische Größe. Und zwar deshalb, weil sie die einzige für den Boden bei jeder Lagerung, bezogen auf die Gewichtseinheit Boden, konstante Größe und wenigstens in nicht allzulanger Zeit unveränderlich ist. Selbst künstliche Düngemittel sind in üblicher Gabe von keinem Einfluß²⁾. Darum ist die Bodenoberfläche auch der Ausgangspunkt für die Klassifizierung der Böden geworden.

Die Sieb- und Schlämmethode gibt uns für die Korngröße der festen Bodenteilechen und damit für die von ihr abhängigen Bodenoberfläche keinen einwandfreien Anhalt. Denn sie setzt eine bestimmte Gestalt der einzelnen Körner voraus und ist ferner von ihrem spezifischen Gewicht und der Lage des Schwerpunktes abhängig³⁾. Der vollkommenste Apparat der mechanischen Analyse, der Sedimentierapparat, der sein Urbild in der Fallröhre von WIEGNER hat, und den ZUNKER zur Bestimmung der „spezifischen Bodenoberfläche“ benutzt hat, einer Zahl, die angibt, wievielfach so groß die für den Wasserdurchfluß wirksame Oberfläche eines Bodens von annähernd kugelförmigen Körnchen ist wie jene der gleichen Gewichtsmenge Boden von gerade 1 mm Korndurch-

¹⁾ MITSCHERLICH, Bodenkunde. Leipzig 1923.

²⁾ HEINRICH, Die Beeinflussung der Hygroskopizität und der Wasserstoffionenkonzentrationen des Bodens durch künstliche Düngung. Diss. Kgb. 1926.

³⁾ MITSCHERLICH, Bodenkunde. Leipzig 1923.

messer¹⁾, gestattet zwar, von jedem polydispersen System, dessen Teilchen zwischen 2 mm und 2 μ Durchmesser besitzen, die kontinuierliche Verteilungskurve aufzunehmen. Jedoch sind die Ergebnisse fehlerhaft, da die Vorbehandlung, z. B. die Schütteldauer der Böden, eine willkürliche ist. Die Hauptschwierigkeit bei sämtlichen Schlämmanalysen liegt aber in der Beschaffung einer einwandfreien elektrolytfreien Probe²⁾.

Eine exakte Bestimmung der Bodenoberfläche besitzen wir in der Benetzungswärme und der aus ihr hervorgegangenen Hygroskopizität³⁾. Bei beiden Methoden wird eine der gesamten Bodenoberfläche proportionale Größe gemessen. Die Größe der Oberfläche ist also das grundlegende Maß sowohl für den Benetzungsvorgang als auch für die Hygroskopizität. Vom praktisch-landwirtschaftlichen Standpunkte aus genügt es auch vollkommen, ein der Bodenoberfläche proportionales Maß zu haben.

Die gesamte Bodenoberfläche setzt sich nun zusammen aus der äußeren und der inneren Bodenoberfläche. Die innere Oberfläche wird gebildet durch die intermizellaren Hohlräume der Humussubstanzen und durch eine wabenartige Gestaltung der Tonteilchen. Für eine große Reihe physikalischer Vorgänge im Boden spielt nur die äußere Oberfläche eine Rolle. So hängt von ihr der Wasserdurchlässigkeits- und Bindigkeitsgrad des Bodens ab. Dieser ist aber wieder ein Maßstab für die Bearbeitbarkeit des Bodens. Je größer nämlich die Oberfläche, je feiner also die Teilchen, um so mehr Berührungspunkte haben sie im gleichen Volumen und um so größer wird die Fläche, an welcher die Ad- resp. Kohäsionskonstante zur Wirkung gelangt. Solch ein Boden neigt daher zum Zusammenkleben. Mit der Feinheit der Teilchen wächst also der Arbeitsaufwand.

Die Bestimmung der äußeren Oberfläche gestattet uns auch, zwischen Ton- und Humusgehalt der Böden zu unterscheiden. Die Hygroskopizität machte diesen Unterschied nicht. Ferner läßt sich durch die äußere Bodenoberfläche und die Hygroskopizität die mizellare Oberfläche bei organischen Substanzen bestimmen, die uns wertvolle Anhaltspunkte über die physikalischen Veränderungen bei

¹⁾ Der Kulturtechniker, 1923. Kritik der Verfahren von KOPECKY, FAUSER und KRAUSE.

²⁾ FRECKMANN und JANERT, LANDSBERG, Die Prüfung der zur Normung vorgeschlagenen Bodenuntersuchungsmethoden hinsichtlich ihrer Eignung zur Ermittlung der zweckmäßigsten Strangentfernung bei Drainagen.

³⁾ RODEWALD, Theorie der Hygroskopizität, Lw. Jb., Bd. 31, S. 675 ff.

der Zersetzung von Humusstoffen geben könnte. — Die ersten Versuche und Bestimmungen der äußeren Bodenoberfläche sind von MITSCHERLICH gemacht worden, und zwar analog der Bestimmung der gesamten Bodenoberfläche mit Hilfe der Benetzungswärme¹⁾. Nur wurde hier nicht Wasser, sondern eine organische Flüssigkeit zur Benetzung verwandt. Die Gründe waren folgende: Bringt man Tonkrümel unter Wasser, so wird die Kohäsion der einzelnen Teilchen durch die Adhäsion zum Wasser vollständig überwunden, und unter der Schwerkraft des Wassers zerfallen die Tonkrümel. Wasserfreie organische Flüssigkeiten wie Benzol, Toluol, Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff dringen zwar in die Tonkrümel ein, sind jedoch nicht imstande, die Kraft der Kohäsion aufzuheben. Sie verhalten sich also darin zum Ton wie das Wasser zu den Humussubstanzen. Weiterhin fand RODEWALD bei der Bestimmung der Quellungswärme der Stärke, daß das Wasser in die mizellare Oberfläche der Stärke eindringen und sie zur Quellung bringen konnte, nicht aber nicht-hygroscopische organische Flüssigkeiten²⁾. Die Erklärung hierfür ist, daß die mizellaren Hohlräume der Humuspartikelchen so eng sind, daß zwar das Wasser mit seinen kleinen Molekülen eindringen und diese Oberfläche benetzen kann, nicht aber organische Flüssigkeiten mit ihren größeren Molekülen³⁾. So konnte man mit Hilfe einer organischen Flüssigkeit die äußere Bodenoberfläche für sich bestimmen.

Versuche MITSCHERLICHs, die äußere Bodenoberfläche mit Hilfe der Benetzungswärme durch Toluol zu ermitteln, haben gezeigt, daß die Toluolbenetzung der äußeren Bodenoberfläche proportional ist. Dieses Verfahren erwies sich jedoch als unzweckmäßig.

Da nun Benetzungswärme und Hygroscopizität in enger Beziehung stehen, machte seinerzeit SCHEEFFER Versuche, die äußere Oberfläche mit Hilfe der Dampfspannung über organischen Flüssigkeiten zu bestimmen⁴⁾. Diese Versuche wurden von MITSCHERLICH,

¹⁾ MITSCHERLICH, Untersuchungen über die physikalischen Bodeneigenschaften. Lw. Jb., Bd. 30, S. 427 ff.

²⁾ RODEWALD, Thermodynamik der Quellung. Zsch. f. physik. Chemie, Bd. 24, S. 200.

³⁾ Molekulargewicht von Wasser	=	18,016
„ „ Benzol	=	78,05
„ „ Toluol	=	92,06
„ „ Tetrachlorkohlenstoff	=	153,84.

⁴⁾ SCHEEFFER, Eine Methode zur Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche. Diss. Kgb. 1909.

SCHEEFFER und FLOESS weiter ausgebaut¹). Sie stellten die Dampfaufnahme von drei sehr verschiedenartigen anorganischen Böden fest, welche beim Ausgleich gegen eine Lösung stattfand, die 5%, 10%, 15% usw. organische Flüssigkeit: Tetrachlorkohlenstoff, Chloroform, Toluol und Benzol enthielt. Dann wurde das Verhältnis zwischen der jeweiligen Beobachtung und der Hygroskopizität des Bodens festgestellt und untersucht, wann dieses annähernd konstant war. Es zeigte sich, daß zu den Versuchen eine Benzolölmischung von 20% die genauesten Werte lieferte.

Werden nun Böden mit nur äußerer Oberfläche durch den Dampf von Wasser oder organischen Flüssigkeiten benetzt, so muß das Verhältnis von Hygroskopizität zur Aufnahme der organischen Flüssigkeit ein konstantes sein. SCHEEFFER ist bei seinen Versuchen zu einem Reduktionsfaktor von 4,25 gekommen. Einen höheren Wert schreibt er dem Humusgehalt des Bodens, der mizellaren Oberfläche, zu. MITSCHERLICH, SCHEEFFER und FLOESS führen bei der Bestimmung der äußeren Oberfläche mit Benzol die Unstimmigkeit des Reduktionsfaktors nicht nur auf den Humusgehalt zurück, sondern nehmen an, daß einige Bodenbestandteile auch eine größere Affinität, vielleicht chemischer Natur, für die Benzoldämpfe besitzen.

Die Benzolaufnahme des Bodens ist eine Benetzung durch Dampfspannungsausgleich. Und zwar handelt es sich hierbei um die mechanische Wirkung der Oberflächenkräfte²). Die an der Oberfläche liegenden Moleküle üben auf die Gas- oder Flüssigkeitsmoleküle gewisse Kräfte aus, welche man als Adhäsionskräfte bezeichnet. Diese ziehen Moleküle von Gasen oder Flüssigkeiten an und bilden so eine immer dichter werdende Schicht um den Molekülkomplex. Die Adhäsionskraft des festen Körpers und in unserem Fall die Kohäsionskraft oder Oberflächenspannung des Benzols bewirken, daß sich das Benzol in einer gleich dichten Schicht um die Oberfläche des Bodens legt. Die Adhäsionskonstante ist aber nur für die erste Schicht konstant. Solange die Dicke der Schicht nicht überschritten wird, muß die Benzolaufnahme der äußeren Bodenoberfläche proportional sein. Für die folgenden Schichten wird die Adhäsionskonstante immer kleiner, da nun nicht mehr eine Adhäsion zwischen Benzol und Boden stattfindet, sondern zwischen Benzol

¹) MITSCHERLICH, SCHEEFFER und FLOESS. Die Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche. Lw. Jb., Bd. 40, S. 645 ff.

²) G. C. SCHMIDT, Über Adsorption von Lösungen. Zsch. f. physik. Chemie, Bd. 74, S. 689 ff.

und den vorher verdichteten Schichten. Schließlich hört eine Adsorption ganz auf, wenn die Adhäsionskraft des Bodens gleich der Oberflächenspannung des Benzols ist¹⁾.

Über die Beziehung von Konzentration des Benzolölgemisches und der durch den Boden aufgenommenen Menge gibt die Adsorptionskurve Fig. 1 Aufschluß.

Mit Steigen der Konzentration nimmt die absorbierte Menge immer langsamer zu. Von einer Konzentration von 10% ab ist die Benzolaufnahme pro 5% nahezu die gleiche. Die Kurve verläuft also angenähert gradlinig, bis schließlich Kondensationser-

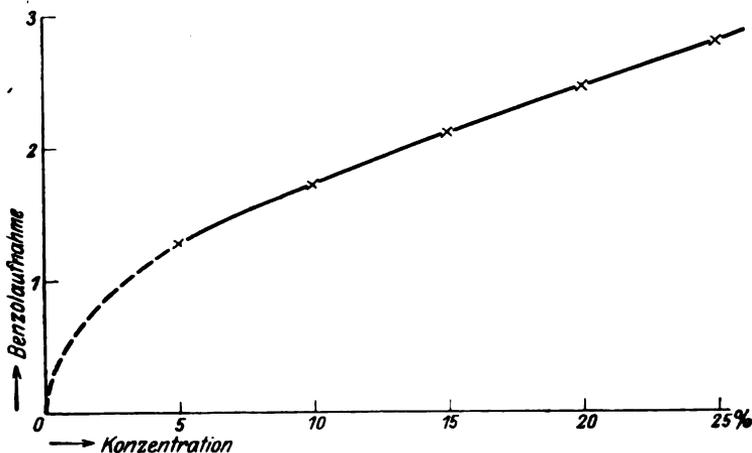


Fig. 1

scheinungen auftreten, d. h. die aufgenommene Benzolmenge steigt stärker an als die betreffende Konzentration²⁾.

Der ganze Verlauf der Adsorption wird wahrscheinlich durch die Formel

$$y = K \cdot x^b$$

wiedergegeben; denn trage ich $\log y$ als Ordinate, $\log x$ als Abszisse auf, so erhalte ich eine Gerade:

$$\log y = \log K + b \cdot \log x,$$

woraus sich b und K , die für eine bestimmte Bodenart konstant sind, berechnen lassen.

¹⁾ RODEWALD, Über Quellungs- und Benetzungsercheinungen. Zsch. f. physik. Chemie, Bd. 33, S. 597.

²⁾ ZSIGMONDY, Kolloidchemie, S. 84 u. 85. Leipzig 1918.

Die Adsorptionskraft ist keine konstante. Je mehr adsorbiert ist, desto schwächer wird die Adsorptionskraft gegenüber dem Widerstand (Oberflächenspannung) der Flüssigkeit. Um die adsorbierte Menge zu vergrößern, muß also der Widerstand des Gemisches verkleinert werden. Dies wird erreicht, wenn das Gemisch konzentrierter gemacht wird. Eine Erhöhung der Temperatur beschleunigt nur die Adsorption, hat jedoch keinen Einfluß auf die adsorbierte Menge¹⁾.

Benzolaufnahme von Friedrichsfelder Ton

Stärke des Benzolölgemisches	Benzolaufnahme
5	1.29
10	1.72
15	2.10
20	2.45
25	2.78

Bei den nachstehenden Versuchen wurde meist mit Benzol gearbeitet und die Hygroskopizität, die Benzolaufnahme und das Verhältnis Hygroskopizität zur Benzolaufnahme bestimmt. Um zu ergründen, worauf die Schwankungen des Reduktionsfaktors zurückzuführen waren, mußte der Humusgehalt, der in erster Linie für diese Beeinflussung in Frage kam, entfernt werden. Dieses geschah durch ca. 20 Minuten langes Glühen der Böden in einem Quarzschälchen bis zur Rotglut. Die Veränderungen des Bodens hauptsächlich der höheren Dispersitätsgrade, der feinsten Teilchen, sind natürlich sehr groß. Sie werden in ihrer Struktur durch die Hitze so weit modifiziert, daß sie in eine Substanz von viel größerer Dichte übergehen. Nach BÜTSCHLI besitzen Tonsubstanzen auch eine wabenartige innere Oberfläche²⁾. Durch das Glühen werden die Wände des Wabenbaues so verdickt, daß sie für Wasser undurchlässig werden; die inneren Hohlräume können kein Wasser einsaugen. Ebenso berichtet VAN BEMMELLEN, daß das Absorptionsvermögen für Dämpfe (Wasser, Alkohol usw., Luft) am stärksten durch Erhitzung verringert und durch kürzere oder längere Glühhitze all-

¹⁾ G. C. SCHMIDT, Über Adsorption von Lösungen. Zsch. f. physik. Chemie, Bd. 74, S. 689 ff.

²⁾ BÜTSCHLI, Über den Bau quellbarer Körper und die Bedingungen der Quellung. Göttingen 1896.

mählich aufgehoben wird¹⁾). Mithin haben wir es beim geglühten Boden nur mit einer äußeren Oberfläche zu tun.

Der Gang der Versuche war nun folgender: Es wurde zuerst die Hygroskopizität des Bodens festgestellt. Dabei war es keineswegs gleichgültig, wie der Boden getrocknet wurde. Selbst beim geglühten Boden kamen z. T. erhebliche Differenzen bei der Benzolaufnahme vor, je nachdem der Boden im Trockenschrank oder über P_2O_5 getrocknet wurde. Diese Unterschiede führe ich nicht darauf zurück, daß sich der Boden während des Trocknungsprozesses in bezug auf seine Oberfläche verändert hat, da er doch geglüht war, sondern darauf, daß der Boden vom Trockenschrank bis zum Wiegen, selbst wenn die Abkühlung über konzentrierter H_2SO_4 erfolgt, geringe Mengen Feuchtigkeit anzieht. So geht ein Teil der Oberfläche, da sich Benzol und Wasser nicht mischen, für die Benzolbenetzung verloren. Die Trocknung erfolgte daher immer über P_2O_5 .

Der absolut trockene Boden wurde dann in einem Exsikkator, der eine dünne Schicht P_2O_5 enthielt, über 15%iger Benzolölmischung aufgestellt. Das P_2O_5 soll die Feuchtigkeit, die während des Abdeckens des Exsikkatordeckels eindringt, anziehen. Es ist m. E. jedoch nicht imstande, etwaige Feuchtigkeit, die der Boden vorher aufgenommen hat, anzuziehen, da hierzu die Adhäsion zwischen Wasser und Boden zu groß ist. SCHEEFFER und FLOESS evakuieren nun das Gefäß zur schnelleren Herbeiführung des Dampfspannungsausgleiches. Da jedoch Benzol eine verhältnismäßig kleine Oberflächenspannung besitzt, verdampft es rasch²⁾). So geht ein Teil des Benzols schon beim Evakuieren verloren. Schickt man wiederum trockene Luft in den Exsikkator, so läßt der Dampfdruck nach, und die äußersten Schichten der adsorbierten Benzolhüllen verdunsten schnell. Die Stärke des Evakuierens spielt natürlich eine große Rolle. Ihr Einfluß wäre geringer, wenn man die Luft zuerst über konzentrierte H_2SO_4 und dann durch ein ca. 15%iges resp. 25%iges Benzolölgemisch gehen lassen würde.

Um diese Nachteile auszuschließen, evakuierte ich die Gefäße nicht; denn Versuche hatten gezeigt, daß auch im nichtevakuierten Gefäß der Dampfspannungsausgleich nach drei Tagen eingetreten war. Nur mußte darauf gesehen werden, daß der Deckel des

¹⁾ VAN BEMMELEN, Die Adsorption, 1910, S. 458—472.

²⁾ Die Oberflächenspannung bei 20° beträgt für Benzol 28,8, für Toluol 28,2 und für Tetrachlorkohlenstoff 25,7. s. FREUNDLICH, Kapillarchemie, S. 38. Leipzig 1922.

Exsikkators fest aufsaß, was sich aber durch Gummischmiere und Belastung erreichen ließ (s. Tabelle I).

Tabelle I

Abhängigkeit des Dampfspannungsausgleiches von der Zeit im nichtevakuierten Gefäß

Bodenart	Benzolaufnahme aus einem 15% igen Gemisch		Benzolaufnahme aus einem 25% igen Gemisch	
	nach 3 Tagen	nach 5 Tagen	nach 3 Tagen	nach 5 Tagen
Ton aus Ostpreußen I	3.21	3.24	3.84	3.82
Ton aus Ostpreußen II	2.73	2.74	3.20	3.21
Ton aus Japan	—	—	12.66	12.67

Tabelle II und auch III zeigen, daß die Benzolaufnahme im nichtevakuierten Gefäß eine größere ist als die im evakuierten. Daß die Hygroskopizität im Gegensatz zur Benzolaufnahme ohne Vakuum zurückgeht, erklärt sich m. E. daher, daß die Verdampfung wegen der großen Oberflächenspannung der 10% igen H_2SO_4 erschwert wird.

Tabelle II

Der Einfluß des Evakuierens auf die Benzolaufnahme des Bodens

Art des Evakuierens	W _H	Benzol- aufnahme W _B	W _H W _B
	Nicht evakuiert	9.93	2.49
9.99		2.53	3.95
Durch eine Vorlage evakuiert	9.93	2.40	4.14
	9.96	2.33	4.27
Stark evakuiert	9.98	2.24	4.46
	10.07	2.21	4.56

Tabelle III

Abhängigkeit der Aufnahme von organischen Flüssigkeiten vom Vakuum

Friedrichsfelder Ton	W _H	Benzol- aufnahme W _B	W _H W _B	Toluol- aufnahme W _T	W _H W _T	Tetrachlor- kohlenstoff- aufnahme W _{CCl₄}	W _H W _{CCl₄}
		Nicht evakuiert	10.02	2.46	4.07	2.41	4.16
2.49	4.02			2.43	4.12	2.58	3.88
Stark evakuiert	10.02	2.21	4.53	2.25	4.45	2.12	4.73
		2.24	4.47	2.29	4.38	2.17	4.62

Bei der Aufbewahrung des Bodens über Benzolöl mußte darauf geachtet werden, daß keine Kondensationserscheinungen eintraten, d. h. keine Benzoltröpfchen auf das Glas oder den Boden anschlügen, was bekanntlich immer eintritt, wenn sich eine Flüssigkeit im abgeschlossenen Raum befindet, in dem Temperatur und Beleuchtung nicht an allen Seiten dieselben sind.

Der Boden blieb drei Tage über dem 15%igen Gemisch stehen, dann wurde seine Benzolaufnahme und der Benzolgehalt des Gemisches festgestellt. Hierauf wurde er wieder drei Tage über 25%iger Lösung aufgestellt, gewogen und durch gradlinige Interpolation die Benzolaufnahme über genau 20% des Benzolölgemisches berechnet. Man ist berechtigt, gradlinig zu interpolieren, da die Benzolaufnahme fast gradlinig von 10% ab mit Steigen der Konzentration erfolgt.

Der genaue Gang der Berechnung findet sich in der Arbeit von MITSCHERLICH, SCHEEFFER und FLOESS. MITSCHERLICH empfiehlt in seiner neuen Ausgabe der Bodenkunde, gleich vom 20%igen Benzolölgemisch auszugehen. Da bei meinen Versuchen die Resultate hierbei größere Schwankungen aufwiesen, blieb ich bei dem Ausgleichsverfahren. Tabelle IV zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen nach dieser Methode.

Unter dem untersuchten Material finden sich sowohl Böden ganz verschiedener geologischer und geographischer Herkunft, als auch solche aus verschiedenen Bodenschichten eines Profils. Daß die chemische Zusammensetzung auch eine jeweilig andere ist, erkennt man an den Farbtönen der einzelnen Böden.

Es ist klar, daß gerade die feinsten Teilchen im Boden, die sich mehr und mehr im kolloidalen Zustande befinden und infolge der in ihnen vorhandenen Konzentration der molekularen Oberflächenenergie von größter Bedeutung für das physikalische und chemische Verhalten der Böden sind, durch das Glühen am meisten verändert werden. So geht z. B. die Hygroskopizität des Japanertons, die im frischen Zustande ungewöhnlich hoch ist (41.12), durch das Glühen am meisten, nämlich um 47%, zurück. Da dieser Boden fast keine Humusbestandteile enthält, müßte die Benzolaufnahme auch um so viel geringer werden; sie geht aber nur um 38% zurück. M. E. ist dieser Unterschied, ebenso wie auch bei den anderen Böden, sowohl auf Humusgehalt des frischen Bodens zurückzuführen als auch besonders darauf, daß die innere Oberfläche des Tons, die im frischen Zustande für Wasser zugänglich war.

jedoch nicht für organische Flüssigkeiten, im geglühten Zustande auch Wasser nicht aufnehmen kann, aus Gründen, die ich an anderer Stelle näher ausgeführt habe.

Daß die Passauer Tone I bis III untereinander verwandt sind, ersieht man daraus, daß die Hygroskopizität, die im frischen Zustande beinahe dieselbe ist, beim Glühen im Vergleich zu den übrigen Böden verhältnismäßig wenig zurückgeht. Ferner ist gerade bei diesen Tonen die Benzolaufnahme eine auffallend geringe. Ich führe dieses auf ihre chemische Zusammensetzung zurück.

Bei Landsberger Sanden, die nach dem Glühen eine Hygroskopizität von 1% und darunter hatten, ließ sich eine Benzolaufnahme zwar feststellen, doch sind die Fehler bei der geringen Menge der Aufnahme zu groß, als daß sich aus den Resultaten Schlüsse ziehen lassen. Für die äußere Oberfläche der Sande kommt daher diese Methode nicht in Frage. Ich habe deshalb auch von einer Veröffentlichung der Ergebnisse abgesehen.

Bei den geglühten Böden haben wir es nur mit der äußeren Bodenoberfläche zu tun. Infolgedessen muß sowohl Wasser als auch Benzol dieselbe Oberfläche benetzen und das Verhältnis Hygroskopizität zur Benzolaufnahme konstant sein. Trägt man die Werte für die Hygroskopizität als Ordinate, die Benzolaufnahme als Abszisse auf, so muß man bei konstantem Verhältnis von Hygroskopizität zur Benzolaufnahme eine Gerade erhalten. Es finden sich aber ganz bedeutende Schwankungen. Es hat z. B. der Japanerton fast 50% mehr Benzol aufgenommen als im Mittel der Versuche, der Passauer Ton I dagegen $\frac{2}{3}$ weniger.

M. E. liegt das daran, daß bei sonst gleichen Oberflächenverhältnissen die Adhäsionskraft zwischen Boden und Benzol nicht konstant ist, sondern sich nach der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Bodenkonstituenten richtet.

Einen weiteren Beweis meiner Annahme sehe ich darin: Bei Böden, deren Benzolaufnahme ich festgestellt hatte, ging die Hygroskopizität bei ihrer nochmaligen Bestimmung, die einige Tage später stattfand, mehr oder weniger zurück, weil noch nicht alles Benzol verdunstet war. Der Zandodonton z. B., der viel Benzol aufnimmt, hatte vor und nach dem Versuch dieselbe Hygroskopizität, während sie beim Passauer Ton I um ca. 13%, bei II und III um ca. 7 bis 8% und beim Passauer Ton IV um 3,5% gesunken war. Erst durch ein vorübergehendes Erhitzen konnte bei diesen Böden die alte Höhe der Hygroskopizität erreicht werden.

Ich führe dieses darauf zurück, daß der Zanolodonton leicht Benzol aufnimmt und an der Luft wiederum auch leicht verdunstet, während die Passauer Tone schwer Benzol aufnehmen und auch schwer abgeben, mithin verhalten sich die Adhäsionskräfte bei den einzelnen Böden verschieden. — Siehe Tabelle IV. —

Tabelle IV

Bodenart	Frischer Boden			Geglühter Boden				
	WH	Benzol- auf- nahme WB	$\frac{WH}{WB}$	WH	Das Gefäß wurde evakuiert		nicht evakuiert	
					WBüb. 15 u. 25% Ge- misch auf 20% interpoliert	$\frac{WH}{WB}$	WBüb. 15 u. 25% Ge- misch auf 20% interpoliert	$\frac{WH}{WB}$
Ton aus Japan	41.10	12.87	3.19	21.83	—	—	8.00	2.73
	41.13	12.87	3.21	22.03	—	—	7.90	2.79
Klingenberger Ton . . .	17.12	3.26	5.25	10.89	1.87	5.82	2.10	5.19
	17.27	3.02	5.75	10.98	1.93	5.69	2.13	5.15
Zanolodonton	15.30	3.60	4.25	8.90	2.92	3.05	3.19	2.79
	15.50	3.76	4.12	9.07	2.99	3.03	3.23	2.81
Passauer Ton I	14.98	1.61	9.30	11.22	1.35	8.31	1.36	8.25
	15.14	1.69	8.96	11.23	1.36	8.26	1.38	8.14
Passauer Ton II	14.90	2.61	5.71	12.70	—	—	2.16	5.88
	14.93	2.57	5.81	12.87	—	—	2.15	5.96
Passauer Ton III	16.46	2.35	7.00	11.85	1.42	8.35	1.65	7.18
	16.54	2.38	6.95	11.87	1.53	7.76	1.71	6.94
Passauer Ton VI	12.90	1.81	7.13	8.34	1.35	6.18	1.51	5.52
	13.13	1.85	7.10	8.37	1.43	5.85	1.58	5.30
Passauer Ton V	10.84	1.80	6.02	5.59	—	—	1.19	4.70
	10.88	1.80	6.04	5.61	—	—	1.21	4.64
Ellwanger Ton	12.40	2.70	4.59	8.31	2.04	4.04	2.23	3.73
	12.61	2.79	4.52	8.33	1.98	4.21	2.21	3.77
Holländischer Ton . . .	11.96	2.28	5.25	6.87	1.66	4.14	1.83	3.75
	12.13	2.34	5.18	7.01	1.73	4.05	1.89	3.71
Friedrichsfelder Ton . .	14.96	—	—	10.00	2.21	4.52	2.46	4.07
				10.04	2.24	4.48	2.49	4.03
Christiania Ton	5.92	0.85	6.96	3.81	—	—	0.66	5.77
	6.08	0.86	7.07	3.86	—	—	0.67	5.76
Kaolin	5.14	0.48	10.71					
	5.21	0.48	10.81					

Die Parallelversuche stimmen zum Teil recht gut überein, und es entspricht bis auf zwei Fälle, wo der Unterschied allerdings sehr gering ist, bei demselben Boden einem Steigen der Hygroskopizität

auch ein Steigen der Benzolaufnahme. Es läßt diese Methode mit hin recht gut Unterschiede der äußeren Oberfläche und auch im Humusgehalt bei ein- und demselben Boden erkennen.

Ferner habe ich fünf Böden, die sich zu Benzol verschieden verhielten, auf Toluol- und Tetrachlorkohlenstoffaufnahme untersucht (s. Tabelle V).

Tabelle V

Bodenart	Benzolaufnahme			Toluolaufnahme über 20 % aus einem 15 und 25 %igen Gemisch interpoliert		Tetrachlorkohlenstoffaufnahme	
	W _H	W _B	W _H /W _B	W _T	W _H /W _T	W _{CCl₄}	W _H CCl ₄
	Passauer Ton I	11.23	1.36 1.38	8.25 8.14	1.31 1.32	8.57 8.51	0.92 0.93
Passauer Ton III	11.86	1.65 1.71	7.19 6.94	1.36 1.44	8.72 8.24	0.88 0.93	13.48 12.71
Holländi- scher Ton	6.94	1.83 1.89	3.79 3.67	1.61 1.64	4.31 4.24	1.81 1.85	3.83 3.75
Zanclod- donton	8.99	3.19 3.23	2.82 2.78	3.14 3.23	2.86 2.78	3.26 3.38	2.76 2.66
Friedr.- felder Ton	10.02	2.46 2.49	4.07 4.02	2.41 2.43	4.16 4.12	2.57 2.58	3.90 3.88

Während Toluol bis auf den Zanclodon-Ton niedrigere Werte ergibt als die Benzolaufnahme, findet man beim Tetrachlorkohlenstoff einen ganz erheblichen Rückgang bei den Passauer Tönen, während der Zanclodon-Ton CCl₄ prozentual am stärksten aufnimmt. Auch hieraus ersieht man, daß die Böden zu den verschiedenen organischen Flüssigkeiten eine verschiedene Adhäsionskraft besitzen.

Chemische Umsetzungen sind m. E. ausgeschlossen; denn erstens ist Benzol eine chemisch-indifferente Flüssigkeit, zum anderen bleibt das Benzol-Gleichgewicht, wenn es einmal eingetreten ist, wochenlang unverändert. Einen anderen Beweis sehe ich darin, daß ein und derselbe Boden, so oft ich ihn auch über einem Benzolgemisch aufstelle, immer dieselbe Benzolmenge aufnimmt.

So komme ich denn zu dem Schluß, daß Gesetzmäßigkeiten zwischen äußerer Bodenoberfläche und Aufnahme von organischen Flüssigkeiten nur insoweit bestehen, als sie nicht durch die Adhäsionskonstante gestört werden. Die von den Böden aufge-

nommene Benzolmenge ist wohl von der Größe ihrer äußeren Oberfläche abhängig, aber die Adhäsionskraft der einzelnen Bodenkonstituenten für organische Flüssigkeiten beeinflusst die Aufnahme mehr oder weniger.

Eine andere Methode zur Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche hat JANERT-Landsberg ausgearbeitet. Er geht von der Benetzungswärme aus. Und zwar soll die Wasserbenetzung die gesamte Bodenoberfläche fassen, also der Hygroskopizität direkt proportional sein, während die Amylalkoholbenetzungswärme eine Universalmethode darstellen soll, die zur Bestimmung der äußeren Oberfläche für alle Böden Berechtigung hat. Der Grundgedanke seiner Methode ist derselbe, den MITSCHERLICH in seiner Dissertation niedergelegt hat¹⁾. Benetzt man nämlich einen Boden mit H_2O , so wird eine Wärme frei, die sich sowohl nach dem Trockenzustande des betreffenden Bodens als auch nach seiner Oberfläche richtet. Ist der Boden absolut trocken, so hängt unter der Voraussetzung, daß die Adhäsionskonstante der festen Bodenteilchen zum Wasser angenähert konstant ist, die freiwerdende Wärme allein von der Oberfläche ab.

Der Apparat, den JANERT angewandt hat, sucht auch ebenso wie das Eiskalorimeter äußere Einflüsse, die die Benetzungswärme verschieben könnten, fernzuhalten; sein Bau ist jedoch wesentlich einfacher. Er besteht aus einem Messinggefäß a, das sich isoliert in einem anderen b befindet. Ein Glasdeckel mit Messingblech c, in den ein Trichter d zum Einfüllen des Bodens und ein in $\frac{1}{20}^\circ$ eingeteiltes Thermometer e eingekittet sind, schließt das Kalorimetergefäß nach oben hin ab. S. Fig. 2.

Der Gang der Untersuchung ist nun folgender: 5 bis 50 g Boden werden im Trockenschrank 6 Stunden bei 105 bis 110° getrocknet, abgekühlt und gewogen. Nachdem in einem besonderen Apparat die Temperatur des Bodens festgestellt ist, wird der Boden in das Kalorimetergefäß geschüttet, das vorher mit destilliertem Wasser gefüllt war. Die Wassermenge richtet sich nach der Bodenmenge, während die Bodenmenge so bemessen sein soll, daß die Benetzungswärme die Temperatur im Kalorimeter 1° nicht wesentlich erhöht. Die Ausgangstemperaturen von H_2O und Boden müssen zwischen 18 und 20° liegen. An dem Kalorimeterthermometer

¹⁾ MITSCHERLICH, Beurteilung der physikalischen Eigenschaften des Ackerbodens mit Hilfe seiner Benetzungswärme. Diss. Kiel 1898.

kann man nun die Temperaturerhöhung ablesen und die Wasserbenetzungswärme (Bw) in kal/g nach folgender Formel berechnen:

$$Bw = \frac{0,2 G \cdot (t_3 - t_1) + (K + F) (t_3 - t_2)}{G}$$

Hierin bedeuten: 0,2 = spezifische Wärme des Mineralbodens; G = Bodengewicht in g; t_1 = Ausgangstemperatur des Bodens; t_2 = Ausgangstemperatur des Kalorimeters + Benetzungsflüssigkeit; t_3 = höchste Endtemperatur; K = Wasserwert des Kalorimeters; F = Wasserwert der angewandten Flüssigkeitsmenge.

Der Wasserwert gibt an, daß das an der Erwärmung teilnehmende kalorimetrische System einer bestimmten Wassermenge entspricht. Die Berechnung erfolgt bei festen Körpern durch Multiplikation des Gewichts mit der spezifischen Wärme der betreffenden Substanz. Bei Flüssigkeiten ist der Wasserwert gleich dem Volumen mal spezifischem Gewicht mal spezifischer Wärme. Die spezifische Wärme gibt an, wieviel g Wasser 1 g der betreffenden Substanz entspricht, da ja alle Wärmemengen auf H_2O bezogen sind¹⁾.

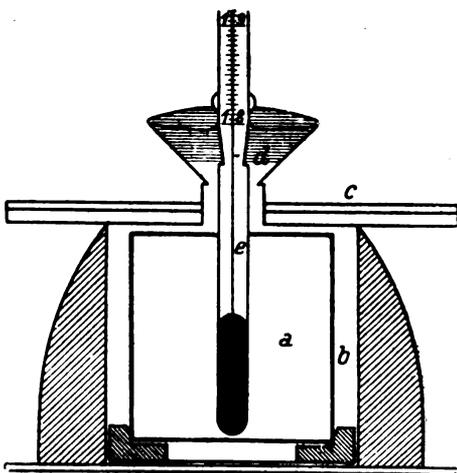


Fig. 2

Genau so ist der Gang der Untersuchung mit Amylalkohol. Nur die Berechnung ist insofern anders, als für diese Flüssigkeit der Wasserwert eingesetzt werden muß.

Was nun die Methode selbst anbelangt, so ist zu sagen, daß ihr noch einige Mängel anhaften. Durch das mindestens 6 Stunden lange Trocknen im Trocknungsschrank bei 105 bis 110° wird der frische Boden je nach seiner Feinheit mehr oder weniger verändert. Der dadurch entstehende Fehler wird noch vergrößert, wenn ich den Boden zum Abkühlen allzu lange im Exsikkator stehen lasse. Ich fand z. B. bei einem Boden, der zum Abkühlen eine Stunde stehen gelassen wurde, eine Benetzungswärme von 6,56 und 6,64 bei

¹⁾ ROTH, Chemikerkaufender, Berlin 1926.

Parallelversuchen, die ca. 4 Stunden abkühlten, eine solche von 5,67 und 5,76. Diesen Rückgang führe ich darauf zurück, daß der Boden Feuchtigkeit angezogen hat, trotzdem er über Chlorcalcium stand.

Beim Einfüllen des Bodens in das Kalorimetergefäß läßt sich auch bei größter Vorsicht ein Verstauben nicht vermeiden, zumal der Boden, um nicht zu lange mit der Luftfeuchtigkeit in Berührung zu bleiben, schnell eingefüllt werden muß.

Die größten Fehler werden jedoch bei der Bestimmung der Endtemperatur vorkommen. Hier liegt es ganz in der Hand des Untersuchers, wann er diesen Zeitpunkt für gekommen hält. Mit hin werden die Resultate immer mit einem subjektiven Fehler behaftet sein.

Falls der Boden krümelig ist, läßt sich die höchste Endtemperatur erst recht schwer fassen, da die benetzende Flüssigkeit, besonders wenn die Teilchen sehr fest zusammenhalten, oft eine geraume Zeit braucht, um in das Innere dieser Krümel einzudringen. Denn nur so kann ich mir erklären, daß bei ein und demselben Boden bei grobem Material die Benetzungswärme gegenüber feinem Material zurückblieb. Bei der Hygroskopizität trat das Gegenteil ein, was auch zu verstehen ist, da gerade die feinsten Teilchen sich gegenseitig am stärksten anziehen.

Bei Böden mit sehr hoher W_H ist eine Bodenmenge von 5 g noch zu groß, da die Temperaturerhöhung 1° wesentlich übersteigt. Nimmt man aber weniger Boden, so ist der Versuchsfehler infolge der Probeentnahme wieder ein zu großer.

Über die Beziehungen zwischen Hygroskopizität, Wasserbenetzung, Amylalkoholbenetzung und Benzolaufnahme zueinander geben die Tabellen VI, VII Aufschluß.

Was nun die Resultate selbst anbetrifft, so scheint bis auf drei Böden, also in 75% der Fälle, eine gewisse Proportionalität zwischen W_H und Wasserbenetzung wenigstens beim frischen Boden zu bestehen. Der Japaner-Ton, Zanclodon-Ton und Holländische Ton weichen allerdings ganz beträchtlich ab. Sie sind daher auch bei der Berechnung der Kurve unberücksichtigt geblieben. Desgleichen der Christiania-Ton, der jedoch nur deshalb ausfiel, weil der wahrscheinliche Fehler so gering wurde. Auffallenderweise sind es gerade die Böden, die, bezogen auf die Gewichtseinheit Boden, die größte Benzolaufnahme von den untersuchten Böden haben. Fast scheint es also, als ob die Hygroskopizitätswerte zu niedrig ausgefallen sind. Beim Japaner-Ton

würde die Abweichung zum Teil darauf zurückzuführen sein, daß wegen der starken Temperaturerhöhung nur mit ca. 2,5 g Boden gearbeitet wurde. Auch im geglühten Zustande zeigen diese drei Böden eine größere Wasserbenetzung als die übrigen. Deshalb sind diese Abweichungen nicht auf Fehler in der Versuchsanstellung zurückzuführen.

Die Amylalkoholbenetzung B_A gibt beim frischen Boden mit der W_H wenig Übereinstimmung, wohl aber sind gewisse Zusammenhänge mit der Wasserbenetzung B_w vorhanden. S. Tab. VI. Das Verhältnis Wasser- zur Amylalkoholbenetzung schwankt zwischen 1,23 und 1,78. Es beträgt im Mittel $1,48 \pm 0,11$. Der wahrscheinliche Fehler beträgt also 7,4% des Mittels. Benzol und Amylalkohol fassen zum Teil dieselbe Oberfläche. Wo die Unterschiede besonders groß sind, spielt wohl die Adhäsionskonstante eine erhebliche Rolle. Benzolaufnahme und Wasserbenetzung lassen keinen Zusammenhang erkennen.

Beim geglühten Boden verschiebt sich dieses Bild etwas. S. Tabelle VII. Hier faßt die Wasserbenetzung bei Boden 1, 3 und 4 auch eine größere Oberfläche als die Hygroskopizität, während Passauer Ton I und II eine geringere Benetzungswärme liefern, als nach ihrer W_H zu erwarten ist. Auch hier läßt sich wieder eine gewisse Beziehung zur Benzolaufnahme erkennen; denn diese beiden Böden nehmen am wenigsten organische Flüssigkeit auf. Das Verhältnis W_H zur Wasserbenetzung schwankt zwischen 1,98 und 3,61. Es scheint das Glühen die Benetzung also wesentlich zu beeinflussen. Das Verhältnis Wasser- zur Amylalkoholbenetzung beträgt im Mittel $1,44 \pm 0,11$, der wahrscheinliche Fehler 7,6% des Mittels. Der frische Boden ist hiernach also frei von Humussubstanz. Zwischen Amylalkoholbenetzung und Hygroskopizität besteht ebensowenig eine Gesetzmäßigkeit wie zwischen Benzol und den Benetzungswärmen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Wasser- und Amylalkoholbenetzungswärme zwar die Hygroskopizitätsmethode nicht ersetzen können, daß sie aber doch imstande sind, uns einen gewissen Anhalt über die Größe der Bodenoberfläche zu geben.

Abstract

Recapitulating it may be stated that the water- and amyloalcoholmoisteningcalories cannot really replace the hygroscopticity-method of determination of the soil-surface, but that they are indeed able to give us a certain knowledge of the size of the soil-surface.

Tabelle VI

Frischer

Bodenart	WH	Wasserbe- netzungs- wärme	WH Wasser- ben.	Amyl- alkohol- benetzw.	Wasserben- durch Amyl- alkohol- benetzung																																																																																																																														
1. Ton a. Japan . . .	41.10	18.61	(2.19)	11.87	1.58																																																																																																																														
	41.13	18.91		11.94		2. Klingenberger Ton . .	17.12	7.06	2.45	4.80	1.45	17.27	6.99	4.92	3. Zanelodonton . . .	15.30	9.20	(1.67)	6.47	1.42	15.50	9.30	6.50	4. Holländischer . . .	11.96	6.86	(1.77)	4.60	1.46	12.13	6.76	4.60			4.75	5. Passauer Ton V . . .	10.84	4.30	2.52	3.26	1.30	10.88	4.31	3.37	6. Passauer Ton IV . . .	12.90	5.16	2.50	3.63	1.43	13.13	5.16	3.66		5.32		7. Passauer Ton III . . .	16.46	6.39	2.57	4.11	1.56	16.54	6.42	4.13	8. Passauer Ton II . . .	14.90	5.93	2.52	4.79	1.23	14.93	5.97	4.85	9. Passauer Ton I . . .	14.98	5.87	2.55	—	—	15.14	5.93		10. Ellwanger Ton . . .	12.40	4.93	2.52	3.17	1.55	12.61	4.99	3.22	11. Christiania-Ton . . .	5.92	2.15	(2.78)	1.28	1.67	6.08	2.16	1.29	12. Kaolin	5.14	2.03	2.51	1.15	1.78	5.21	2.05			2.08			2.08				(2.38 ± 0.22)				Mittel			2.52		1.48			
2. Klingenberger Ton . .	17.12	7.06	2.45	4.80	1.45																																																																																																																														
	17.27	6.99		4.92		3. Zanelodonton . . .	15.30	9.20	(1.67)	6.47	1.42	15.50	9.30	6.50	4. Holländischer . . .	11.96	6.86	(1.77)	4.60	1.46	12.13	6.76	4.60					4.75		5. Passauer Ton V . . .	10.84	4.30	2.52	3.26	1.30	10.88	4.31	3.37	6. Passauer Ton IV . . .	12.90	5.16	2.50	3.63	1.43		13.13	5.16		3.66			5.32		7. Passauer Ton III . . .	16.46	6.39	2.57	4.11	1.56	16.54	6.42	4.13	8. Passauer Ton II . . .	14.90	5.93	2.52	4.79	1.23	14.93	5.97	4.85	9. Passauer Ton I . . .	14.98	5.87	2.55	—	—	15.14	5.93		10. Ellwanger Ton . . .	12.40	4.93	2.52	3.17	1.55	12.61	4.99	3.22	11. Christiania-Ton . . .	5.92	2.15	(2.78)	1.28	1.67	6.08	2.16	1.29	12. Kaolin	5.14	2.03		2.51	1.15		1.78		5.21	2.05			2.08			2.08				(2.38 ± 0.22)				Mittel			2.52		1.48			
3. Zanelodonton . . .	15.30	9.20	(1.67)	6.47	1.42																																																																																																																														
	15.50	9.30		6.50		4. Holländischer . . .	11.96	6.86	(1.77)	4.60	1.46	12.13	6.76	4.60					4.75		5. Passauer Ton V . . .	10.84	4.30	2.52	3.26	1.30	10.88	4.31	3.37	6. Passauer Ton IV . . .	12.90	5.16	2.50	3.63	1.43	13.13	5.16	3.66			5.32				7. Passauer Ton III . . .	16.46	6.39	2.57	4.11	1.56	16.54	6.42	4.13	8. Passauer Ton II . . .	14.90	5.93	2.52	4.79	1.23	14.93	5.97	4.85	9. Passauer Ton I . . .	14.98	5.87	2.55	—	—	15.14	5.93		10. Ellwanger Ton . . .	12.40	4.93	2.52	3.17	1.55	12.61	4.99	3.22	11. Christiania-Ton . . .	5.92	2.15	(2.78)	1.28	1.67	6.08	2.16	1.29	12. Kaolin	5.14	2.03	2.51	1.15	1.78	5.21	2.05				2.08				2.08					(2.38 ± 0.22)				Mittel			2.52		1.48				0.02		0.11						
4. Holländischer . . .	11.96	6.86	(1.77)	4.60	1.46																																																																																																																														
	12.13	6.76		4.60																																																																																																																															
				4.75																																																																																																																															
5. Passauer Ton V . . .	10.84	4.30	2.52	3.26	1.30																																																																																																																														
	10.88	4.31		3.37																																																																																																																															
6. Passauer Ton IV . . .	12.90	5.16	2.50	3.63	1.43																																																																																																																														
	13.13	5.16		3.66																																																																																																																															
		5.32																																																																																																																																	
7. Passauer Ton III . . .	16.46	6.39	2.57	4.11	1.56																																																																																																																														
	16.54	6.42		4.13																																																																																																																															
8. Passauer Ton II . . .	14.90	5.93	2.52	4.79	1.23																																																																																																																														
	14.93	5.97		4.85																																																																																																																															
9. Passauer Ton I . . .	14.98	5.87	2.55	—	—																																																																																																																														
	15.14	5.93																																																																																																																																	
10. Ellwanger Ton . . .	12.40	4.93	2.52	3.17	1.55																																																																																																																														
	12.61	4.99		3.22																																																																																																																															
11. Christiania-Ton . . .	5.92	2.15	(2.78)	1.28	1.67																																																																																																																														
	6.08	2.16		1.29																																																																																																																															
12. Kaolin	5.14	2.03	2.51	1.15	1.78																																																																																																																														
	5.21	2.05																																																																																																																																	
		2.08																																																																																																																																	
		2.08																																																																																																																																	
		(2.38 ± 0.22)																																																																																																																																	
Mittel			2.52		1.48																																																																																																																														
			0.02		0.11																																																																																																																														

Tabelle VI

Boden

W _H Amylalkohol	Benzol- aufnahme W _B	W _B Amylalkohol	W _B Wasser- benetzung	W _H /W _B
3.46	12.82 12.87	1.08	0.68	3.20
3.54	3.26 3.02	0.65	0.45	5.99
2.37	3.60 3.76	0.56	0.40	4.18
2.59	2.28 2.34	0.50	0.33	5.22
3.27	1.80 1.80	0.54	0.42	6.03
3.57	1.81 1.85	0.50	0.35	7.11
4.00	2.35 2.38	0.58	0.37	6.96
3.09	2.61 2.57	0.54	0.44	5.75
—	1.61 1.69	—	0.28	9.13
3.91	2.70 2.79	0.86	0.55	4.55
4.65	0.85 0.86	0.67	0.40	7.02
4.47	0.48 0.48	0.41	0.23	10.79
3.54		0.63	0.41	6.33
0.47		+ 0.12	+ 0.07	+ 1.38

Tabelle VII

Geglühter

Bodenart	WH	Wasser- benetzungs- wärme	WH: Wasser- ben.	Amyl- alkohol- benetzw.	Wasserben- durch Amylalkohol- benetzung
1. Ton aus Japan . . .	21.83	10.91	2.00	6.32	1.71
	22.03	10.93		6.38	
		11.06		6.56	
2. Klingenberger Ton .	10.89	3.93	2.78	2.36	1.67
	10.98	3.94		2.36	
3. Zanolodon-Ton . . .	9.12	4.37	2.08	3.23	1.35
	9.13	4.40		3.29	
4. Holländischer Ton .	6.89	3.47	1.98	2.74	1.26
	6.90	3.50		2.80	
5. Passauer Ton V . . .	5.59	1.99	2.78	1.38	1.45
	5.61	1.99		1.39	
		2.05			
6. Passauer Ton IV . .	8.34	2.85	2.91	2.03	1.39
	8.37	2.92		2.08	
7. Passauer Ton III . .	11.85	—	—	—	—
	11.87				
8. Passauer Ton II . . .	12.70	3.51	3.61	2.36	1.47
	12.82	3.52		2.41	
		3.54			
9. Passauer Ton I . . .	11.22	3.31	3.34	2.52	1.32
	11.23	3.33		2.58	
		3.44			
10. Ellwanger Ton . . .	8.28	2.98	2.77	2.36	1.25
	8.39	3.04		2.43	
11. Christiania	3.81	1.35	2.80	0.88	1.54
	3.86	1.38		0.90	
12. Friedrichsfelder Ton	10.00	3.62	2.72	2.62	1.40
	10.04	3.68		2.62	
		3.73			
Mittel			2.71		1.44
± r			± 0.31		± 0.11

Tabelle VII

Boden

WH Amylalkohol	Benzolaufnahme WB	WB: Amylalkohol	WB: Wasser- benetzung	WH WB
3.42	7.90 8.00	1.24	0.72	2.76
4.64	2.10 2.13	0.90	0.54	5.16
2.80	3.33 3.33	1.02	0.76	2.74
2.46	1.89 1.90	0.68	0.54	3.63
4.03	1.19 1.21	0.86	0.60	4.67
4.06	1.51 1.58	0.75	0.54	5.39
—	1.65 1.71	—	—	7.06
5.34	2.16 2.15	0.90	0.61	5.92
4.40	1.36 1.38	0.54	0.41	8.20
3.48	2.24 2.25	0.90	0.75	3.71
4.32	0.66 0.67	0.75	0.49	5.73
3.82	2.46 2.49	0.95	0.67	4.04
3.89		0.86	0.60	4.92
± 0.57		± 0.12	± 0.08	± 1.17

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Besemer Leo

Artikel/Article: [Die Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche durch die Benetzung mit organischen Flüssigkeiten 182-201](#)