

Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden

Autor(en): **Richard, Felix**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **106 (1955)**

Heft 4

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-764528>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden¹

Von *Felix Richard*

(114.12)

Inhaltsverzeichnis

1. Aufbau des Bodens
2. Beobachtungen über das Verhalten des Wassers im Boden
3. Die Wasserbindung im Boden
 - Die Feldkapazität
 - Der permanente Welkepunkt
 - Das pflanzenverwertbare Wasser
4. Die Porengrößenverteilung im Boden
5. Bedeutung und praktische Anwendungsmöglichkeit der energetischen Betrachtung der Wasserbindung im Boden

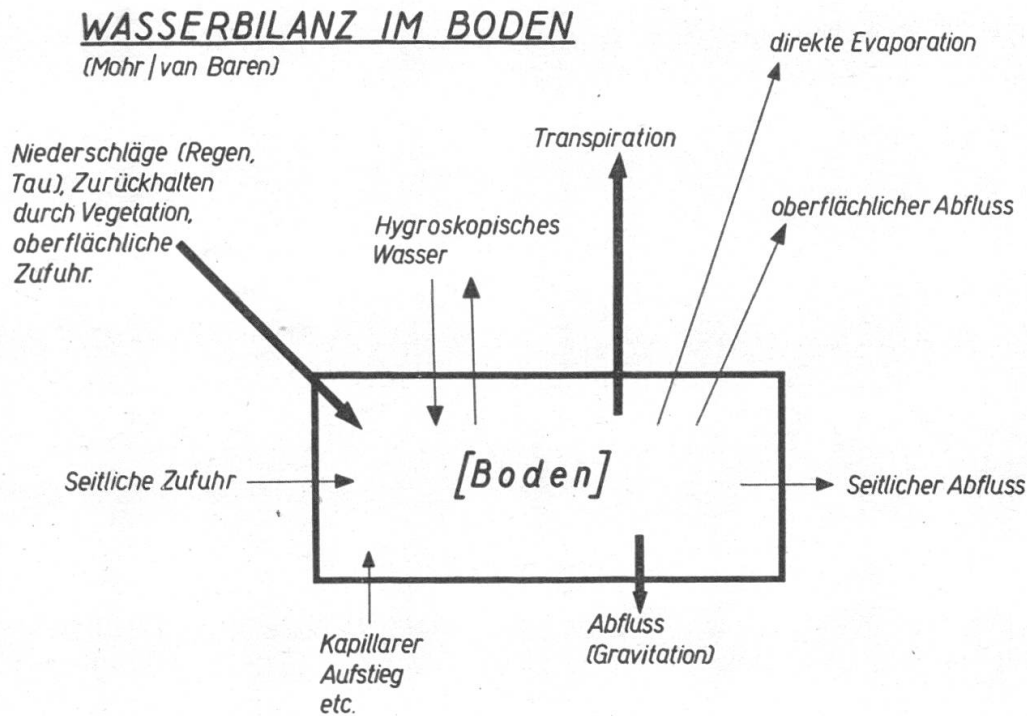
1. Aufbau des Bodens

Wenn wir an einem schönen, warmen Frühlingstag durch unsere Wälder spazieren, dann bestaunen wir immer wieder das geheimnisvolle Wirken der erwachenden Natur. Unaufhaltsam öffnen sich die Knospen, es entfalten sich die jungen, zarten Blätter der Laubbäume, und in kurzer Zeit ist das Waldesinnere wieder mit lebendem Blätterwerk ausgefüllt. Eingenommen von der Schönheit des Waldes, denken wir in solchen Augenblicken selten an die im Boden versteckt lebenden Wurzeln, die für die Standfestigkeit des Baumes und für die Wasser- und Nährstoffaufnahme zu sorgen haben. Der Waldboden ist der Lebensraum der Baumwurzeln. Damit die Wurzeln wachsen können, muß der Boden eine bestimmte Lockerheit haben, er muß verwertbare Nährstoffe, Luft und vor allem Wasser enthalten.

Der Wassergehalt eines Bodens wird durch zahlreiche, nicht immer eindeutig trennbare Faktoren beeinflusst, die je nach örtlicher Lage starken Veränderungen unterworfen sind. Die *Wasserbilanz* haben *M o h r* und *v a n B a r e n* (1954) in folgendem Diagramm übersichtlich dargestellt (Figur 1). Die resultierende Strömungsrichtung des Bodenwassers ist für die Bodenentwicklung und für viele Bodeneigenschaften entscheidend. *P a l l m a n n* definierte 1947 in seinem Zürcher

¹ Antrittsvorlesung, gehalten am 15. Januar 1955 an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.

Bodenklassifikationssystem vier Hauptperkolationsrichtungen, nämlich die nach unten gerichtete *Endoperkolation*, die nach oben gerichtete *Exoperkolation*, die periodisch wechselnde *Amhiperkolation* und die allseitig gerichtete *Periperkolation*. Von allen Fragen, die mit dem Wasserhaushalt zusammenhängen, wollen wir heute speziell die Frage der *Wasserbindung* im Boden untersuchen.



Figur 1

Die Wasserbilanz im Boden nach Mohr und van Baren

Es ist praktisch keine Waldentwicklung denkbar, wenn nicht genügend verwertbares Wasser im Boden vorhanden ist. Sowohl Wassermangel wie Wasserüberschuß verursachen in unseren Breiten in der Regel ertragsärmere Wirtschaftswälder. Die Menge des verwertbaren Wassers hängt vom Klima, von der Topographie und besonders aber vom komplizierten *Aufbau* des Bodens ab.

Zu den *wesentlichen Bauelementen* des Bodens gehören die festen anorganischen Bodenbestandteile, die organischen Zersetzungsprodukte, die wir Humus nennen, die gesamte Bodenlebewelt, das Wasser und die Luft. Durch die biologische Tätigkeit der Bodenlebewelt werden die einzelnen festen anorganischen und organischen Bauelemente in kunstvoller Weise vermengt und so zu einem Sekundärgefüge aufgebaut, daß im Boden eine sehr große Zahl von Krümelaggregaten mit charakteristischer Form, Formfestigkeit und Größe gebildet werden. Diese Aggregate

sind in einer für einen bestimmten Boden nicht zufälligen, sondern kennzeichnenden Art mit Poren und Hohlräumen verschiedenster Form und Größe durchzogen.

Die Summe aller Poren und Hohlräume in und zwischen den Aggregaten wird als *Porenvolumen* bezeichnet, dessen Variabilität in Wald- und Freilandböden B u r g e r (1922, 1938, 1946, 1952) in zahlreichen Publikationen eingehend untersucht hat. Das Porenvolumen hat viele Funktionen zu erfüllen: Hier befinden sich die Gänge, durch die der Luftsauerstoff in den Boden diffundieren kann; hier suchen die Wurzelhaare ihren Weg zu den kolloiden Ton- und Humusoberflächen, die Nährstoffe für die Pflanzen abgeben; hier wird das Wasser festgehalten, das die Pflanzen zum Wachstum nötig haben. Die Art des Porenvolumens, d. h. Menge, Form und Verteilung der Poren verschiedener Größe im Wurzelraum bestimmen in hohem Maße die Drainage-, Durchlüftungs- und Wasserspeichungsverhältnisse eines Bodens. Einige einfache Beobachtungen über das Verhalten des Bodenwassers sollen unsere Problemstellung verständlich machen.

2. Beobachtungen über das Verhalten des Wassers im Boden

- Durch starken Regenfall seien in einem lockeren Boden alle Poren mit Wasser gefüllt worden. Dieser Zustand bleibt, wie die Erfahrung lehrt, nicht lange bestehen. Unter dem Einfluß der Schwerkraft wird das Wasser aus den größten Poren sehr rasch wegdrainiert. Es bleibt nur jenes Wasser im Boden zurück, das durch die Gravitationskraft nicht bewegt werden kann. Wurzelt keine Vegetation im Boden und wird die oberflächliche Wasserverdunstung vom Boden in die Atmosphäre verhindert, dann bleibt der einmal erreichte Wassergehalt über Wochen konstant. Wir stellen fest, daß es im lockeren Boden eine bestimmte Menge grober Poren gibt, die nur kurze Zeit mit Wasser, dafür meistens mit Luft gefüllt sind.
- Wir kehren aus den Ferien zurück und bemerken zu unserer Überraschung, daß die Geranien am Fenster welk geworden sind. Bestimmen wir den Wassergehalt des Bodens im Wurzelraum, dann können wir beobachten, daß am Welkepunkt immer noch beträchtliche Mengen Wasser vorhanden sind. Wir stellen fest, daß die Pflanze nicht alles Wasser, das sich im Boden befindet, aufnehmen kann.
- Vom Hausdach tropft Regenwasser auf den ausgetrockneten Boden. Während der unter dem Schutze des Daches stehende Boden unbenetzt bleibt, wird der übrige Boden rasch befeuchtet und damit dunkler gefärbt. Eine scharfe Grenze, die *Naßfront* genannt wird, verläuft zwischen benetztem und unbenetztem Boden. Noch

mehrere Tage nach dem Regen bleibt sie praktisch an Ort und Stelle. Wir schließen daraus, daß im weitgehend trockenen Boden sich Feuchtigkeitsunterschiede nur äußerst langsam ausgleichen.

Die Beispiele zeigen, daß es in einem Boden, der keine undurchlässigen Schichten hat und der vom Grundwasser nicht beeinflußt wird, Wasser gibt, das rasch wegtransportierbar, Wasser das durch die Pflanze verwertbar, und solches, das nicht verwertbar ist. Ferner stellen wir fest, daß trotz großer Feuchtigkeitsunterschiede die Wasserbewegung von den feuchteren nach den trockeneren Zonen des Bodens sehr langsam vor sich geht.

Woher kommt dieses unterschiedliche Verhalten verschiedener Fraktionen des Bodenwassers?

3. Die Wasserbindung im Boden

Die Bestimmung des Wassergehaltes nach Gewichtsprozenten sagt nichts darüber aus, ob das Wasser im Boden leicht beweglich ist, ob es durch die Pflanze verwertet bzw. nicht verwertet werden kann. Buckingham versuchte bereits im Jahre 1907 das verschiedene Verhalten des Wassers im Boden mit der *Intensität der Wasserbindung* zu erklären. Buckingham (1907), Briggs und Shantz (1912) und Richards (1928) betrachten die Wasserbindung im Boden als *Energiefunktion*. Nach diesen Autoren kann ferner die Ursache der *Wasserbewegung* im Boden als Folge einer *Differenz* in der freien Energie des Bodenwassers betrachtet werden, die zwischen zwei Punkten im Boden existiert. Es kann gezeigt werden, daß viele Kräftequellen für den Energieinhalt des Wassers im Boden verantwortlich gemacht werden müssen. Als wichtigste sind folgende zu erwähnen:

- Verankerung im Kristallgitter
- Hydratation
- Osmotische Drucke der Bodenlösung
- Kapillarität
- Gravitation.

Die *wesentlichen Energiequellen* des hauptsächlich in *Poren* festgehaltenen Wassers sind im humiden Klima nur die kapillaren Kräfte. Das Konstitutions- und Hydratationswasser braucht, weil sie zu stark gebunden und praktisch stets vorhanden sind, nicht berücksichtigt zu werden. In humiden Klimagebieten, wie in der Schweiz, sind erfahrungsgemäß die Salzkonzentrationen in Bodenlösungen so klein, daß auch die *osmotischen Drucke* als Ursache des Inhaltes an freier Energie des Porenwassers außer Betracht fallen.

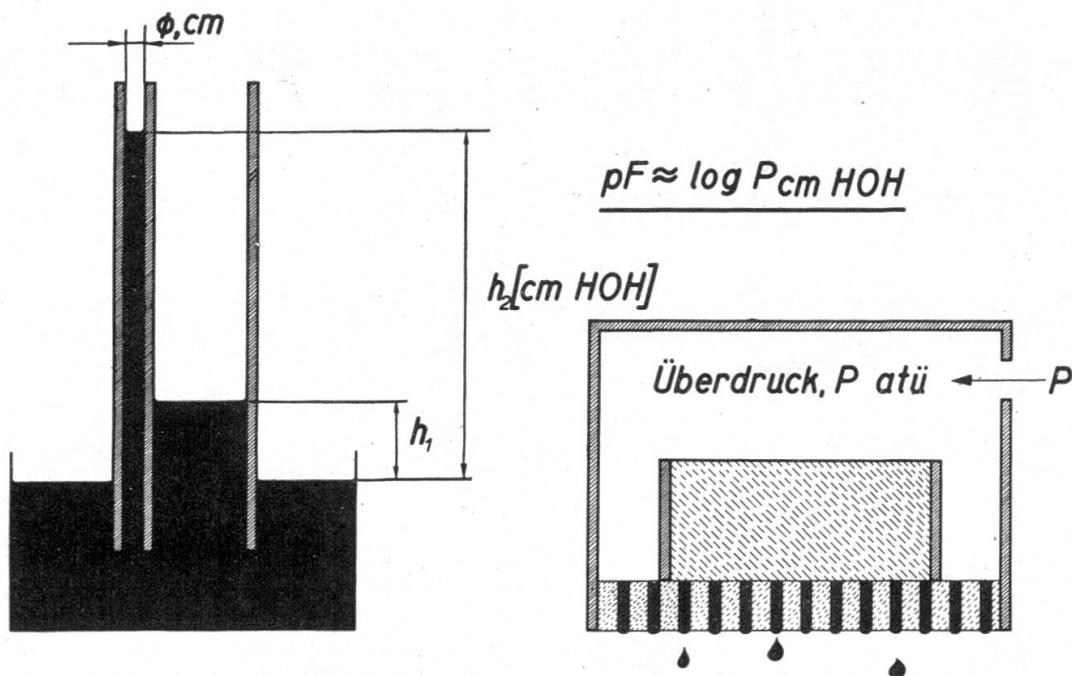
Da also praktisch nur die Kapillarkräfte als Energiequelle zu berücksichtigen sind, ist die Bestimmung der Wasserbindung als Energie-

funktion sehr vereinfacht. Wir sind nämlich in humiden Klimagebieten berechtigt, zur Bestimmung der Wasserbindung an Stelle der direkt sehr schwierig zu erfassenden thermodynamischen freien Energie die angenähert numerisch gleich großen Kapillarkräfte zu messen, durch die das Wasser im Boden festgehalten wird.

Wählen wir eine reine, freie Wasseroberfläche als Nullniveau, dann besitzt das im Boden gebundene Wasser *negative Energiebeträge*, denn wir müssen Energie aufwenden, um es vom Boden abzutrennen. Im wassergesättigten Boden steht nur das am lockersten gebundene Wasser unter einem Druck von 0 atm, während das fester gebundene Wasser unter *negativem Drucke* steht, den wir auch *Saugdruck* oder *Unterdruck* nennen. Der Boden saugt das Wasser an. Muß eine Pflanze aus einem *stark ungesättigten* Boden Wasser aufnehmen, dann benötigt sie hierzu *mehr* Energie, als wenn sie Wasser aus einem nahezu *gesättigten* Boden aufnehmen muß.

Zur Bestimmung der Wasserbindung geht man wie folgt vor:

Stellen wir Kapillaren mit verschiedenen Durchmessern mit einem Ende in ein Wassergefäß, dann steht bei Gleichgewicht das Wasser in den Kapillaren um so höher, je feiner der Kapillardurchmesser ist (Figur 2). Will man aus einer bestimmten Kapillare Wasser herausnehmen, dann muß man eine Kraft anwenden, die der Oberflächenspannung und daher dem Gewicht der hochgezogenen Wassersäule entspricht.



Figur 2

Links: Schematische Darstellung der kapillaren Steighöhe bei verschiedenen Kapillardurchmessern

Rechts: Prinzip der Druckmembran zur Bestimmung der Sorptionskurven

Diese Überlegungen lassen sich auf das im Boden festgehaltene Wasser übertragen. Ausgehend vom Zustand der Wassersättigung, können wir durch stufenweise Steigerung der Druckdifferenz zunächst nur die großen, dann auch die mittleren und schließlich auch die feinen Poren entwässern. Tragen wir den bei jeder Druckstufe im Boden zurückbleibenden Wassergehalt als Funktion des angewendeten Druckes auf, dann bestimmen wir die sog. *Sorptionskurve* (Entwässerungskurve) eines Bodens.

Die *Sorptionskurve* hat für einen gegebenen Boden einen *charakteristischen Verlauf* (Figur 3). Wichtig ist, daß die zu vergleichenden Böden alle vom wassergesättigten in den ofentrockenen Zustand übergeführt werden oder umgekehrt. Die Sorptionskurve des Trocknungsprozesses deckt sich nicht mit jener des Benetzungsprozesses. Man nennt diesen Effekt *Hysteresis*; sie hat mehrere Erklärungen, die aber alle auf die Tatsache zurückführen, daß die Bodenporen sich nur *angähert* wie vollkommene Kapillaren verhalten. In der Praxis vergleicht man in der Regel Sorptionskurven, die durch *Trocknung* bestimmt worden sind.

In unserer Darstellung (Figur 3) vergleichen wir die Entwässerungskurven eines Sandbodens («*Chablais*») mit jener eines Staublehm-bodens («*Allschwil*»). Sind die Böden gesättigt, dann werden Teile des Wassers mit 0 atm festgehalten, erreichen sie aber Ofentrockenheit (105° C), dann steigt der Saugdruck auf 4000 bis 6000 atm.

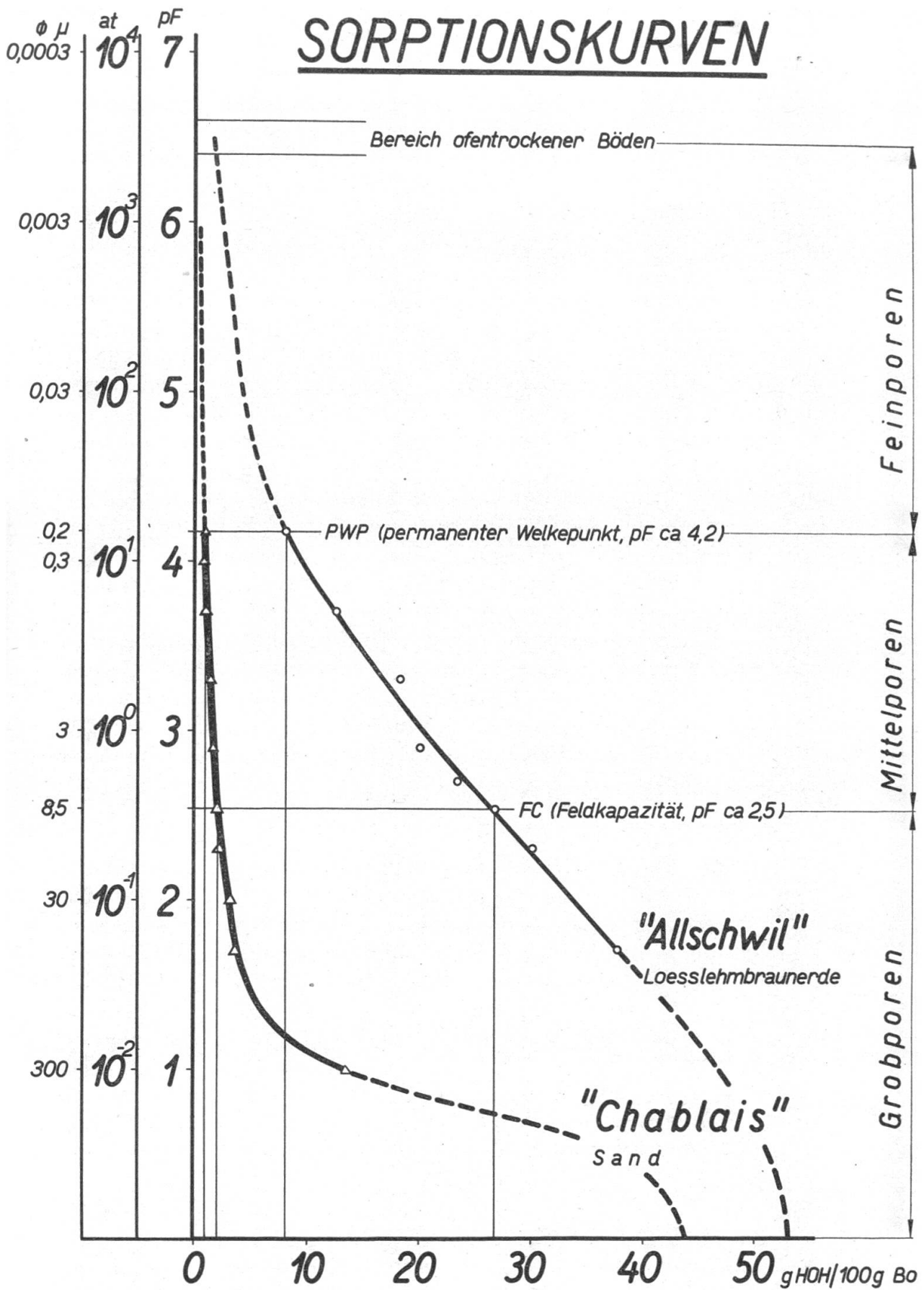
Um für den großen Druckbereich eine bequemere Schreibweise zu erhalten, hat S c h o f i e l d (1935) den sog. *pF-Begriff* eingeführt, den man vereinfacht wie folgt definieren kann: Unter dem pF versteht man den Briggschen Logarithmus des in cm Wassersäule angegebenen Saugdruckes, mit dem Wasser im Boden festgehalten wird. Eine Atmosphäre Saugdruck zum Beispiel entspricht dem Gewicht einer 1000 cm hohen Wassersäule oder einem pF von 3,0.

Besonders zwei charakteristische Punkte der Sorptionskurven, die sog. *Feldkapazität, FC*, und der sog. permanente *Welkepunkt, PWP*, sollen diskutiert werden.

Für die folgenden Untersuchungen wählen wir einen Boden mit *normaler Drainage*. Ein normal drainierter Boden wird durch das Grundwasser nicht beeinflußt; er hat ferner keine extrem dichten und keine extrem lockeren Schichten.

Die Feldkapazität, FC (g HOH/100 g Boden)

Durch starken Regen sei ein Boden mit Wasser gesättigt worden. Unter dem Einfluß der Schwerkraft bleibt die Sättigung aber nicht lange bestehen. Es werden jene Poren entleert, in denen die Kapillarattraktion kleiner als die Gravitationskraft ist. Die unter dem Einfluß der Gravitation verursachte Wasserperkolatation hört aber in der Regel nach zwei



Figur 3

Sorptionskurven von Sand- («Chablais») und Lehmböden («Allschwil»)

bis drei Tagen auf. Der Wassergehalt sinkt auf einen praktisch konstanten Wert, der über Monate unverändert bleibt, wenn keine wasserverbrauchende Vegetation da ist und wenn keine Wasserverdunstung eintritt. Veihmeyer und Hendrickson (1931, 1949, 1950) nennen diesen Wassergehalt die *Feldkapazität*, FC, die für einen gegebenen Boden eine Konstante ist.

Wo liegt nun der Wassergehalt bei Feldkapazität auf der Sorptionskurve?

Zum Vergleich nehmen wir zwei Böden mit verschiedener Korngrößenzusammensetzung (Figur 3). Im Sandboden («*Chablais*») wurden bei Feldkapazität 2 % und im Staublehmboden («*Allschwil*») 28 % Wasser festgestellt. Greift man aus den Entwässerungskurven dieser Böden den entsprechenden Saugdruck heraus, so findet man in beiden Fällen angenähert $\frac{1}{3}$ atm. Im Sandboden bzw. im Staublehmboden wird also ein Saugdruck von $\frac{1}{3}$ atm durch ganz verschiedene Wassergehalte erreicht. Auf Grund der vielen Erfahrungen darf man diese Beobachtung verallgemeinern: Hat ein normal drainierter Boden Feldkapazität erreicht, so befindet sich in ihm kein Wasser mehr, das mit weniger als $\frac{1}{3}$ atm festgehalten wird. Im Einzelfall sind allerdings Schwankungen zwischen 0,1 bis 0,4 atm möglich.

Man kann deshalb auch im Laboratorium die Feldkapazität eines Bodens angenähert bestimmen, indem man experimentell alles Wasser entfernt, das mit weniger als $\frac{1}{3}$ atm (= 345 cm Wassersäule) festgehalten wird. Die hierzu notwendigen Apparaturen stammen von L. A. Richards (1947). Ihr Prinzip ist in einer Zeichnung schematisch dargestellt (Figur 2).

Der permanente Welkepunkt, PWP (g HOH/100 g Boden)

Wird eine Pflanze welk, dann finden wir im Boden immer noch bestimmte Wassermengen. Briggs und Shantz (1912) bezeichnen als *permanenten Welkepunkt*, PWP, eines Bodens jenen Wassergehalt, bei welchem die Pflanze nicht mehr imstande ist, genügend Wasser aus dem Boden aufzunehmen, um den lebensnotwendigen Turgor aufrechtzuerhalten; die Pflanze welkt permanent. Die gleichen Autoren konnten an mehr als tausend verschiedenen Versuchen, die sie mit Sonnenblumen, Mais, Gerste, Hafer, Weizen, Luzerne, Kartoffeln, Lattich, verschiedenen Gemüse- und Veronikaarten durchführten, zeigen, daß in *einem gegebenen Boden alle Pflanzen bei ungefähr demselben Wassergehalt welken* und schließlich sterben, wenn nicht neues Wasser zugegeben wird.

Der Förster möchte gerne wissen, ob diese Feststellungen auch für Waldbäume gelten. Im Lößlehmboden («*Allschwil*») bestimmten wir den permanenten Welkepunkt an *Waldföhren* und *Schwarzerlen* und verglichen ihn mit jenem der Zwergsonnenblume, der allgemein übli-

chen Testpflanze. Die in untenstehender Tabelle zusammengestellten Ergebnisse zeigen, daß die ermittelten Wassergehalte am permanenten Welkepunkt nahe beisammen liegen. Für andere einheimische Baumarten fehlt uns noch der experimentelle Beweis.

Tabelle 1

Der Wassergehalt am permanenten Welkepunkt im Lößlehm Boden «Allschwil» für Schwarzerlen, Föhren und Zwergsonnenblumen

Standard-Waldboden «Allschwil»	Permanenter Welkepunkt, PWP (g HOH/100 g Boden)	
	$s = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$	\bar{x}
Schwarzerlenkeimlinge . .	0,32	7,78
2jährige Fö-Pflanzen . . .	0,30	7,41
Zwergsonnenblume	0,27	8,09

Wo liegt nun der Wassergehalt am permanenten Welkepunkt auf der Sorptionskurve?

Mit einer Testpflanze ist der permanente Welkepunkt in unseren Vergleichsböden bestimmt worden (Figur 3). Wir beobachten, daß der Sandboden («Chablais») am permanenten Welkepunkt gewichtsmäßig wesentlich weniger Wasser enthält als der Staublehm Boden («Allschwil»). Greift man aus den Entwässerungskurven beider Böden je den zum Wassergehalt am permanenten Welkepunkt gehörenden Saugdruck heraus, so beträgt er in beiden Fällen zirka 15 atm.

Im Sand- bzw. Staublehm Boden wird ein Saugdruck von 15 atm also durch ganz verschiedene Wassergehalte erreicht. Auch diese Feststellung darf verallgemeinert werden. Man ist heute der Auffassung, daß die Pflanzen nicht imstande sind, Wasser aus dem Boden aufzunehmen, das mit mehr als 15 atm Saugdruck festgehalten wird. Der permanente Welkepunkt, PWP, ist eine Konstante des Boden und ist, nach Untersuchungen, die in den USA durch Richards, Veihmeyer, Hendrickson und in England durch Schofield und Childs gefördert wurden, weitgehend unabhängig von der Pflanzenart.

Diese Feststellung ist allerdings nicht unbestritten. Erwähnt seien die Arbeiten von Wadleigh und Mitarb. (1947), die zeigten, daß Pflanzen in gewissem Sinne «trainiert» werden können, auch bei sehr hohem Saugdruck Wasser aus dem Boden aufzunehmen.

Um den permanenten Welkepunkt eines Bodens zu bestimmen, brauchen wir in der Regel nicht mehr das schwerfällige und oft schwie-

rige Experiment mit der Pflanze zu machen. Man bestimmt das im Boden bei 15 atm Saugdruck noch vorhandene Wasser und erhält auf diese Weise angenähert den permanenten Welkepunkt (Figur 2).

Das pflanzenverwertbare Wasser, W_v (g HOH/100 g Boden)

Für die Pflanze ist nur ein bestimmter *Teil* des im Boden gebundenen Wassers verwertbar. Sie kann praktisch nur jenes Wasser aus dem Boden aufnehmen, das sich *zwischen* Feldkapazität und permanentem Welkepunkt befindet. Man bezeichnet dieses Wasser als das sog. *verwertbare Wasser, W_v* . Auf der Sorptionskurve (Figur 3) können wir ablesen, daß das verwertbare Wasser angenähert jener Teil des Bodenwassers ist, der mit Saugspannungen von $1/3$ bis 15 atm festgehalten wird. *Die Intensität der Wasserbindung entscheidet also* darüber, ob das Wasser im Boden leicht wegdrainierbar, durch die Pflanze verwertbar oder nicht verwertbar ist.

Die Sorptionskurve hat auch für *grundwasserbeeinflusste Böden* Bedeutung: Es befindet sich in einer bestimmten Bodentiefe ein Grundwasserspiegel, und in gleicher Tiefe denken wir uns die X-Achse der Sorptionskurve dieses Bodens (Figur 3). Im Idealfall würde sich eine Wasserverteilung im Boden oberhalb des Grundwassers einstellen, *die der Sorptionskurve entspricht*. Da allerdings die Bodenkapillaren nicht durchgehend sind, nimmt der Wassergehalt mit steigender Entfernung vom Grundwasserspiegel sehr rasch ab. Steht das Grundwasser tief, dann ist es von geringem Nutzen. Oft wächst die Wurzel rascher zum Wasser, als das Wasser zur Wurzel fließt.

4. Die Porengrößenverteilung im Boden

In unserer Darstellung der Entwässerungskurven von Sand- und Staublehmböden (Figur 3) sind auf der Ordinate neben den Entwässerungsdrücken auch die zugeordneten Durchmesser kreisrunder Kapillaren angegeben, die bei entsprechenden Drücken noch entwässert werden. Der Verlauf der Sorptionskurve gibt uns nämlich auch eine Orientierung über die Beziehung zwischen den *Durchmessern* wasserbindender Kapillaren und dem Wassergehalt, der bei einem bestimmten Entwässerungsdruck noch im Boden zurückbleibt.

Da für die Bestimmung des verwertbaren Wassers im Boden der *permanente* Welkepunkt und die *Feldkapazität* entscheidende Grenzwerte sind, benützen wir sie auch als Klassengrenzen der Porendurchmesser.

Jene Poren, die beim permanenten Welkepunkt noch mit Wasser gefüllt bleiben, nennen wir *Feinporen*. Ihr Äquivalentdurchmesser ist gleich oder kleiner als $0,2 \mu$, und das in ihnen vorhandene Wasser, das durch die Pflanze nicht verwertbar ist, wird mit mindestens 15 atm

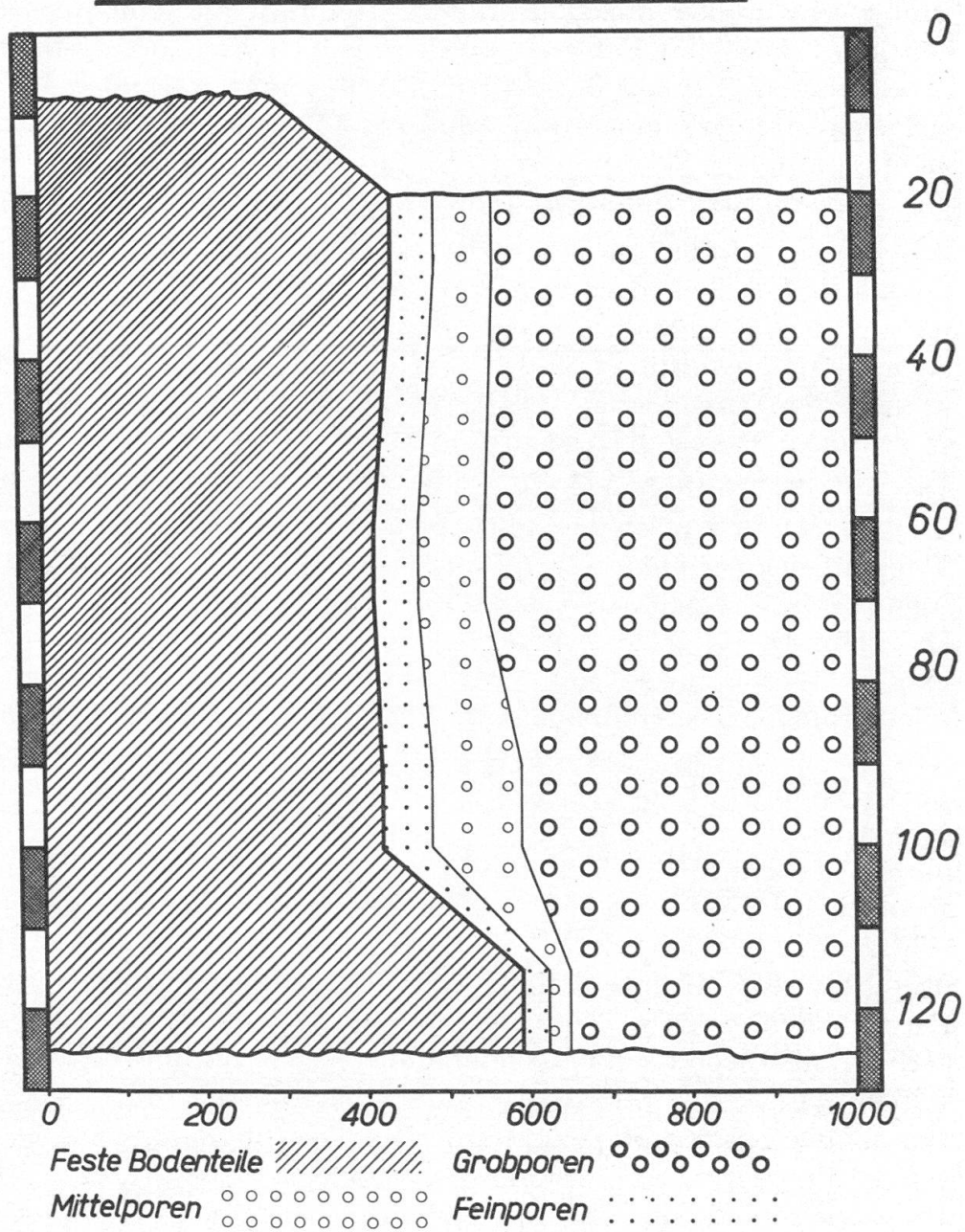
festgehalten. Da in unseren Klimaregionen der Wassergehalt im Wurzelraum in der Regel nicht bis zum Welkepunkt reduziert wird, bleiben die Feinporen *ständig mit Wasser gefüllt*. Das für die Wasserversorgung der Pflanze und teilweise auch für die Bodendurchlüftung maßgebende Porenvolumen wird um den Feinporenanteil reduziert. Daß die Reduktion unter Umständen mehr als die Hälfte des Porenvolumens ausmachen kann, zeigt das Beispiel eines tonreichen Eichen-Hagebuchen-Waldbodens im Lehrwald der ETH: In 140 cm Tiefe fanden wir bei einem Porenvolumen von 474 l/m^3 total 281 l/m^3 oder 59 % des Porenvolumens Feinporen. Angenähert 60 % des Porenvolumens werden in diesem Boden ständig mit nicht verwertbarem Wasser gefüllt bleiben.

Jene Poren, die das zwischen dem permanenten Welkepunkt und der Feldkapazität liegende verwertbare Wasser enthalten, nennen wir *Mittelporen* (Figur 3). Sie umfassen Poren mit Äquivalentdurchmessern zwischen $0,2$ und 8μ . Im Verlaufe der Vegetationszeit ist in den Mittelporen entweder Wasser oder Wasser und Luft enthalten, je nach der Bilanz zwischen Wasserverbrauch und Wassernachschub.

Der Anteil an Mittelporen kann innerhalb weiter Grenzen schwanken. Berechnet auf 1 m Bodentiefe, magaziniert zum Beispiel der sandige Pappelboden («*Chablais*») 82 l/m^3 , während der staubhaltige Pappelboden («*Fort 1*») 443 l/m^3 oder fünfmal mehr verwertbares Wasser enthält (Figur 4). Unter der Annahme, daß ein Laubmischwald pro Tag bei schönem Wetter zirka 5 mm Wasser verbraucht, würde die verwertbare Wassermenge des Sandbodens («*Chablais*») theoretisch in 16 Tagen und jene des Staubbodens («*Fort 1*») erst in 85 Tagen aufgebraucht sein. Da aber die Wurzeln in der Regel einen Boden nur unvollständig durchsetzen, werden sie nur das in ihrer nächsten Nähe sich befindende verwertbare Wasser aufnehmen. Vom weiter entfernten Wasser können sie nur geringfügige Teile aufnehmen, weil die Wasserbewegung unterhalb der Feldkapazität so langsam ist, daß der Nachschub für die Pflanzen bedeutungslos wird. In unserem Beispiel des sandigen bzw. staubhaltigen Pappelbodens wird deshalb der Mangel an verwertbarem Wasser sogar früher, als theoretisch berechnet, eintreten, wenn in der Zwischenzeit kein Regen-, Hang- oder Grundwasser nachfließt.

Poren, die bei Feldkapazität mit Luft gefüllt sind, nennen wir *Grobporen*. Ihr Äquivalentdurchmesser ist gleich oder größer als 8μ (Figur 3). Die Summe der Grobporen stellt den langfristig kleinstmöglichen Luftgehalt eines normal drainierten Bodens dar, da auch nach Wassersättigung in kurzer Zeit wieder Feldkapazität erreicht wird. Im normal drainierten Boden sind die Grobporen mehr oder weniger kontinuierlich im ganzen Profil vertreten. Als Beispiele seien wieder der Sandboden («*Chablais*») und der Staubboden («*Fort 1*») erwähnt (Figur 4). Wir betrachten den Grobporenanteil unserer Waldböden oft als

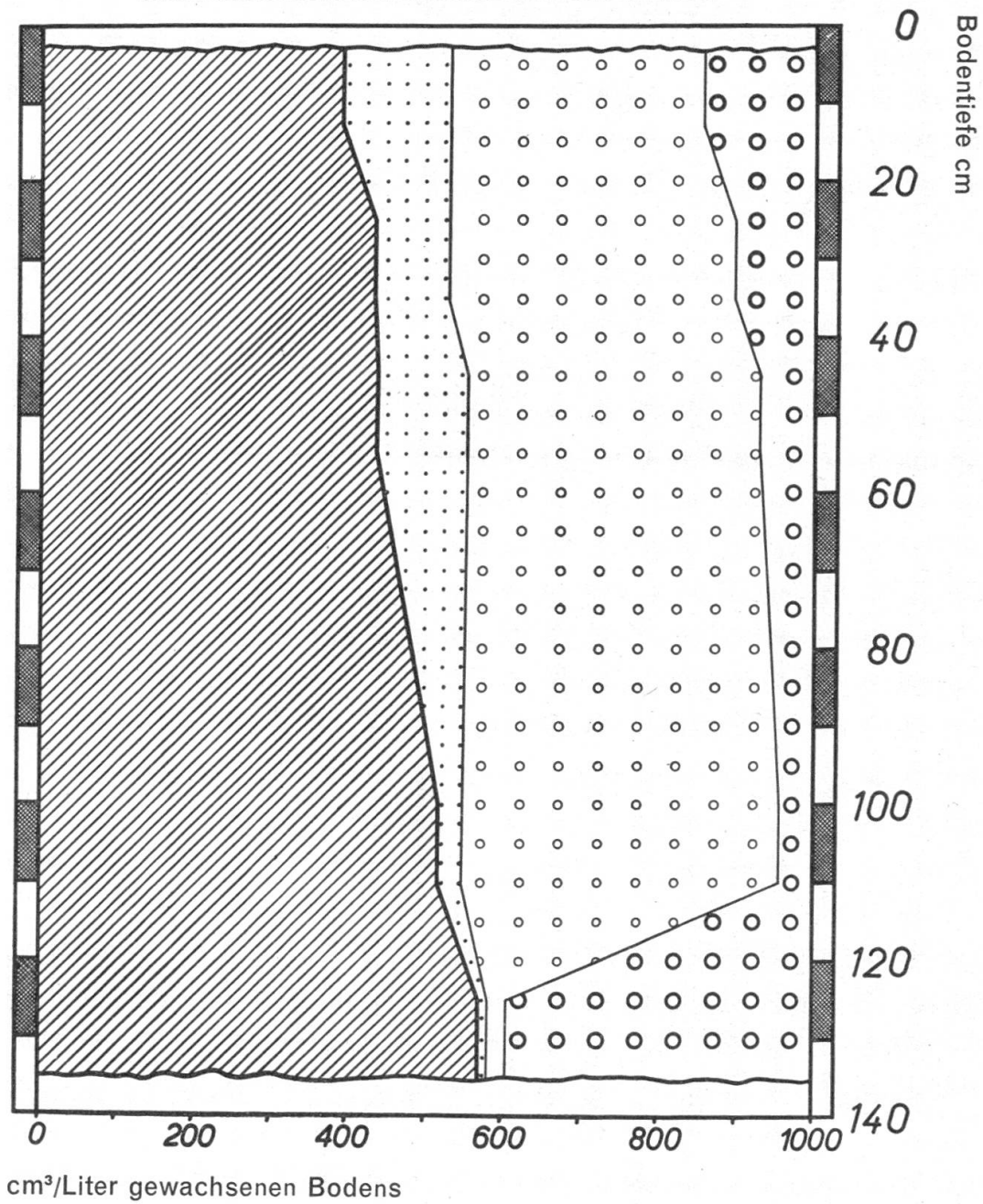
Profil "Chablais"



Figur 4

Porenvolumen, V_p und Porengrößenverteilung in einem Sand- («Chablais») und Staubboden («Fort 1»)

Profil "Fort 1"



Figur 4

Porenvolumen, V_p und Porengrößenverteilung in einem Sand- («Chablais») und Staubboden («Fort 1»)

einen entscheidenden Faktor für das Gedeihen vieler Baumarten. Je mehr der Grobporenanteil abnimmt, um so schwächer wird die Bodendurchlüftung, um so größer wird der Wassergehalt bei Feldkapazität und um so mehr erhält der Boden Eigenschaften sog. *nicht normal drainierter* Böden, auf denen nur Baumarten mit geringen Luftansprüchen wachsen können.

Bisher war nur von normal drainierten Böden die Rede. Sehr oft kommt es in der Natur aber vor, daß in bestimmten Bodentiefen mehr oder weniger *undurchlässige Schichten* sowohl die Wasserbewegung wie auch die Sauerstoffversorgung verlangsamen oder sogar unterbinden. Auch für solche Fälle können wir die energetischen Betrachtungen über die Wasserbindung und Wasserbewegung im Boden anwenden. Mit der früher beschriebenen Untersuchungstechnik können wir auch die *Ursache der nicht normalen Drainage bestimmen*. Als Beispiele wählen wir den Reißmoränegleyboden («*Aspi*») in Langenthal (Figur 5). In diesem stark verdichteten Staubboden findet man in 80 cm Tiefe nur Mittel- und Feinporen, es fehlen die Grobporen. Da in Mittel- und Feinporen keine bedeutende Wasserbewegung möglich ist, können die Grobporen des Oberbodens durch die Schwerkraft nicht entleert werden. Der grobporenfreie Zwischenhorizont wirkt als Wasserstau. Will man in solchen Fällen Auskunft über die tatsächlichen Wassergehaltsschwankungen im Jahresablauf erhalten, dann müssen an Ort und Stelle kontinuierliche Feldmessungen durchgeführt werden. Wir besitzen heute zuverlässige Methoden, um auf dem Wege der elektrischen Leitfähigkeitsmessung auch solche Spezialfälle zu untersuchen.

5. Bedeutung und praktische Anwendungsmöglichkeit der energetischen Betrachtung der Wasserbindung im Boden

Die wesentliche Bedeutung der energetischen Betrachtung des Wassergehaltes im Boden liegt in der Möglichkeit, direkte Beziehungen zwischen Intensität der Wasserbindung und Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze aufzustellen. Wir sind in der Lage, im Bodenwasser den pflanzenverwertbaren Teil vom nichtverwertbaren Teil zu trennen; ferner können wir in normal drainierten Böden auch die in der Regel mit Luft erfüllten Poren mit großer Annäherung quantitativ bestimmen.

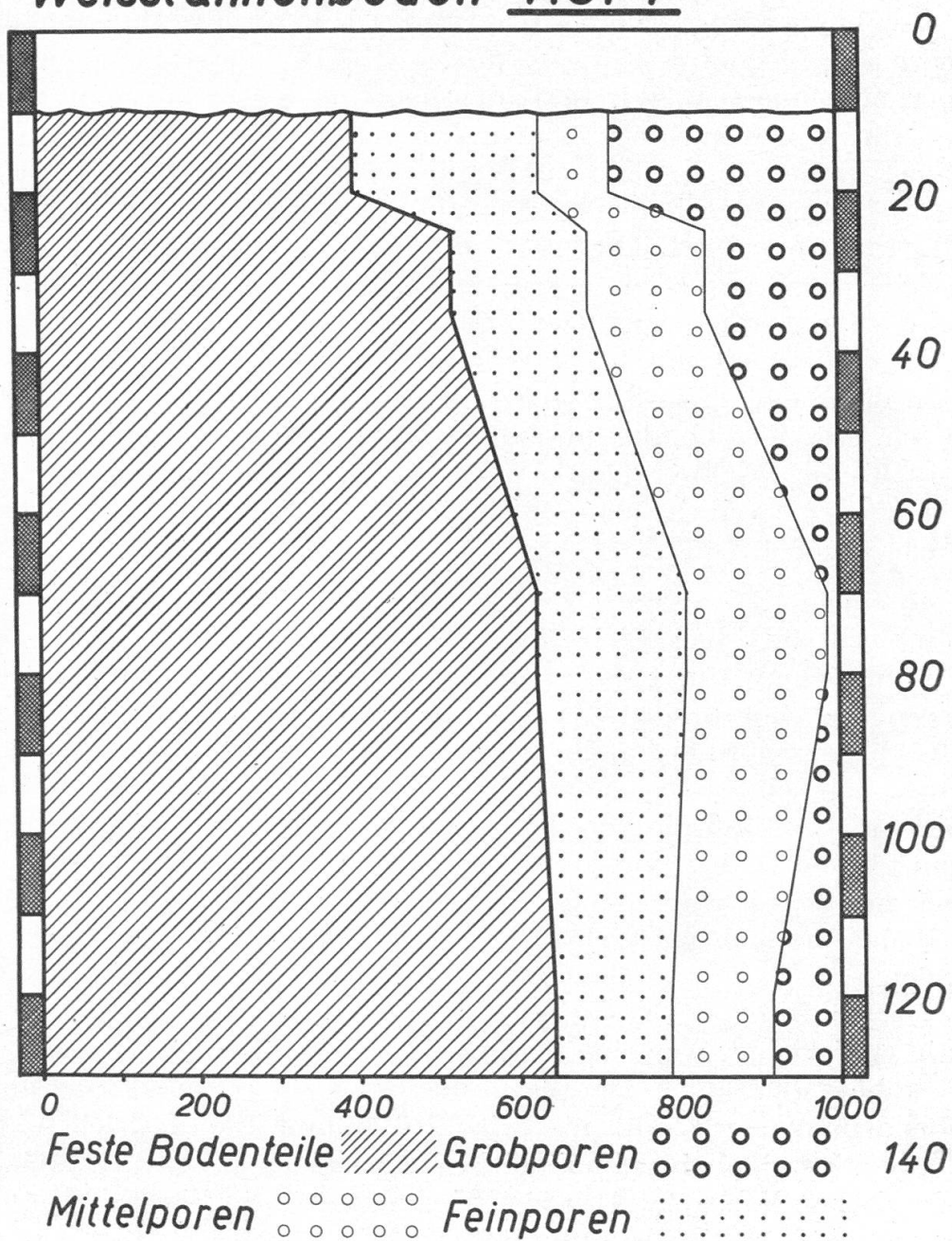
Die landwirtschaftliche Bodenuntersuchung zum Beispiel benützt diese Methoden zur Bestimmung des Einflusses verschiedener Bodenbearbeitungsmaschinen, der Düngung oder des Fruchtwechsels auf die Veränderung der Porengrößen und damit auf die Veränderung der Wasserbindung, der Wasserbewegung und der Wasserverdunstung in den obersten Bodenschichten (K o b l e t [1954], N ü e s c h [1954], G u j e r [1954]).

Die energetische Betrachtung des Wasserhaushaltes im Boden hat auch für die forstliche Bodenkunde große Bedeutung. Überall, sei es im Pflanzgarten, im gewachsenen Wald- oder im Modellboden des Versuchslaboratoriums, wo der Wasser- und Lufthaushalt Gegenstand der Untersuchung wird, können wir mit ihrer Hilfe und mit den auf ihren Theorien aufgebauten Untersuchungsmethoden wertvolle quantitative Experimente machen. Wir sind auch heute noch sehr ungenau über die Wasseransprüche unserer Baumarten orientiert. So nimmt man zum Beispiel immer an, unter sonst vergleichbaren Bedingungen vermöge eine Weißtanne den Boden stärker und tiefergehender zu entwässern als die Fichte. Unsere zweijährigen kontinuierlichen Wassergehaltsmessungen zeigen, daß unter Tanne wie unter Fichte das Porenvolumen eines staubreichen, stark verdichteten und sauren Ribmoränebodens während der Vegetationszeit mit 94 % und mehr Wasser gefüllt blieb. Dabei leisten die Weißtannen 8 bis 12 m³/ha Zuwachs, die Fichten nur 1 bis 2 m³/ha. Es zeigt sich, daß in diesem Falle die Weißtanne nicht *deshalb* besser als die Fichte wächst, weil sie den Boden besser entwässern kann, sondern weil der dauernd hohe Wassergehalt ihrem Wachstum weniger schadet.

In einem Umwandlungsprojekt auf staubreicher Ribmoräne wurde ein schlechtwüchsiger Fichtenbestand durch den Wind umgeworfen. Die Kahlfläche wurde 1947 in Streifen 40 cm tief rigolt; in die Streifen wurden Eichen gepflanzt. Im Sommer 1954 wurde uns die Frage gestellt, ob der Einfluß der durchgeführten Bodenlockerung noch heute nachweisbar sei. Unsere Untersuchungen am natürlich gelagerten Boden haben ergeben, daß die vor sieben Jahren rigolten Streifen wieder die genau gleiche Dichte von $\rho_a = 1,17$ in 20 cm und 1,40 in 40 cm Tiefe haben wie die nichtrigolten Zwischenstreifen der Pflanzfläche und wie der Boden des stehengebliebenen Fichtenbestandes. Es war auch nicht möglich, eine Zunahme der Grobporen und deshalb eine Verbesserung der Durchlüftung nachzuweisen. Was die Bodenlockerung aber eindeutig erwirkt hat, war eine beträchtliche Veränderung der Konsistenz vom kohärenten zum mehr plastischen Zustand (bei ungefähr gleichbleibendem Wassergehalt), was wir mit Rammprofilen feststellen konnten. Die Wurzeln haben im rigolten Boden einen wesentlich kleineren mechanischen Widerstand zu überwinden, was ihrer besseren Entwicklung und größeren Ausdehnung förderlich ist.

Es ist bekannt, daß bestimmte Pappelsorten große Ansprüche an die Bodendurchlüftung stellen. Wir versuchten im vergangenen Jahr, für einige repräsentative Pappelstandorte des Mittellandes quantitative Angaben über Porenvolumen, Porengrößenverteilung und Wasserhaushalt zu erhalten. Wir konnten nachweisen, daß die Porenvolumina der Pappelböden in allen Horizonten, vor allem aber in 75 bis 125 cm Tiefe,

Weisstannenboden "ASPI"

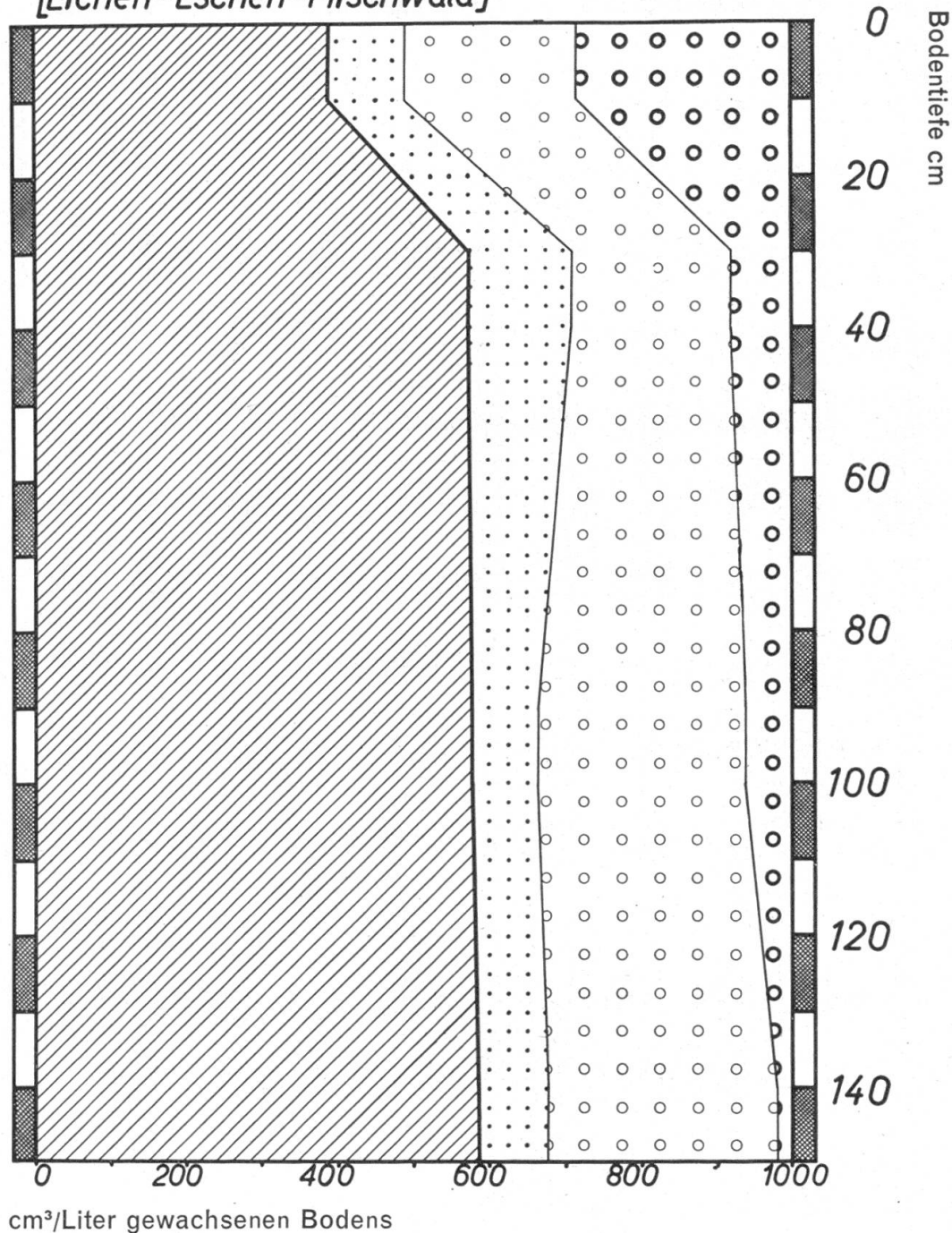


Figur 5

Porenvolumen, V_p und Porengrößenverteilung in einem nicht normal drainierten Boden «Aspi», verglichen mit einem normal drainierten Lößlehm Boden «Allschwil»

Loesslehmbraunerde "ALLSCHWIL"

[Eichen-Eschen-Mischwald]



Figur 5

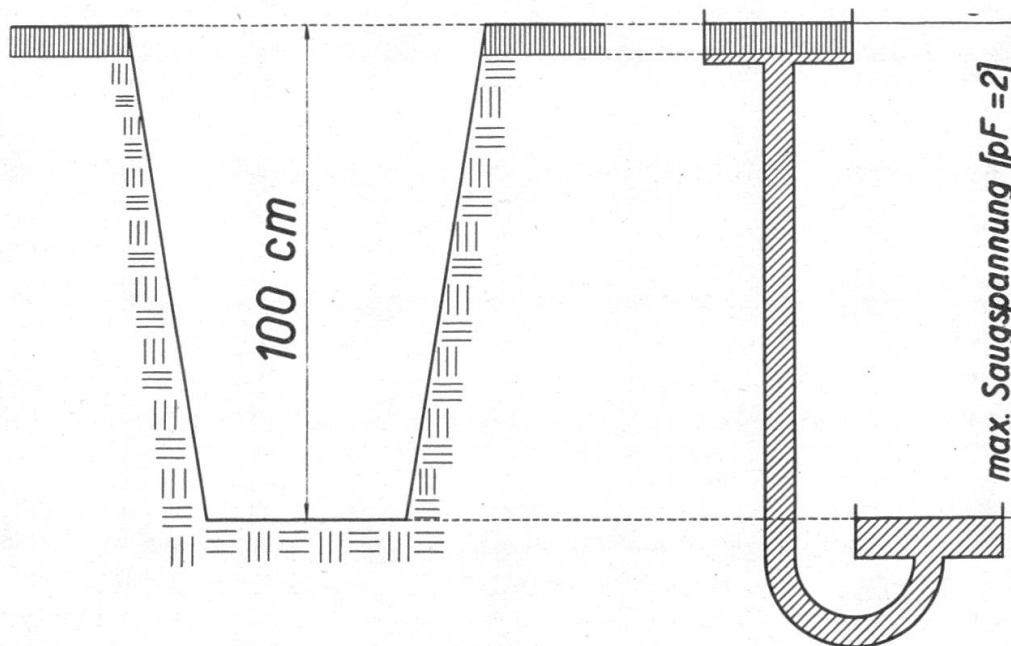
Porenvolumen, V_p und Porengrößenverteilung in einem nicht normal drainierten Boden «Aspi», verglichen mit einem normal drainierten Lößlehmboden «Allschwil»

1,5- bis 1,6mal größer waren als im verglichenen optimalen *Laubmischwaldboden* auf Löß («*Allschwil*»). Im Durchschnitt aller Pappelböden wurden pro m³ gewachsenen Waldbodens 215 l oder 2,8mal mehr Grobporen als im Vergleichsboden («*Allschwil*») gemessen; ein quantitativer Hinweis auf den wesentlich größeren Luftgehalt der Pappelböden als des Laubmischwaldbodens auf Löß («*Allschwil*»), der optimale Wachsmöglichkeiten für Laubhölzer, wie Eiche, Kirschbaum und Ulme, bietet (Figur 5).

Um forstliche Entwässerungen durchzuführen, wäre es sehr oft notwendig, die Sorptionskurve des vernäßten Bodens zu kennen. Entscheidend für den Erfolg der Entwässerung ist der *Grobporenanteil eines Bodens*, da nur in Grobporen Wasser in wesentlichen Mengen und in nützlicher Frist abwärts strömen kann. Nehmen wir zum Beispiel einen Entwässerungsgraben von 100 cm Tiefe an. Ein solcher Graben wird ohne weiteres Quellwasser, Oberflächenwasser und Hangwasser ableiten. Trotzdem dieses Wasser abgeleitet wird, kann ein Boden unter bestimmten Voraussetzungen immer noch mit Wasser gesättigt bleiben. Der 100 cm tiefe Entwässerungsgraben hat eine Saugspannung von höchstens 100 cm Wassersäule, entsprechend seiner Tiefe von 100 cm. Er ist in der Lage, von der Bodenoberfläche nahe beim Grabenrand Wasser wegzudrainieren, das mit einer Saugspannung von maximal 100 cm Wassersäule festgehalten wird (Figur 6). Liegt ein solcher Graben in einem sehr tonreichen Boden, dann wird er um so weniger Wasser aus dem Boden wegdrainieren können, je mehr Wasser mit 100 cm und mehr Saugspannung gebunden ist. Sollte ein Graben beispielsweise aus der Bodenoberfläche auch Wasser entfernen, das mit zirka 345 cm Wassersäule oder $\frac{1}{3}$ atm gebunden ist (Standardwert für Feldkapazität), dann müßte er 345 cm tief sein. Am Verlauf der Sorptionskurve können wir zum voraus bestimmen, ob die Entwässerungsgräben auch eine Wirkung auf das im Boden *gebundene Wasser* haben oder nicht. Angenommen, wir hätten einen vernäßten Boden vom Typ des Grundmoränetones «*Lehrwald ETH*». Mit einer Saugspannung von 100 cm Wassersäule ($\frac{1}{10}$ atm) können aus diesem Boden 5 Liter/m³ Boden oder 1,2 % des Porenvolumens entleert werden. Trotz Wegfuhr des Hang- und Quellwassers wird ein solcher Boden mit Wasser gesättigt bleiben und für das Pflanzenwachstum keinen besseren Luftgehalt erhalten.

Nun dürfen wir aber nicht vergessen, daß die Pflanzen noch Wasser aus dem Boden aufnehmen können, das mit nahezu 15 atm festgehalten wird. Verglichen mit einem 100 cm tiefen Entwässerungsgraben, kann die Pflanze 150mal stärker gebundenes Wasser dem Boden entziehen. Sie ist ein viel stärker wirkender Entwässerer als ein Graben. Dies ist auch der Grund, weshalb zum Beispiel das Wachstum von Schwarz-

ENTWÄSSERUNGSGRABEN



Figur 6

Wirkung eines Entwässerungsgrabens auf das im Boden *gebundene* Wasser

Weiß- und Grünerlen, Weiden und Eschen in Böden mit hohem Wassergehalt eingehender wissenschaftlich untersucht werden sollte.

Viele Fragen über das Verhalten des Wassers im Boden sind aber auch heute noch nicht genügend wissenschaftlich abgeklärt, sie sind weiterhin Gegenstand bodenphysikalischer, bodenchemischer und pflanzenphysiologischer Forschung.

Die Verteilung des *Porensystems* ergibt sich aus dem *Bodengefüge*. Unter diesem versteht man die räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile. In einem gut gekrümelten Boden befinden sich die Feinporen besonders innerhalb der Krümel und die Grobporen zwischen den Krümeln. Man weiß heute, daß das Gefüge unter anderem von der Menge und Art der vorhandenen *Tonmineralien* und *Humusstoffe* abhängig ist. Deshalb muß man sich bei der Untersuchung des Bodenwassers auch für den Bodenchemismus interessieren (Deuel [1950, 1952, 1953]).

Die Betrachtung des Bodens als *Perkolationssystem* hat sich bei physikalischen, chemischen und genetischen Studien des Bodens als fruchtbar erwiesen. Eine konsequente Weiterbearbeitung in dieser Richtung wird die Kenntnisse vom Aufbau und den Eigenschaften unserer Böden vertiefen. Zudem werden die erforderlichen Grundlagen für Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung unserer Böden geschaffen. In diesem Sinne hoffen wir die Zukunftsarbeit ausführen zu können.

Zusammenfassung

Die Bestimmung des Wassergehaltes nach Gewichtsprozenten sagt nichts darüber aus, ob das Wasser im Boden leicht beweglich ist, ob es durch die Pflanze verwertet bzw. nicht verwertet werden kann. Buckingham, Briggs und Shantz, Richards u. a. betrachten die Wasserbindung im Boden als *Energiefunktion*. Die Ursache der Wasserbewegung im Boden kann als Folge einer Differenz in der freien Energie des Bodenwassers betrachtet werden, die zwischen zwei Punkten im Boden existiert.

In humiden Klimagebieten ist man berechtigt, zur Bestimmung der Wasserbindung an Stelle der direkt sehr schwierig zu erfassenden thermodynamischen freien Energie, die angenähert numerisch gleich großen Kapillarkräfte zu messen, durch die das Wasser im Boden festgehalten wird.

Die Intensität der Wasserbindung im Boden wird durch die sog. *Sorptionskurve* angegeben. Sie gibt an, mit was für Unterdrücken bestimmte Fraktionen des Bodenwassers festgehalten werden. Die Sorptionskurve hat für einen gegebenen Boden einen *charakteristischen Verlauf*.

Die Sorptionskurve hat zwei besonders wichtige Punkte, die *Feldkapazität*, FC, und der *permanente Welkepunkt*, PWP. Am permanenten Welkepunkt wird das Wasser mit zirka 15 at und bei Feldkapazität mit zirka $\frac{1}{3}$ at festgehalten. In einem Sand- bzw. Tonboden wird ein Saugdruck von 15 at bzw. $\frac{1}{3}$ at durch verschiedene Wassergehalte erreicht. Für einen gegebenen Boden aber sind die Wassergehalte am PWP bzw. FC Konstanten.

Das im Boden zwischen Feldkapazität und permanentem Welkepunkt festgehaltene Wasser bezeichnet man als das sog. *pflanzenverwertbare Wasser*.

Die Intensität der Wasserbindung entscheidet darüber, ob das Wasser im Boden leicht wegdrainierbar, durch die Pflanze verwertbar, oder nicht verwertbar ist.

Der Verlauf der Sorptionskurve gibt auch eine Orientierung über die Beziehung zwischen den *Durchmessern* wasserbindender Kapillaren und dem Wassergehalt, der bei einem bestimmten Entwässerungsdruck noch im Boden zurückbleibt. Da für die Bestimmung des verwertbaren Wassers im Boden der permanente Welkepunkt und die Feldkapazität entscheidende Grenzwerte sind, benützen wir sie auch als Klassengrenzen der Porendurchmesser. Poren, die beim permanenten Welkepunkt noch mit Wasser gefüllt bleiben, heißen *Feinporen* ($\varnothing \leq 0,2 \mu$). Poren, die das zwischen permanentem Welkepunkt und Feldkapazität liegende verwertbare Wasser enthalten, heißen *Mittelporen* ($\varnothing 0,2-8,0 \mu$).

Poren, die bei Feldkapazität mit Luft gefüllt sind, heißen *Grobporen* ($\varnothing \geq 8,0 \mu$).

Die energetische Betrachtung des Wassergehaltes im Boden ermöglicht uns, quantitative Experimente über Zusammenhänge zwischen Pflanzenwachstum und Wasser- bzw. Lufthaushalt des Bodens durchzuführen. Auch Fragen über die Möglichkeit, wassergesättigte Böden durch Graben zu entwässern, können untersucht werden. Die Methode ist ebenfalls verwendbar, um den Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungen, der Düngung, des Fruchtwechsels auf die Veränderung der Porengrößen und auf die Veränderung der Wasserbindung, der Wasserbewegung und der Wasserverdunstung in den obersten Bodenschichten festzustellen.

Literaturverzeichnis

- Briggs, L. J., und Shantz, H. L.* (1912): US Dept. Agr. Bur. Plant Ind. Bull., 230, 5—83.
- Buckingham, E.* (1907): Studies on the movement of soil moisture. US Dept. Agr. Bur. Soils Bull., 38.
- Burger, H.* (1922): Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., **XIII**, 1, 1—221.
- Burger, H.* (1938): Bodenverbesserungsversuche in Zofingen. Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., **XX**, 2.
- Burger, H.* (1946): Bodenverbesserungsversuche in Langenthal und im Biglenwald. Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., **XXIV**, 2.
- Burger, H.* (1952): Bodenverbesserungsversuche, III. Mitteilung. Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., **XXVIII**.
- Deuel, H.* (1954): Organische Derivate von Tonmineralien. Ber. d. D. Ker. Ges. e. V., **31**, 1, 1—7.
- Deuel, H.* (1952): Organic derivations of clay minerals. Clay Mineral Bull., 1.
- Deuel, H.* (1950): Die Tone des Bodens. Schweiz. Landw. Monatshefte, **28**.
- Deuel, H., und Iberg, R.* (1953): Organische Derivate von Tonmineralien, 4. Mitteilung. Differentialthermoanalyse von Phenylmontmorillonit. Helv. chim. acta, **36**.
- Gardner, W., Israelsen, O. W., Edlefsen, N. E., und Conrad, H.* (1922): The capillary potential function and its relation to irrigation practice. Phys. Rev. Ser., **2**, 20, 196.
- Guyer, H.* (1954): Untersuchungen über die Wirkung einiger Verfahren der Bodenbearbeitung auf Bodenstruktur und Pflanzenertrag mit methodischem Beitrag zur serienmäßigen physikalischen Bodenanalyse (Diss. ETH).
- Iberg, R.* (1954): Beitrag zur Kenntnis von Tonmineralien einiger schweizerischer Böden. Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., **XXX**.
- Koblet, R.* (1954): Kulturpflanze und Wasser. Schweiz. Z. f. Verm., Kult.-Techn. u. Photogr., Jg. 1954, 7.
- Mohr, E. C. J., und van Baren, F. A.* (1954): Tropical soils. The Hague, Bandang, 1954.
- Nüesch, B.* (1954): Untersuchungen über physikalische Bodeneigenschaften und die Beziehungen zwischen Wassergehalt und Pflanzenwuchs. Schweiz. Landw. Monatshefte, **32**.
- Pallmann, H.* (1942): Dispersoidchemische Probleme in der Humusforschung. Koll.-Z., **101**, 1.
- Pallmann, H.* (1947): Pédologie et phytosociologie. C. R. du Congrès de pédologie, Montpellier-Alger, 9—20 mai.
- Richards, L. A.* (1949): Methods of measuring soil moisture tension. Soil Science, **68**.

- Richards, L. A. (1947): Pressure-Membrane Apparatus. Construction and use. Agr. Eng., **28**, 10, 451—454.
- Richards, L. A. (1928): The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigators. J. Agr. Res., **37**, 719—742.
- Schofield, R. K. (1935): The pF of the water in soil. Trans. 3rd Intern. Congr. Soil Sci., **2**, 37—48.
- Veihmeyer, F. J., und Hendrickson, A. H. (1950): Soil moisture in relation to plant growth. Annual rev. pl. phys.
- Veihmeyer, F. J., und Hendrickson, A. H. (1949): Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. Soil Science, **68**.
- Veihmeyer, F. J., und Hendrickson, A. H. (1934): Am. Soil Surv. Assoc. Bull., **15**, 76—80.
- Veihmeyer, F. J., und Hendrickson, A. H. (1931): The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Science, **32**.
- Wadleigh, C. H., Gauch, H. G., und Strong, D. G. (1947): Root penetration and moisture extraction in saline soil by crop plant. Soil Science, **63**.

Résumé

Questions du régime de l'eau dans le sol

Connaître la teneur en eau d'un sol, en % du poids, ce n'est pas savoir si cette eau s'y meut aisément, si elle peut être utilisée par les plantes ou non. Buckingham, Briggs et Shantz, Richards, etc. considèrent la liaison de l'eau au sol comme une *fonction énergétique*. La raison du mouvement de l'eau dans le sol apparaît alors comme la conséquence d'une différence d'énergie libre de l'eau d'un point à un autre du sol.

Dans les régions à climat humide, on est autorisé à mesurer, pour la détermination de la liaison de l'eau, à la place de l'énergie libre thermodynamique, qui est très difficile à enregistrer directement, les forces capillaires numériquement presque équivalentes par lesquelles l'eau est retenue dans le sol.

L'intensité de la liaison de l'eau au sol est illustrée par ce qu'on appelle la *courbe de sorption*, qui indique par quelles forces de dépression certaines fractions de l'eau sont tenues. Cette courbe a une *allure caractéristique* pour chaque sol.

La courbe de sorption présente deux points particulièrement importants, celui de la *capacité de rétention au champ FC* et le *point permanent de flétrissement PWP*. Au second, l'eau est retenue par une force de 15 atm. environ, au premier, par une force d'environ $\frac{1}{3}$ d'atm. La succion de 15 atm., resp. de $\frac{1}{3}$ d'atm., correspond à des teneurs en eau diverses dans des sols sablonneux ou argileux. Mais les teneurs en eau aux points FC et PWP sont constantes pour un sol donné.

La teneur en eau comprise entre ces deux points limites est *l'eau utile* ou *utilisable pour les plantes*.

L'intensité de la liaison de l'eau détermine la possibilité d'un drainage aisé, celle de l'utilisation ou la non-utilisation par les plantes.

L'allure de la courbe de sorption renseigne aussi sur le rapport qu'il y a entre les *diamètres* des capillaires liant l'eau et la teneur en eau qui subsiste dans le sol sous une pression de drainage donnée. Comme les points FC et PWP sont des valeurs limites décisives pour la détermination de l'eau utile dans le sol, nous nous en servons aussi pour circonscrire les classes de diamètre

des pores. Les pores qui restent remplis d'eau au point permanent de flétrissement sont dits *pores fines* ($\varnothing \leq 0,2 \mu$), ceux qui contiennent l'eau utile, entre FC et PWP, *pores moyens* ($\varnothing 0,2-8,0 \mu$, ceux qui sont remplis d'air au point de capacité de rétention au champ, *pores grossiers* ($\varnothing \geq 8,0 \mu$).

La conception énergétique de la teneur en eau du sol permet de faire des expériences quantitatives sur les relations qui existent entre la croissance des plantes et le régime de l'eau et de l'air dans le sol. Elle rend aussi possible l'examen des limites dans lesquelles des terres saturées d'eau peuvent être égouttées à l'aide de fossés. On peut aussi recourir à cette méthode pour déterminer l'influence exercée par divers procédés de mise en état du sol, la fumure et l'assolement sur la modification de la grandeur des pores et de l'état de liaison de l'eau, du mouvement de celle-ci et de l'évaporation dans les couches supérieures du sol. (Trad. E. Badoux)

Techniques de reboisement en Israël¹

Par R. Karschon, Institut de recherches forestières, Ilanot (Israël)

(233)

Introduction

Lors de sa 3^e session à Istanbul, la Sous-Commission des questions méditerranéennes de la FAO avait décidé d'inscrire à son programme de travail l'étude des techniques de reboisement et proposé aux pays membres l'échange d'informations à ce sujet. La présente note, écrite en réponse à cet appel, vise à faire le point des techniques actuellement utilisées en Israël.

L'histoire de la forêt en Israël est identique à celle des autres pays du Moyen-Orient. A la fin de la première guerre mondiale, les anciennes forêts se sont trouvées dans un état de dégradation avancé, dû aux nombreux abus des siècles passés (défrichements, surexploitations, incendies, pâturage) et à l'érosion du sol qui en a résulté. Avec l'établissement du mandat britannique, des réserves forestières ont été délimitées et soumises au contrôle gouvernemental; en même temps, les premières plantations ont été établies en montagne, sur des sols entièrement érodés, par les services forestiers du gouvernement et du Fonds national juif. L'essor des reboisements depuis la fondation de l'Etat d'Israël est bien connu.

Le présent exposé comprend l'ensemble des techniques utilisées pour le boisement des montagnes du territoire phytogéographique méditerranéen, caractérisé par l'existence d'un climax arborescent (pineraie, chênaie, forêt claire de caroubier) et des précipitations annuelles supé-

¹ Version légèrement modifiée d'une communication présentée à la 4^e session de la Sous-Commission de coordination des questions forestières méditerranéennes de la FAO, Athènes 1954. L'auteur est reconnaissant à la FAO pour la permission de publier la présente note.