

## BODENPHYSIKALISCHE PROBLEME DES BODENWASSERHAUSHALTES UND DER FELDBERECHNUNG

In den letzten Jahrzehnten sind beträchtliche Anstrengungen gemacht worden, die Probleme der Feldberechnung zu klären und dem Berechnungswirt brauchbare Richtlinien sowohl für die Planung als auch für den Einsatz von Berechnungsanlagen zu erarbeiten. Wenn man von den betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Problemen absieht, lassen sich auf diesem Gebiet 3 Arbeitsrichtungen unterscheiden:

1. eine bodenkundlich-bodenphysikalische
2. eine klimatologische
3. eine pflanzenbauliche

Alle 3 Richtungen verfolgen das Ziel, die gefühlsmäßige Anwendung der Berechnung durch eine rationelle Steuerung hinsichtlich Menge und Zeitpunkt der Wassergaben zu ersetzen. Bei der Gliederung der Berechnungsforschung in die obengenannten Arbeitsrichtungen darf jedoch nicht vergessen werden, daß eine solche Dreiteilung in der Natur nicht besteht, weil alle Faktoren stets gleichzeitig in Erscheinung treten, in starken Wechselbeziehungen zueinander stehen und voneinander abhängig sind. Erst durch ihr Zusammenwirken bilden sie eine Wirkungseinheit, die die Grundlage für eine „standortgerechte“ Feldberechnung ist.

Für das Verständnis der in der Feldberechnung gültigen Zusammenhänge ist es notwendig, die Gesetzmäßigkeiten zwischen den Bezugspaaren Boden und Wasser, Bodenwasser und Pflanze sowie Wasserverbrauch der Pflanze und physikalischer Verdunstung der Atmosphäre zu untersuchen. Da die Berechnung den Höchstertrag der Pflanze zum Ziel hat — selbstverständlich unter Vermeidung schädlicher Nebenwirkungen auf den Boden — müssen die Anforderungen der Pflanze an die Wasserversorgung im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen. Dies schließt nicht aus, daß eine Annäherung an das Berechnungsproblem sowohl vom Boden als auch vom Klima möglich ist, sofern straffe Beziehungen zum Wasserhaushalt der Pflanze bestehen.

### Grenzwerte des pflanzennutzbaren Wassers

Die Pflanze bezieht bekanntlich das Wasser für ihre Lebensvorgänge — vom Taufall abgesehen — ausschließlich aus dem Boden. Sie nimmt es durch ihre Wurzeln auf und leitet es durch ihr Gefäßsystem in die Blätter, wo es entweder zur Stoffproduktion verwendet oder durch die Spaltöffnungen in dampfförmigen Zustand an die Luft abgegeben, „transpiriert“ wird. Aus diesem Weg des Wassers ergibt sich für die Pflanze eine Einnahmeseite, die von den physikalischen Eigenschaften des Bodens abhängig ist und eine Ausgabenseite, die von den physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre bestimmt wird. Den Anforderungen dieser so gegensätzlichen Lebensräume von Sproß und Wurzel muß sich die

Pflanze anpassen und durch geeignete Regulationsvorgänge gegen zeitweilige extreme Verhältnisse in beiden Medien schützen. Bei diesen Anpassungsvorgängen hat es die Pflanze vorwiegend mit einem energetischen Problem zu tun, das auf der Seite des Bodens durch den Begriff der „Bodensaugkraft“, auf der Seite der Atmosphäre durch den Begriff der „Verdunstungskraft der Atmosphäre“ gekennzeichnet ist. Die Bodensaugkräfte, von denen das Wasser im Boden festgehalten wird, und welche die Pflanzen bei der Wasserentnahme überwinden muß, setzen sich im wesentlichen aus den Kapillarkräften der Bodenhohlräume, den Oberflächenkräften der Bodenkolloide und den osmotischen Kräften der im Bodenwasser gelösten Nährsalze zusammen. Während in den salzreichen ariden Böden die osmotischen Kräfte einen beträchtlichen Anteil an der Bodensaugkraft haben, überwiegen in unserem humiden Klima die Kapillar- und Oberflächenkräfte. Man braucht daher in diesem Gebiet nur zwischen dem Kapillarwasser der Bodenhohlräume und dem hygroskopischen Wasser der Kolloidoberflächen zu unterscheiden. In neuerer Zeit wird jedoch diese statische Einteilung des Bodenwassers immer mehr zugunsten einer energetischen Betrachtung auf Grund der Bodensaugkräfte verlassen. Denn es hat sich gezeigt, daß die statische Einteilung des Bodenwassers mehr oder weniger willkürlich ist und keine Stütze in den Beziehungen zwischen Wasserbindungskräften und Bodenwassergehalt findet. Diese Beziehungen äußern sich in einer kontinuierlichen Abhängigkeit, die keinerlei markante Punkte aufweist.

Trotzdem ist es für die Klärung praktischer Fragen bei der Feldberechnung notwendig, bestimmte statische Grenzwerte festzusetzen und zu definieren, mit deren Hilfe der pflanzenverfügbare Wasservorrat im Boden abgeschätzt werden kann. Für diesen Wasservorrat können dann auch die entsprechenden Bodensaugkräfte bestimmt und zu jeder Zeit ein Urteil über den Grad der Verfügbarkeit des Wassers für die Pflanze gefällt werden.

Die Festsetzung von Grenzwerten des verfügbaren Bodenwassers geht davon aus, daß auf der einen Seite der Boden im Felde nur eine begrenzte Menge des Regenswassers speichern kann und auf der anderen Seite die Pflanzen nicht in der Lage sind, das Bodenwasser restlos aufzunehmen, weil ihre Saugkräfte hierfür nicht ausreichen. Man kann deshalb zwischen einem oberen und einem unteren Grenzwert des pflanzenverfügbaren Wassers unterscheiden. Während die obere Grenze lediglich von den physikalischen Eigenschaften des Bodens abhängt, ist die untere Grenze eine Größe der Wurzelsaugkraft.

Die obere Grenze des pflanzenverfügbaren Wassers ist dann gegeben, wenn alle kapillaren Hohlräume des Bodens mit Wasser gefüllt sind und der größte

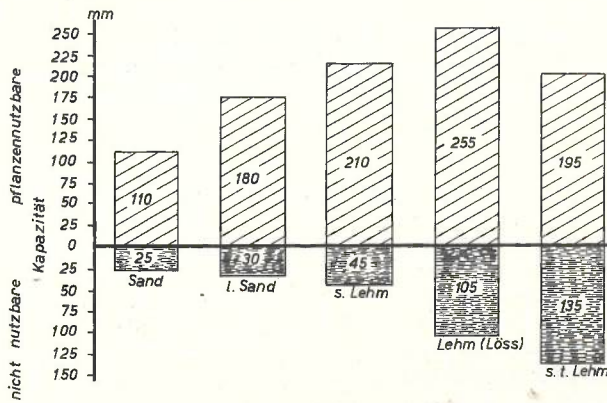


Bild 1: Pflanzennutzbare Wasser in verschiedenen Böden in 1 m Bodentiefe.

Teil des Sickerwassers in den Untergrund abgefließen ist. Man bezeichnet diesen Zustand mit „Feldkapazität“. Nach vollständiger Sättigung eines gut dränierenden, grundwasserfreien Bodens durch Regen stellt sich die Feldkapazität nach 2—4 Tagen ein. Je nach Bodenart, Humusgehalt, Struktur und Profilaufbau ist die Speicherfähigkeit des Bodens für Wasser sehr verschieden und diese Faktoren sind deshalb auch die Ursachen für die verschiedene Beregnungsbedürftigkeit von Böden gleicher Klimabedingungen (Bild 1). Da bei der Messung der Feldkapazität an Ort und Stelle das Eintreten bestimmter Voraussetzungen abgewartet werden muß, versucht man hierfür auch Labormethoden einzusetzen (Bild 2). Diese beruhen im wesentlichen auf der Bestimmung von Entwässerungskurven bei steigenden Saugspannungen. Allerdings ist diese Methode mit einer grundsätzlichen Unsicherheit behaftet, weil die Saugspannungen, bei denen sich die Feldkapazität einstellt, von Boden zu Boden wechseln. Sie können zwischen 50 und 300 cm Wassersäule schwanken. Obwohl die Feldkapazität keine Bodenkonzstante im strengen Sinne ist und in gewissen Bereichen schwanken kann, hat sich ihre Einführung als sehr nützlich erwiesen.

Die untere Grenze des pflanzenverfügbaren Wassers ist dann erreicht, wenn die Wasserbindungskräfte im Boden so groß sind, daß sie von der Saugkraft der Wurzeln nicht mehr überwunden werden können, das Wasser für die Pflanzen also nicht mehr aufnehmbar ist. MITSCHERLICH (5) hat dieses Wasser als „physiologisch totes Wasser“ bezeichnet. Äußerlich macht sich diese Grenze an den Pflanzen durch Dauerwelkeerscheinungen bemerkbar, die auch in wasserdampfgesättigter Luft, z. B. nachts, nicht verschwinden. Man bezeichnet sie als „Welkepunkt“. Im Felde läßt sich der Welkepunkt meistens nur bei Blattfrüchten und auf den sandigen Böden feststellen. Da die Beobachtung des Welkepunktes in unserem Klima nur in sehr trockenen Jahren möglich ist, ist man für seine Bestimmung auf Labormethoden angewiesen. Als gute Schätzwerte haben sich der Wassergehalt bei 2—3facher Hygroskopizität nach MITSCHERLICH und der Wassergehalt nach Entwässerung des Bodens mit 15 atü Druck erwiesen. Neben diesen physikalischen Methoden hat sich auch eine physiologische Methode gut bewährt, die mit jungen Sonnenblumenpflanzen arbeitet.

Ebenso wie der Wassergehalt bei Feldkapazität ist auch der Wassergehalt beim Welkepunkt ein Wert, der von der Bodenart, dem Humusgehalt und dem Profilaufbau, allerdings nicht von der Bodenstruktur abhängt. Dagegen scheint die Pflanzenart keinen Einfluß auf die Lage des Welkepunktes zu haben. Die beiden Grenzwerte Feldkapazität und Welkepunkt charakterisieren mit zufriedenstellender Genauigkeit die maximale Wasserergiebigkeit eines Bodens für das Pflanzenwachstum. Hierfür hat sich der Begriff der „nutzbaren Kapazität“ eingebürgert. Die Unterschiede in der nutzbaren Kapazität verschiedener Bodenarten ergeben sich aus Bild 1. Es vermittelt gleichzeitig auch eine genauere Vorstellung von der Beregnungsbedürftigkeit der einzelnen Böden.

### Bilanzrechnung beim Wasserhaushalt

Der augenblickliche Wassergehalt des Bodens ist naturgemäß sehr großen Schwankungen unterworfen, weil er von der Regenmenge, der Regenverteilung und dem Wasserverbrauch der Pflanzen abhängig ist. Man bezieht den Bodenwassergehalt auf das Bodenvolumen und spricht dann von volumenprozentischem Wassergehalt des Bodens, oder auf die Bodentrockenmasse und spricht dann vom gewichtsprozentischen Wassergehalt. Da zwischen beiden Wassergehalten die Beziehung besteht

$$\text{WG in Vol. \%} = \text{WG in Gew. \%} \times \text{Raumgewicht des Bodens}$$

kann der bequem festzustellende gewichtsprozentische Wassergehalt in Volumenprozent umgerechnet werden. Bei unbekanntem Raumgewicht des Bodens führt — wenn ein tieferes Profil betrachtet werden soll — der Durchschnittswert von 1,5 zu befriedigenden Ergebnissen.

Die Verwendung des volumenprozentischen Wassergehaltes ist bei Bodenwasserhaushaltsrechnungen besonders vorteilhaft, weil er ohne jede Umrechnung den Wasserstand in mm Höhe für eine

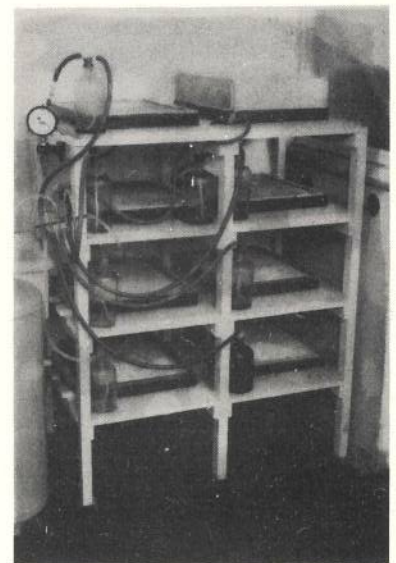


Bild 2: Apparatur zur Bestimmung der pF-Kurve.

Bodenschicht von 10 cm Tiefe angibt und damit der Maßzahl der Regenmessung entspricht. Da die Bestimmung der durch einen geschlossenen Pflanzenbestand verbrauchten Wassermenge aus den klimatischen Meßwerten ebenfalls in mm erfolgt, kann, wenn kein Oberflächenabfluß erfolgt und der Bodenwassergehalt außerhalb des Sickerbereiches liegt, eine Bilanzrechnung für geschlossene Pflanzenbestände nach folgendem Ansatz durchgeführt werden:

Bodenvorrat nach Zeit  $t$  = Bodenvorrat zu Beginn Zeit  $t$  + Niederschlag — Verbrauch der Pflanzen.

Für den Einsatz der Feldberechnung gewinnt der augenblickliche Wassergehalt im Boden erst seine Bedeutung, wenn aus ihm geschlossen werden kann, ob eine Regengabe notwendig ist oder nicht. Diese Kernfrage der Berechnung wird je nach Arbeitsrichtung verschieden beantwortet. Dies ist bei der Komplexität des Problems nur allzu verständlich. Während nach BROUWER (4) die „kritischen Wachstumszeiten“ für die Notwendigkeit einer Berechnung ausschlaggebend sind, wird von anderen, vor allem amerikanischen Autoren die Berechnung nach dem Versorgungsgrad des Bodens vertreten. Holländische Autoren (3) weisen stattdessen auf die Bedeutung des pF-Wertes (log der in cm gemessene Saugspannung) hin. L. BAUMANN (2) schlägt wiederum eine Berechnung nach der Hydratur der Pflanze vor. Außerdem haben in letzter Zeit H. BAUMANN u. F. KLATT (1) auch einen großen Einfluß der Temperatur auf den Berechnungserfolg nachweisen können. Diese Aufzählung der vorgeschlagenen Steuerungsmethode zeigt vielleicht am deutlichsten die Fülle der noch zu lösenden Probleme. Bei den eigenen mehrjährigen Untersuchungen hat sich die Steuerung der Berechnung nach dem Bodenwasservorrat bzw. nach dem Grad der augenblicklichen Wasserversorgung recht gut bewährt, weil sie nicht nur eine gute Beziehung zum Pflanzenertrag gezeigt hat, sondern auch für den Berechnungspraktiker leicht zu handhaben ist und sich für Beratungszwecke gut eignet. Der Grad der Wasserversorgung ergibt sich, wenn nach Abzug des Welkepunktwassers der gemessene Wassergehalt in Prozent der nutzbaren Kapazität angegeben wird. Eine graphische Lösung dieser Berechnung für verschiedene Bodenarten bei Zugrundelegung einer Bodentiefe von 100 cm zeigt Bild 3. Ihre Werte lassen sich durch einen entsprechenden Faktor für jede beliebige Tiefe umrech-

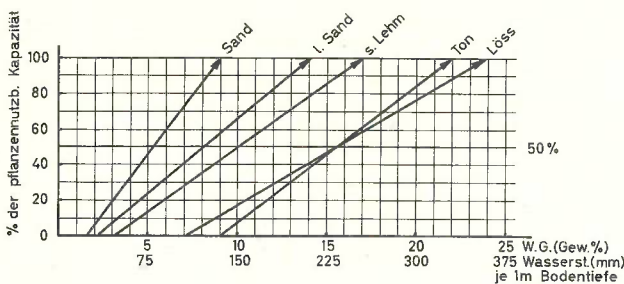


Bild 3: Umrechnung des Bodenwassergehaltes auf Wasserstand in mm und nutzbare Kapazität bei verschiedenen Böden.

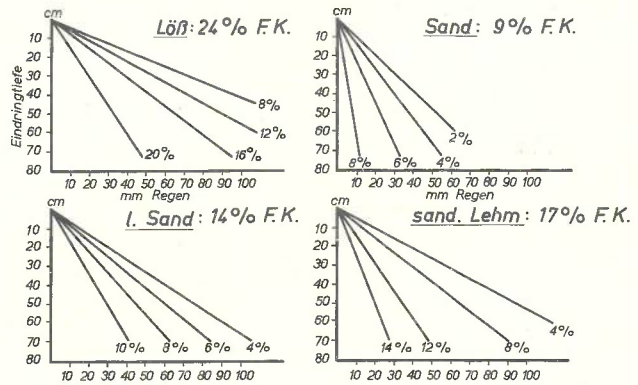


Bild 4: Eindringtiefe von Regen auf verschiedenen Sandböden in Abhängigkeit vom Anfangswassergehalt.

Ein solches Diagramm läßt sich für jeden konkreten Fall konstruieren, sofern Feldkapazität und Welkepunkt des Bodens bekannt sind. Man braucht dann nur den Welkepunkt auf der unteren und die Feldkapazität auf der oberen Grundlinie abzutragen und durch eine Gerade zu verbinden, dann können auf einer Senkrechten gleichzeitig der Versorgungsgrad bei einem bestimmten Wassergehalt und die Höhe einer eventuell notwendigen Regengabe ermittelt werden. Allerdings stellt der nach einer so errechneten Regengabe erzielte Versorgungsgrad nur einen Durchschnittswert für die betrachtete Bodentiefe dar. Denn in Wirklichkeit sättigt sich jede Schicht ungefähr bis auf Feldkapazität ab und gibt erst dann den Überschuß an die tieferen Schichten ab. Bild 4 zeigt für einige sandige Bodenarten die rechnerisch ermittelten Eindringtiefen in Abhängigkeit vom Ausgangswassergehalt des Bodens. Allerdings zeigen die stark schrumpfenden tonigen Böden und Böden mit Wurm- und Wurzelkanälen meist ein abweichendes Verhalten von diesem Schema.

### Hauptversorgungszone und Versorgungsgrad

Die Berechnung nach dem Versorgungsgrad des Bodens hat zweierlei zur Voraussetzung:

1. daß bekannt ist, welche Bodenzone für die Hauptwasserversorgung eines Pflanzenbestandes anzusetzen ist,
2. daß bekannt ist, welcher Sättigungsgrad in der Hauptversorgungszone den Höchstertrag erzielt und wo die wirtschaftlich interessierende Schadensgrenze liegt.

Es wäre naheliegend, für die Festlegung der Hauptversorgungszone eines Pflanzenbestandes die in der Literatur angegebenen Wurzelzugänge und Bewurzelungsdichten zugrunde zu legen. Abgesehen davon, daß die Angaben in der Literatur je nach Boden- und Pflanzenart sowie Jahreswitterung stark schwanken und eine Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung, der Bodenstruktur und der Bodenbearbeitung zeigen, fehlen jegliche Anhaltspunkte über die Leistungen verschieden tiefliegender Wurzeln für die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen. Dies ist aber eine

Voraussetzung für eine Abschätzung der Hauptversorgungszone. Solange hierüber zuverlässige Angaben fehlen, scheint es nicht abwegig, für alle Wurzeln in der Wurzelzone das gleiche Aneignungsvermögen sowie die gleiche Leitgeschwindigkeit für Wasser anzunehmen. Wenn ferner zur Vereinfachung des Schemas eine gleichmäßige Wurzelverteilung in der Wurzelzone unterstellt wird, müßte die von den Wurzeln in der Zeiteinheit geförderte Wassermenge nach folgendem Verhältnis mit der Wurzeltiefe absinken:

Bodentiefe cm 10 20 30 40 50 60 usw.  
Verhältnis d. Wassermenge 1 1/2 1/3 1/4 1/5 1/6 usw.

Schon dieses einfache Schema zeigt, daß die Wasserversorgung der Pflanzen zum größten Teil aus den obersten Bodenschichten erfolgen muß und die tieferen Bodenschichten einen zunehmend geringeren Anteil an der aktuellen Wasserversorgung der Pflanzen haben. Die tiefreichenden Wurzeln dürften in erster Linie ihre Bedeutung als „Lebensversicherung“ der Pflanzen bei länger andauernden Dürrezeiten haben.

Eine Bestätigung für diese Überlegung zeigt die Wasserentnahme eines Rübenbestandes auf dem Sandboden in Völkenrode, der zu Beginn der Untersuchung bis auf größere Tiefe Feldkapazität erreicht hatte. Der Rübenbestand hatte in der niederschlagsfreien Zeit aus den einzelnen Tiefen die in Bild 5 dargestellten Wassermengen entnommen.

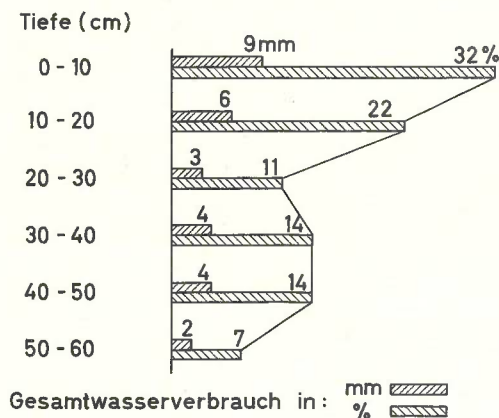


Bild 5: Prozentanteil verschiedener Tiefen am Gesamtwasserverbrauch eines Rübenbestandes. Ausgangspunkt Feldkapazität. Regenfreie Periode vom 27. 8. — 6. 9. 1958. D. V. Völkenrode.

Aus den Zahlen ist ersichtlich, daß schon die obersten beiden Schichten rd. 55 % des Gesamtverbrauches gedeckt haben, während in der gleichen Zeit nur 7 % aus der Tiefe 50—60 cm entnommen worden sind. Ähnliche Entnahmeschemen konnten in mehreren anderen Fällen gefunden werden. Daß ein Pflanzenbestand eine gute Ernte fast nur aus der durch Niederschläge ständig feucht gehaltenen Ackerkrume erzeugen kann, zeigte u. a. ein Versuch zu Winterweizen auf anlehmigem Sandboden (Übersicht 1). Obgleich der Boden unterhalb 30 cm Tiefe vom Beginn des Ährenschiebens bis zur Ernte ständig trocken blieb, weil die Niederschläge gerade für ein Feuchthalten der Krume ausreichten, wurde durch Beregnung nur ein Mehrertrag von 10 % erzielt.

## Übersicht 1

### Gew. % Wassergehalt in verschiedenen Tiefen unter Winterweizen

Völkenrode 1953

Tiefe cm	6. 6. 1953		24. 6. 1953	
	Unberechnet	Berechnet	Unberechnet	Berechnet
10—20	5,8	10,6	6,7	7,7
30—40	4,7	9,7	3,3	8,0
50—60	3,5	8,2	2,9	6,9

Auch SHOCKLEY (8) kommt nach Auswertung eines umfangreichen Materials über die Wasserentnahme von Pflanzenbeständen zu der Auffassung, daß der Hauptanteil der Bodenfeuchte aus dem obersten Wurzelbereich stammt. Danach entnehmen die Pflanzen ca. 40 % ihres Wasserbedarfs aus dem obersten Viertel der Wurzelzone, 30 % aus dem zweiten, 20 % aus dem dritten und 10 % aus dem letzten Viertel.

Eine Bestätigung für dieses Versorgungsschema sind auch die in Zusammenarbeit mit der Wetterwarte und Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Braunschweig-Völkenrode erarbeiteten mehrjährigen Ergebnisse auf dem anlehmigen Sandboden des Völkenroder Versuchsfeldes. Diese zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen dem aus Bodenfeuchtemessungen in 0—60 cm und dem aus der klimatischen Verdunstung ermittelten Wasserverbrauch der Pflanzen. Es ist also nicht notwendig, wie oft angenommen wird, den Boden auf einen bestimmten Prozentgehalt der Feldkapazität bis auf größere Tiefe (80—100 cm) anzufeuchten. Hierzu wären unwirtschaftlich hohe Wassermengen erforderlich (Bild 4), die zudem durch Versickerung infolge unvorhergesehener natürlicher Regenmengen verloren gehen könnten.

Die Kontrolle der Bodenfeuchte zum Zwecke der Beregnung kann sich also ohne großes Risiko auf die obersten Bodenschichten beschränken. Dergleichen braucht der Beregnungswirt keine Anfeuchtung des Bodens unter 60 cm Tiefe durch extrem hohe Regengaben anzustreben. Allerdings können in extrem trockenen Jahren auch in unserem Klima die Pflanzen den Boden bis auf größere Tiefen an Wasser verarmen, wie das Beispiel der Zuckerrüben auf dem Völkenroder Boden 1953 gezeigt hat. Am 1. 10. wurden nach einer langen Trockenperiode folgende Wassergehalte in Gew. % gemessen:

Tiefe cm	10—20	30—40	50—60	80—90	140—150	190—200
Unberechnet	5.2	2.5	2.2	2.5	2.7	4.2
Berechnet						
m. 190 mm	11.5	11.9	11.3	6.2	5.8	5.9

Da auf „unberechnet“ zeitweise Dauerwelke zu beobachten war, kann aus den Werten geschlossen werden, daß die Zuckerrüben den Wasservorrat unterhalb 150 cm Bodentiefe nicht mehr für ihre Wasserversorgung auszunutzen vermochten. Auf einem Löß-Lehmboden, unter dem ab 120 cm diluviales Geschiebe liegt, wurden unter Zuckerrüben zur gleichen Zeit folgende Wassergehalte in Gew. % gemessen.

Tiefe cm	10—20	30—40	50—60	80—90	140—150	190—200
Zucker- rüben	11.3	7.2	8.6	15.7	11.5	9.6
Unbewachs. Boden	16.0	15.9	18.2	19.3	8.8	9.0

Aus diesen Werten ist ersichtlich, daß die Verarmung des Lehmbodens nicht bis in dieselben Tiefen reichte, wie auf dem Sandboden. Der Grund hierfür dürfte an der größeren Speicherfähigkeit der oberen Bodenschichten des Lößlehmes liegen, aus denen die Pflanzen ihren Wasserbedarf decken konnten, ohne den Wasservorrat größerer Bodentiefen in Anspruch zu nehmen. Auch hier zeigt sich das Bestreben der Pflanzen, ihren Wasserbedarf nach Möglichkeit aus den obersten Bodenschichten zu decken.

Weit schwieriger als die Festlegung der Hauptversorgungszone für die Wasserlieferung zur Pflanze ist die Frage nach dem wirtschaftlich zweckmäßigsten Versorgungsgrad des Bodens bei der Feldberegnung. Eine zuverlässige Antwort auf diese Frage kann nur auf Grund von Beregnungsversuchen mit mehreren Wasserversorgungsstufen erhalten werden. Leider besteht unter den hiesigen klimatischen Bedingungen die Schwierigkeit, daß in vielen Jahren der natürliche Witterungsablauf für solche Versuchsanstellungen ungünstig ist. Brauchbare Ergebnisse können auf diese Weise erst nach langjähriger Versuchsarbeit erzielt werden. Bis dahin können dem Beregnungspraktiker nur ungefähre Grenzwerte in die Hand gegeben werden, nach denen er den Versorgungsgrad auf seinen Beregnungsflächen steuern kann. Auf Grund mehrjähriger Ergebnisse, die gemeinsam vom Institut für Bodenbearbeitung und der Wetterwarte und Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle auf dem anlehmigen Sandboden in Völkenrode erarbeitet worden sind, liegt der wirtschaftlich vertretbare Versorgungsgrad ungefähr zwischen 30 und 50 % der nutzbaren Kapazität (n. K.). Ein Absinken des Wasserstandes in 0—60 cm Tiefe unter 30 % n. K. führt mit größter Wahrscheinlichkeit zu Ertragsausfällen, während eine Versorgung des Bodens über 50 % n. K. keinen Ertragszuwachs mehr bringt. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen RIETHUS, GERDUNG und GRUNEWALD (7), bei deren Versuchen ein Versorgungsgrad von 40—60 % der Wasserkapazität Höchstserträge gebracht hat. Ein zu hoher Versorgungsgrad kann im Gegenteil zu einer mangelnden Durchlüftung des Bodens führen, die eine Ertragsminderung zur Folge haben kann.

Diese Gefahr ist um so größer, je schwerer der Boden wird, weil mit zunehmendem Feinerdegehalt auch der Anteil der Feinporen zunimmt, die dem Luftaustausch einen größeren Widerstand bieten als die groben Poren der sandigen Bodenarten.

Diese Gegensätzlichkeit des Luft- und Wasserhaushaltes zeigt sehr anschaulich Bild 6 (6). In der Darstellung wird der Pflanzenertrag als Funktion zweier Faktoren aufgefaßt, nämlich als Funktion des Wassergehaltes und als Funktion des Luftgehaltes. Da Wasser und Luft sich als Partner im Porenraum des Bodens gegenseitig vertreten, fällt der Anteil des einen, wenn der Anteil des anderen steigt. Jede Erhöhung des Versorgungsgrades für Wasser ver-

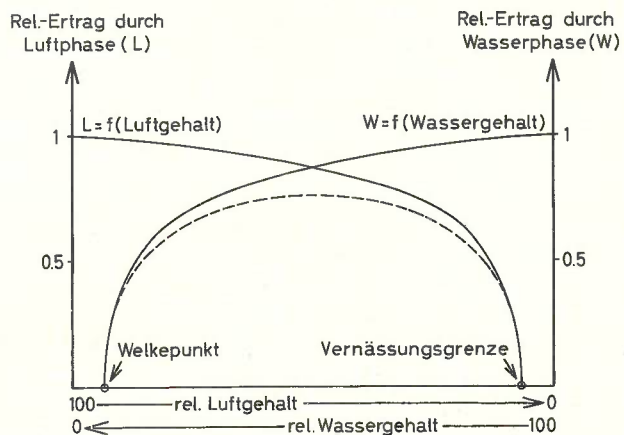


Bild 6: Schema der bodenphysikalischen Optimumkurve (nach ODÉN) [6].

mindert die Versorgung mit Luft und umgekehrt. Aus dieser Gegenläufigkeit von Wasser- und Lufthaushalt muß sich für das Pflanzenwachstum ein Optimalbereich mit gleichermaßen günstigen Wasser- und Luftverhältnissen ergeben, der ungefähr dem Mittelfeld beider Kurven entspricht (gestrichelte Linie). Die Kurve zeigt sehr deutlich, in welchem Bereich der optimale Versorgungsgrad für das Wasser zu suchen ist. Diesen Optimalbereich der Wasserversorgung für die Pflanzen, sei es durch den pF-Wert oder die nutzbare Kapazität eventuell unter Einbeziehung der Hydratur näher abzugrenzen, wird eine der Aufgaben bei der zukünftigen Beregnungsforschung sein. Bei allen Arbeiten wird jedoch die Berücksichtigung bodenphysikalischer Erkenntnisse eine ausschlaggebende Bedeutung haben.

#### Schrifttumsnachweis

1. BAUMANN, H., u. F. KLATT: Beregnungszeitpunktversuche mit Hafer und Winterweizensorten. — Z. Acker- u. Pflanzenbau **103** (1957) S. 380.
2. BAUMANN, L.: Über die Beziehungen zwischen Hydratur und Ertrag. — Ber. d. dtsh. Bot. Ges. **70** (1957) S. 67.
3. BIERHUIZEN, I. F., u. N. M. DE VOS: Die Wirkung des Wassergehaltes auf Wachstum und Ertrag einiger Gemüsearten. — Vortrag Konf. Beregnung d. Kom. VI d. Int. Bodenkundl. Ges. Kopenhagen 1958.
4. BROUWER, W.: Beregnung nach dem Entwicklungszustand der Pflanzen. — Vortrag Konf. Beregnung d. Kom. VI d. Int. Bodenkundl. Ges. Kopenhagen 1958.
5. MITSCHERLICH, E. A.: Bodenkunde für Landwirtsch., Forstwirtsch. u. Gärtner. 5. Aufl. — Halle: Niemeyer 1949, 364 S.
6. ODÉN, S.: Über Porengrößenverteilung im Boden. — Grundförbättring, 1950/51, H. 4, S. 233.
7. RIETHUS, H., R. GERDUNG u. I. GRUNEWALD: Einfluß der Wassersättigung des Bodens auf den Ertrag einiger Gemüsearten. — Gartenbauwiss. **22** (1957) H. 4, S. 236.
8. SHOCKLEY, D. R.: Über Wasserhaltefähigkeit des Bodens. — Agric. Engng. **36** (1955) H. 2, S. 109.