Die elektrometrische Bestimmung der Bodenfeuchte und ihre Anwendung auf die Bewässerungspraxis

Autor(en): **Ramser, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie**

Band (Jahr): **53 (1955)**

Heft 2

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-211755

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Notiz des kulturtechnischen Redaktors

Herr Professor E. Ramser hat sich in freundlicher Weise bereit erklärt, sein anläßlich der Hauptversammlung des Schweiz. Nationalkomitees für Bewässerung und Entwässerung am 10. Dezember 1954 in Bern gehaltenes Referat für die Publikation in unsrer Zeitschrift zur Verfügung zu stellen.

Die zahlreich anwesenden Mitglieder des Nationalkomitees folgten mit großem Interesse den zwei gebotenen Vorträgen; es soll nun gelegentlich auch noch das Referat von Ing. Wegenstein über die Möglichkeiten vermehrter Grundwassernutzung in diesen Spalten erscheinen. Den beiden Herren Referenten sei hier nochmals für ihre Bereitwilligkeit, diese sehr instruktiven Vorträge in etwas erweiterter Form auszuarbeiten, bestens gedankt. *Dr. H. Lüthy*

Die elektrometrische Bestimmung der Bodenfeuchte und ihre Anwendung auf die Bewässerungspraxis

Von Prof. E. Ramser, Zürich

Neben dem Großteil des Wallis mit ständiger Bewässerung treten auch in der übrigen Schweiz in gewissen Zeitabständen trockene Sommer auf, deren sogenannte Regenklemmen mit fehlenden Regenfällen durch künstliche Bewässerung überbrückt werden müssen. Selbst während der Vegetationszeit, deren Gesamtniederschläge als normal erscheinen, können kritische Zeitpunkte eintreten, in denen ein verminderter Wassergehalt eine gedeihliche Pflanzenentwicklung hindert, die bis zum Moment der Ernte nicht mehr aufgeholt werden kann. Die rechtzeitige Erkenntnis solcher kritischer Zeitpunkte versetzt uns in die Lage, die ernteschädigenden Folgen eines ungenügenden Wasserhaushaltes erfolgreich durch eine Wassergabe zu bekämpfen. Die Größe derselben hat sich nach der Wasser-Reserve im Boden, seiner Beschaffenheit und nach der Pflanzenart zu richten. Eine gefühlsmäßige Einschätzung dieser Gegebenheiten oder eine Anlehnung an ausländische praktische Angaben, die unseren Verhältnissen nicht entsprechen, wird gewöhnlich zu falschen Resultaten führen, die von optimalen Ernteerträgen stark abweichen. Deshalb müssen auch wir zu Untersuchungsmethoden gelangen, die über den unbefriedigenden Zustand gefühlsmäßiger Beurteilung und Nachahmung fremder Maßnahmen hinausführen.

Im neuesten Verfahren, das auf elektrometrischen Messungen des Widerstandes beruht, den ein Boden dem elektrischen Strom entgegensetzt, glauben wir ein Mittel zu besitzen, den jeweiligen Wassergehalt eines Bodens zu bestimmen und hieraus auf die Größe der zu verabreichenden Wassergabe schließen zu können. *Der Widerstand ist um so größer, je geringer der Wassergehalt, und umgekehrt.* Zur Messung desselben dient eine Leitfähigkeitsmeßbrücke mit hochfrequentem Strom. Wir verwen-

den ein Ohm-Meter von der «Berkeley Scientific Division, in Richmond, California», weil bei derselben Stelle auch die überaus zweckmäßigen Boden-Elektroden erhältlich sind, die neben dem feuchtigkeits- auch ein temperaturmessendes Element besitzen. Die beiden Pole dieser Elektroden münden an ihren Enden in feine Drahtnetzchen aus, die mit einer Lage von hygroskopischem Fiberglasgewebe voneinander getrennt sind. Das Temperaturelement besteht aus einem flachen, runden Körper von zirka 3 mm Durchmesser in einer Speziallegierung und ermöglicht Temperaturmessungen auf $^1/_{10}$° C genau. *Je höher die Bodentemperatur, desto größer die Leitfähigkeit, und umgekehrt.* Die beiden Pole und das temperaturempfindliche Element sind zu einer sogenannten *Sandwichelektrode* in zwei flach aufeinanderliegenden, gelochten Schutzmetallplättchen von 3,8 ×2,6 cm auf 3 mm Dicke vereinigt und gegen mechanische, chemische und biologische Zerstörung gut gesichert. (Bild 1.)

Bei jeder Feuchtemeßstelle werden solche Elektroden in verschiedenen Bodenhorizonten eingesetzt, ihre Drähte in einem im Boden versetzten Eisenrohr ein- und hochgezogen und am oberen Ende in ein Schaltbrettchen geführt, wo die regelmäßige Ablesung der jeweiligen Widerstände mit dem Ohm-Meter, durch Herstellung des Kontaktes mittels sogenannter Bananensteckern, in wenigen Augenblicken möglich ist. (Bilder 1 und 2.)

Aus jeder Widerstandsablesung, korrigiert um den Temperatureinfluß über oder unter 15,5° C, ergibt sich dann in der *Eichkurve oder Feuchtigkeitscharakteristik*, deren Erstellung im Nachfolgenden geschildert wird, der dazu *gehörende, jeweilige Wassergehalt in Gewichtsprozenten, welch letztere mit dem scheinbaren spezifischen Gewicht der Bodentrockensubstanz multipliziert, den Wassergehalt in Volumprozenten ergeben.*

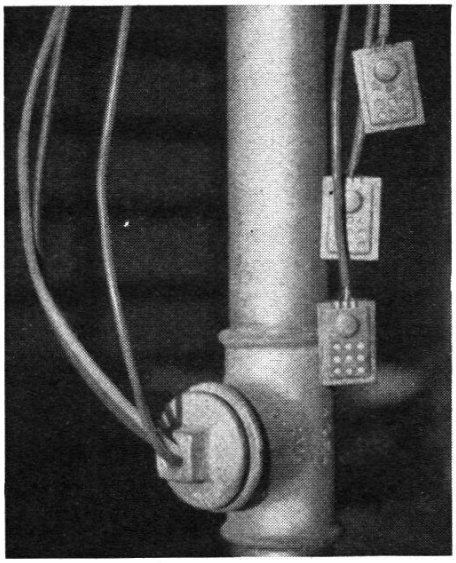

Bild 1
Standrohr mit eingezogenen Boden-Elektroden

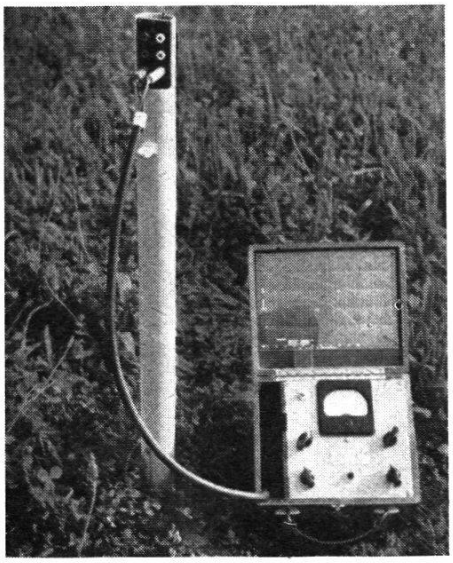

Bild 2
Meßstation: Standrohr mit Schaltbrett und Ohm-Meter

Je nach dem schichtenmäßigen Bodenaufbau und der Tiefe der hauptsächlichsten Durchwurzelung werden wir pro Meßstation mit 1–3 Elektroden, also ebensovielen Eichkurven auskommen.

Im Ohm-Meter eingebaut sind zwei Batterien von 5, bzw. 45 Volt, von denen die erste zum Anheizen des Instruments, letztere zur Messung des Widerstandes dient. Durch einen «Zerhacker» wird der Gleichstrom in Wechselstrom umgeformt, bei dem keine Polarisationserscheinungen auftreten.

Für jeden Bodenhorizont, in dem wir eine Elektrode zur Bestimmung seines jeweiligen Wassergehaltes einbauen wollen, muß vorher für eine Bodenprobe aus derselben Lage und Tiefe eine Eichkurve, die sogenannte Feuchtigkeitscharakteristik oder kurz Sorptionskurve, im Laboratorium erstellt werden. Als Bodenproben verwenden wir Stechzylinder von 1000 cm^3 nach Burger.

Die Sorptionskurve erhalten wir, indem wir den gesättigten Stechzylinderproben Wasser entziehen mittels Wassersaugspannungen und Austrocknen an der freien Atmosphäre und diesen Wasserentzug durch Gewichtsverlust mit der Waage bestimmen. Gleichzeitig wird der elektrische Widerstand gemessen, indem die in der Bodenprobe steckende Elektrode mit dem Ohm-Meter verbunden wird. Da wir in unserem Labor nicht eingerichtet sind, größere Wassersaugspannungen als 200 cm zu erzeugen, bewerkstelligen wir den weiteren Wasserentzug einfach durch Austrocknen der Bodenproben an der freien Atmosphäre, was gewöhnlich längere Zeit in Anspruch nimmt. *Werden nun die Größen «Wassergehalte in Gewichtsprozenten und die zugehörigen Ohm-Werte in Logarithmen» im Koordinatensystem eingetragen, so bildet die daraus entstehende Sorptionskurve die augenfällige Illustration des Zusammenhanges zwischen Wassergehalt oder Bodenfeuchte und elektrischem Widerstand.* (Bild 3.) Die Austrocknung wird so weit getrieben, bis keine merkliche Gewichtsabnahme mehr eintritt. Das in diesem Zustand noch vorhandene Bodenwasser, sogenanntes *hygroskopisches Wasser*, ist derart stark an die Bodenteilchen gebunden, daß es durch die Pflanzenwurzeln nicht mehr entziehbar ist. Schon vorher wird eine Situation erreicht, bei deren minimem Feuchtegehalt die Pflanze ihr Wachstum einstellt und sich vom Welken nicht mehr erholt, sofern nicht zeitig genug eine Wassergabe erfolgt. Dieser Zustand wird als *permanenter Welkepunkt* bezeichnet, er kommt in den Sorptionskurven eines Meßprofils in Rheinau als oberster Dreieckspunkt zum Ausdruck. In unserem Beispiel haben wir diesen nur für die beiden obersten Bodenhorizonte ermittelt, weil diese die stärkste Wurzelentwicklung aufweisen und für das Pflanzenwachstum ausschlaggebend sind. Je nach Bodenart liegt der Welkepunkt natürlich bei verschiedenen Wassergehalten, bzw. Widerständen. Er wird auf höchst natürliche Weise nach dem folgenden Verfahren ermittelt: Aus dem zu beobachtenden Horizont werden 200 Gramm lufttrockene Feinerde, d. h. Bodenkörner von weniger als 2 mm Durchmesser, da diese für die wasserhaltende Kraft des Bodens maßgebend sind, in ein Gefäß eingefüllt. Hierin wird ein Sonnenblumenkern zum Keimen und Entwickeln gebracht durch Zugießen

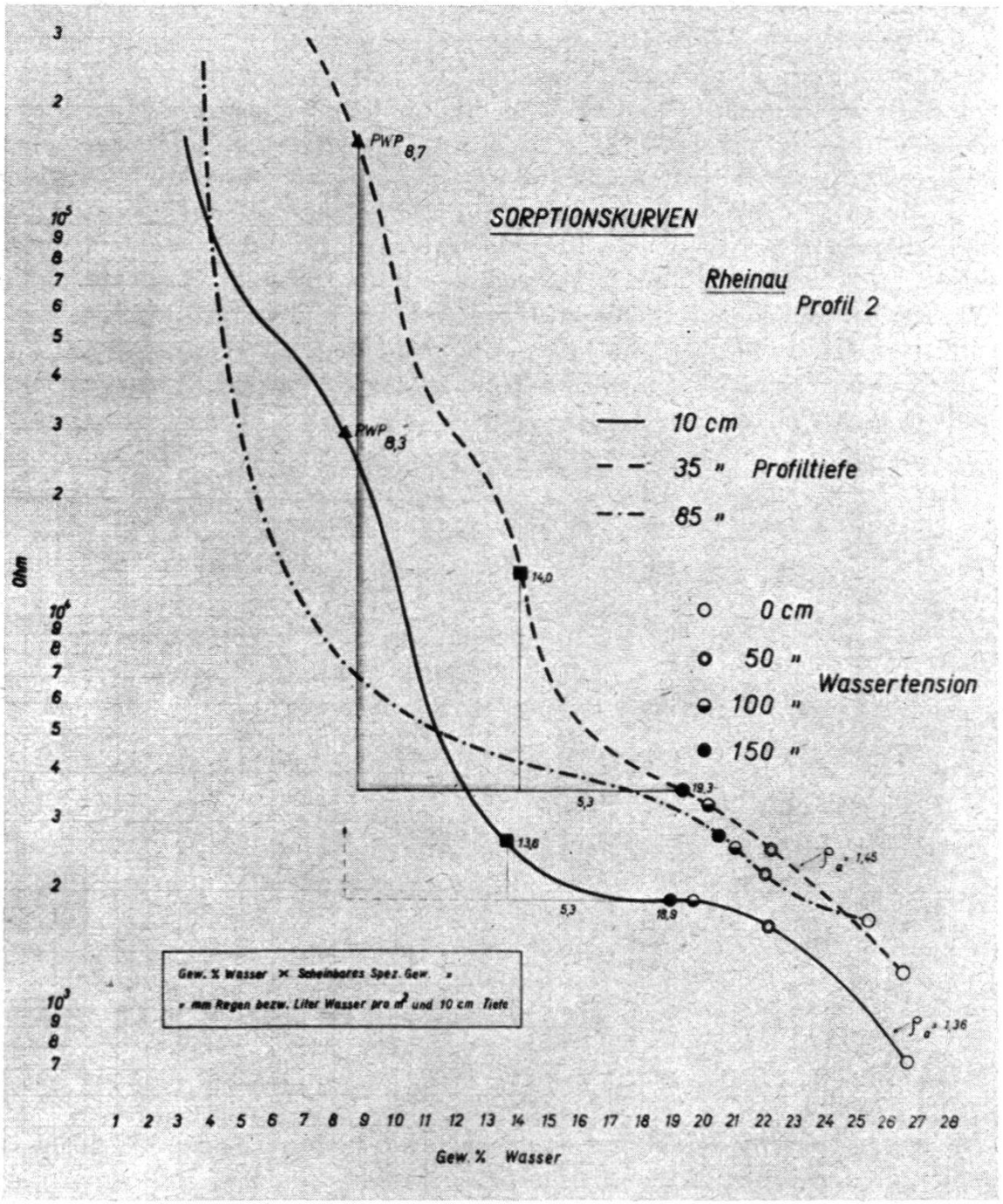

Bild 3
Sorptionskurven dreier Bodenhorizonte einer Meßstation in Rheinau

zeitweiser, dem Wachstum angemessener Wassermengen, bis das sogenannte *Vierblattstadium* erreicht ist. (Bild 4.) Von diesem an läßt man das Erdmaterial langsam austrocknen, bis Welkeerscheinungen sichtbar werden. Darauf bringt man die Pflanze wieder mit feuchtigkeitsgesättigter Luft in Verbindung, wodurch sie sich erholt, um nachher neuerdings zu welken. Diese Prozedur wird wiederholt, bis die Erholung der Pflanze nicht mehr erfolgt, wo also der *permanente Welkepunkt* erreicht ist (Bilder 4 und 5). Nach sorgfältiger Entfernung der gewelkten Pflanze und aller ihrer

Würzelchen wird das Gewicht der Feinerde vor und nach der Behandlung im Trockenschrank bei 105° C ermittelt. Dieser Gewichtsunterschied, ausgedrückt pro 100 Gramm ofentrockenen Bodens, ergibt den Wassergehalt in Gewichtsprozenten beim Welkepunkt, und die Senkrechte durch diesen Punkt der Abszisse bis zum Schnitt mit der Sorptionskurve zeigt auf der Ordinate den entsprechenden Widerstand in Ohm (Bild 3). Stellt man diesen Widerstand später mit dem Ohm-Meter bei einer Meßstation im Felde fest, so ist man darüber orientiert, daß auch hier der Welkepunkt eingetreten ist. Im Bereiche dieser Zone steigt die Haftkraft des Wassers an den Bodenteilchen auf 14–15 Atmosphären. In unserem Beispiel wurden die Wassergehalte und die zugehörigen Widerstände für die beiden oberen Schichten in 10 cm Tiefe zu 8,3 % Wasser bei 10^4.3,3 Ohm und in 35 cm Tiefe zu 8,7 % Wasser bei 10^5.2.– Ohm ermittelt.

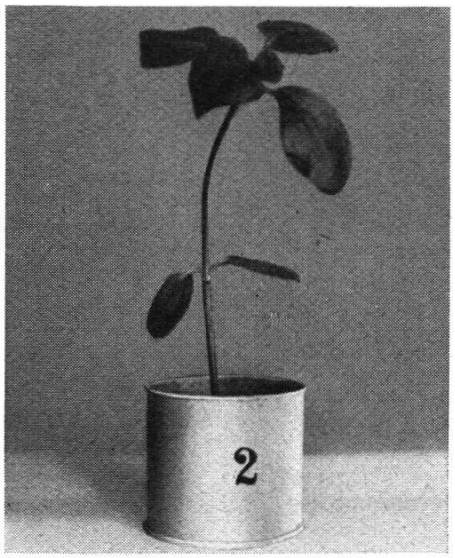

Bild 4
Gesundes Vierblattstadium

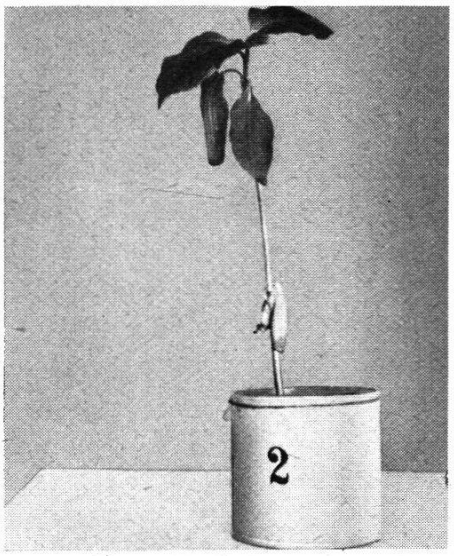

Bild 5
Dieselbe Pflanze im Welkestadium

In diesen Sorptionskurven sind also zwei extreme Punkte festgelegt, derjenige der vollen Sättigung oder der Wasserkapazität und derjenige des Welkepunktes. Nun steht aber der Pflanze nicht das gesamte Bodenwasser zwischen diesen beiden Grenzen zur Verfügung, da ein Teil desselben in den groben Bodenporen durch die Schwerkraft in tiefere, durchlässige Schichten absickert. Nachdem eine gewisse Zeit nach einem länger dauernden Regen die gravitative Bewegung des Bodenwassers zum Stillstand gekommen ist, tritt der *Zustand der sogenannten Feldkapazität* ein, bei dem das Wasser je nach Ausbildung des Bodenprofils mit einer Kraft von ungefähr 0,1–0,3 Atmosphären in den Bodenporen festgehalten wird. Damit ist auch die *oberste Grenze der Bewässerung* festgelegt. Denn es hätte keinen Sinn, die Wassergabe über diese Grenze hinaus zu erhöhen, da das Überschußwasser infolge der Schwerkraft innert kurzer Zeit im Untergrund versickert, also für die Pflanze verloren ist. Damit wäre auch

eine Wasserverschwendung und zudem eine Auswaschung an Pflanzennährstoffen verbunden, welch erstere namentlich in Gebieten mit knappem Wasservorkommen nicht zu verantworten wäre. In unserem Beispiel liegt die Feldsättigung in 10 cm Tiefe bei 18,9 Gew.-% Wasser und 10^3.1,95 Ohm Widerstand und in 35 cm Tiefe bei 19,3 Gew.-% Wasser und 10^3.3,70 Ohm Widerstand (siehe Bild 3, schwarze Kreispunkte). Diese Widerstände entsprechen einer Wassersaugspannung von 150 cm.

Es ist nun vor allem wichtig, auch *die untere Grenze der Bodenfeuchte* festzulegen, unter die der Wassergehalt nicht sinken soll, bzw. in welchem Moment eine künstliche Wasserzufuhr einzusetzen hat. Sicherlich darf diese kritische Grenze der Bodenaustrocknung nicht zu sehr gegen den Welkepunkt absinken, wenn die Pflanze in ihrem Wachstum nicht Schaden erleiden soll. Zu dieser Frage haben sich verschiedene Bodenkundler schon geäußert, bevor die Bestimmung der Bodenfeuchte auf elektrometrischem Wege möglich war. Neue amerikanische Autoren neigen zu der Auffassung, *daß Bewässerung einzusetzen hat, wenn annähernd die Hälfte des zwischen Feldkapazität und Welkepunkt aufnehmbaren Wassers verbraucht ist.* Dieser Zustand des halben, der Pflanze zur Verfügung stehenden Wassers ist in den Sorptionskurven der beiden Bodenhorizonte unseres Meßprofils durch quadratische Punkte gekennzeichnet. Der eine liegt bei 13,6, der andere bei 14,0 Gew.-% Wasser oder bei einem Widerstand von 10^3.2,7, bzw. 10^4.1,4 Ohm.

Stellen wir nachher durch das Ohm-Meter in unserer Meßstation im Feld Widerstände fest, die diesen Größen annähernd entsprechen, so wissen wir bestimmt, daß der kritische Zeitpunkt erreicht ist, in dem Beregnung zu erfolgen hat. *Schon diese Feststellung an sich ist sehr wertvoll, da diese Grenze gefühlsmäßig kaum so sicher bestimmt werden könnte.*

Dem Boden ist so viel Wasser wieder zuzuführen, bis seine Feuchte diejenige der Feldkapazität erreicht hat, d. h. das Feuchte-Defizit zwischen 13,6 und 18,9 Gew.-% der Oberschicht sowie zwischen 14,0 und 19,3 Gew.-% des zweiten Horizonts ist auszugleichen. Zufälligerweise beträgt diese Differenz für beide Schichten gleich viel, nämlich 5,3 Gew.-%.

Für die Menge dieses zwischen Feldsättigung und kritischem Beregnungspunkt verbrauchten Wassers pro Quadratmeter Bodenfläche von 10 cm Mächtigkeit, besteht die Beziehung:

$$\textit{Verbrauchte Gew.-\% Wasser} \cdot \rho_a = l/m^2 \textit{ oder mm Wasserhöhe}$$

Hierin bedeutet ρ_a = scheinbares spez. Gewicht =

$$= \frac{\text{Trockengewicht einer Volumeneinheit bei } 105^\circ \text{ C}}{1000}$$

1000 cm^3 natürlich gelagerten Bodens der obersten Schicht unseres Beispiels wiegen ofentrocken 1360 g. Bei Feldkapazität vermag dieser Boden 18,9 Gew.-% Wasser aufzunehmen oder

$$\frac{1360 \cdot 18{,}9}{100} = 257 \text{ cm}^3.$$

Ausgehend vom kritischen Beregnungspunkt müßten

$$5{,}3 \text{ Gew.-\%} \cdot 13{,}6 = 72 \text{ cm}^3 \text{ Wasser}$$

ergänzt werden, um Feldkapazität zu erreichen, was pro Quadratmeter von 10 cm Mächtigkeit

$$7{,}2 \text{ l} = 7{,}2 \text{ mm Wasserhöhe ausmacht.}$$

Unsere oberste Schicht von 20 cm Dicke erfordert demnach das Doppelte oder	14,4 l = 14,4 mm
Das Wasserdefizit der untern Schicht bis auf 40 cm Tiefe beträgt bei einem ρ_a von 1,45 $5{,}3 \cdot 1{,}45 \cdot 2 =$	15,4 l = 15,4 mm
oder zusammen rund	30.0 l = 30.0 mm

Das zwischen Feldkapazität und kritischem Beregnungszeitpunkt verbrauchte Wasser für die Wurzelzone von 40 cm Mächtigkeit beträgt demnach pro Quadratmeter 30 l oder 30 mm Regenhöhe. Die praktisch notwendige Regengabe muß jedoch größer sein, da ein Teil derselben verdunstet und oberflächlich abfließt, ohne in den Boden einzusickern. Selbst ohne jeden Wasserverlust wäre das Feuchtedefizit nach einer Regengabe von 30 mm noch nicht ausgeglichen, da die durch Austrocknung gefundene Sorptionskurve nicht identisch ist mit derjenigen, die man auf Grund von Anfeuchtung erhalten würde. Am Ohm-Meter würden sich die Widerstände der Feldsättigung schon einstellen, bevor die letztere wirklich erreicht ist, d. h. die effektive Wassergabe müßte größer sein als die errechnete.

Immerhin erhalten wir durch die elektrometrischen Feuchtemessungen bei verschiedenen Regengaben, im Vergleich mit den entsprechenden Ernteerträgen, einen Anhaltspunkt über die für die Erzielung optimaler Ernten notwendigen Wassermengen. Gleichzeitig mit den Beobachtungen am Ohm-Meter müßten Messungen der Regenhöhen durch Pluviometer im Beregnungsgebiet selbst erfolgen.

Nach den ersten orientierenden Versuchen mittels Sonnenblumenkernen über den Einfluß der Bodenfeuchte auf den Pflanzenertrag kommt Dr. E. Frei von der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon zur Feststellung, daß das kräftigste Wachstum dann eintritt, wenn der Boden dauernd bei Feldsättigung gehalten wird. Nach diesen Beobachtungen werden schon bei leicht vermindertem Wassergehalt Pflanzen mit bedeutend geringerer Blattmasse entwickelt.

Auch bei jenen Landwirtschaftsbetrieben, die mit einer Beregnungsanlage ausgerüstet sind, wird es praktisch kaum möglich sein, eine ständige Bodenfeuchte, entsprechend der Feldkapazität, einzuhalten, da das fortwährende Montieren und Demontieren der Regnerleitungen und Drehstrahlregner einen zu großen Arbeitsaufwand erfordert. In vielen Bewässerungsgebieten dürften auch die notwendigen Wasservorräte für einen solchen fast kontinuierlichen Wässerbetrieb nicht verfügbar sein.

Auch ist es unerläßlich, die Produktionskosten in einem gesunden Verhältnis zum Ernteertrag zu halten. Durch zahlreiche Versuche muß ermittelt werden, wo der kritische Bewässerungszeitpunkt in Bezug auf Bodenwassergehalt und für die verschiedenen Kulturen liegt. Ob er mit dem Mittelwert zwischen Welkepunkt und Feldkapazität zusammenfällt, wie wir in Anlehnung an amerikanische Autoren angenommen haben, ist für unsere Verhältnisse erst noch zu untersuchen. Bei unseren beiden bisherigen Beobachtungsanlagen im Kanton Zürich müßten wir uns allzulange mit Geduld wappnen, um zu verwertbaren Ergebnissen zu gelangen. Es ist notwendig, weitere Versuchsanlagen in Regionen anzulegen, wo Bewässerung ständig betrieben wird.

Stockholm stoppt die Stadterweiterung mit Tochterstädten

Bn. Unter dem Eindruck der britischen Wohnbau-Forschung hat sich die Stockholmer Stadtverwaltung vor etwa zwei Jahren entschlossen, im Vororte bau einen neuen Weg zu beschreiten. Das Ergebnis ist die Tochterstadt Vällingby, welche für 24000 Einwohner geplant worden ist. Vällingby soll eine Gartenstadt mit verschiedenartigen Häusertypen werden, mit Einfamilienhäusern und mit Miethäusern. Die letzteren werden als „Punkthäuser" mit 10 bis 12 Stockwerken oder als ungleichmäßig verteilte Reihenhäuser mit 3 Stockwerken gebaut. Die neue Tochterstadt liegt ungefähr 15 Kilometer westlich vom Stockholmer Stadtzentrum und wird nicht nur für ihre eigenen Einwohner, sondern auch für weitere 50000 bis 60000 Einwohner der benachbarten kleineren Vororte alle denkbaren öffentlichen, sozialen und Handelseinrichtungen besitzen.

Die Entwicklung dieser neuen Stadt, welche in den Einzelheiten schon vor Baubeginn durchdacht war, erfolgte nach Gesichtspunkten, die von den historischen Phasen in der Entstehung früherer Gemeinwesen grundverschieden sind, denn früher bildete ein Handelszentrum oder ein Gotteshaus den ersten Kern einer Stadtwerdung. Die modernen Verkehrseinrichtungen führen dazu, daß die Vorortbewohner die Hauptstadt als ihr soziales Zentrum ansehen. Das sich daraus ergebende öde und anonyme Leben der „Schlafstädte" trägt die Schuld für die Entwurzelung und die Unzufriedenheit sehr vieler Vorortbewohner in unserer Zeit.

Die Vällingby-Planung will dieser Tendenz dadurch begegnen, daß sie den Menschen, welche in der neuen Tochterstadt leben, ein natürliches Gemeindezentrum geben will, mit Geschäftseinrichtungen, mit Versammlungslokalen und Stätten der Entspannung und Erbauung. In den Plänen für das Zentrum von Vällingby sind daher alle diese Einrichtungen von Anbeginn an vorgesehen.

Ein Drittel der Wohnhäuser in Vällingby ist bereits bewohnt oder einzugsbereit, und der Bau des Stadtzentrums sowie der restlichen Häu-