

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

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 52 (1954)

Heft: 7

Artikel: Kulturpflanze und Wasser

Autor: Koblet, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-210955>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

mit dem Ursprung verbunden werden können. In jedem Polygon versichern aber zwei Polygongleichungen die Gleichheit der Lotabweichung im gemeinsamen Endpunkt zweier Linienzüge, wobei durch die individuellen Seitenverbesserungen der Variabilität des Projektionsmaßstabes Rechnung getragen ist. Dadurch können die Maßstabfehler korrigiert werden, die bei der geometrischen Netzausgleichung auch dann eintreten werden, wenn die Grundlinien exakt auf das Referenzellipsoid reduziert sind. (Schluß folgt)

Vortragskurs

*über Entwässerung, Bewässerung und Gewässerschutz
am 8. und 9. April 1954, ETH Zürich*

Einem allgemeinen Wunsch entsprechend, ist vorgesehen, die Kursvorträge, soweit sie nicht bereits anderswo publiziert wurden, drucken zu lassen. Im Verlag Baublatt AG., Rüschlikon-Zürich, sind bis anhin erschienen:

a) In der Sondernummer «Kulturtechnik» des Schweiz. Baublattes 1954

der 2. Vortrag von Prof. E. Ramser unter dem Titel «Untersuchungen bindiger Böden auf Grund ihres Wasserhaltevermögens und Folgerungen für die Entwässerungspraxis». Separatas sind beim Referenten direkt erhältlich.

b) In der Sondernummer «Gewässerschutz und Abwasser-Reinigungsanlagen» des Schweiz. Baublattes 1952

der 1. Vortrag von Prof. Dr. O. Jaag unter dem Titel «Die Notwendigkeit des Gewässerschutzes und unser Ziel der Abwasserreinigung in der Schweiz. Aufgabe und Zweck der Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz»;

der Vortrag von Dipl.-Ing. A. Hörler unter dem Titel «Übersicht der gebräuchlichsten Reinigungsverfahren für vorwiegend häusliche Abwässer».

Es ist in Aussicht genommen, die übrigen Vorträge in gedrängter Form soweit möglich in den nächsten Nummern der Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie folgen zu lassen.

Der Kursleiter: *E. Tanner*

Kulturpflanze und Wasser

Vortrag, gehalten von Prof. Dr. R. Koblet im Kurs über Entwässerung, Bewässerung und Gewässerschutz, am 8. April 1954 an der ETH Zürich

Reichtum oder Armut an Wasser formen in starkem Maße die natürliche Vegetationsdecke. Die Verbreitung von Wäldern, Grasfluren, Steppen und Wüsten spiegelt ein gutes Stück weit die Verteilung der Niederschläge auf unserem Erdball wider. Die Rücksichtnahme auf den Wasser-

haushalt bestimmt auch weitgehend die Gestaltung des Pflanzenbaues, und zwar sowohl die Auswahl der Kulturpflanzen als auch die Methoden von Saat, Düngung, Pflege und Ernte.

Pflanzen mit hohen Feuchtigkeitsansprüchen, wie etwa Faserflachs, Hopfen, Konservenerbsen oder Kohlgewächse, lohnen den Anbau nur in feuchtem Klima, bzw. auf Böden mit bedeutender Wasserkapazität.

Bei manchen wichtigen Kulturarten entscheidet die natürliche Wasserversorgung über die Intensität des Anbaues und über den größeren oder geringeren Einsatz von Produktionsmitteln. So ist der Getreidebau Westeuropas dank den verhältnismäßig hohen Niederschlägen zu einer Intensivkultur geworden. Das meist in genügenden Mengen zur Verfügung stehende Wasser reicht hier für große Hektarerträge aus. Es bietet so eine wichtige Voraussetzung für den Anbau hochleistungsfähiger Sorten und den Erfolg reichlicher Düngung. Sorgfalt im Anbau ist unter diesen Umständen lohnend. Demgegenüber produzieren die heutigen Hauptexportländer ihr Getreide in der Hauptsache in Gebieten, wo knappe Niederschläge die Erträge begrenzen; große Aufwendungen an Düngung und Pflege würden hier eine Fehlinvestition bedeuten. Wenn die britischen Inseln heute mehr als halb so viel Weizen ernten wie der ganze Kontinent Australien, Frankreich und Italien zusammen mehr als das riesige Kanada, so ist das zu einem guten Teil aus der naturbedingten Gunst oder Ungunst in bezug auf den Vegetationsfaktor Wasser zu erklären.

Noch extremer wirkt sich der Wasserhaushalt auf die Gestaltung der futterbaulichen Produktion aus. Intensiver Kunstfutterbau mit leistungsfähigen Kleearten und Gräsern erfordert mittlere bis gute Feuchtigkeitsverhältnisse. Gut gedüngte Dauerwiesen und -weiden bringen noch hohe Erträge, wo überreichliche Niederschläge, hoher Grundwasserstand oder ein extremer Tongehalt des Bodens die Beackerung erschweren oder verhindern. Andererseits dienen die Grenzgebiete nutzbaren Pflanzenwuchses zwischen Steppe und Wüste ebenfalls der Lieferung von Rauhfutter in Form einer spärlichen Weide. In den Vereinigten Staaten von Amerika sind im extremen Falle 240 ha Weide für die Ernährung eines Stückes Großvieh erforderlich, während bei Fettweiden unter günstigsten Feuchtigkeitsverhältnissen 0,4 ha ausreichen können.

Wie sehr das Wasser als Wachstumsfaktor die Leistung des Pflanzenbaues entscheiden kann, zeigt sich besonders augenfällig in Bewässerungsgebieten, wo inmitten der armseligen Steppe Obstgärten, Gemüseplantagen, Zuckerrübenkulturen und üppige Getreidefelder erstehen.

Im großen und ganzen hat sich der Bodenbebauer den natürlichen Verhältnissen der verschiedenen Erdstriche durch Auswahl geeigneter Pflanzen und die Gestaltung der Anbaumethoden anzupassen gewußt. Im heutigen Pflanzenbau sehen wir uns aber doch immer wieder vor die Aufgabe gestellt, den Feuchtigkeitsbedürfnissen der Kulturpflanzen besser entgegenzukommen. Das Wasser kann auch im humiden Klima zeitweilig zum begrenzenden Faktor werden. Wir besitzen heute dank intensiver züchterischer Arbeit leistungsfähige Pflanzensorten. Wir sind in der

Lage, diese mit Hilfe von Stallmist und Handelsdüngern reichlicher zu ernähren. Wir bekämpfen Krankheiten und Schädlinge. Um so wichtiger ist vielerorts der Vegetationsfaktor Wasser geworden.

Beziehungen zwischen dem Wasser und wichtigen Lebensvorgängen in der Pflanze

Alle wichtigen Lebensprozesse sind an ein wässriges Milieu gebunden. Das Wasser ist das Transportmittel für die mineralischen Nährstoffe, die in wässriger Lösung in die Pflanzen eintreten. Eine gewisse Menge Wasser geht bei der Kohlensäure-Assimilation in die neu gebildete organische Substanz ein. Das Wasser stellt damit auch einen eigentlichen Nährstoff dar. Der Hauptverbrauch erfolgt aber durch die *Transpiration*. Diese ist besonders hoch, wenn die Spaltöffnungen der am Licht assimilierenden grünen Pflanzen geöffnet sind. Selbst dann, wenn die Spaltöffnungen sich schließen, geht immer noch Wasser durch die mit Kutin bedeckte Außenwand der die Luft berührenden Zellen verloren. Die Pflanze kann aber bei trockener Luft oder mangelndem Zustrom an Feuchtigkeit den Wasserverbrauch stark einschränken. So gibt die Stieleiche nach *Gäumann* (1942) bei geschlossenen Spaltöffnungen unter einer Luftfeuchtigkeit zwischen 10 und 80 % nur 0,7 % der Wassermenge ab, die durch eine gleich große freie Wasserfläche verdunsten würde.

Der Wassergehalt der Chlorophyllkörner und anderer Zellbestandteile beeinflußt die Intensität der *Kohlensäure-Assimilation*. Die Assimilationsleistung, also die Bildung organischer Substanz, nimmt ab, wenn der Wassergehalt der Gewebe unter den optimalen Bereich sinkt. Unge störte Wasserzufuhr ist sodann vor allem für das *Wachstum* wesentlich: für Zellteilung und Zellstreckung mit all den Vorgängen der Neubildung von Zellkern und wasserreichem Protoplasma, der Stoffeinlagerung in die sich vergrößernde Zellwand und der Füllung des zentralen Raums der Zelle mit Zellsaft.

Verschlechtert sich die Wasserversorgung in stärkerem Maße, so beginnen die Kulturen zu welken. Je nach Konstitution wird das Welken für längere oder kürzere Zeit ertragen, das heißt die Pflanze erholt sich nach erneuter Zufuhr von Wasser vielfach wieder. Auch vorübergehendes Welken bedeutet jedoch eine Störung in der Entwicklung. In bestimmten Entwicklungsstadien führt das Welken rasch zu dauernder Schädigung oder zum Tode.

Es ist verschiedentlich berechnet worden, wie viele Kilogramm Wasser bestimmte Pflanzenarten verbrauchen, bis ein Kilogramm Trockensubstanz gebildet ist. Dieses Verhältnis, die sogenannte *Transpirationszahl*, bewegt sich im feuchten Klima in der Regel zwischen 200 und 500, d. h. es werden auf ein Kilogramm Trockensubstanz-Zuwachs im großen Durchschnitt 200 bis 500 kg Wasser verbraucht. Die Transpirationszahl ist bei den einzelnen Arten verschieden. So verbrauchen Luzerne und italienisches Raigras viel, Mais und Hirse wenig Wasser. Weizen und Gerste nehmen eine mittlere Stellung ein. Die Höhe der Transpirations-

zahl sagt noch nichts Endgültiges über die Eignung der einzelnen Kulturen für das niederschlagsarme Klima. So geht der Weizen weiter in die Trockengebiete hinein als der Mais, weil er die Winterfeuchtigkeit besser ausnützt und früher reift als der erst nach den Spätfrösten zur Aussaat gelangende Mais. Die Luzerne gedeiht trotz dem hohen Wasserverbrauch in trockenen Gebieten und Jahren, weil sie mit ihrem stark entwickelten Wurzelsystem die Feuchtigkeit tieferer Bodenschichten ausnützt.

Die Transpirationszahl ist weiter abhängig von der Luftfeuchtigkeit, genauer gesagt vom Sättigungsdefizit. Sie wird schließlich von der Wasserführung und der Fruchtbarkeit des Bodens beeinflusst. Bei mittlerem Feuchtigkeitsgehalt und guter Nährstoffversorgung arbeitet die Pflanze am rationellsten. Wird das Wachstum durch trockenen Boden oder mangelnden Nährstoffvorrat beeinträchtigt, so ist auf die Einheit gebildeter Trockensubstanz ein größerer Wasserumsatz notwendig.

Der Boden als Wasserspeicher

Angesichts der ungleichen, von Jahr zu Jahr wechselnden Verteilung der Niederschläge kommt dem Wasservorrat des Bodens überaus große Bedeutung zu. Mit dem im Boden gespeicherten Wasser sollen unsere Kulturpflanzen niederschlagsfreie Perioden überdauern können.

Die Bodenphysik charakterisiert das Bodenwasser ganz allgemein nach den Kräften, mit denen dieses an der Oberfläche der Bodenteilchen, bzw. in den kleineren oder größeren Poren festgehalten wird. Diese Betrachtungsweise muß uns hier interessieren, weil sie sich gerade für die Charakterisierung der Beziehungen zwischen Bodenwasser und Pflanze als fruchtbar erwiesen hat. Im wasserungesättigten Boden steht das Wasser unter einem negativen Druck (Saugdruck, Unterdruck, Tension). Dieser Unterdruck kann ausgedrückt werden in Atmosphären oder in Zentimetern Wassersäule, die man ansetzen muß, um bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgehalt Wasser aus dem Boden zu entfernen. Fig. 1 gibt die Beziehungen zwischen dem Unterdruck und dem prozentualen Wassergehalt, die sogenannte Feuchtigkeitscharakteristik, für einen Sand- und einen Lehm Boden wieder. Der variable Druck ist auf der Ordinate in Atmosphären angegeben. Er läßt sich auch in Zentimetern Wassersäule ausdrücken; in diesem Falle wird des sehr großen Bereiches wegen meistens der Logarithmus eingetragen (pF -Werte). Es zeigt sich hier deutlich, daß einem niedrigen Wassergehalt hohe Tensionen entsprechen, während bei größerem Wasservorrat die Unterdrucke gering werden*.

In der Feuchtigkeitscharakteristik, die für einen Sandboden anders verläuft als für einen Tonboden, lassen sich einige für die Pflanze beson-

* Die Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Wasserbindung können hier nur stark vereinfacht wiedergegeben werden. Für eine genauere Darstellung der wirklichen Verhältnisse muß auf die neueren bodenphysikalischen Arbeiten, zitiert bei Richard (1953), verwiesen werden. Die Bewegung des Wassers im Boden wird verglichen mit der Ausbreitung von Wärme in einem Metallstab; die Wasserbindung wird als Energiefunktion dargestellt.

ders wichtige Punkte fixieren. Wir interessieren uns einerseits für den Feuchtigkeitsbereich, wo die Pflanze dem Boden gerade nicht mehr genügend Wasser zur Aufrechterhaltung des Turgors entnehmen kann, wo sie dauernd welkt. Dieser Grenzwert, der sogenannte *permanente Welkungs-punkt*, entspricht einem Unterdruck von ungefähr 15 Atmosphären. Der dargestellte Sandboden enthält hier etwa 4 % Feuchtigkeit, der Löß-

Beziehungen zwischen Wassergehalt und Wasserbindung

Nach Bayer (1948) und Richard (1953)

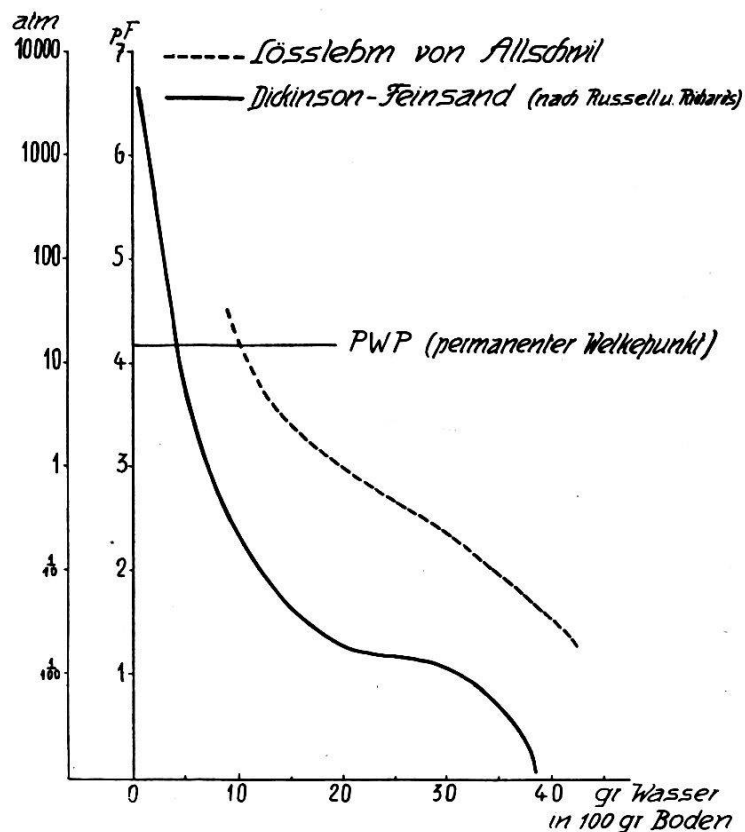


Fig. 1

lehm 10 %. Höherer Tongehalt des Bodens hat also zur Folge, daß ein größerer Prozentsatz an Wasser der Pflanze unzugänglich bleibt. Ein zweiter wichtiger Punkt ist die sogenannte *Feldkapazität*. Man versteht darunter den Wassergehalt, der in einem völlig durchnässten Boden bei verhinderter Verdunstung zwei bis drei Tage nach dem Aufhören des Regens zurückbleibt. Diese Zeit ist so gewählt, weil nach zwei bis drei Tagen bei den meisten Böden der durch die Schwerkraft bedingte rasche Wasserabfluß zum Stillstand kommt. Die Feldkapazität hängt von der Form und der Verteilung der Bodenhohlräume ab. Meistens liegt sie bei einer Saugspannung zwischen 0,1 und 0,35 Atmosphären. Im Zustand der Feldkapazität wird also so viel Wasser festgehalten, wie wenn der Boden durch einen Unterdruck von 0,1 bis 0,35 Atmosphären entwässert würde.

Vom Wasser, das zwischen der Feldkapazität und dem permanenten Welkungspunkt liegt, kann die Pflanze während der niederschlagsfreien Zeit zehren. Es ist das Wasser, das die besondere Aufmerksamkeit des Bodenbauers erfordert. Die Feldkapazität entspricht bei ton- und humusreichen Böden einem höheren prozentualen Wassergehalt als beim Sand. Böden mit bedeutendem Ton- und Humusgehalt halten trotz ihrem höheren Wassergehalte beim Welkungspunkt den Pflanzen in der Regel mehr Wasser zur Verfügung als grobdisperse Böden mit geringer innerer Oberfläche.

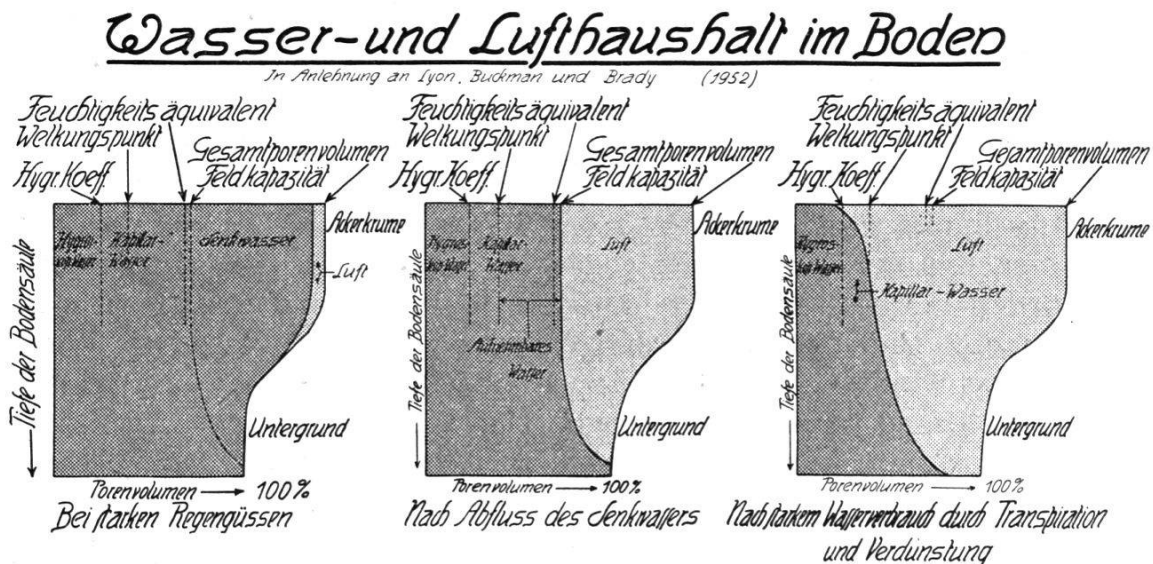


Fig. 2

Die skizzierten Zusammenhänge werden in Fig. 2, gezeichnet nach Lyon, Buckman und Brady (1952), noch etwas besser veranschaulicht. Auf der Abszisse ist hier das Porenvolumen eingetragen. Es ist angedeutet, daß der Porenraum im Untergrund geringer ist als in der Ackerkrume. Die Darstellung gibt die Verteilung von Luft und Wasser bei fortschreitender Austrocknung wieder. Nach einem starken Regenguß ist zunächst der ganze Porenraum, ausgenommen die Hohlräume mit gefangener Luft, mit Wasser durchtränkt. Das in den großen Poren enthaltene Wasser fließt rasch weg. Das Wasser, das über die Feldkapazität hinaus zeitweilig im Boden enthalten ist, kann also nur ganz vorübergehend zur Versorgung der Pflanzen beitragen. Würde dieses Wasser infolge Stauung im Untergrund länger in den durchwurzelten Bodenschichten verbleiben, so könnten die anspruchsvollen Kulturpflanzen unter Sauerstoffmangel leiden. Die mittlere Darstellung stellt den Wasservorrat im Zustande der Feldkapazität dar. Diese entspricht im oberen Teil des Profils einem geringeren Wassergehalt als im Untergrund. In der obersten Schicht wirken größere Unterdrucke stärker entwässernd, als dies bei der Annäherung an das Grundwasser der Fall ist. Von jetzt an zehrt die Pflanze vom Wasser, das mit Saugdrücken von mehr als 0,1 bis 0,35 Atmosphären festgehalten wird. Die Ausnutzungsmöglichkeit reicht bis zum Wel-

kungspunkt. Dabei kann aber in Trockenperioden infolge direkter Verdunstung der Wassergehalt an der Oberfläche unter den Welkungspunkt sinken. Auch so können sich tiefwurzelnde Pflanzen aus dem untern Teil der Krume oder dem Untergrund noch mit Wasser versorgen. Andererseits können spätere kleine Niederschläge unter Umständen für die Pflanze wirkungslos bleiben, da diese benötigt werden, um den Wasservorrat der obersten Bodenschicht wieder auf den Welkungspunkt zu bringen. Bei Ton- und Moorböden mit großer innerer Oberfläche kann dies bedeutende Mengen Wasser erfordern.

Bodenwasser und Wasseraufnahme durch die Pflanze

Was geht im Innern des Bodens vor sich, wenn die Pflanze Wasser aufnimmt? Nehmen wir als Beispiel eine Kartoffelpflanze an, die bei einer der Feldkapazität entsprechenden Feuchtigkeit wächst. In der Umgebung der Wurzelhaare wird sich der Wassergehalt vermindern. Er kann so weit abnehmen, bis der Unterdruck gegen 15 Atmosphären beträgt. Dieser Unterdruck bewirkt nun aber, daß das Wasser von den entfernteren, noch feuchten Bodenpartien zu den Wurzeln hingezogen wird. Die Wanderungsgeschwindigkeit in den dünnen Feuchtigkeitsfilmen und in den feinen Kapillaren ist aber sehr gering. Der Wasserausgleich wird um so schleppender, je mehr der Boden an Feuchtigkeit verarmt. Die Distanz, aus der der Pflanze innert nützlicher Frist Wasser zuströmt, kann Zentimeter oder Bruchteile von Zentimetern betragen. So lassen sich unter Umständen in der Umgebung der Wurzel Wassergehalte nahe beim Welkungspunkt messen, während in 10 cm Entfernung der Feuchtigkeitsvorrat noch annähernd der Feldkapazität entspricht.

Angesichts dieser geringen Eigenbeweglichkeit des Wassers bei Feuchtigkeitsgraden unter der Feldkapazität ist es um so wichtiger, daß die Pflanzen *jeden Kubikzentimeter des Bodens kräftig durchwurzeln*. Jedem Entzug des Wassers durch die Wurzeln folgt so ein Zustrom des Bodenwassers auf breiter Front. Beträgt dieses durch Druckunterschiede, d. h. durch physikalische Kräfte, bedingte Vorrücken auch nur Bruchteile von Zentimetern, so genügt dies dennoch, um der Pflanze insgesamt bedeutende Feuchtigkeitsmengen zuzuführen.

Richards und Wadleigh (1952) rechnen damit, daß bei einer Maximaldistanz von weniger als 1 cm zwischen Wurzeln und wurzelfreier Bodenregion Unterschiede in der Wassertension, die am Tage bei starker Transpiration entstehen, sich über Nacht weitgehend ausgleichen.

Wie die seitliche Verschiebung zu den Wurzeln hin, so darf auch der kapillare Aufstieg entgegen früheren Auffassungen nicht überschätzt werden. Unmittelbar über einem Grundwasserspiegel, wo der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens hoch und das Wasser unter geringem Unterdruck steht, mag die Steighöhe noch die Größenordnung von Dezimetern annehmen (in der neueren Literatur finden sich Angaben bis etwa maximal 50 cm; dabei denkt man immer an nennenswerte Wassermengen, die in-

nert nützlicher Frist verfügbar werden). Um so wichtiger ist es, daß die Pflanze über Wurzeln mit genügendem Tiefgang verfügt. Gewächse mit kräftigen, in den Untergrund vordringenden Wurzeln wie z.B. die Luzerne stellen sich in Trockenheitsperioden viel günstiger. In den Versuchen unseres früheren Mitarbeiters *E. Keller* sank im Trockenjahr 1949 der Wassergehalt unter Sommerweizen mit Luzerne-Einsaat in der Ackerkrume (10 bis 20 cm) auf 6,7 Gewichtsprozente; dies bei einem Welkepunkt von 8,2 %. Auffallenderweise erlitt die Luzernemischung keinen nennenswerten Schaden. Die Luzerne hat sich somit schon im Saatjahr aus dem Feuchtigkeitsvorrat tieferer Schichten am Leben erhalten können.

Der erwähnte kapillare Wasseraufstieg – im Ausmaße ohnehin bescheiden – spielt kaum mehr, wenn der Boden stellenweise stark ausgetrocknet ist. Die Bodenmasse kann in diesem Falle nur dann wieder durchfeuchtet werden, wenn Wasser niedriger Tension, etwa beim Feuchtigkeitsgrad der Feldkapazität, zur Verfügung steht. Nur in diesem Falle – etwa bei gründlicher Anfeuchtung durch Regen oder künstliche Bewässerung – tritt eine rasche Bewegung des Wassers und damit ein wirksamer Feuchtigkeitsausgleich ein. Um dem Austrocknen entgegenzuwirken, sorgt der Landwirt bei der Beackerung und Saatbettherstellung für einen guten Anschluß der Ackerkrume an die darunter liegenden Bodenschichten. Er sucht im schweren Boden die Bildung grober Lufttaschen zu vermeiden und verleiht dem Moorboden mit der Walze eine größere Dichte.

Wasservorrat und Pflanzenwachstum

Wir sind davon ausgegangen, daß das Bodenwasser im Bereich zwischen Feldkapazität und Welkungspunkt den Pflanzen als Reserve für Trockenperioden zur Verfügung steht. Ist dieses Wasser über den ganzen Bereich hinweg gleich produktiv? Da die Beweglichkeit des Kapillarwassers im Boden beschränkt ist und mit fortschreitender Austrocknung geringer wird, ist zu erwarten, daß Feuchtigkeitsgehalte in der Nähe der Feldkapazität für die intensive Lebenstätigkeit der Pflanze günstiger sein müssen. Nach *Richards* und *Wadleigh* (1952) deuten neuere Beobachtungen darauf hin, daß das vegetative Wachstum einiger Pflanzen deutlich abnimmt, wenn die Tension des Bodenwassers in den Bereich von einer Atmosphäre ansteigt, und daß der Zuwachs gänzlich aufhört, bevor der Boden bis zum Welkungspunkt entwässert ist. In Topfversuchen von *E. Frei* (1953) mit Sonnenblumen waren Transpiration und Blattzuwachs am höchsten bei Wassergehalten in der Nähe der Feldkapazität. Bei leicht vermindertem Wasservorrat begann zunächst die Transpiration abzufallen. Bei Tensionen des Bodenwassers zwischen 1,0 und 1,5 Atmosphären sank der Blattzuwachs rapid. Bald wurde der Zustand erreicht, wo zwar die Pflanze noch genügend Feuchtigkeit an sich reißen konnte, um sich am Leben zu erhalten, wo aber der Zuwachs gänzlich aufhörte. Die Produktion kam zum Stillstand, lange bevor die Pflanze dauernd welkte.

Die Cornell University hat die Frage der günstigsten Bodenfeuchtigkeit in Bewässerungsversuchen bei Speisekartoffeln geprüft (*Jacob, Russell, Klute, Levine und Grossman [1952]*). Die besten Erträge ergaben sich bei Feuchtigkeitsgehalten, die Tensionen zwischen 0,7 und 1,4 Atmosphären entsprechen; bei höheren Unterdrücken, d.h. bei niedrigerem Wassergehalt, fielen die Erträge rasch ab.

Diese Beobachtungen deuten darauf hin, daß bestimmte Pflanzen nur bei verhältnismäßig hoher Bodenfeuchtigkeit höchste Produktionsleistungen vollbringen. Die Versorgung mit Wasser darf allerdings nicht für sich allein betrachtet werden. Unter niedrigen Temperaturen wird die Pflanze bei Feuchtigkeitsgehalten nahe beim Welkungspunkt eher turgeszent bleiben und wachsen, als dies bei trocken-heißem Wetter der Fall wäre. Es ist weiter zu beachten, daß nicht alle Pflanzenarten auf abfallende Wassergehalte gleich reagieren. Die Weinrebe bringt ihre Früchte bei niedrigem Wasservorrat zur Entwicklung, während z.B. der Sellerie, der den Boden schwach durchwurzelt, bei Feuchtigkeitsmangel stark leidet. Die einzelnen Arten sind zudem in verschiedenen Entwicklungsstadien auf Wassermangel ungleich empfindlich. So benötigt der Mais während der Blüte und der Befruchtung am meisten Wasser. Die Kartoffeln erleiden starke Ertragseinbußen, wenn zur Zeit des Knollenansatzes Trockenheit herrscht. Während des Reifens der Körnerfrüchte wie auch bei der letzten Entwicklung der Knollen- und Wurzelgewächse schadet geringere Bodenfeuchtigkeit wenig. Diese kann sogar für die Qualität und Haltbarkeit der Produkte von Vorteil sein. Die Verlagerung der durch Assimilation erzeugten organischen Stoffe in die Samen und Knollen kann noch bei Feuchtigkeitsgraden vor sich gehen, wo die Assimilation selbst bereits stark reduziert ist. Trockenheits-resistente Pflanzen können sich bei stark herabgesetzter Transpiration noch bei Wassergehalten im Bereich des Welkungspunktes am Leben erhalten und ihre Samen zum Reifen bringen. Auch für die Samenkeimung ist der Wasserbedarf geringer. Nach *Hunter und Erickson (1952)* vermag das Saatgut von Mais noch bei Wassertensionen von 12,5 Atmosphären zu keimen. Das stärker wasserbedürftige Zuckerrüben-Saatgut erfordert einen Wassergehalt, der 3,5 Atmosphären Unterdruck entspricht. Hohe Bodenfeuchtigkeit ist dagegen für das freudige Wachstum junger Pflanzen und für die Produktivität von Wiesen und Weiden entscheidend. Besonders empfindlich ist in dieser Hinsicht der durch tiefen Schnitt entblätterte Rasen. Dieser kann nach neuen amerikanischen Untersuchungen (vgl. *Jäntti, 1953*) nur Wasser aufnehmen, dessen Tension 1–2 Atmosphären nicht übersteigt. Ungestörtes Wachstum bedeutet im Futterbau auch geringere Verholzung. Reichliche Wasserversorgung ist daher für die Qualität des Rauhfutters günstig.

Wir müßten somit, wenn wir von keimenden und reifenden Pflanzen absehen, einen möglichst hohen Wassergehalt des Bodens zu erreichen suchen. Wir wissen jedoch, daß diesem Bestreben dadurch Grenzen gesetzt sind, daß wir den Pflanzenwurzeln gleichzeitig genügend Sauerstoff sichern müssen. Die Atmung ist nicht nur für die allgemeine Lebenstätig-

keit der Zellen unerlässlich. Die Wurzel beschafft sich damit auch die Energie, um Nährstoffe aus der Bodenlösung in die Pflanze zu bringen. Auf Mangel an Sauerstoff sind die meisten Kulturpflanzen, vor allem die Ackergewächse – etwa mit Ausnahme des Reises – recht empfindlich. In den bereits erwähnten Versuchen der Cornell University macht sich der Ertragsausfall auch gegen die hohen Feuchtigkeitsgrade hin geltend, und zwar teilweise je nach Jahreswitterung schon bei Tensionen von 0,35 bis 0,7 Atmosphären.

Der Kulturingenieur ist es gewohnt, stauende Nässe durch künstliche Drainage zu beseitigen. Seien wir uns aber bewußt, daß es nicht um den Wasserentzug an sich geht, sondern darum, Luft in den Boden zu bringen. Man müßte also nur so weit entwässern, als dies nötig ist, um dem Boden Luft zu verschaffen und die aerobe Kleinlebewelt zu fördern. Vielleicht verdienen gerade in diesem Zusammenhang die Maulwurfsdrainage und die Bodendurchlüftung mit dem Untergrundlockerer alle Beachtung. Für den Wasser- und Lufthaushalt ist die Anwesenheit von stabilen Aggregaten (Krümeln) im Boden von großer Bedeutung. Bei der Bildung dauerhafter Krümel spielen Stoffwechsel- und Ausscheidungsprodukte der Mikroorganismen eine wichtige Rolle. Die Förderung der biologischen Aktivität ist daher bei kulturtechnischen und pflanzenbaulichen Maßnahmen mit im Auge zu behalten. Wichtig ist, daß bei Meliorationen Vorsorge getroffen wird, um in Trockenzeiten das Wasser zurückzuhalten. In den der Blumenkultur dienenden Sandböden Hollands bemüht man sich, den Grundwasserstand auf 55 cm Tiefe einzustellen. Bei diesem erfahrungsgemäß günstigen Niveau vermag auch der Sandboden verhältnismäßig viel Feuchtigkeit an sich zu binden, ohne daß die Luftversorgung mangelhaft wird. Aus Fig. 1 kann übrigens entnommen werden, daß der Sandboden bei 0,05 Atmosphären Tension bedeutend mehr Wasser festzuhalten vermag als bei 0,2 Atmosphären.

Damit sollen selbstverständlich keinerlei generelle Ratschläge für die Entwässerungstiefe erteilt werden. Ein hoher, schwankender Grundwasserstand vermag die Wasserversorgung unter Umständen zu gefährden. Er kann zu einer flachen Bewurzelung der luftbedürftigen Kulturpflanzen führen; bei zeitweiligem Absinken des Wasserstandes erschöpft sich in diesem Falle der Feuchtigkeitsvorrat im Wurzelbereich um so rascher.

Das Klima des größten Teiles der Schweiz wird als humid klassifiziert. Dennoch liegt in den intensiv bebauten Gebieten der Wassergehalt des Bodens recht häufig unter dem Optimum für das Pflanzenwachstum. Es sind denn auch neuerdings außerhalb der traditionellen Bewässerungsanlagen der trockenen Alpentäler zahlreiche behelfsmäßige und gut ausgebauten Einrichtungen zur *Wasserzufuhr in Trockenperioden* geschaffen worden. Zu den Anlagen muß sich die richtige Technik der Bewässerung gesellen. Das zugeführte Wasser soll die Pflanzen nicht nur am Leben erhalten, sondern sie zu bestmöglicher Produktion bringen. Die Kulturen dürfen auch nicht durch ein zeitweiliges Zuviel an Wasser Schaden leiden. Entsprechende Versuche, die vom Kulturtechnischen Institut der ETH

in Zusammenarbeit mit der Eidg. Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon eingeleitet worden sind, erweisen sich als um so notwendiger, da es in unserem Lande – abgesehen vom Wallis und den Gebieten mit Wasserwiesen – an der Erfahrung in der Bewässerungstechnik fehlt.

Die meisten unserer Landwirte werden auch inskünftig ihre Feldfrüchte ohne Bewässerung ziehen müssen. In Gebieten mit häufiger Sommertrockenheit ist bei der Aufstellung der Fruchtfolge auf die Wasservorräte des Bodens Rücksicht zu nehmen. Man wird u. a. zurückhaltend sein mit dem Anbau überwinternder Ackerfutterpflanzen, die unter Umständen die Winterfeuchtigkeit vollständig verbrauchen und der nachfolgenden Hauptkultur ein staubtrockenes Feld hinterlassen. Der Landwirt kann den natürlichen Feuchtigkeitsverhältnissen durch Auswahl der Arten und Sorten ein Stück weit Rechnung tragen. Unsere schweizerischen Weizensorten vergilben unter Sommerhitze und -trockenheit weniger als beispielsweise die nordfranzösischen Züchtungen, die in ihrem Herkunftsgebiet unter höheren Luftfeuchtigkeiten wachsen.

Man wird namentlich auch bei der *Bodenbearbeitung* der Erhaltung des Bodenwassers – ohne Vernachlässigung der Durchlüftung – Beachtung schenken müssen. Untersuchungen unseres Institutes aus den Jahren 1950–1953 galten der Frage, wie sich verschiedene Verfahren der sommerlichen Bearbeitung der Stoppelfelder auf Struktur, Wasserhaushalt und Luftführung des Bodens und auf den Ertrag von Ackerfutterpflanzen auswirken.

Die Ergebnisse, die B. Nüesch im vergangenen Sommer ermittelt hat, zeigen, wie wichtig es ist, in Jahren mit trockenen Hochsommern jeden unnötigen Verlust an Feuchtigkeit zu vermeiden. In Fig. 3 und 4 ist die Veränderung des Wassergehaltes bei normal gepflügten und bei flach ge-

Wasserführung des Bodens in Abhängigkeit von Bearbeitung und Bepflanzung. Schicht von 10-15 cm

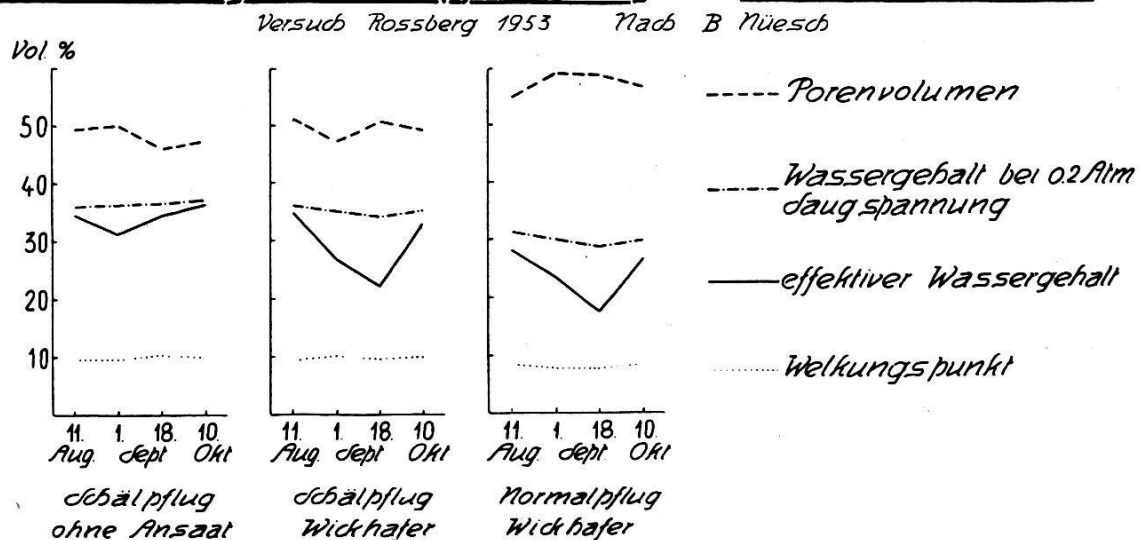


Fig. 3

schälten Parzellen eingetragen. Die Darstellung gibt uns gleichzeitig ein Bild von den Veränderungen des Wassergehaltes im bepflanzt und unbepflanzten Boden. Wir betrachten zunächst die Verhältnisse in 10 bis 15 cm Tiefe (Fig. 3).

Der effektive Feuchtigkeitsvorrat bewegte sich zwischen dem Wasserhaltevermögen bei 0,2 Atmosphären Unterdruck – was in diesem Boden ungefähr der Feldkapazität entspricht – einerseits und dem Welkungspunkt andererseits. Bei den geschälten, unbepflanzten Parzellen sank der Wassergehalt selbst während der vom 25. August bis 19. September dauernden (am 10. September von einem schwachen Regen unterbrochenen) Trockenperiode nur wenig ab. Schälten und Bepflanzung mit Wickhafer führten demgegenüber zu einer bedeutenden Abnahme des Wassergehaltes, eine Folge der Transpiration der wachsenden Pflanze. Der am 18. September unmittelbar vor dem wiedereinsetzenden Regen erreichte Tiefpunkt entspricht im untern Teil der Ackerkrume einem Wassergehalt mit einer Tension von ungefähr einer Atmosphäre. Der Wasservorrat hielt sich also in dem Bereich, der bei rasch wachsenden anspruchsvollen Pflanzen noch eine normale Produktion erwarten läßt. In den tiefer gepflügten Parzellen, bei denen die untere, feuchte Schicht nach oben gekehrt worden war, sank dagegen der Feuchtigkeitsgehalt stärker ab. In der Oberkrume (2 bis 7 cm; Fig. 4) sank die Feuchtigkeit auf ein wesentlich tieferes Niveau und der Unterschied zugunsten der flachen Bearbeitung schrumpfte zusammen. Die durch das flache Schälten ermöglichte Schonung des Wasservorrates in der tieferen Schicht dürfte aber im wesentlichen dafür verantwortlich sein, daß der Ertrag an Wickhafer hier besser ausfiel. Er betrug 168,5 q Grünmasse pro Hektar, auf

Wasserführung des Bodens in Abhängigkeit von Bearbeitung und Bepflanzung. Schicht von 2-7cm

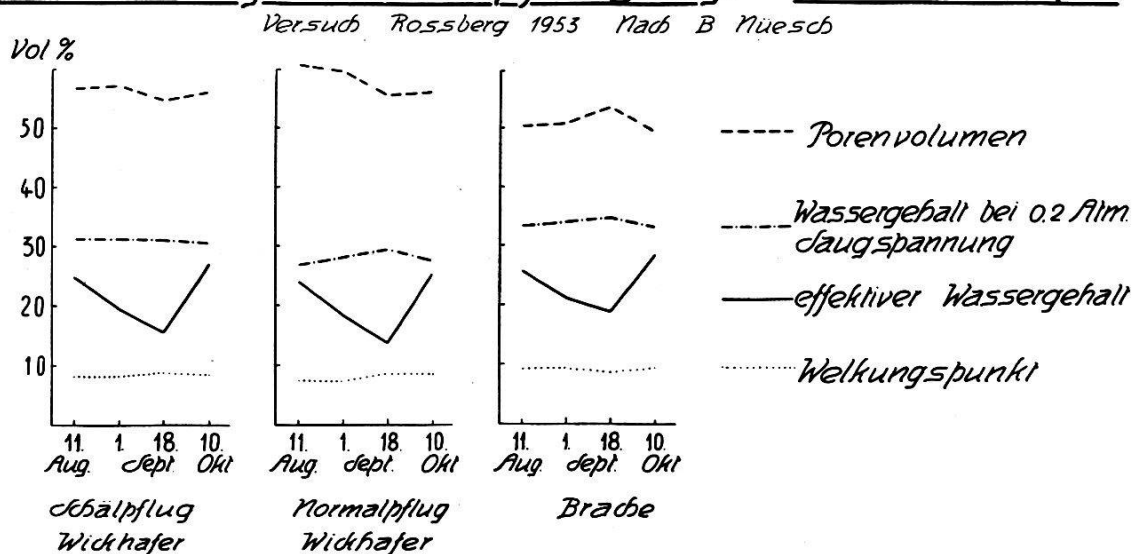


Fig. 4

den normal gepflügten Parzellen nur 143,5 q. Bemerkenswert ist, daß die unbebauten Parzellen mit ihrem Unkrautwuchs ebenfalls ein starkes Absinken des Wassergehaltes erkennen lassen.

Diese Versuche wurden lediglich zur Illustration der Wirkung der Bearbeitung auf die Erhaltung des Bodenwassers angeführt. Was für das Jahr 1953 mit seinem trockenen Nachsommer galt, darf nicht verallgemeinert werden. Dies zeigen die Untersuchungen von *Guyer*, der während der Jahre 1950–1952 die Wirkung flacher und tiefer Bodenbearbeitungsgeräte verfolgte. Die Behandlung mit der Scheibenegge führte zu einer verhältnismäßig dichten Lagerung der Bodenteilchen, zur Bildung feiner Hohlräume, zu erhöhter wasserhaltender Kraft und verminderter Luftkapazität. Demgegenüber erhöhte der auf normale Tiefe geführte Pflug den Anteil der gröberen Bodenporen. Die gepflügten Parzellen vermochten weniger Wasser zurückzuhalten; sie waren aber besser durchlüftet. Die Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum waren je nach Bodenart und Jahreswitterung verschieden. Bei starken und gut verteilten Niederschlägen brachte die durch den Pflug gelockerte Krume hohe Erträge. Bei geringen Regenmengen vermochte, vor allem auf tonarmen Böden, die Scheibenegge günstigere Voraussetzungen für das Wachstum der Saaten zu schaffen. Je nach den Witterungsverhältnissen beansprucht also die Rücksicht auf die Durchlüftung oder die Erhaltung der Feuchtigkeitsreserven das Primat.

Der den Boden tief lockernde und durchlüftende Normalpflug kann also in feuchten Jahren dem Wachstum der Ackerfutterpflanzen günstiger sein als flach arbeitende Beackerungsgeräte. Die Versuchsergebnisse beziehen sich im übrigen selbstverständlich auf nur die Sommerbearbeitung; für die Herbst- und Winterfurche sind andere Gesichtspunkte als die Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit maßgebend. Bei der Herrichtung der Felder im Frühjahr ist dagegen die Rücksicht auf den Wasserhaushalt wiederum sehr wichtig. Man tut daher gut, die Tiefenbearbeitung in den Herbst und Vorwinter zu verlegen. Im Frühling sollen die Felder in der Regel mit flach arbeitenden Geräten saarfertig gemacht werden.

Die Beziehung zwischen Kulturpflanze und Wasser erschöpfen sich nicht in dem, was sich im einzelnen Acker abspielt. *Wechselbeziehungen zwischen der Vegetationsdecke und dem Wasserregime* können sich über große Gebiete hinweg geltend machen. Im Mittelmeergebiet und andern Ländern alter Kultur haben unter dem Druck der wachsenden Bevölkerung Ackerland und Weide den Wald selbst in den Steillagen verdrängt; die Folgen waren zunehmende Versteppung, kümmerlicher, lückiger Weiderasen, Erosion des Bodens bis auf den nackten Fels. Es ist eine der großen Aufgaben der FAO, den betroffenen Ländern in der Wiederherstellung der angepaßten Vegetation und des geordneten Wasserhaushaltes behilflich zu sein.

Für die gemäßigten Zonen ist die Frage gestellt worden, wie weit die Entwässerung größerer Gebiete das Klima und damit indirekt das Ge-

deihen der Pflanzen auf dem alten Kulturland beeinflußt. Es ist damit zu rechnen, daß die Entwässerung ausgedehnter Sumpfländereien die Luftfeuchtigkeit vermindert. In sehr feuchten Gegenden kann dies unter Umständen deswegen vorteilhaft sein, weil bei rascherer Abtrocknung der Pflanzen die Ausbreitung bestimmter Pilzkrankheiten gehemmt wird. Wie weit dies im Einzelfall von praktischer Bedeutung werden kann, dürfte ebenso schwer nachzuweisen sein wie das Ausmaß allfälliger nachteiliger Wirkungen von Entwässerungen in trockeneren Landstrichen. Es dürfte aber auch im Hinblick auf die mögliche Beeinflussung des Klimas richtig sein, wenn wir die Korrektur der Bodenfeuchtigkeit nur so weit treiben, als dies für die Luftführung des Bodens unerlässlich ist.

Diese Fragen können im Rahmen dieses Vortrages nicht eingehender diskutiert werden. Sie wurden lediglich berührt, um anzudeuten, daß Eingriffe in den Wasserhaushalt des Bodens in ihren Auswirkungen unter Umständen nicht auf das Gedeihen der an Ort und Stelle wachsenden Pflanzen beschränkt bleiben.

Der Kulturingenieur, der langfristige Verbesserungen plant und ausführt, und der Landwirt, der den Boden zur Saat herrichtet, sie beide dürfen ihre Arbeit nicht mechanisch auffassen. Ihre ganzen Bestrebungen zielen auf das Gedeihen unserer Kulturgewächse. Es genügt nicht, einen Boden einfach anbaufähig zu machen und schlecht und recht ein Saatbett herzurichten. Als Ergebnis langer Auslese und neuerdings der bewußten Züchtung besitzen wir heute *leistungsfähige* und gleichzeitig *anspruchsvolle Sorten* unserer Kulturpflanzen. *Wir müssen diesen bestmögliche Bedingungen bieten.* Dies erfordert beim Vegetationsfaktor Wasser, wo wir stärker von den natürlichen Verhältnissen abhängig sind als etwa bei der Düngung, besonders sorgfältige Überlegung und Planung. So wichtig bei den Meliorationen und bei der Bebauung des Bodens die Erfahrung ist, so sehr sind wir bei ernsthafter Arbeit verpflichtet, die wissenschaftlichen Grundlagen, welche uns vor allem Bodenkunde, Pflanzenphysiologie und Ökologie bieten, zu nutzen.

Literatur

- Baver, L. D. 1948. Soil physics. IInd Edition. New York and London.
- Frei, E. 1953. Bodenuntersuchung auf neuem Wege. Mitt. schweiz. Landw. 1, 177.
- Frey-Wyßling, A. 1945. Das Streckungswachstum der pflanzlichen Zellen. Archiv der Julius-Klaus-Stiftung, Erg.-Bd. zu Bd. XX, 381.
- Frey-Wyßling, A. 1949. Stoffwechsel der Pflanzen. 2. Aufl. Zürich: Büchergilde Gutenberg.
- Gäumann, E. 1942. Über die pflanzliche Transpiration. I. Die kutikuläre Transpiration. Zeitschr. f. Bot. 38, 225.
- Guyer, H. 1954. Untersuchungen über die Wirkung einiger Verfahren der Bodenbearbeitung auf Bodenstruktur und Pflanzenertrag mit methodischem Beitrag zur serienmäßigen physikalischen Bodenanalyse. Diss. ETH. Im Druck.
- Hunter, J. R., and Erickson, A. E. 1952. Relation of seed germination to soil moisture. Agr. Journ. 44, 107.
- Jacob, W. J., Russell, M. B., Klute, A., Levine, G., and Grossman, R. 1952. The influence of irrigation on the yield and quality of potatoes on Long Island. Am. Potato Journ. 29, 292.

- Jäntti, A.* 1953. Grassland practices in relation to soil water in Central, West and North European countries. *Acta Agraria Fennica* 81, Nr. 2.
- Keller, E.* 1954. Über den Einfluß verschiedener Deckfrüchte auf Entwicklung und Ertrag von Futterpflanzen, mit besonderer Berücksichtigung einiger mikroklimatischer Faktoren. Diss. ETH. Im Druck.
- Lyon, T. L., Buckman, Harry O., and Brady, N. C.* 1952. The nature and properties of soils. New York.
- Nüesch, B.* 1954. Untersuchungen über physikalische Bodeneigenschaften und die Beziehungen zwischen Wassergehalt und Pflanzenwuchs. Schweiz. Landw. Monatshefte 32.
- Richard, F.* 1953. Über die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchswesen 29, 16.
- Richard, F., und Beda, J.* 1953. Methoden zur Bestimmung der Wasserbindung und der Porengrößen in natürlich gelagerten Waldböden. Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchswesen 29, 292.
- Richards, L. A., and Wadleigh, C. H.* 1952. Soil water and plant growth. Soil physical conditions and plant growth. New York.
- Russell, E. John,* 1950. Soil conditions and plant growth. 8th Edition. London / New York / Toronto.

Der Richtplan für Industriezonen

Bn. Durch die stetige Bevölkerungszunahme und Industrialisierung der Städte und Dörfer haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte Schwierigkeiten ergeben, die man nicht erwartete oder jedenfalls großzügig übersah. Die Ansprüche an die baulich nutzbaren Flächen wurden immer größer, während umgekehrt die noch verwendbare Gemeindefläche dauernd kleiner wurde. Die ganze Entwicklung vollzog sich auf Kosten der Landwirtschaft. Die Landwirte, die so gerne die momentan hohen Bodenpreise einstecken, mußten nun zusehen, wie wahllos kleinere und größere Industrien hervorschoßen, große Wohnblöcke sich breit und mächtig in die Landschaft schoben und neue Straßen die Felder zerschnitten. Es siedelten sich neue Leute an, deren Steuerbätzen die Gemeinde gerne einkassierte, deren Sozialansprüche man oft übersah. Der Mangel einer weitsichtigen Planung begann sich allorts abzuzeichnen. Die Spannung zwischen Industrie, Landwirtschaft und Wohnfläche steigerte sich vor allem dort ins Unerträgliche, wo Lärm, Rauch oder Geruch auftraten und alle die gleichen Verkehrswege benützen mußten. Die ungelentke Aufteilung von Industrie- und Wohnflächen führte dazu aber noch zu einer Verteuerung der Elektrizitäts- und Wasserversorgung sowie der Abwasserbeseitigung.

Die Lösung dieser Probleme geht im allgemeinen über den Rahmen der Gemeinden hinaus. Die meisten Orte können heute der Industrie nicht mehr genügend Areal in günstiger Verkehrslage zur Verfügung stellen und gleichzeitig Energie und Brauchwasser liefern, die ständig anwachsenden Abwasser einwandfrei beseitigen.