

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung Quedlinburg der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin

## Zur Bestimmung des relativen Wasserverbrauches von Pflanzenbeständen durch radiometrische Bodenfeuchtheitsmessungen\*

Von K. UNGER

Quedlinburger Beiträge zur Züchtungsforschung Nr. 64

Mit 9 Abbildungen

### 1. Einleitung

Der Wasserhaushalt im Boden wird durch die Niederschlagsmenge ( $N$ ), den Wassergehalt des Bodens ( $W$ ) und das nach unten versickernde Wasser ( $W_v$ ) bestimmt. Bei einer Ausschöpfung des Wassergehaltes im Boden durch die natürliche Verdunstung der Bodenoberfläche und durch die Transpiration der Pflanzen, der sogenannten Evapotranspiration, verändert sich der Wassergehalt des Bodens mit der Zeit. Daraus läßt sich die bekannte Wasserhaushaltsgleichung aufstellen (ALBRECHT 1950):

$$E = N - (\sum W_2 - \sum W_1) - W_v.$$

Dabei bedeutet  $\sum W_1$  der Gesamtwassergehalt des Erdbodens bei Beginn des Zeitraumes, für den die Evapotranspiration bestimmt werden soll, und  $\sum W_2$  die gleiche Größe am Ende dieses Zeitraumes. Die Bestimmung des Wasserverbrauches der Kulturpflanzenbestände ist aus dieser Wasserhaushaltsgleichung nicht ohne weiteres möglich, da meist der Anteil der Verdunstung des Bodens und der Abfluß unbekannt ist. Auch die Ermittlung des Wassergehaltes im Boden, vor allem unter Pflanzenbeständen, bereitet große Schwierigkeiten. Sollen nun Untersuchungen über den Wasserhaushalt von Pflanzenbeständen ausgeführt werden, so ist es von entscheidender Bedeutung, die Meßtechnik, vor allem der Bodenfeuchtheitsbestimmung, wesentlich zu verbessern. Gerade im Pflanzenbau, aber auch in der Pflanzenzüchtung sind Untersuchungen an einzelnen Pflanzen in Topfanlagen oft nicht aussagefähig genug, um diese Ergebnisse auf das Verhalten der Populationen unter natürlichen Bedingungen zu übertragen. Ein Vergleich der Evapotranspiration von Pflanzenbeständen verschiedener Kulturpflanzenarten und deren Sorten und Stämme ist aber auch über die Wasserhaushaltsgleichung möglich. Werden Sorten- und Nachkommenschaftsvergleiche so angelegt, daß sie während der Vegetationszeit gleiche Niederschlagsmengen und Zusatzwassergaben erhalten und der Abfluß unter allen Pflanzenbeständen etwa gleich anzunehmen ist, so wird die unterschiedliche Wasseraufnahme nur noch durch die Differenz des absoluten Wassergehaltes im Boden bestimmt. Die Differenz der Evapotranspiration von Bestand 1 zu Bestand 2 ist

$$E_1 - E_2 = N_1 - (\sum W_{21} - \sum W_{11}) - W_{v1} - N_2 + (\sum W_{22} - \sum W_{12}) + W_{v2},$$

da  $N_1 = N_2$  und  $W_{v1} \approx W_{v2}$  ist, wird

$$E_1 - E_2 = (\sum W_{22} - \sum W_{12}) - (\sum W_{21} - \sum W_{11}).$$

\* Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. BECKER zum 60. Geburtstag.

Der Anteil der Verdunstung der Erdoberfläche in den Beständen ist ebenfalls annähernd gleich anzunehmen, wenn es sich um Sorten- und Nachkommenschaftsvergleiche handelt, deren Bestandsdichte nicht wesentlich schwankt, so bleibt schließlich mit  $(\sum W_{22} - \sum W_{12}) - (\sum W_{21} - \sum W_{11})$  nur noch die unterschiedliche Wasserausschöpfung der verglichenen Parzellen übrig. Um eine Abschätzung der Verdunstung der Bodenoberfläche zu erhalten, war es zweckmäßig, parallel zu den Wassergehaltsbestimmungen unter den Beständen noch die Bodenfeuchtigkeit unter unbewachsenen Parzellen zu bestimmen. Der Bodenfeuchtheitsmessung kommt damit also eine entscheidende Bedeutung zu.

### 2. Bodenfeuchtheitsmessungen mittels Neutronen

Neben den Standardmessungen der Bodenfeuchtigkeit durch Probeentnahmen wurden eine ganze Reihe indirekter Bodenfeuchtheitsmessungen entwickelt. Hier seien nur die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens mit porösen und ohne poröse Testkörper, die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität als indirekte Methoden zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit erwähnt. Sowohl die direkten als auch die indirekten Verfahren genügen aber kaum dem jetzigen Stand unserer Meßtechnik. Alle bisher erwähnten Methoden der indirekten Bodenfeuchtheitsbestimmung haben den Nachteil gemeinsam, daß bei unvollkommenem Kontakt zwischen Boden und Meßorgan große Fehler auftreten. Erst seitdem man mit radiometrischen Methoden indirekt die Bodenfeuchtigkeit bestimmen kann, haben wir Meßverfahren, bei denen kein inniger Kontakt zwischen dem Boden und den Meßorganen notwendig ist.

Bei der Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit mit Hilfe radioaktiver Nuklide werden entweder Gammastrahlen radioaktiver Nuklide oder der Fluß schneller Neutronen transportabler Neutronenquellen verwendet. Darüber hinaus lassen sich bereits eine ganze Reihe von meßtechnischen Varianten für diese indirekte Bodenfeuchtheitsmessung aufstellen. UNGER (1963) hat 18 solcher Varianten dieser Meßtechnik beschrieben. Hier soll nur auf die Anwendung des Flusses schneller Neutronen zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit unter Pflanzenbeständen eingegangen werden. Die Pionierarbeit zur Anwendung von Neutronen zur Feuchtheitsmessung im Boden leisteten GARDNER und KIRKHAM (1952). Von den Neutronenquellen werden schnelle Neutronen in den Boden geschickt und dort in erster Linie durch den Wasserstoffgehalt gebremst. Unsere Untersuchungen

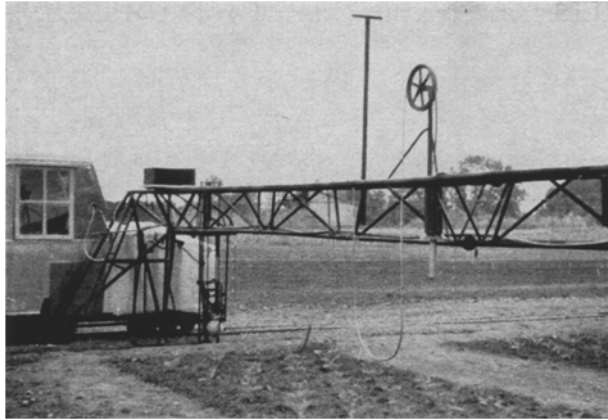


Abb. 1. Neutronensonde mit Fernbedienung an einer Meßbrücke.

zeigten, daß der vorhandene Kohlenstoffgehalt im Boden keinen meßbaren Einfluß auf die Dichte der thermischen Neutronenwolke durch das Abbremsen der schnellen Neutronen im Boden hat. Die Flußdichte der langsamen Neutronen ist daher ein Maß des Wassergehaltes im Boden.

Die technischen Schwierigkeiten der Neutronenmeßtechnik zur Feuchtigkeitsbestimmung sind (s. UNGER 1963) besonders in dem Temperatureinfluß, dem Dichteeinfluß auf die Feuchtemessungen und in der Einwirkung des Neutronenbremsuntergrundes im Boden zu suchen. Auch der Strahlenschutz der besonders schädlichen Neutronenstrahlung muß bei der Anwendung der Neutronenmeßtechnik sehr sorgfältig beachtet werden.

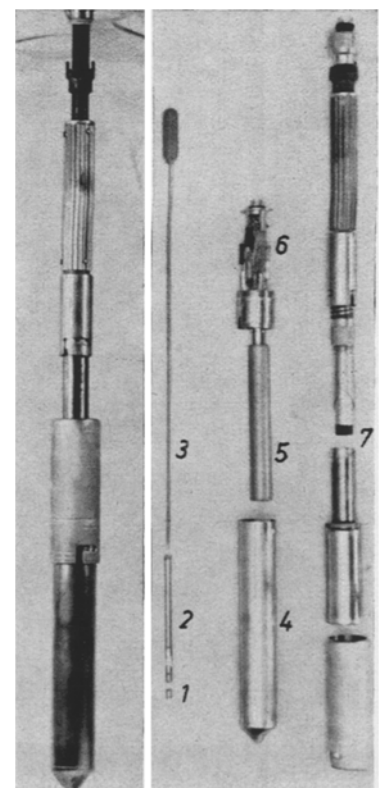
Für Wasserhaushaltsuntersuchungen unter Parzellen mit Gemüse- und Futterpflanzenbeständen wurde im Institut für Pflanzenzüchtung Quedlinburg eine Meßanordnung zur Verwendung einer stärkeren Ra-Be-Quelle in einer Fernbedienungsanlage entwickelt. Die Bodenfeuchtigkeitssonde ist dabei an eine Meßbrücke montiert, so daß sie sich stets in 6 m Entfernung vom Ort der Meßapparatur befindet. Die Meßbrücke, mit deren Hilfe auch berührungslose Massenbestimmungen der Pflanzenbestände ausgeführt werden können (UNGER 1959), ist in Abb. 1 zu erkennen. An der Brücke ist ein Paraffinzylinder angebracht, in welchen die Sonde zur Eichung gefahren werden kann. Hier wird der Paraffingehalt des Zylinders als Kontrollwert mit konstanter Wasserstoffdichte benutzt, auf den sämtliche Messungen bezogen werden können. Die Zuleitung erfolgt durch ein Hochfrequenzkabel und die Führung der Sonde mit einem Seilzug. Von einem Meßpult aus wird ein Aufwickelmotor bedient, der eine Einstellung der Sondentiefe durch gegenläufige Markierungsräder erlaubt (Abb. 2). Zur Messung wird ein Proportionalverstärker mit einer elektronischen Zähl- und Zeiteinheit benutzt. Am Ende des Meßfeldes ist ein Tresor in den Boden eingelassen, in den durch Fernbedienung die Sonde eingefahren wird. Nachdem die Sonde in der Erde

ist, kann die Sonde von dem Kabel durch die Steckverbindung mit einem Handgriff gelöst und der Tresor geschlossen werden. Bei dieser Fernbedienungsanlage konnten verschiedene Formen von Feuchtigkeitssonden eingesetzt werden. Eine der verwendeten Sonden ist in Abb. 3 in geschlossener und geöffneter Form dargestellt. Dabei wird ein Ra-Be-Präparat in ein Führungsrohr eingesetzt, das mit einem Führungsstab in die Sonde eingesetzt werden kann. Als Zählrohr wurde ein  $\text{BF}_3$ -Proportionalzählrohr benutzt. Oberhalb der Bleiabschirmung befindet sich zur zusätzlichen Gammastrahlungsbestimmung ein Halogenzählrohr. Im Griff ist ein Vorverstärker untergebracht. Bei der Eichung der Neutronensonde ist besonders zu beachten, daß die mit der Neutronensonde gemessenen Feuchtigkeitswerte noch von der Dichte des Bodens abhängig sind, wie auch aus der Eichkurve (Abb. 4) hervorgeht. Zu der komplizierten Überlagerung von Feuchtigkeit und Dichteeinfluß (UNGER und CLAUS 1964) kommt noch der Einfluß des Bremsuntergrundes des jeweiligen Bodens hinzu. Bei einer genügend hohen Aktivität der Neutronenquelle kann unter sorgfältiger Berücksichtigung aller Meßfehler eine Änderung der Bodenfeuchtigkeit noch bis zu 0,1 Volumenprozent aufgelöst werden. Der besondere Vorteil der beschriebenen Meßtechnik besteht darin, daß beliebig oft, ohne eine Veränderung der Bodenstruktur, die Bodenfeuchtemessungen ausgeführt werden können. Das Volumen in einem Radius von 30 bis 50 cm um die Neutronenquelle, aus dem eine Rückstreuung der thermischen Neutronen erfolgt, erlaubt eine Erfassung eines relativ großen Bodenbereiches, die für die Bodenfeuchtigkeit unter den Pflanzenbeständen als repräsentativ angesehen werden kann. Wiederholungen in den verschiedenen Meßparzellen erhöhen darüber hinaus die Aussagefähigkeit der einzelnen Messungen. Von den durch-



Abb. 2. Meßpult zur Fernbedienung der Neutronensonde.

Abb. 3 (rechts). Neutronensonde für Fernbedienung in geschlossener und geöffneter Form. — 1 Ra-Be-Quelle, 2 Führungsrohr mit Bleifüllung; 3 Ladestab zum Einführen der Quelle in die Sonde; 4 Füllmantel der Sonde; 5  $\text{BF}_3$ -Zählrohr; 6 Anpassungsstufe mit Halogenzählrohr; 7 Fassung, Stecker mit Nutenführung sowie Bajonettverschlußstück und eingebauter Verstärker.



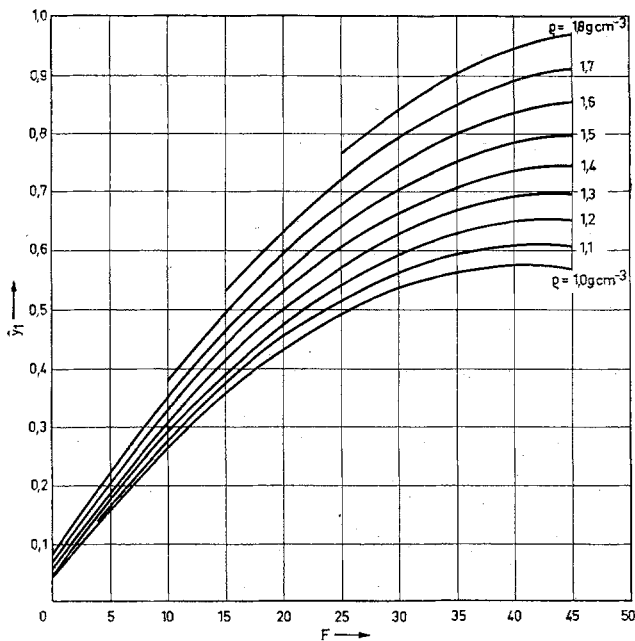


Abb. 4. Verlauf der relativen Impulsrate  $\hat{y}_1$  in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit  $F$  in Volumenprozent und der Dichte  $\rho$  ( $\text{g cm}^{-3}$ ) des feuchten Bodens als Scharparameter.

geführten Messungen sollen hier vier Sortenvergleiche bei Inkarnatkle, Futtererbsen, Futterkohl und Chinakohl besprochen werden. Die Darstellung der relativen Bodenwasserausschöpfung soll erstens den unterschiedlichen Verlauf der Bodenfeuchtigkeit unter den einzelnen Parzellen, zweitens die Darstellung der Ausschöpfung des Bodenwassers in der Durchwurzelungsschicht, drittens die Differenz der Bodenwasserausschöpfung unter den Pflanzenbeständen zu einer unbewachsenen Parzelle und viertens einen Vergleich des Bodenfeuchtigkeitsprofils unter den Beständen zeigen.

### 3. Die relative Bodenwasserausschöpfung bei Sorten- und Stammesprüfungen

Der Wassergehalt des Bodens wurde auf Grund der Eichung der Neutronensonde in mm Wasser ermittelt, das würde der Angabe Liter Bodenwasser pro  $\text{m}^2$  Bodenoberfläche entsprechen. Die Angabe des Wassergehaltes in mm erlaubt einen sofortigen Ver-

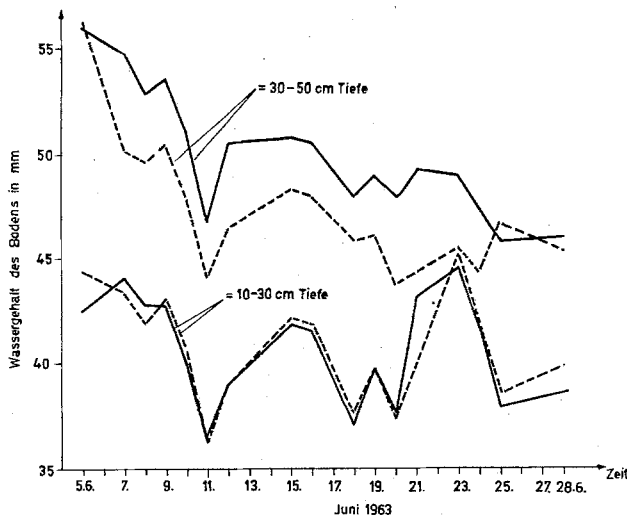


Abb. 5. Verlauf des Wassergehaltes im Boden unter zwei Inkarnatklebeständen. (Ausgezogene Linien: Sorte Bernburger; gestrichelte Linien: polyploider Stamm des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg.)

gleich mit der Niederschlagsmenge und der Evaporation. Die nachfolgenden Beispiele sind aus Versuchsunterlagen der Jahre 1962 und 1963 zusammengestellt.

Bei einer Inkarnatkleprüfung wurde die Wasseraufnahme der Sorte *Bernburger* mit einem polyploiden Stamm des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg verglichen. Die Aussaat der beiden Parzellen erfolgte im Herbst 1962. Auf beiden Parzellen überstand der Inkarnatkle den sehr strengen Winter 1962/63 durch die gleichmäßig vorhandene Schneedecke gut. Die Bestockung verzögerte sich im Frühjahr durch die langanhaltenden Frostperioden. Ein Vergleich der Wasseraufnahme der Sorte *Bernburger* mit dem polyploiden Stamm des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg konnte erst erfolgen, als die Bestände bereits zu blühen begannen, also zur Zeit der stärksten Wasseraufnahme der Bestände. Wie aus der Abb. 5 hervorgeht, war bereits Anfang Juni in der Schicht zwischen 30 und 50 cm Tiefe ein deutlicher Unterschied des Wasservorrates im Boden zu erkennen, während in der oberen Bodenschicht zwischen 10 und 30 cm Tiefe der Wasservorrat als fast gleich zu bezeichnen ist. Der maximal gemessene Unterschied der Bodenfeuchtigkeit beträgt in der unteren Bodenschicht etwa 4 mm. Dieser Unterschied verschwindet zusehends am Ende der Blühperiode, etwa nach dem 24. Juni. Die Ausschöpfung des Bodenwassers in der unteren Bodenschicht deutet auch auf die stärkere Durchwurzelung in dieser Tiefe während der Blühperiode der Bestände hin sowie auf die stärkere Massenwüchsigkeit des polyploiden Stammes und den damit verbundenen größeren Wasserbedarf dieses Bestandes.

Um die Ausschöpfung des Bodenwassers darstellen zu können, wurde die Differenz zu einem Ausgangswert der Feuchtigkeit im Boden gebildet. Als Beispiel sei die Ausschöpfung des Bodenwassers in der Zeit vom 6. Juni bis zum 1. Juli 1963 durch zwei Futtererbsenbestände (Abb. 6) dargestellt. Es handelt sich dabei um die Sorte *Baltersbacher* im Vergleich zu einem wüchsigen Stamm des Instituts für

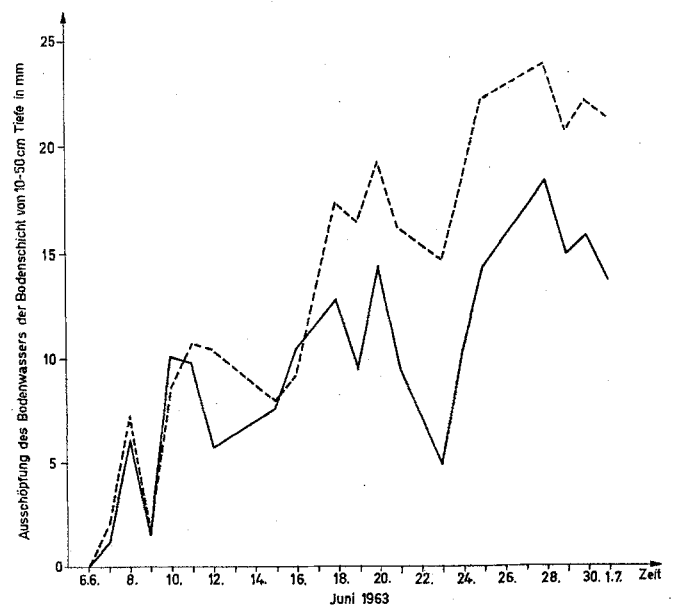


Abb. 6. Ausschöpfung des Bodenwassers in mm unter zwei Futtererbsenbeständen. (Ausgezogene Linien: Sorte Baltersbacher; gestrichelte Linien: Stamm des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg.)

Pflanzenzüchtung Quedlinburg. Bis zum 17. Juni ist die Ausschöpfung des Bodenwassers auf beiden Erbsenparzellen noch als fast gleich zu bezeichnen. Mit fortschreiten der Entwicklung schöpft durch die stärkere Durchwurzelung der vergleichsweise angebaute Stamm den Bodenwassergehalt stärker aus, so daß am 1. Juli bereits ein Unterschied von 6 mm Bodenwasser in der Schicht zwischen 10 und 50 cm Tiefe zu sehen ist. Besonders kritisch ist die Wasserausschöpfung von Futterpflanzen, die als Zweitfrucht ausgepflanzt werden. Zu diesen sehr stark den Wasservorrat ausschöpfenden Kulturarten zählt der Markstammkohl. Bei unseren Untersuchungen wurden z. B. auch Herkunft der Außenstelle Hadmersleben des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg mit den Sorten *Gülzower Grüner* und *Massenwüchsiger* verglichen. Die Auspflanzung des Futterkohls im Jahre 1963 erfolgte am 4. Juli auf den oben geschilderten Versuchspartellen. Um den Unterschied des Verhaltens der Sorten und Stämme noch besser erfassen zu können, wurde eine Wiederholung in regelmäßigen Abständen berechnet, während eine andere Versuchswiederholung ohne Zusatzberechnung blieb. Eine nichtbepflanzte Parzelle wurde während des Versuchs fortlaufend parallel zu den übrigen Partellen auf ihren Wassergehalt überprüft, damit aus der Differenz zwischen dieser unbepflanzten Parzelle und den bepflanzten Partellen die unterschiedliche Wasseraufnahme der Sorten und des Zuchtstammes beurteilt werden konnte. Nach der ersten Periode des Anwachsens zeigten sich schon merkliche Unterschiede in der Ausschöpfung des Bodenwassers der untersuchten Bodenschichten zwischen 10 bis 50 cm Tiefe. Auf den berechneten Partellen ist der Unterschied der Wasseraufnahme zwischen den beiden Sorten und dem Zuchtstamm deutlich zu erkennen, während dieser Unterschied auf den nichtberechneten Partellen geringer ist (Abb. 7). Die Sorte *Massenwüchsiger* zeigt auf der berechneten und unberechneten Parzelle die höchste Wasserausschöpfung. Am deutlichsten sind die Unterschiede in der Zeit zwischen dem 24. Juli und dem 3. August zu erkennen. Mit zunehmender Entwicklung der Pflanzen verwischt sich der Unterschied der Bodenwasserausschöpfung immer mehr, da in dieser Zeit der Hauptanteil der Wurzeln bereits in tiefere Bodenschichten vorgedrungen ist und die Pflanzen nicht mehr auf den Wasservorrat der oberen Bodenschichten angewiesen sind. Besonders auffällig ist in Abb. 7 der sehr starke Rückgang der Wasseraufnahme vom 1. August ab, da vom 31. Juli bis zum 1. August 21,8 mm Niederschlag gefallen waren. Interessant ist noch ein Vergleich zur Verdunstung einer freien Wasserfläche, die mit Hilfe von Evaporimetern gemessen wurde. Bei dem Bodenwasserverlust unter den einzelnen Partellen in der niederschlagsfreien Periode vom 1. bis zum 5. August betrug die Summe der Evapora-

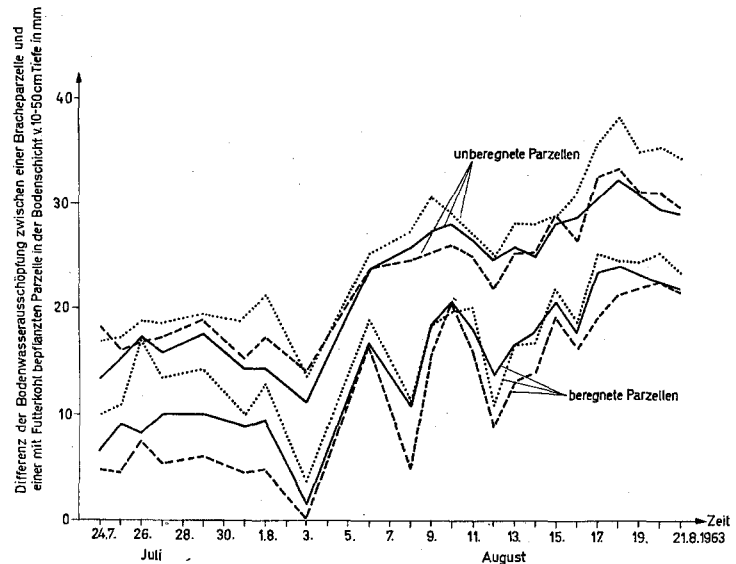


Abb. 7. Vergleich der Wasseraufnahme des Futterkohls unter zwei Futterkohlsorten und einem Futterkohlstamm in der Zeit vom 24. 7. bis zum 21. 8. 1963. (Ausgezogene Linien: Stamm des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg; gestrichelte Linien: Gülzower Grüner; gepunktete Linien: Massenwüchsiger.)

tion an einem frei exponierten Standort 43,1 mm. Die Tageshöchsttemperaturen stiegen zum Teil bis über 30°C an. Das Minimum der Nacht lag zwischen 10 und 18°C. Die Wasserabgabe der berechneten und unberechneten Partellen war durch den am 31. Juli gefallenen Niederschlag kaum unterschiedlich. Der mittlere Wasserverlust der Partellen betrug dabei nicht ganz 50% der Verdunstung der freien Wasserfläche. Den höchsten Wasserverbrauch unter den berechneten Partellen hatte die Sorte *Gülzower Grüner* mit 21,1 mm, während die mit dem Stamm des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg bepflanzte Parzelle eine Feuchtigkeitsänderung von 17,8 mm aufwies.

Interessant ist auch ein Vergleich der Bodenwasserausschöpfung bei verschiedenen Anzuchtarten. So wurden z. B. im Jahre 1962 Chinakohlstämme nach warmer und kalter Anzucht auf den Versuchspartellen ausgepflanzt. Chinakohlpflanzen sind nach warmer Anzucht merklich vitaler, schossen weniger leicht und sind gegenüber dem Krankheitsbefall wesentlich resistenter (SKIEBE und UNGER 1963). Diese sehr

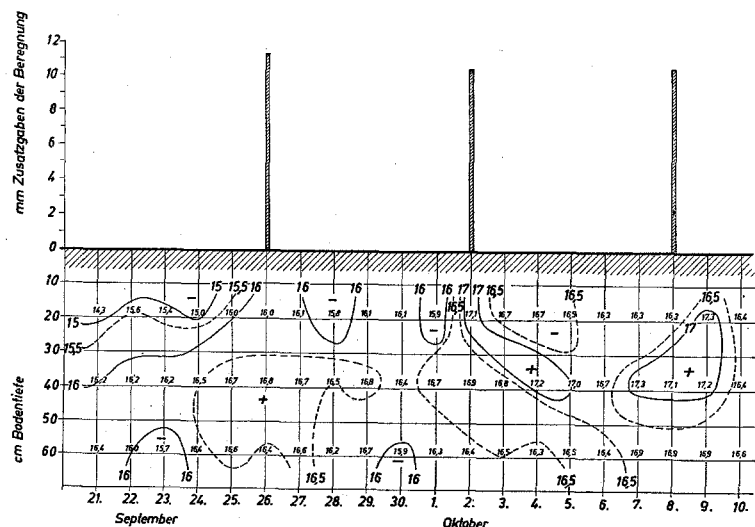


Abb. 8. Isolethen der Bodenfeuchtigkeit unter einer mit Chinakohl (warme Anzucht) bebauten Fläche mit drei Berechnungsgaben im September und Oktober 1962.

wüchsigen Pflanzen haben verständlicherweise auch einen erhöhten Verbrauch an Bodenwasser. In der Abb. 8 ist der Bodenwassergehalt in Gewichtsprozenten unter einer Chinakohlparzelle eines Chinakohlstammes des Instituts für Pflanzenzüchtung Quedlinburg nach einer warmen Anzucht dargestellt. Im Vergleich dazu sind in der Abb. 9 die Bodenfeuchtigkeitsbedingungen unter einer Parzelle mit einem Chinakohlstamm, der nach kalter Anzucht gepflanzt wurde, aufgezeigt. Hier ist eine wesentlich geringere Ausschöpfung des Bodenwassers erkennbar, die auf die wesentlich geringere Wüchsigkeit nach kalter Anzucht zurückzuführen ist. Darüber hinaus ist aber auch das Eindringen der Zusatzgabe der Beregnung in den Boden, die Speicherung in dem Boden und die Abgabe des Bodenwassers durch die Evapotranspiration sehr deutlich zu erkennen.

#### 4. Schlußbemerkungen

Mit der vorliegenden Darstellung der unterschiedlichen Ausschöpfung des Bodenwassers bei der Leistungsprüfung von Sorten und Nachkommenschaften gleicher Kulturarten wurde der Versuch unternommen, die absolute Bodenfeuchtigkeit durch indirekte Messungen mit Hilfe der Neutronenmethode zu ermitteln. Die Grenzen der Anwendung dieser Methode liegen einerseits in der Voraussetzung einer gleichmäßigen Bodenstruktur, bei der eine relativ gleiche Versickerung in die tiefen Bodenschichten und eine wahrscheinlich gleich anzusetzende Verdunstung der Erdoberfläche in den Beständen anzunehmen ist. Da sich die Bodenfeuchtemessungen stets auf Stichproben innerhalb der Parzelle beschränken müssen, eignet sich die Kontrolle der Neutronenzerstreuung durch ihr relativ großes Meßvolumen für die beschriebenen Aufgaben besonders gut. Mit der oben geschilderten Fernbedienungsanlage lassen sich geeignete Messungen in den einzelnen Parzellen ausführen, die es erlauben, die unterschiedliche Wasserausschöpfung der Parzellen zu vergleichen. Damit kann bei einer genügend hohen Aussagefähigkeit der verwendeten Meßtechnik diese indirekte Bodenfeuchtheitsbestimmung eine wertvolle Hilfe für die

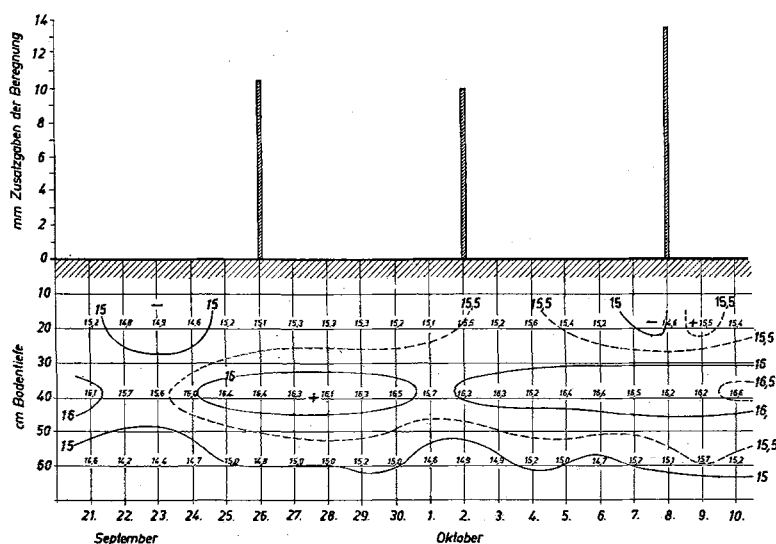


Abb. 9. Isoplethen der Bodenfeuchtigkeit unter einer mit Chinakohl (kalte Anzucht) bebauten Fläche mit drei Beregnungsgaben im September und Oktober 1962.

Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Sorten und Stämme in der Züchtungsforschung und Pflanzenzüchtung sein.

#### 5. Zusammenfassung

Um die unterschiedliche Ausschöpfung des Bodenwassers durch Pflanzenbestände verfolgen zu können, wird eine Meßanlage beschrieben, bei der die Bodenfeuchtigkeit durch radiometrische Messungen ermittelt werden kann. Die Meßtechnik wird zur Ermittlung des relativen Wasserverbrauches verschiedener Sorten und Stämme von Gemüse- und Futterpflanzen angewendet.

#### Literatur

1. ALBRECHT, F.: Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. Arch. f. Met. Geoph. u. Biokl. Serie B, II, 1–38 (1950). — 2. GARDNER, W., and D. KIRKHAM: Determination of soil moisture by neutron scattering. Soil Sci. 73, 391–401 (1952). — 3. SKIEBE, K., und K. UNGER: Die Bedeutung der ökologischen Bedingungen für die Resistenzzüchtung am Chinakohl (*Brassica pekinensis* Rupr.). Der Züchter 33, 233–237 (1963). — 4. UNGER, K.: Die Anwendung radioaktiver Strahlungsquellen zur berührungslosen Massenbestimmung von Pflanzenbeständen und Einzelpflanzen am natürlichen Standort. Der Züchter 29, 289–293 (1959). — 5. UNGER, K.: Methoden der Bodenfeuchtemessung mittels radioaktiver Nuklide. Kernenergie 6, 465–477 (1963). — 6. UNGER, K., und St. CLAUS: Der Einfluß der Bodendichte auf radiometrische Feuchtemessungen. Kernenergie 7, 567–570 (1964).