

HANS BRONNER:

BODENFEUCHTEBEOBACHTUNG UNTER ZUCKERRÜBEN UND ANDEREN FELDFRÜCHTEN AUF LÖSSLEHM IM RAUM VON LINZ, OBERÖSTERREICH

Mit 34 Abbildungen und 46 Tabellen

Vorwort

Diese Arbeit ist auf Anregung von Herrn Professor Dipl.-Ing. Dr. Herbert Franz, Vorstand der Lehrkanzel für Bodenforschung an der Hochschule für Bodenkultur in Wien, entstanden. Ich möchte Herrn Professor Franz an dieser Stelle für viele Ratschläge und Hinweise meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ich danke auch den Leitern der Bundesversuchsanstalten und Bodenkundlichen Laboratorien in Linz und Petzenkirchen, Herrn Hofrat Direktor Dr. E. Burggasser, Herrn Dr. H. Schiller, Herrn Direktor F. Blümel und Herrn Dr. J. Elmer, Zuckerfabrik Enns, die mir die Möglichkeit gegeben haben, in ihren Laboratorien arbeiten zu können, sowie für die Mithilfe bei einzelnen Untersuchungen.

Herrn Univ.-Dozent Dr. Ämilian Kloiber, Schriftleiter des Naturkundlichen Jahrbuches der Stadt Linz, danke ich, die Sorge für den Druck übernommen zu haben.

Es freut mich, auch auf diese Weise Herrn Rudolf Kirchmayr, Landwirt in Jetzing bei Leonding, Oberösterreich, meinen Dank ausdrücken zu können, da er sämtliche Probennahmen auf seinen Feldern bereitwilligst gestattete.

Linz, 26. Februar 1963.

Der Verfasser.

Anschrift

Dipl.-Ing. Dr. Hans Bronner
Enns, Oberösterreich, Zuckerfabrik

Inhaltsverzeichnis

A) Einleitung und Problemstellung	43
B) Geologische Charakterisierung des Linzer Beckens	43
C) Bodenkundliche Charakterisierung	46
1. Auswahl und Beschreibung des Versuchsortes	46
2. Bodenkundliche Beschreibung des Versuchsortes	46
3. Bodentextur und Nährstoffverhältnisse	49
4. Bemerkungen zu den Untersuchungsmethoden	51
D) Klima und Witterungsverlauf	52
1. Meßstellen	52
2. Das Wettergeschehen im Beobachtungszeitraum 1959 bis 1961	53
a) Niederschläge und Niederschlagsverteilung	54
b) Temperaturen	55
c) Verdunstung (Begriffsbestimmung)	56
d) Verfahren zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration	57
e) Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach Haude	58
f) Klimatische Wasserbilanz	58
E) Landwirtschaftliche Beschreibung der untersuchten Felder	60
1. Wirtschaftsweise	60
2. Die Feldfrüchte auf den Untersuchungsflächen	61
F) Untersuchungsmethoden	62
1. Strukturanalyse	62
a) Bestimmung des Raumgewichtes	62
b) Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Bodensubstanz	64
c) Bestimmung des Porenvolumens	64
d) Porenanalyse durch die Saugspannungsuntersuchungen	65
e) Die Saugspannungs- oder pF-Apparatur	66
2. Die periodischen Untersuchungen	68
G) Ergebnisse	70
1. Ergebnisse der Strukturanalysen	70
a) Das Raumgewicht	70
b) Das spezifische Gewicht	70
c) Das Porenvolumen	70
d) Ergebnisse der Saugspannungsuntersuchungen	70
e) Sonstige Untersuchungen	76
2. Ergebnisse der periodischen Feuchtigkeitsuntersuchungen	80
H) Diskussion der Ergebnisse	93
1. Allgemeine Bemerkungen über Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsvorgänge	93
2. Versuch einer Wasserhaushaltsrechnung	94
3. Wasserverbrauch — Pflanzenproduktion	100
4. Der Versorgungsgrad	102
I) Schlußfolgerungen	103
J) Zusammenfassung — Tabellenteil — Schrifttum	104/105/116

A) EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Durch die Möglichkeit, unsere Kulturpflanzen mit mineralischen Nährstoffen in beliebiger Menge versorgen zu können, wird das Wasser immer mehr zum ertragsbegrenzenden Faktor. Über den Zusammenhang zwischen Bodenfeuchtigkeit, Witterung und Erntertrag wurden bereits von BAUMANN und KLATT (1957), BROUWER (1958) und CZERATZKI (1958) verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Ausschlaggebende Bedeutung auf diese Wechselbeziehung kommt der Wasserspeicherung des Bodens einerseits und dem klimatisch bedingten Verdunstungsanspruch der Luft andererseits zu. Der Jahresgang der Bodenfeuchte wurde von NESTROY (1961) in Abhängigkeit vom Klima auf zwei Lößböden im niederösterreichischen Raum studiert und es wurden dabei beträchtliche Unterschiede festgestellt.

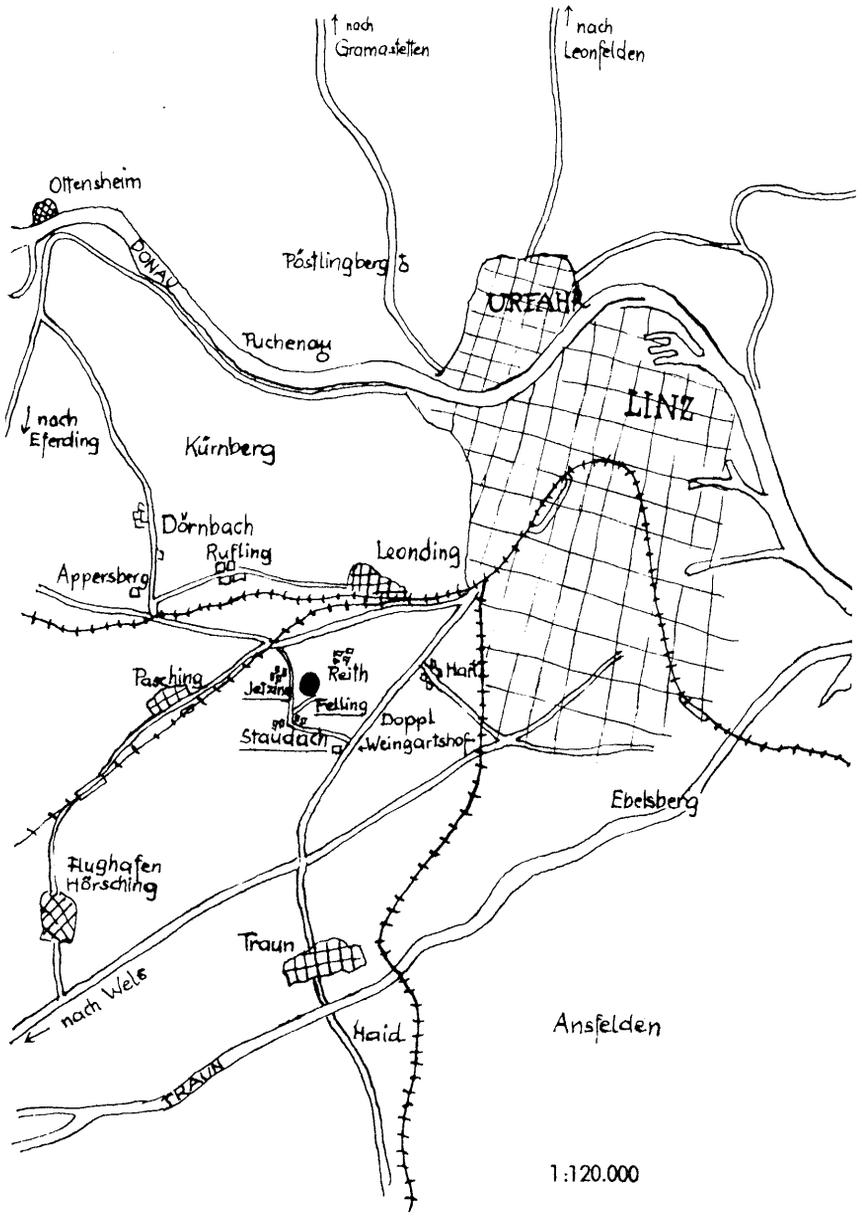
Die vorliegende Arbeit stellt sich zur Aufgabe, den Einfluß verschiedener Pflanzenarten (Winterroggen, Rotklee und Zuckerrübe) auf den Feuchtezustand des gleichen Bodens bei vollkommen gleichen Witterungsbedingungen zu beobachten und die jahreszeitlichen Schwankungen mit Hilfe periodischer Untersuchungen festzustellen.

Die Untersuchungen sollten auf einem für weite Teile Oberösterreichs typischen Lößlehmboden, am Harter Plateau am westlichen Stadtrand von Linz, vorgenommen werden und einen ganzen Jahreszyklus, also Herbst 1959 bis Herbst 1960, umfassen. Das nasse Sommerwetter 1960 ließ es ratsam erscheinen, noch 1961 miteinzubeziehen, so daß nun zwei ganze Vegetationsperioden von der Beobachtung erfaßt werden konnten.

B) GEOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DES LINZER BECKENS

Linz liegt am Südabfall der Böhmisches Masse gegen die Molassezone. Diese erstreckt sich von da südwärts bis zu den Alpen. Dieses Gebiet war im Tertiär vom Obereozän bis zum mittleren Miozän (Helvet) von einem Meer überflutet. Da der Untergrund langsam absank, kam es zur Ablagerung von Flachseesedimenten, in der Hauptsache *Schlier*, in beträchtlicher Mächtigkeit. Im Quartär wurde die tertiäre Landoberfläche von den aus den Alpen zur Donau strömenden Flüssen zerschnitten und zum Teil von quartären *Schottern* und *Löß* überlagert. Die Aufschüttung der Sedimente erfolgte in den Kaltzeiten, während die Zwischeneiszeiten Perioden

Abbildung 1: Linzer Becken (westlicher Teil)



der Ausräumung waren. Im wiederholten Wechsel von Sedimentation und Erosion entstand bei gleichzeitiger Tieferverlegung der Erosionsbasis an allen Flüssen eine Folge von Schotterterrassen. Das Harter Plateau ist ein Teil der von Löß überdeckten rißeiszeitlichen Hochterrasse, die die Traun an ihrem nördlichen Ufer von Lambach bis Linz in zunehmender Stufenhöhe begleitet. Sie erreicht bei ihrem Abfall vor dem Haupteingang der VÖEST eine Höhe von 20 Metern (Kohl, 1955). Die Oberfläche des Hochterrassenplateaus ist von seichten Gräben durchfurcht, die seinerzeit von Traunarmen gebildet wurden. Sie werden heute noch von kleinen Gerinnen durchflossen. Abbildung 7 zeigt einen Schnitt durch die nördliche Hälfte des Traunales, wie er von Dr. J. Schadler (1959, unveröffentlicht) beim nahegelegenen Hörsching aufgenommen wurde. Die Reihenfolge der abgelagerten Schichten ist dabei gut zu erkennen.

Über oligozänen *Tonmergeln*, die nach BRAUMÜLLER (1962) aus dem Chatt stammen, liegt der *Hochterrassenschotter* der Rißeiszeit. Die Grenze der beiden Schichten bildet zugleich den Grundwasserspiegel, da der Schotter wasserdurchlässig, der Mergel aber undurchlässig ist. Nach oben zu folgt die im warmen Riß-Würm-Interglazial gebildete Verwitterungshülle des Schotterkörpers. Die obersten Profilschichten bestehen aus *Fließlehm*, *Löß* der Würmeiszeit und *Parabraunerde* (*Sol lessivé*). Die Mächtigkeit der *Lößdecke* erreicht dort nach dieser Darstellung etwa drei bis vier Meter. Für den Untersuchungsort selbst ist aber bereits mit einer Schottermächtigkeit von acht bis zehn Metern und mit einer *Lößauflage* von sieben bis acht Metern zu rechnen*).

Für die Feuchtigkeitsbeobachtungen wurden lediglich die beiden obersten Schichten, *Sol lessivé* und *Löß*, herangezogen, wobei das Grundwasser stets so tief liegt, daß es die vorliegenden Untersuchungen nicht mehr beeinflussen konnte.

*) Herrn Dr. J. Schadler und Herrn Dr. H. Kohl sei an dieser Stelle für ihre mündlichen Mitteilungen herzlich gedankt.

C) BODENKUNDLICHE CHARAKTERISIERUNG

1. Auswahl und Beschreibung des Versuchsortes

Als wichtigste Voraussetzung mußte vom Beobachtungsort eine ebene Bodenlage gefordert werden, um die Wasserverluste durch oberflächlichen Abfluß möglichst auszuschalten. Schon eine geringe Hangneigung macht hier sehr viel aus. Nach amerikanischen Autoren (BEUTNER, GARBE, HORTON, 1940) kann eine Bodenneigung von nur 2 Prozent bereits bei starken Niederschlägen einen Abfluß von 73 Prozent verursachen.

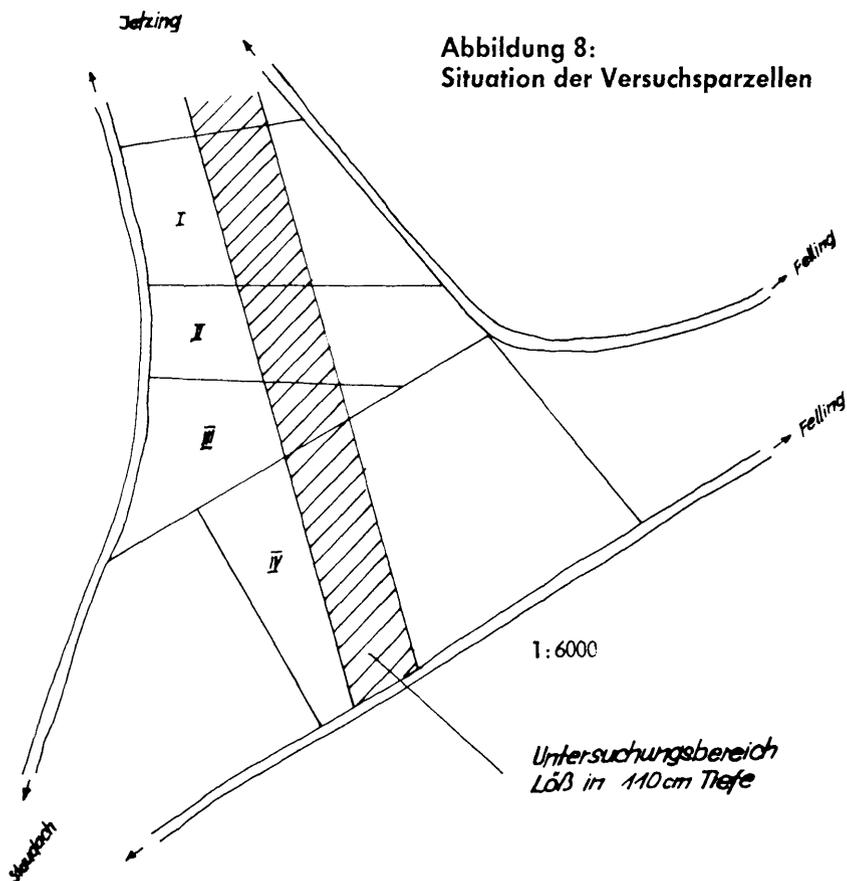
In der Nähe der Versuchsfläche sollten sich auch keine Bäume, Zäune, Heckenstreifen oder Gebäude befinden, weil diese eine starke Beeinflussung des Kleinklimas herbeigeführt hätten. Nach einigem Suchen wurde ein Feld an der Straße Jetzing-Staudach gefunden, Abbildung 8, das den gewünschten Bedingungen Rechnung trug und außerdem, in drei Schläge geteilt, die Möglichkeit bot, die Bodenfeuchtigkeit unter den Feldfrüchten Rotklee, Winterroggen und Zuckerrübe in enger Nachbarschaft zu untersuchen.

Sämtliche Parzellen gehören zur Ortschaft Jetzing und sind mit der Nummer 604, Katastralgemeinde Ruefling, bezeichnet. Die Meereshöhe beträgt 286 Meter.

2. Bodenkundliche Beschreibung des Versuchsortes

Untersuchungen mit dem Schlagbohrer zeigten, daß der kalkhaltige *Löß* in verschiedenen Tiefen unter dem *Sol lessivé* liegt. Während auf der Westseite *Löß* schon in 80 Zentimeter Tiefe auftritt, wurde er am Ostrand erst in Tiefen von mehr als 140 Zentimetern gefunden. Die verschiedene Mächtigkeit der verlehmtten Schicht ist nach mündlicher Mitteilung von Herrn Professor Franz durch Abtragung bzw. Akkumulation der Lehmdecke entstanden.

Nach sorgfältiger Sondierung wurde etwa in der Mitte des Feldes quer über alle Schläge ein breiter Gürtel gefunden, in dem der *Löß* in einer konstanten Tiefe von etwa 105 bis 115 Zentimetern aufscheint. Sämtliche Proben wurden innerhalb dieser Zone entnommen. Wie noch später gezeigt wird, besitzt nämlich der *Löß* ganz



andere bodenphysikalische Eigenschaften als der darüberliegende *Sol lessivé*. Ein Vergleich der Bodenfeuchte verschiedener Profile ist daher nur möglich, wenn sich der unverwitterte Löß in gleicher Tiefe befindet. Abbildung 8 zeigt die gegenseitige Lage der Felder:

- I 1960 Winterroggen, 1961 Rotklee.
- II 1960 Rotklee, 1961 Winterweizen (nicht untersucht),
1961/62 Winterroggen, im Herbst 1961 beobachtet.
- III Zuckerrübe 1960.
- IV Zuckerrübe 1961.

Profilbeschreibung*) von Fläche III; Sol lessivé auf Löß

(Zuckerrübe 1960, aufgenommen am 9. Oktober 1960)

- A_{1p} 0 bis 23 Zentimeter humoser bis schwach humoser, schluffiger *Lehm*, wenig plastisch. Farbe 10 YR 4/2 – 5/3. Undeutlich blockig, größere Aggregate von einigen Zentimetern Durchmesser bei leichtem Druck in undeutlich begrenzte, kleinere Aggregate zerfallend, ziemlich dicht, mäßig stark von feinen Wurzeln durchsetzt und vereinzelt Stroh und Stallmistreste enthaltend. Scharf aufsitzend auf
- A_{2e} 23 bis 45 Zentimeter nach unten abnehmend humusfleckiger, lehmiger, stark schluffiger *Feinsand*. Farbe 10 YR 5/2 – 5/3, näher bei 5/3. Ab 44 Zentimeter ganz vereinzelt nadelstichige, sepiabraune Konkretionen. Undeutlich blockige Struktur, allenthalben Regenwurmaggregate, dazwischen deutlich feinporiges Lößgefüge. Ziemlich gut fein durchwurzelt, zahlreiche vertikale Regenwurmrohren verschiedener Größe enthaltend. Lagerung ziemlich dicht. Geht über in
- B_g 45 bis 75 Zentimeter oben noch schwach humusfleckiger bzw. Humuskoatings aufweisender, stark schluffiger, feinsandiger *Lehm*. Farbe 10 YR 5/3 – 5/4, Humuskoatings im oberen Teil des Horizontes 10 YR 5/3 – 4/2. Ziemlich dicht lagernd, noch gut von feinen Haarwurzeln durchsetzt. Regenwurmrohren durch den ganzen Horizont. Struktur undeutlich mittelprismatisch, bei leichtem Druck in undeutlich kleinblockige Aggregate zerfallend. Entlang der Regenwurmrohren stellenweise Wurmkrümel. Zahlreiche nadelstichige Konkretionen. Deutliches Lößgefüge. Geht über in
- (B)_g 75 bis 102 Zentimeter stark schluffiger feinsandiger *Lehm*. Farbe 10 YR 5/4 – 4/4. Mittelprismatisch. Nach unten stark zunehmende nadelstichige Konkretionen, die nach unten in leichte braune Koatings übergehen. Deutliches Lößgefüge. Geht über in
- (B)_{Cg} 102 bis 112 Zentimeter lehmiger, stark schluffiger *Feinsand*, nach unten heller werdend. Farbe 2,5 YR 5/3, Rostflecken 10 YR 6/6. Weniger dicht gelagert als (B)_g, im oberen Teil noch Humuskoatings und sepiabraune Konkretionen. Nach unten zunehmend hellrostfarbene Flecken. Aufhören der Regenwurmrohren.
- C_g + 112 Zentimeter rostfleckiger, noch einzelne nadelstichige Konkretionen aufweisender *Löß*, oben noch sehr undeutlich prismatisch, ganz strukturlos. Deutliches Lößgefüge. Vereinzelt Regenwurmrohren bis 130 Zentimeter Tiefe, ebenso Wurzeln. Lößfarbig mit nadelstichigen Konkretionen.

*) Die Bodenentwicklung kennzeichnet sich in der Abfolge bestimmter Horizonte. In Übereinstimmung mit FRANZ und FINK bezeichnen wir als „A_{1p}“ die obere unter dem Pflug stehende Schichte, als „A_{2e}“ den Unterboden mit einer bestimmten Auswaschung, mit „B“ die Verwitterungshorizonte, wobei das Fehlen der Klammer zum Ausdruck bringt, daß eine Einschwemmung von Tonen erfolgte. Die Beifügung „g“ zeigt einen gewissen Wasserstau im Boden an, der durch Rostflecke in Erscheinung tritt. „C“ ist das Ausgangsgestein, aus dem der Boden entstanden ist. Die Kennzeichnung der Farben erfolgte nach Soil Color Charts der Firma Nunsell.



ABBILDUNG 2: Blick vom Kürnberger Wald gegen Leonding und Harter Plateau.

Photo: Wöhrl

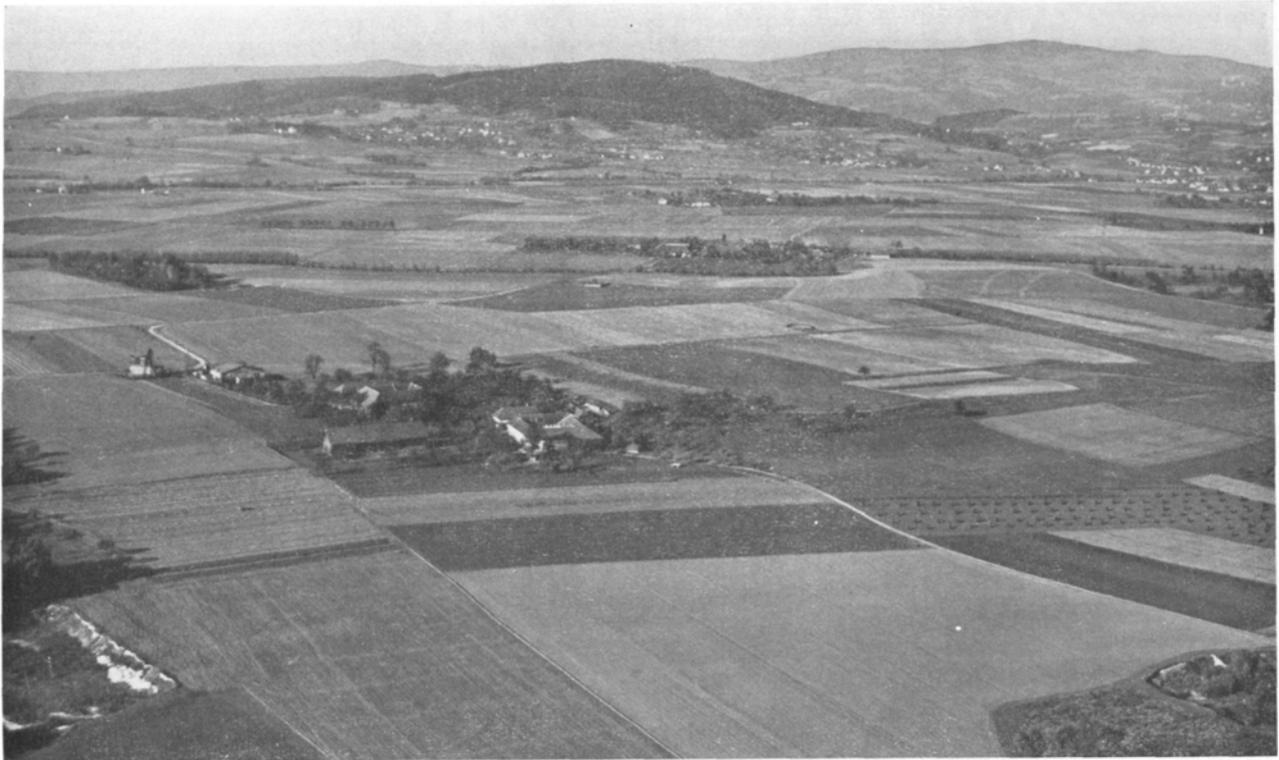


ABBILDUNG 3: Luftaufnahme gegen den Kürnberger Wald.

Etwa in Bildmitte sind von links vorn nach rechts hinten die Ortschaften Wagram, Staudach und Jetzing zu sehen. Die Versuchsfläche liegt an der gut sichtbaren Straße Staudach—Jetzing. Der Rand der Hochterrasse wird durch den Wald rechts vorn dargestellt.

Photo: Wöhrl



ABBILDUNG 4: Senkrechtaufnahme aus 2000 Meter Höhe. Die Kremstaler Bundesstraße verläßt die Hochterrasse.
Photo: Wöhrl



ABBILDUNG 5: Gartenland Oberösterreich. Die Ortschaft Felling mit den charakteristischen Vierkanthöfen.

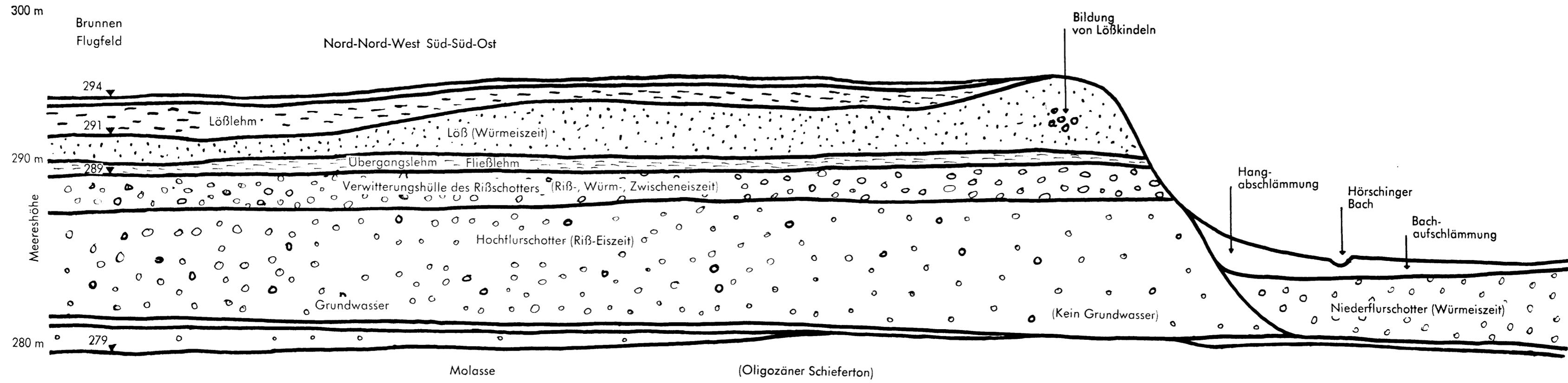
Photo: Wöhrl



ABBILDUNG 6: Ortschaft Staudach.

Photo: Wöhrl

Abbildung 7: Geologischer Schnitt durch das Trauntal, nördliche Hälfte



**Profilbeschreibung von Fläche I: Winterroggen mit Klee-Einsaat, 1960;
Sol lessivé auf Löß**

(Aufgenommen am 9. Oktober 1960)

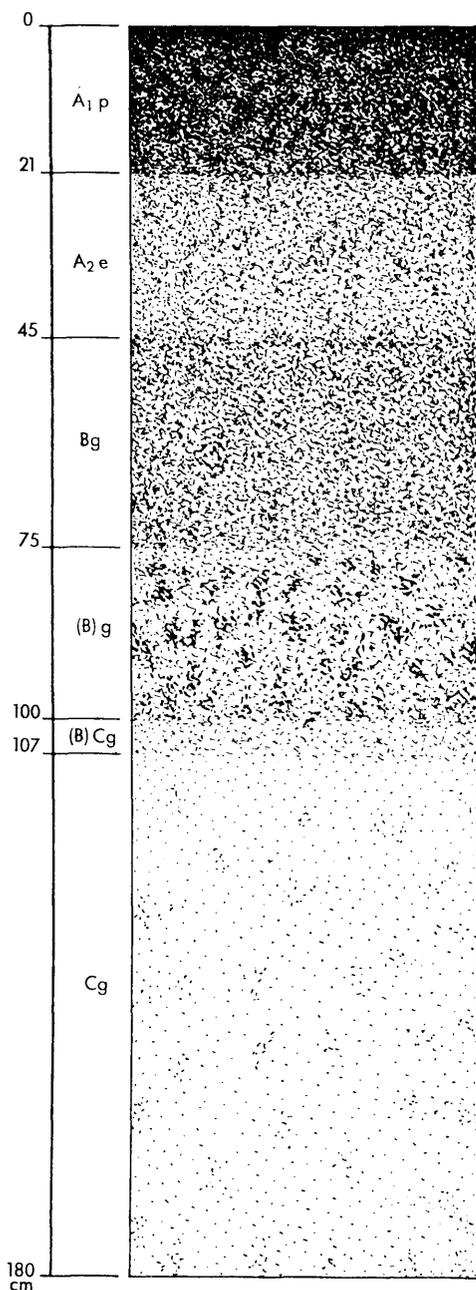
- A_{1p} 0 bis 21 Zentimeter humoser bis schwach humoser lehmiger, stark schluffiger *Feinsand*. Farbe 10 YR 4/2 – 5/3. Struktur: undeutlich blockig bis krümelig. Ziemlich locker. Mit Ziegelstückchen und kleinen Steinchen durchsetzt. Intensiv überwiegend fein durchwurzelt. Scharf aufsitzend auf
- A_{2e} 21 bis 45 Zentimeter humusfleckiger, lehmiger, stark schluffiger *Feinsand*. Farbe 10 YR 5/3 – 5/2. Struktur: undeutlich mittelprismatisch, die Aggregate bei leichtem Druck in feinblockige Aggregate zerfallend. Zahlreiche Regenwurmröhren entlang dieser, gut durchwurzelt, übergehend in
- B_g 45 bis 75 Zentimeter stark schluffiger, feinsandiger *Lehm*, Farbe 10 YR 5/3 – 5/4, Koatings 10 YR 4/4. Struktur: ziemlich dicht, mittelprismatisch, bei leichtem Druck in undeutlich feinblockige Aggregate zerfallend. An der Oberfläche Koatings. Noch ziemlich gut durchwurzelt und von Regenwurmröhren durchsetzt. Zahlreiche nadelstichige Konkretionen, geht über in
- (B)_g 75 bis 100 Zentimeter stark schluffiger, feinsandiger *Lehm*, Farbe 10 YR 5/4 – 4/4. Mittelprismatisch, noch mäßig fein durchwurzelt. Nach unten zunehmend braune Koatings.
- (B) C_g 100 bis 107 Zentimeter Übergangshorizont zum kalkhaltigen *Löß*. Farbe noch heller werdend, Auftreten von Rostflecken neben den Konkretionen. Farbe 10 YR 5/3 – 5/2, Rostflecken 10 YR 6/6. Struktur: undeutlich, lockerer werdend, noch mäßig fein durchwurzelt.
- C_g + 107 Zentimeter rostfleckiger, noch einzelne sepiabraune Konkretionen aufweisender *Löß*. Lockerer als (B)_g. Wurzeln und Regenwurmröhren bis 125 Zentimeter.

Gesamtbeurteilung beider Profile: Mittelschwerer Ackerboden, tiefgründig, mit mäßiger Krümelbeständigkeit, gut durchwurzelt. Bodenbearbeitung nicht schwierig. Ertragstreuer Zuckerrübenboden.

Diese Profilaufnahmen zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem von SCHILLER und JANIK (1959) beschriebenen Profil am Harter Plateau in der Nähe der Ortschaft Hart.

3. Bodentextur und Nährstoffverhältnisse

Auf Grund der Profilbeschreibungen wurden aus den Tiefen 10, 30, 50, 80 und 130 Zentimeter (A_{1p}, A_{2e}, B_g, (B)_g und C_g) Proben



für Schlämmanalysen sowie Kalk, Humus und Nährstoffuntersuchungen entnommen. Die Ergebnisse der Schlämmanalyse, dargestellt in Tabelle 1, zeigen bereits eine deutliche Tonverlagerung (Korngröße kleiner als 0,002 Millimeter) und damit Lessivierung (Auslaugung). Der Ton wird dabei mit dem Sickerwasser in tieferliegende Horizonte gespült. Der Vorgang der Tonverlagerung wurde von SCHILLER (1949) an zwei oberösterreichischen Böden in der Nähe von Lambach im Jahresablauf studiert und dabei festgestellt, daß der Dispersitätsgrad der Tonkolloide unter ansteigender Durchfeuchtung der Böden zunimmt. Hauptsächlich im Vorfrühling wurde von Schiller eine Absättigung der Böden mit Wasser festgestellt, es war daher zu diesem Zeitpunkt die Tonwanderung am größten. Bei zunehmender Austrocknung flocken die Kolloide wieder aus.

Bei den am Harter Plateau untersuchten Böden wurde bei den Parzellen I, II und III im B-Horizont ein doppelt so hoher Tongehalt wie im A-Horizont gefunden. Auf der

Abbildung 9

Parzelle IV ist die Durchschlammung geringer, der Tongehalt ist 40 Prozent höher.

Wie bei den Untersuchungsergebnissen noch später aufgezeigt wird, findet auch auf diesen Böden eine Absickerung, die die Voraussetzung der Lessivierung darstellt, statt.

Die Mittelwerte der Schlämmanalyse aus den Parzellen I, II und III finden sich in Tabelle 11 bzw. in graphischer Darstellung (Abbildung 15) im Anschluß an die Besprechung des Saugspannungsdiagramms.

Die Untersuchung auf Kalk, Humus und Nährstoffgehalt zeigt Tabelle 2.

4. Bemerkungen zu den Untersuchungsmethoden

Für die physikalischen und chemischen Analysen wurden die Proben von jedem Bodenhorizont durch senkrecht abstechen entlang der Profilwand entnommen. Lediglich bei Feld IV erfolgte die Entnahme mit der Bodenschappe. Die Proben wurden luftgetrocknet und die Feinerde mittels des 2-Millimeter-Siebes entnommen.

Die Schlämmanalyse wurde nach der Vorbehandlungsmethode LÜTTMER-JUNG mit Natrium-Pyrophosphat durchgeführt (HERRMANN R., THUN R., KNICKMANN L., 1955). Zehn Gramm lufttrockener Boden je Probe wird über Nacht in einer Schüttelflasche mit 25 cm³ einer 0,4-n-Lösung von Natriumpyrophosphat (Na₄P₂O₇) · 10 H₂O eingeweicht und anschließend sechs Stunden geschüttelt. Die Korngrößen über 0,02 Millimeter werden mittels Naßsiebung, die unter 0,02 Millimeter mit der Pipette nach KUBIENA bestimmt.

Der Karbonatgehalt wurde nach SCHEIBLER und die pH-Werte in $\frac{n}{10}$ KCl bestimmt. Bei der elektrometrischen pH-Messung wurde das konventionelle Verhältnis Boden:Flüssigkeit = 1:2,5 eingehalten.

Die Humusbestimmung erfolgte im Wege der Naßverbrennung mit Chromschwefelsäure nach A. WALKLEY und ARMSTRONG bei Rücktitrierung des überschüssigen Kaliumbichromates mit Ferroammonsulfat.

Zur Feststellung des laktatlöslichen Kalis und der laktatlöslichen Phosphorsäure wurde die Methode EGNER-RIEM herangezogen, die mit einer Lösung von $\frac{n}{50}$ HCl und $\frac{n}{50}$ Kalziumlaktat arbeitet. Auf diese Weise wurden die leichtlöslichen Nährstoffe des Bodens bzw. der augenblickliche Nährstoffzustand ermittelt.

TABELLE 1
Ergebnis der Schlämmanalyse

Parzelle	Horizont- bezeichnung	Entnahmetiefe in cm	Gewichts-Prozentanteil an den Korngrößen in mm			
			2 bis 0,06	0,06 bis 0,02	0,02 bis 0,002	kleiner als 0,002
Feld I	A _{1p}	10	8,5	42,5	37,5	11,5
	A _{2e}	30	5,2	44,4	33,9	16,9
	B _g	50	4,6	43,0	28,2	24,2
	(B)	80	8,4	45,3	28,5	17,8
	C _g	130	6,2	53,3	29,0	11,5
Feld II	A _{1p}	10	10,2	45,7	32,8	11,3
	A _{2e}	30	7,2	45,2	32,8	14,8
	B _g	50	8,3	40,9	28,0	22,8
	(B)	80	6,8	47,9	30,2	15,1
	C _g	130	4,8	58,4	26,7	10,1
Feld III	A _{1p}	10	8,2	47,2	30,0	14,6
	A _{2e}	30	8,5	44,2	27,7	19,6
	B _g	50	5,4	37,0	25,0	32,6
	(B)	80	8,3	46,3	30,3	15,1
	C _g	130	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.*
Feld IV	A _{1p}	10	9,0	49,6	24,2	17,2
	A _{2e}	30	6,4	53,1	22,5	18,0
	B _g	50	5,7	48,4	22,6	23,3
	(B)	80	7,6	43,2	19,7	29,5
	C _g	130	7,9	61,9	17,2	13,0

*) n. b. = nicht bestimmt.

D) KLIMA UND WITTERUNGSVERLAUF

1. Meßstellen

Für die Beschaffung der klimatologischen Daten standen folgende Meßstellen zur Verfügung: die Wetterstation des Hydrographischen Dienstes der oberösterreichischen Landesregierung in Doppl bei Leonding (Weingartshof), 277 Meter Seehöhe, und das Bundesamt für Zivilluftfahrt, Flugsicherungsstelle Linz, Wetterdienst (Flugplatz Hörsching), 296 Meter Seehöhe. Die Meßstellen sind einen bzw. vier Kilometer von den Versuchsfeldern entfernt. Lediglich für die Bestimmung der Sonnenscheindauer wurden die Aufzeichnungen der etwas weiter entfernten Wetterstation der Zuckerfabrik Enns herangezogen.

TABELLE 2
Nährstoffuntersuchung

Parzelle	Horizont- bezeichnung	Entnahmetiefe in cm	Kalk Gewichts %	P ₂ O ₅ mg/100 g	K ₂ O	Humus Gewichts %	pH
Feld I	A ₁ p	10	1,0	6,0	8,0	2,2	6,8
	A ₂ e	30	2,7	2,6	3,0	0,6	6,7
	Bg	50	5,9	3,6	3,0	< 0,4	6,7
	(B)	80	21,0	0,7	3,0	< 0,4	6,8
	Cg	130	39,2	0,5	3,0	< 0,4	7,3
Feld II	A ₁ p	10	0,2	8,4	10,0	2,8	5,7
	A ₂ e	30	0,6	2,6	3,0	1,0	5,6
	Bg	50	0,0	3,6	5,0	0,6	5,3
	(B)	80	9,5	2,3	2,0	0,5	6,5
	Cg	130	34,0	0,2	1,5	< 0,4	7,3
Feld III	A ₁ p	10	0,4	4,2	5,0	1,8	5,6
	A ₂ e	30	0,4	3,3	3,5	0,5	5,7
	Bg	50	1,0	3,6	5,0	0,5	5,2
	(B)	80	0,2	2,0	2,5	0,6	5,6
	Cg	130	26,9	0,2	2,5	< 0,4	7,3
Feld IV	A ₁ p	10	0,6	3,0	6,0	2,3	6,7
	A ₂ e	30	0,8	1,0	5,0	0,9	5,9
	Bg	50	0,8	3,6	4,0	0,6	6,0
	(B)	80	0,8	3,3	6,0	0,5	5,7
	Cg	130	25,6	0,2	3,0	< 0,4	7,3

Sämtliche Messungen wurden in zwei Meter Höhe vorgenommen, wie es den üblichen Beobachtungshütten entspricht. GEIGER (1961) begründet diese Bodenentfernung damit, daß die hier gewonnenen Werte zufälligen Einflüssen des Beobachtungsortes entzogen sind.

2. Das Wettergeschehen im Beobachtungs- zeitraum 1959 bis 1961

Für die Charakteristik des Wettergeschehens im Untersuchungszeitraum ist es zweckmäßig, die gemessenen Temperatur- und Niederschlagswerte mit den fünfzigjährigen Durchschnittswerten zu vergleichen. Die Unterlagen dazu liefert der Hydrographische Dienst in Österreich (1951).

TABELLE 3

Niederschlagsmenge absolut und in Prozent des fünfzigjährigen Durchschnitts

Fünfzigjähriger Durchschnitt		Monat	1959		1960		1961	
mm	%		mm	%	mm	%	mm	%
56	100	Jänner	44	79	37	66	15	27
50	100	Februar	13	26	30	60	57	114
46	100	März	52	113	87	189	47	100
64	100	April	77	120	37	58	57	89
79	100	Mai	74	94	69	87	129	163
95	100	Juni	174	183	94	99	95	104
120	100	Juli	138	115	159	133	91	76
96	100	August	129	134	140	146	96	100
69	100	September	19	28	97	141	38	55
55	100	Oktober	9	16	46	84	48	87
57	100	November	26	46	38	67	42	74
57	100	Dezember	99	174	18	32	41	72
844			854		852		756	

TABELLE 4

**Niederschlagsmenge in Prozent des Jahresniederschlags
(Niederschlagsverteilung)**

Monat	1959	1960	1961
	854 mm = 100 %	852 mm = 100 %	756 mm = 100 %
Jänner	5,2	4,3	2,0
Februar	1,5	3,4	7,5
März	6,1	10,2	6,2
April	9,0	4,3	7,5
Mai	8,7	8,2	17,1
Juni	20,4	11,1	12,6
Juli	16,2	18,6	12,1
August	15,1	16,4	12,7
September	2,2	11,4	5,0
Oktober	1,1	5,4	6,3
November	3,0	4,5	5,6
Dezember	11,5	2,2	5,4
	100,0	100,0	100,0

a) Niederschläge und Niederschlagsverteilung

Die Jahressummen der Niederschläge in den Jahren 1959 und 1960 weichen nur geringfügig, 1961 etwas stärker vom fünfzigjährigen Durchschnitt ab; auf die einzelnen Monate bezogen war jedoch

die Niederschlagsverteilung sehr ungleichmäßig. Dem fünfzigjährigen Durchschnitt entsprechend, herrschte in allen drei Jahren im Sommer starke Niederschlagstätigkeit.

1959 lagen die Niederschläge von März bis August über dem fünfzigjährigen Mittelwert. Der Sommer, in dem 52 Prozent des Jahresniederschlages fielen (Juni, Juli, August), ist als naß zu bezeichnen. Hingegen herrschte von September bis November eine ausgesprochene Trockenzeit.

Im Jahre 1960 war das erste Halbjahr trocken, hingegen fielen in den Sommermonaten Juni, Juli und August 46 Prozent der Jahresniederschläge.

Im Jahre 1961 war das Frühjahr durch einen regenreichen Mai charakterisiert, der Sommer dagegen durch längere Schönwetterperioden. Die Herbstwitterung war der von 1959 sehr ähnlich. Zieht man den fünfzigjährigen Durchschnitt als Maßstab heran, so lagen lediglich die Monate Juli, September, Oktober und November unter den langjährigen Durchschnittswerten. Die Tabelle 3 gibt die Monatsniederschläge in Prozenten des fünfzigjährigen Mittelwertes, Tabelle 4 in Prozenten des jeweiligen Jahresniederschlages an.

TABELLE 5
Temperaturverhältnisse und fünfzigjähriger Durchschnitt

Monat	Meßstelle Linz (260 m)	Meßstelle Hörsching (296 m)		
	1901 bis 1950	1959	1960	1961
Jänner	— 1,5	— 2,5	— 2,4	— 3,7
Februar	0,0	— 1,9	— 1,1	2,7
März	4,7	6,4	5,0	6,4
April	9,3	10,2	8,9	12,6
Mai	14,5	13,9	14,0	11,6
Juni	17,3	16,7	17,3	17,6
Juli	18,9	19,4	16,8	16,9
August	18,1	17,9	17,5	17,7
September	14,7	13,9	13,5	16,8
Oktober	9,0	8,2	9,4	9,9
November	3,7	3,4	5,0	3,0
Dezember	0,1	1,5	0,0	— 2,6
Durchschnittstemperatur	9,1	8,9	8,7	9,1

b) Temperaturen

Die Jahresmitteltemperatur, berechnet nach dem fünfzigjährigen Durchschnitt 1901 bis 1950, beträgt 9,1 Grad Celsius. Die Jahresmittel-

temperaturen der Jahre 1959, 1960 und 1961 betragen 8,9, 8,7 und 9,1 Grad. Auch die Monatswerte in den Beobachtungsjahren zeigen keine besonderen Abweichungen von den fünfzigjährigen Vergleichswerten. Während der Vegetationszeit sind Monate mit höheren Niederschlagssummen in der Regel etwas kühler.

Details über den Witterungsverlauf finden sich im Zusammenhang mit der Darstellung der Bodenfeuchte zu den einzelnen Untersuchungsterminen.

c) Verdunstung (Begriffsbestimmung)

Der Feuchtigkeitszufuhr aus der Atmosphäre — Kondensationsvorgänge an Boden und Pflanze ausgenommen — sei der Feuchtigkeitsentzug gegenübergestellt. Da es heute bereits eine Anzahl von Näherungsmethoden zur Berechnung der Verdunstung gibt und die dafür notwendigen Meßdaten in der Flugsicherungsdienststelle Linz beschafft werden konnten, möge auch dem Verdunstungsproblem ein kurzer Abschnitt gewidmet sein.

Der Begriff Verdunstung umschließt zwei verschiedene Vorgänge, deren Unterscheidung zweckmäßig ist. Die Verdunstung eines unbewachsenen Bodens, der frei von jeder Vegetation ist, wird *Evaporation*, auch unproduktive Verdunstung genannt. Dieser Vorgang läuft ausschließlich nach physikalischen Gesetzen ab. Wenn aber eine lebende Pflanze verdunstet, so spielen neben physikalischen Gesetzen auch Lebensvorgänge eine Rolle. Man spricht in diesem Fall von *Transpiration* (produktive Verdunstung). Ein mit einer Pflanzendecke bewachsener Boden wird auf beide Arten Wasser an die Atmosphäre abgeben. BAUMANN (1950) lehnt eine getrennte Behandlung beider Erscheinungsformen bei den Betrachtungen über den Wasserverbrauch der Vegetation mit der Begründung ab, daß das vom Boden direkt abgegebene Wasser die Feuchte der bodennahen Luftschicht erhöht, somit die Transpiration senkt und deshalb nicht völlig unproduktiv ist. HUBER (1957) bestätigt höhere Assimilationsleistungen im Vergleich zur Transpiration bei hoher Luftfeuchtigkeit. Daher faßt auch THORNTHWAITTE beide Verdunstungsarten in dem Ausdruck *Evapotranspiration* zusammen. In den folgenden Ausführungen wird der Begriff Verdunstung im Sinne von *Evapotranspiration* verwendet.

d) Verfahren zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration

In den letzten Jahren sind dazu verschiedene Formeln entwickelt worden. Sie seien kurz charakterisiert:

PENMANN berücksichtigt alle meteorologischen Werte einschließlich der Sonnenscheindauer. THORNTHWAITE geht davon aus, daß die Temperatur die Verdunstung bestimmend beeinflusst und benützt daher dieses Element, wobei Korrekturen für die variierende Tageslänge und die geographische Breite angebracht werden. Diese Berechnungsart berücksichtigt nach UHLIG (1955, 1959) wohl nicht genügend die Tatsache, daß bei uns die Luftfeuchte in der ersten Tageshälfte größer ist als in der zweiten und damit die Verdunstung bei gleicher Temperatur kleiner. Uhlig selbst hat daher Verbesserungen an dieser Berechnungsart vorgenommen und sie Kissinger-Methode genannt. KALWEITS (1956) Gleichungen dienen dazu, die monatlichen Mittelwerte der aktuellen Gebietsverdunstung zu bestimmen. Die Berechnung erfolgt auf Grund des Monatsmittels des Sättigungsdefizits unter Berücksichtigung verschiedener Korrekturglieder. Interessant ist, daß nur zwei Autoren, ALBRECHT und DALTON (nach GEIGER, 1961) in ihren Gleichungen die Windgeschwindigkeit berücksichtigen. Zwar hat der Wind eine stark austrocknende Wirkung, doch wird durch die gute Luftdurchmischung auch die relative Feuchtigkeit über dem Erdboden so stark herabgesetzt, daß das Sättigungsdefizit und damit die Verdunstung stark steigen.

HAUDE verwendet für seine Berechnungen das Sättigungsdefizit von 14 Uhr unter Einbeziehung eines monatlichen Faktors.

In mehreren Arbeiten hat UHLIG (1955, 1959) nachgewiesen, daß man mit der Kissinger-Methode und der Berechnungsart nach Haude für den mitteleuropäischen Raum zu befriedigenden Ergebnissen gelangt. Ich gab der letzten Berechnungsart den Vorzug, weil sie wenig kompliziert und außerdem am meisten erprobt ist. Vom Institut für Bodenbearbeitung und von der Agrarmeteorologischen Beratungsstelle Völknerode liegen diesbezüglich bereits eine Menge Untersuchungen vor (CZERATZKI und KORTE, 1955, 1958, 1959 und 1961).

e) Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach Haude

Die Transpirationsintensität der Pflanzen wird zum größten Teil vom Sättigungsdefizit der Luft gesteuert. Je größer das Dampfdruckgefälle von der Blattoberfläche zur umgebenden Luft ist, desto größer wird die Wasserabgabe der Pflanze sein. Nach Haude wird das Sättigungsdefizit von 14 Uhr mittlere Ortszeit mit einem empirisch gewonnenen Faktor, der nach der Jahreszeit wechselt, multipliziert. Die auf diese Weise erhaltene Zahl soll den Tageswasserverbrauch einer gut mit Wasser versorgten Pflanzendecke in Millimeter Regenhöhe angeben.

Die Berechnung des Sättigungsdefizits wurde folgendermaßen durchgeführt. Nach Messung der Lufttemperatur (Trockenthermometer) wird der dazugehörige Sättigungsdampfdruck E auf Grund der Psychrometertafel ermittelt. Der aktuelle Dampfdruck e ergibt sich aus dem Vergleich der am trockenen und feuchten Thermometer abgelesenen Werte ebenfalls unter Zuhilfenahme der Psychrometertafel.

Das Sättigungsdefizit $E - e$ ist nun mit folgendem Faktor zu multiplizieren, um die Tagesverdunstung in Millimeter zu erhalten:

Oktober bis März	0,30	Juli	0,35
April bis Mai	0,39	August	0,35
Juni	0,37	September	0,31

Bei der Darstellung der Untersuchungsergebnisse ergibt sich Gelegenheit, diese Werte der am Boden festgestellten Wasserverarmung gegenüberzustellen.

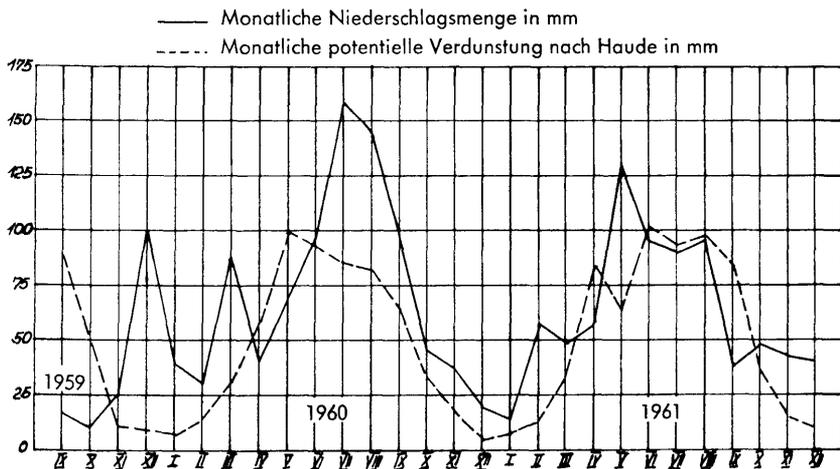
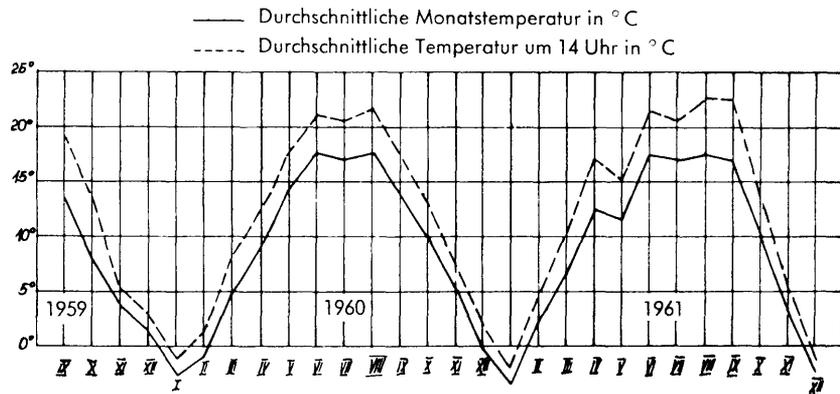
Es sei vorweggenommen, daß die Übereinstimmung in unserem Klimagebiet gut ist. Für den pannonischen Raum allerdings wären hierüber eigene Untersuchungen wünschenswert.

f) Die klimatische Wasserbilanz

Die Gegenüberstellung Niederschlag — Verdunstung, nach KORTE (1961) klimatische Wasserbilanz genannt, ermöglicht eine genaue Beurteilung, welche Monate als feucht, welche als trocken anzusprechen sind.

Die Tabelle 6 zeigt diese Differenzen in Millimeter Regenhöhe. Feuchte Monate zeigen eine positive, trockene eine negative Bilanz.

**Abbildung 10: Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum
September 1959 bis Dezember 1961**



Monatliche Sonnenscheindauer in Stunden

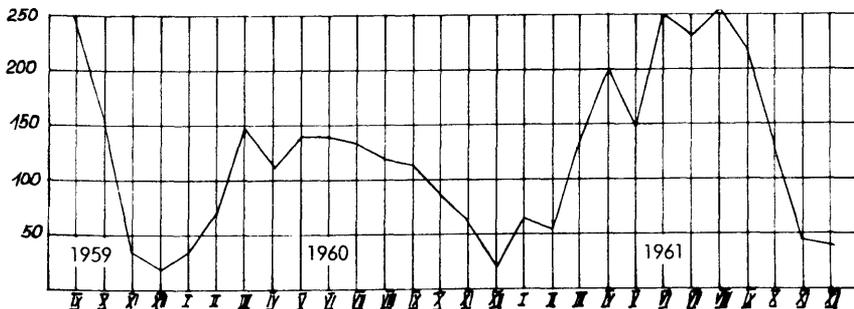


TABELLE 6
Wasserbilanz

Monat	1959	1960	1961
Jänner	+ 37	+ 29	+ 8
Februar	+ 2	+ 16	+ 45
März	+ 14	+ 55	+ 12
April	+ 2	— 22	— 27
Mai	— 21	— 32	+ 66
Juni	+ 74	+ 1	— 7
Juli	+ 46	+ 74	— 1
August	+ 44	+ 62	— 2
September	— 73	+ 33	— 48
Oktober	— 41	+ 11	+ 11
November	+ 13	+ 21	+ 27
Dezember	+ 90	+ 12	+ 35
Jahressumme	+ 187	+ 260	+ 119

Sämtliche Witterungsvorgänge sind in Abbildung 10 zusammenfassend dargestellt.

E) LANDWIRTSCHAFTLICHE BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN FELDER

1. Wirtschaftsweise

Das Gebiet, in dem die Untersuchung vorgenommen wurde, gehört zum oberösterreichischen Weizen- und Rübenbaugebiet.*) Es ist ausgezeichnet durch eine lange Vegetationszeit, die von Anfang März bis Ende November dauert, und durch fruchtbare Lößlehm-böden. Weizen und Zuckerrübe werden hier vornehmlich angebaut und bilden den finanziellen Rückhalt der Landwirtschaftsbetriebe dieser Gegend.

Pächter der zur Untersuchung herangezogenen Felder ist derzeit Herr Rudolf Kirchmayr, Jetzing 5, Post Pasching (Jaglbauerngut). Der Landwirtschaftsbetrieb wird als bäuerlicher Familienbetrieb bewirtschaftet. Eine strenge Fruchtfolge wird nicht eingehalten. In

*) Einteilung der oberösterreichischen Produktionsgebiete auf Grund der Unterlagen für den Landwirtschaftlichen Betriebsdienst Oberösterreich; bearbeitet von der Land- und Forstwirtschaftlichen Landesbuchführungsgesellschaft m. b. H., Betriebsstatistische Abteilung, 1957.

den Jahren 1959 bis 1961 wurden etwa 55 Prozent Getreide angebaut, das Verhältnis Wintergetreide zu Sommergetreide beträgt dabei 7 : 1. Die Hackfruchtfläche betrug 25 Prozent, Luzerne und Klee sind mit 15 Prozent, Raps mit 5 Prozent vertreten. Insgesamt stehen unter dem Pflug 25,50 Hektar. Der Viehbestand mit insgesamt 20 Großvieheinheiten reicht aus, die Felder jedes dritte bis vierte Jahr mit einer ausreichenden Stallmistgabe zu versorgen.

Der Betrieb ist ziemlich gut mechanisiert, die Ackerung wird mit einem Traktor-Hydraulikpflug vorgenommen, die Getreideernte erfolgt im Mähdrusch, die Rübenernte noch mit der Hand (Saisonarbeitskräfte). Die Kleetrocknung geschieht ortsüblich durch Hiefel.

2. Die Feldfrüchte auf den Untersuchungsflächen

1960

Feld I: Winterroggen, Sorte Petkuser Kurz, Rotklee-Einsaat siehe 1961; Vorfrucht Winterweizen, Nachfrucht Rotklee.

Düngung: Herbst 1959	500 kg Thomasmehl,
	350 kg 40prozentiges Kali,
	80 kg Kalkammonsalpeter,
Frühjahr 1960	160 kg Kalkammonsalpeter.

Feld II: Rotklee, Handelssaatgut heimischer Herkunft; Vorfrucht Winterweizen, Nachfrucht Winterweizen.

Düngung: Herbst 1959	350 kg Thomasmehl,
	270 kg 40prozentiges Kali.

Feld III: Zuckerrübe, Sorte Kuhn Naarden P; Vorfrucht und Nachfrucht Winterweizen.

Düngung: Herbst 1959	25.000 kg Stallmist,
Frühjahr 1960	900 kg 40prozentiges Kali,
zum Anbau	900 kg Superphosphat,
	600 kg Kalkammonsalpeter,
zum Vereinzeln	200 kg Kalkammonsalpeter.

Feld IV: Keine Untersuchungen.

1961

Feld I: Rotklee, Handelssaatgut heimischer Herkunft; Vorfrucht Winterroggen, Nachfrucht Winterweizen; keine Düngung.

Feld II: Herbstanbau von Winterroggen, Sorte Petkuser Kurz,
nach Winterweizen für 1962.

Düngung: 300 kg Thomasmehl,
250 kg 40prozentiges Kali,
80 kg Kalkammonsalpeter.

Feld III: Keine Untersuchungen.

Feld IV: Zuckerrübe, Sorte Kleinwanzleben Polybeta 866 b;
Vor- und Nachfrucht Winterweizen.

Düngung: Herbst 1959 25.000 kg Stallmist,
700 kg Superphosphat,
700 kg 40prozentiges Kali,
zum Anbau 400 kg Kalkstickstoff,
zum Vereinzeln 100 kg Kalkammonsalpeter.

Sämtliche Düngermengen beziehen sich auf die Fläche von einem Hektar.

F) UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Die Untersuchungsmethoden lassen sich nach zwei Richtungen aufgliedern.

1. Die **Strukturanalyse** zur Ermittlung aller bodenphysikalischen Bezugs- und Berechnungswerte, die für die Beurteilung der periodischen Feuchtebeobachtungen und die Erstellung einer Wasserhaushaltsrechnung notwendig sind.
2. Die **periodischen Untersuchungen** mit dem Zweck, den unter den verschiedenen Feldfrüchten zu dem Untersuchungstermin jeweils herrschenden Wassergehalt festzustellen.

1. Strukturanalyse

In diese Kategorie gehören die Untersuchung des Raumgewichtes (scheinbares spezifisches Gewicht), des spezifischen Gewichtes der Bodensubstanz und des Hohlraumvolumens und dessen Aufgliederung nach Porengrößen durch die Saugspannungsanalyse.

a) Bestimmung des Raumgewichtes

Die Raumgewichtsbestimmung des natürlich gewachsenen Bodens ist notwendig, um bei allen Untersuchungen der Bodenfeuchtigkeit die in Gewichtsprozenten anfallenden Werte in Volumsprozente

umrechnen zu können. Dadurch ist es erst möglich, den Bodenwassergehalt mit den Niederschlagsmengen in Beziehung setzen zu können.
Volumsprozent = Gewichtsprozent mal Raumgewicht.

Wassergehalt des Bodens in Millimeter = Volumsprozent mal Bodentiefe (Wurzeltiefe).

Zur Ermittlung des Raumgewichtes wurden dem Boden Proben in möglichst ungestörter Lagerung mit Hilfe von Messingringen entnommen. Diese Ringe haben eine Höhe von zwei Zentimetern, ihr mittlerer Durchmesser beträgt 7,68 Zentimeter, daher errechnet sich ihr Volumen mit 92,84 Kubikzentimeter.

In Übereinstimmung mit der Schlämmanalyse und der Profilbeschreibung wurden die Proben bei den Parzellen I und III (Abbildung 8) aus den Tiefen 10, 30, 50 und 80 Zentimeter, bei II aus 10, 30, 50, 80 und 130 Zentimeter (*Löß*) entnommen. Um ein möglichst ungestörtes Gefüge zu erhalten, wurden die Ringe besonders aus den beiden obersten Bodenschichten vor der Herbstackerung 1960 entnommen, für die tiefer liegenden Schichten wurde ein günstiger Termin Ende Februar 1961 abgewartet. In beiden Fällen befand sich der Boden in gut durchfeuchtetem Zustand (Feld- oder Regenkapazität).

Für die Feuchtigkeitsuntersuchungen 1961 erfolgte die Probenahme aus den Feldern II und IV im Oktober des gleichen Jahres aus den Tiefen 10, 30 und 50 Zentimeter. Der Zustand der Feldkapazität war in diesem Fall noch nicht erreicht.

Die Füllung der Zylinder erfolgt auf folgende Weise: Bis zur gewünschten Tiefe wird die Erde vorsichtig mit einer Schaufel abgehoben. Die mit Erde zu füllenden Ringe werden dann auf den Boden gelegt und mit Hilfe eines zweiten Ringes unter Vermeidung jeglicher Pressung sanft in den Boden gedrückt. Der Zylinder soll dabei nicht verkanten. Als zweckmäßig hat sich ein Vortasten mit dem Messer erwiesen. Das Lostrennen des Zylinders erfolgt mit Hilfe eines Messers, das glatte Abschneiden der auf beiden Seiten des Ringes überstehenden Erde führte ich mit einer feinzahnigen Laubsäge durch, da dabei ein Verschmieren der Bodenporen leichter vermieden werden kann als bei Anwendung des Messers. Die gefüllten Ringe werden auf beiden Seiten mit Plastikdeckeln abgeschlossen und so vor einem schnellen Austrocknen geschützt.

Die Zylinder aus den Parzellen I, II und III wurden zuerst der Saugspannungsanalyse unterzogen; erst die im Trockenschrank bis zur

Gewichtskonstanz getrocknete Probe diene zur Berechnung des Raumgewichtes.

$$\text{Raumgewicht} = \frac{\text{Gewicht der trockenen Zylindererde}}{\text{Zylindervolumen}}$$

b) Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Bodensubstanz

Die Entnahme der Erde erfolgte mit der Bodenschappe als Mischprobe der Felder I, II und III aus den Bodentiefen 10, 30, 50 + 80 (Mischprobe) und 130 Zentimeter. Das spezifische Gewicht des Bodens = das Gewicht der Volumseinheit ohne Hohlraum. Das Verfahren beruht auf der Ermittlung des Volumens einer bestimmten Bodenmenge durch Wasserverdrängung, deren Gewicht bekannt ist.

Pyknometermethode: Aus zehn Gramm bei 105°C getrocknetem Boden wird durch Kochen mit destilliertem Wasser die Luft entfernt und in ein 50-ml-Pyknometer eingefüllt. Das Pyknometer wird mit destilliertem Wasser aufgefüllt und das Gesamtgewicht ermittelt.

Das spezifische Gewicht (S) berechnet sich dann

$$S = \frac{G}{R - (P - P_0 - G)}$$

G = Gewicht des trockenen Bodens

R = Rauminhalt des Pyknometers (50 ml),

P₀ = Gewicht des leeren Pyknometers,

P = Pyknometergewicht + Boden + Wasser.

c) Bestimmung des Porenvolumens

Da das Raumgewicht des trockenen Bodens einerseits vom spezifischen Gewicht, andererseits vom Anteil der Poren abhängt, läßt sich letzterer aus Raumgewicht und spezifischem Gewicht der Bodensubstanz errechnen.

$$\text{Porenvolumen in \%} = \left(1 - \frac{\text{Raumgewicht}}{\text{Spezifisches Gewicht}} \cdot 100\right)$$

d) Porenanalyse durch die Saugspannungs-
untersuchungen

Das Wasser im Boden ist in verschiedener Art und Intensität gebunden:

1. Als Adsorptionswasser. Dieses besteht überwiegend aus dem Hydrationswasser der austauschbaren Ionen und der Ionen der Grenzflächen der Bodenpartikel und zum kleinen Teil aus osmotisch gebundenem Wasser.
2. Als Kapillarwasser ist es in Abhängigkeit vom Kapillardurchmesser mit unterschiedlicher Energie gebunden.
3. Als Sickerwasser. Nach Absättigung der kapillaren Hohlräume werden die überschüssigen Wassermengen durch größere Hohlräume durch die Schwerkraft nach unten gezogen. Nur wenn sich das Sickerwasser auf undurchlässigen Lagen staut, ist eine totale Porenfüllung möglich.

Das Kapillarwasser kommt in erster Linie für die pflanzliche Wasserversorgung in Frage. Die Bindungsfestigkeit schwankt in Abhängigkeit vom Kapillardurchmesser in weiten Grenzen. Sie wird als Kapillar- oder Saugspannung bezeichnet, und sie ist umso größer, je kleiner der Durchmesser der Kapillaren ist, in denen das Wasser festgehalten wird. Dieser Druck, in Zentimeter Wassersäule gemessen, steht in Gleichgewicht mit dem Kapillarpotential (C. P.) und ist auch als dekadischer Logarithmus dieser Zahl als pF-Wert darstellbar. Die bei einer bestimmten Saugspannung festgestellte Bodenfeuchte gibt das Gesamtvolumen einer dem Absaugdruck entsprechenden Porengrößenklasse an.

Die Beziehung der Porengröße zur Saugspannung stellt sich

$$\text{nach BESCHOLD dar: } p = \frac{2 a^2}{d 10^4}$$

$a^2 = 14,82$ bei einer Temperatur von 20°C = Kapillaritätskonstante des Wassers,

d = Durchmesser der bei einem bestimmten Druck entleerten Poren (Äquivalentdurchmesser in Millimetern),

p = Absaugdruck bzw. Druckdifferenz in Atmosphären.

Im Laboratorium wird durch Absaugen über poröse Platten an der pF-Apparatur der Wassergehalt bei verschiedenen Saugspannungen bestimmt und daraus auf das Gesamtvolumen einer bestimmten Porengrößenklasse geschlossen.

Im Institut für Bodenforschung, Hochschule für Bodenkultur, wurde eine Saugspannungsapparatur nach WOODROOF (1941) und RICHARD (1948, 1949) aufgestellt. Sie ist derzeit die einzige in ganz Österreich. Ich danke Herrn Prof. Dr. H. F r a n z, mir die Möglichkeit gegeben zu haben, die Saugspannungsuntersuchungen damit durchzuführen.

e) Die Saugspannungs- oder p_F -Apparatur (Abbildung 11)

Zum Verständnis des Untersuchungsvorganges soll diese kurz beschrieben werden. Es sind drei Hauptteile zu unterscheiden:

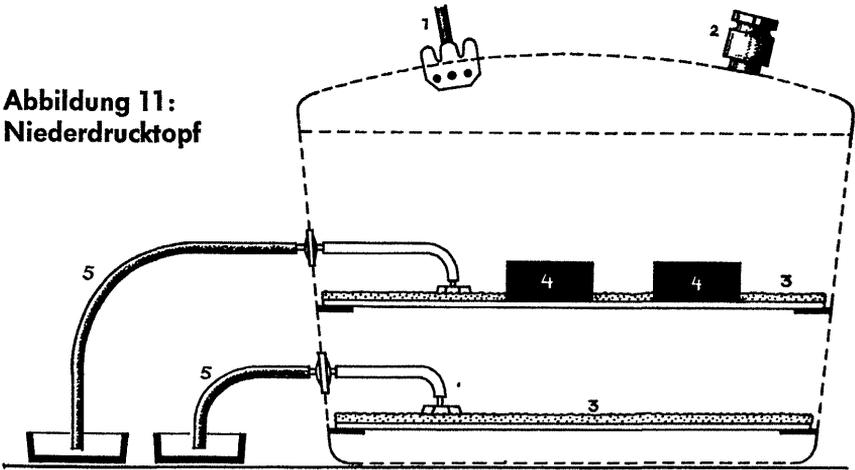
1. Motor mit Kompressor zur Erzielung des Überdruckes,
2. das Druckleitungssystem,
3. die Überdrucktöpfe mit Einstellhähnen und Manometerausrüstung.

Der Untersuchungsvorgang selbst läuft in den verschiedenen Überdrucktöpfen ab. Für die Untersuchung unter Anwendung niederer Drucke bis drei Atmosphären verwendet man den Niederdrucktopf. Er erinnert in Form und Material an einen im Haushalt gebräuchlichen Dampfdrucktopf, auch der Deckel sitzt mit Bajonettverschluß auf. Im Topf selbst befinden sich zwei Einsätze zum Auflegen der mit Erde gefüllten Zylinder. Die Einsätze bestehen aus einer porösen keramischen Platte, an die eine Metallplatte so anschließt, daß der zwischen den Platten befindliche Zwischenraum das aus der Erde gepreßte Wasser aufnehmen kann. Von hier aus wird es mit Hilfe eines Gummischlauches durch einen Durchlaß durch die Topfwand nach außen abgeführt.

Die Druckverhältnisse stellen sich also folgendermaßen dar: Im Topf herrscht der am Manometer kontrollierte Überdruck. Der Zwischenraum unter der porösen Platte weist durch seine Verbindung mit der Außenluft normalen Luftdruck auf. Durch diese Druckdifferenz wird der eingelegten Bodenprobe so lange Wasser entzogen, bis sich das Gleichgewicht Wasserhaltevermögen und auf die Probe wirkender Überdruck eingestellt hat.

Für höhere Drucke verwendet man den Hochdrucktopf. Das Arbeiten mit Drucken bis 15 Atmosphären ist nicht gefahrlos. Um eine Explosionsgefahr durch Nachgeben des Materials auszuschalten, muß die Oberfläche des Behälters klein gehalten werden. Die Töpfe sind daher nur so hoch, daß sie die zwei Zentimeter hohen Messing-

**Abbildung 11:
Niederdrucktopf**



ringe aufnehmen können. Der Deckel wird durch zahlreiche Mutterschrauben fest angepreßt und durch einen Gummiring abgedichtet. Als wasserdurchlässige Unterlage dient statt der Keramikplatte eine Plastikfolie, die weniger durchlässig ist, weshalb der Druck im Innenraum leichter konstant gehalten werden kann. Die Entwässerung erfolgt nach dem gleichen System der Druckdifferenz.

Der Untersuchungsvorgang: Die mit Erde gefüllten Ringe (siehe Raumgewichtsbestimmung) werden zuerst 24 Stunden lang mit Wasser überspült, um die volle Wassersättigung zu erreichen. Nachher werden sie behutsam auf die durchlässige Membran aufgesetzt und 48 Stunden dem gewünschten Einstelldruck ausgesetzt. In einem Niederdruckbehälter können zehn Ringe (zwei Etagen), in einem Hochdruckbehälter fünf Ringe untersucht werden. Nach dem Untersuchungsvorgang wird der Feuchtigkeitsgehalt durch Wiegen und Trocknen bestimmt.

$$\begin{aligned} & \text{Feuchtigkeit in Gewichtsprozenten} = \\ & = \frac{\text{Gewicht feuchte Erde} - \text{Gewicht trockene Erde}}{\text{Gewicht trockene Erde}} \cdot 100 \end{aligned}$$

Die Probenahme erfolgte in Übereinstimmung mit der Raumgewichtsbestimmung. Bei den Parzellen I, II und III wurden die Proben aus den bereits angegebenen Tiefen einer Druckbehandlung von 0,3 und 1,0 Atmosphären ausgesetzt. Lediglich bei der Parzelle II wurde die Untersuchung auch mit 15 Atmosphären durchgeführt.

Die Bestimmung des Hygroskopizitätswertes nach MITSCHERLICH und des Wassergehaltes bei 0,1 Atmosphären konnte dank des freundlichen Entgegenkommens von Herrn Dir. Dr. F. Blümel an der Bundesanstalt für technische Bodenkunde in Petzenkirchen durchgeführt werden.

2. Die periodischen Untersuchungen

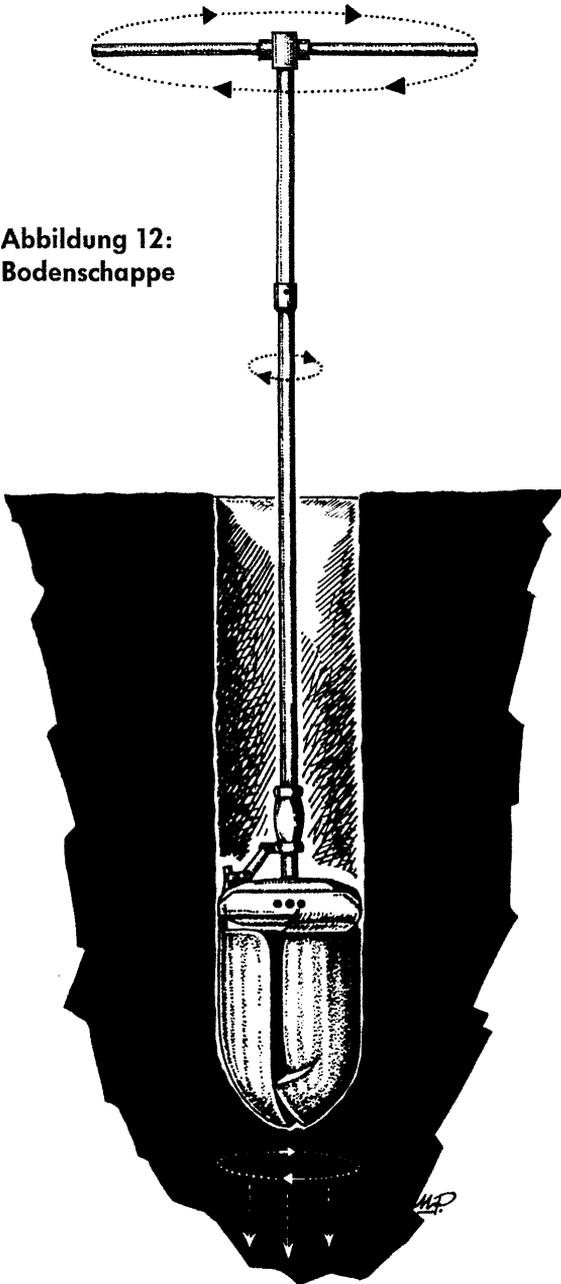
Bei den Untersuchungen des Bodenwassergehaltes konnte kein genauer Termin eingehalten werden, wohl aber wurde soweit als möglich auf die Wachstumsstadien der Kulturpflanzen Rücksicht genommen. Die Kontrolle des Feuchtigkeitsgehaltes wurde bis zu einem Meter Tiefe vorgenommen, fallweise auch bis zu 1,80 Meter, doch erwiesen sich die in dieser Tiefe auftretenden Schwankungen des Wassergehaltes als gering.

Die Entnahme der Erde wurde mit einer Schappe (Abbildung 12) durchgeführt, ein Gerät, das es ermöglicht, ein Loch von etwa 15 Zentimeter Durchmesser bis zu einer Tiefe von zwei Metern zu bohren. Die Arbeitszeit beträgt dabei je nach Bodenfeuchtigkeit ein bis eineinhalb Stunden.

Die Schappe besteht aus zwei sich zu einem Zylinder ergänzenden Hohlschaukeln, die zur Entleerung aufgeklappt werden können, sowie aus einem Stiel samt Verlängerung und Drehgriff. Das Gerät gestattet es, ohne Zerstören der Vegetation aus beliebiger Tiefe innerhalb der Reichweite des Gerätes größere Erdproben kaum durchmischt zu entnehmen.

Um die großen Schwankungen des Feuchtigkeitsgehaltes der oberen Bodenschichten genau erfassen zu können, wurde bis zu einer Tiefe von 60 Zentimetern im Abstand von je 10 Zentimetern, von 60 bis 100 bzw. 180 Zentimetern im Abstand von je 20 Zentimetern eine Probe entnommen. Für jede Probe wurden rund 250 Gramm Erde in ein Nylonsäckchen luftdicht verpackt. Diese Gesamtmenge wurde sorgfältig gemischt und daraus eine Probe von 20 Gramm untersucht. Auf die Entnahme mehrerer Proben aus dem gleichen Horizont wurde mit Rücksicht auf den durch die Untersuchung bedingten großen Arbeitsaufwand verzichtet. Außerdem werden mit der Schappe an sich so große Erdmengen gewonnen, aus denen sich dann durch Vermischung bei der Entnahme hinsichtlich des Wassergehaltes schon eine recht repräsentative Probe ergibt. Man darf daher annehmen,

Abbildung 12:
Bodenschappe



daß der Fehler, der sich durch den Verzicht auf eine mehrfache Wiederholung der Wassergehaltsbestimmung und der Berechnung eines Mittelwertes ergibt, nicht ins Gewicht fällt. Der Feuchtigkeitsgehalt wurde durch Trocknen bis zur Gewichtskonstanz bei 105° C, Abkühlen im Exsikkator und Abwägen des getrockneten Gutes bestimmt. Die Gewichts-differenz wird in Prozent Wassergehalt auf den trockenen Boden bezogen.

Eine Doppelbestimmung wurde nur dann durchgeführt, wenn der in einer bestimmten Bodentiefe festgestellte Wassergehalt weder mit den Werten der benachbarten Schichten noch mit denen der benachbarten Parzellen in Einklang stand.

G) ERGEBNISSE

1. Ergebnisse der Strukturanalysen

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Unterschiede zwischen den untersuchten Feldern sehr gering sind und sich wesentlich nur auf die verschiedene Ausbildung der Pflugsohle beschränken. Vertikal gesehen sind jedoch zwischen den Horizonten starke Differenzen vorhanden.

a) Das Raumgewicht schwankt mit Ausnahme des A_{2e}-Horizontes nur sehr gering um 1,50 (Wasser = 1,00). A_{2e} zeigt eine deutliche Dichtlagerung bei den Parzellen II, III und IV. Nach Nitsch (1938) kann man, da die Verdichtung 6 Prozent gegenüber dem Untergrund übersteigt, bereits von einer starken Pflugsohle sprechen.

b) Das spezifische Gewicht nimmt mit der Bodentiefe zu.

c) Das Porenvolumen ist im gesamten Boden ungefähr gleich groß und verengt sich nur bei der Pflugsohle. Der Anteil der verschiedenen Kapillargrößen ist, wie noch später gezeigt wird, unterschiedlich. Da dadurch auch das Wasserhaltevermögen beeinflusst wird, wechselt das Boden-Wasser-Luftverhältnis mit den einzelnen Bodentiefen.

Tabelle 7 zeigt die Wechselbeziehung zwischen Raumgewicht, spezifischem Gewicht, Porenvolumen und Boden-Wasser-Luft-Verhältnis.

d) Ergebnisse der Saugspannungsuntersuchungen. Der Wassergehalt eines Bodens sagt auch dann,

wenn er in Volumsprozents ausgedrückt wird, über den tatsächlichen Feuchtezustand und vor allem über den dabei gegebenen Versorgungsgrad der Pflanzen mit Wasser wenig. Das ergibt sich schon aus der Überlegung, daß ein wassergesättigter Sandboden denselben Wassergehalt haben kann, wie ein ziemlich weitgehend ausgetrockneter Tonboden. Soll der aktuelle Wassergehalt eines Bodens hinsichtlich seiner Auswirkung auf die Wasserversorgung der darauf wachsenden Pflanzen beurteilt werden können, ist es notwendig, die gesamte nutzbare Wasserspeicherung des betreffenden Bodens zu kennen. Diese ergibt sich aus der Gesamtmenge Wasser, die der Boden für längere Zeit festhalten kann, abzüglich jener Wassermenge, die so fest im Boden gebunden ist, daß Pflanzen sie nicht auszunützen vermögen. Die Gesamtmenge Wasser nennen wir **Feldkapazität**, sie umfaßt die gesamte dauernd speicherbare Haftwassermenge und zusätzlich langsam versickerndes Sickerwasser. Den Wassergehalt des Bodens, der von der Pflanze nicht ausnützlich ist, bezeichnet man als **totes Wasser**, das heißt, wenn der Boden bis zu der Grenze der pflanzennutzbaren Wassermenge entwässert wurde, ist der **permanente Welkepunkt** erreicht.

Die **Feldkapazität**. In diesem Zustand befindet sich ein Boden, wenn nach gründlicher Durchfeuchtung die durch die Gravitation verursachte Abwärtsbewegung des Wassers im wesentlichen beendet ist und der Verlust an Sickerwasser so gering ist, daß er vernachlässigt werden kann. In der Regel wird dieser Wassergehalt nach der Schneeschmelze erreicht. Näherungsweise kann man eine Bestimmung der Feldkapazität im Laboratorium an der Saugspannungsapparatur bei einer Druckdifferenz von 0,33 Atmosphären erreichen. Wie später aufgezeigt wird, stimmen diese Werte gut mit den natürlichen Verhältnissen überein, obwohl Schwankungen im Jahresablauf durch Maßnahmen der Ackerkultur und Beeinflussung durch die Vegetationsdecke anzunehmen sind.

DE LEENHEER (1961) hat auf Grund umfangreicher Untersuchungen zwischen der Bodentextur, dem Kalk- und Humusgehalt einerseits und der Bodenstruktur andererseits enge Zusammenhänge gefunden. Diese finden in der Feldkapazität und im Welkepunkt ihren Niederschlag.

Nach DE LEENHEER läßt sich der Wassergehalt bei Feldkapazität in Gewichtsprozents nach der Formel errechnen:

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} = & + 0,40 \cdot \text{Gewichtsprozent Rohton (kleiner als} \\ & \quad 0,002 \text{ mm)} \\ & + 0,26 \cdot \text{Gewichtsprozent Staubsand (0,06 bis} \\ & \quad 0,02 \text{ mm)} \\ & + 0,43 \cdot \text{Gewichtsprozent CaCO}_3 \\ & + 3,22 \cdot \text{Gewichtsprozent organisches Material} \\ & \quad (\text{Humus}) \\ & + 0,29 \text{ (Additionskonstante).} \end{aligned}$$

Ein Vergleich mit den Laboratoriumsuntersuchungen ergibt allerdings, daß die berechneten Werte höher liegen als die empirisch gefundenen (Tabelle 8).

Der permanente Welkepunkt. Der zweite untere Grenzwert des pflanzennutzbaren Wassers, der Welkepunkt, bezeichnet den Feuchtigkeitsgehalt eines Bodens, bei dem die Pflanzen durch Wassermangel dauernd Welkeerscheinungen zeigen, das heißt, sich auch in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre nicht mehr erholen. Streng genommen läßt sich dieser Zustand nur für die jeweiligen Bezugspartner Boden — Pflanze definieren. Da jedoch die meisten Kulturpflanzen Saugspannungen bis 15 Atmosphären entwickeln, kann im Laboratorium bei Anwendung dieses Druckes das nicht mehr pflanzennutzbare Wasser bestimmt werden. MITSCHERLICH nennt es daher *totes Wasser*.

Eine Berechnung ist nach de Leenheer ebenso wie bei der Feldkapazität auf Grund der Bodentextur, des Kalk- und Humusgehaltes möglich.

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} = & + 0,36 \cdot \text{Gewichtsprozent Rohton (kleiner als} \\ & \quad 0,002 \text{ mm)} \\ & + 0,04 \cdot \text{Gewichtsprozent Staubsand (0,06 bis} \\ & \quad 0,02 \text{ mm)} \\ & + 0,20 \cdot \text{Gewichtsprozent CaCO}_3 \\ & + 0,85 \cdot \text{Gewichtsprozent organisches Material} \\ & \quad (\text{Humus}) \\ & + 0,67 \text{ (Additionskonstante).} \end{aligned}$$

Ebenso wird das tote Wasser mit der doppelten Hygroskopizität nach Mitscherlich abgegrenzt.

Die Tabelle 9 zeigt die gute Übereinstimmung der experimentellen mit den berechneten Werten. Es ist bemerkenswert, daß dabei

der Schluffanteil des Bodens (Äquivalentanteil der Bodenpartikel 0,02 bis 0,002) bei der Berechnung nach DE LEENHEER keine Rolle spielt.

TABELLE 7
Boden-, Wasser-, Luftverteilung im Zustand der Feldkapazität
in Volumsprozents

Parzelle I						
Bodentiefe cm	Raumgewicht kg/dm ³	Spez. Gewicht kg/dm ³	Poren- volumen %	Boden %	Wasser %	Luft %
10	1,46	2,662	46	54	33	13
30	1,54	2,669	42	58	31	11
50	1,48	2,717	46	54	35	11
80	1,50	2,717	45	55	37	8
Parzelle II						
10	1,54	2,662	42	58	33	9
30	1,64	2,669	39	61	32	7
50	1,51	2,717	44	56	35	9
80	1,50	2,717	45	55	38	7
Parzelle III						
10	1,46	2,662	45	55	33	12
30	1,63	2,669	39	61	31	8
50	1,52	2,717	44	56	32	12
80	1,53	2,717	44	56	38	6
Parzelle IV						
10	1,53	2,662	42	58	33*	9
30	1,70	2,669	36	64	32*	4
50	1,52	2,717	44	56	34*	10
80	1,51	2,717	45	55	38*	7
130 cm	1,50	2,746	46	54	36	10

* Durchschnittswerte aller übrigen Parzellen.

Ein landwirtschaftlich wertvoller Boden zeichnet sich durch große Wasserspeicherung bei einem hohen Anteil pflanzennutzbaren Wassers aus. Die Differenz Feldkapazität—Welkepunkt ist daher groß.

Bei Vergleich der beiden de Leenheerschen Formeln fällt auf, daß es nicht nur die Wirkung des Humusanteiles, sondern auch in sehr starkem Maße jene der Staubsandfraktionen ist, die die Differenz Feldkapazität — Welkepunkt vergrößert. Wahrscheinlich trägt gerade

diese Korngrößenkategorie, die im *Löß* und *Lößlehm* sehr stark vertreten ist, zum Aufbau eines Kapillarsystems bei, das fein genug ist, das Wasser gegen die Schwerkraft zu halten, aber doch nicht so fest bindet, daß es nicht mehr pflanzenverwertbar ist.

TABELLE 8
Wassergehalt bei Feldkapazität in Gewichtsprozenten

Bodentiefe in cm	Parzelle	experimentell	errechnet nach de Leenheer
10	I	22,6	23,6
	II	21,7	25,9
	III	22,7	24,5
30	I	20,5	21,2
	II	19,4	21,6
	III	19,3	22,5
50	I	23,4	24,4
	II	23,0	22,1
	III	21,1	25,1
80	I	24,5	28,4
	II	25,2	25,1
	III	24,9	20,6
130	für alle Felder (Löß)	24,1	*

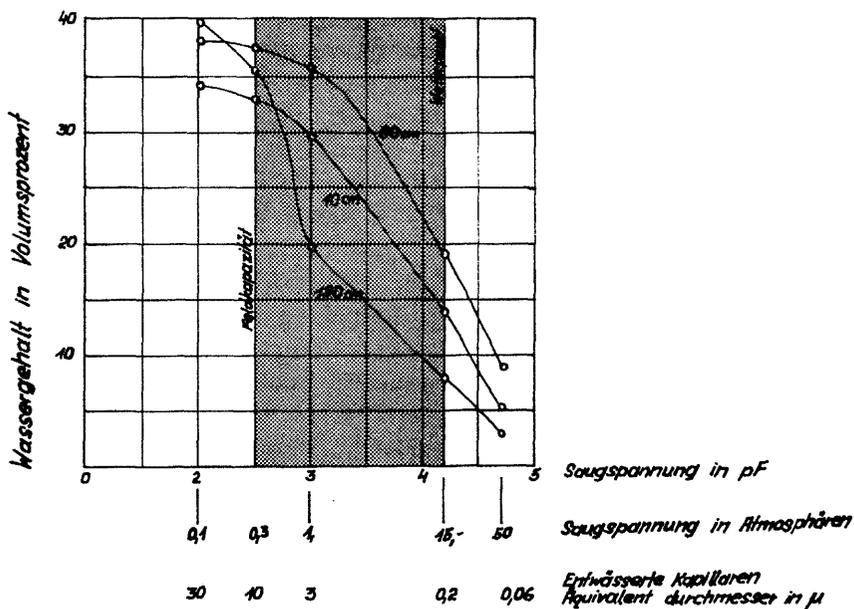
* Durch den hohen Kalkgehalt von zirka 25 Prozent der Bodensubstanz entstehen bei der Berechnung zu hohe Werte.

TABELLE 9
Wassergehalt beim permanenten Welkepunkt in Gewichtsprozenten

Bodentiefe in cm	Parzelle	Hygroskopizität $\times 2$	errechnet nach de Leenheer	experimentell
10	I	8,24	8,70	10,35
	II	7,46	9,22	
	III	6,82	9,70	
30	I	8,16	9,70	10,53
	II	8,68	8,93	
	III	7,62	10,27	
50	I	13,12	12,56	12,83
	II	12,80	10,53	
	III	9,88	14,84	
80	I	14,46	13,31	13,87
	II	16,00	11,17	
	III	14,08	14,10	
130	für alle Felder	4,74	*	5,77

* Durch den hohen Kalkgehalt von zirka 25 Prozent der Bodensubstanz entstehen bei der Berechnung zu hohe Werte.

Abbildung 13:
Saugspannungsdiagramm der Bodenschichten 10, 80 und 130 cm



Das Saugspannungsdiagramm (Abbildung 13) verdeutlicht in sehr anschaulicher Weise die Abhängigkeit des Wassergehaltes von den verschiedenen angewendeten Saugspannungen. Abbildung 13 zeigt Kurven des A_{1p} -, (B)g- und C_g -Horizontes, wie sie sich als Mittelwerte der drei Beobachtungsfelder I, II und III in Volumsprozenten errechnen. Die Werte 0,1, 0,33, 1,0 und 50 Atmosphären (Hygroskopizität) wurden auf beschriebene Art ermittelt. Nur beim Welkepunkt (15 Atmosphären) wurden die Zahlen nach de Leenheer eingesetzt, da durch ein Gebrechen in der Saugspannungsapparatur die Untersuchung erst verspätet abgeschlossen werden konnte.

Die Ordinate gibt dabei den Wassergehalt in Volumsprozenten an, die Abszisse zeigt den bei der Untersuchung angewendeten Überdruck. Durch die Kurve treten also die im Koordinatensystem eingetragenen Werte miteinander in ein Verhältnis. Jedem Bodenhorizont kommt auf Grund seiner physikalischen Eigenschaften eine eigene Entwässerungskurve zu.

Bemerkenswert am Saugspannungsdiagramm ist das Verhalten des *Löß* im Vergleich zur darüberliegenden *Braunerde*. Der Abfall im Wasserhaltevermögen zwischen den Saugspannungen 0,33 und 1,0 beträgt beim *Löß* mehr als 16 Volumsprozent, bei den beiden anderen Kurven hingegen nur 2 bis 3 Volumsprozent. Merkwürdigerweise wurde auch beim *Löß* bei den Feldbeobachtungen die Feldkapazität 0,33 Atmosphären nur ganz selten erreicht, der hier in der Regel festgestellte Wassergehalt entsprach dem Wert von 1 Atmosphäre (wahrer Wassergehalt nach FRANZ [1960] oder kritischer Wassergehalt nach SEKERA [1931]).

Den Wassergehalt der einzelnen Saugspannungswerte in den verschiedenen Bodenschichten zeigt Abbildung 14. Die Fläche zwischen der Feldkapazitäts- und Welkepunktcurve bezeichnet das in der jeweiligen Bodenschicht vorhandene pflanzennutzbare Wasser. Als Vergleich dazu die Korngrößenverteilung in den einzelnen Bodenhorizonten, berechnet aus den Parzellen I, II und III (Abbildung 15). Die Boden-Wasser-Luft-Verteilung mit Berücksichtigung des nicht pflanzenaufnehmenden Wassers zeigt Abbildung 16.

e) Sonstige Untersuchungen

Eine wertvolle Ergänzung zu den eigenen Untersuchungen bieten die Analysen des Raumgewichtes und des Hygroskopizitätswertes, die vom bodenkundlichen Laboratorium der Bundesanstalt für technische Bodenkunde Petzenkirchen vorgenommen wurden. Sie stimmen gut mit den eigenen Resultaten überein. Völlig neu, das heißt, im eigenen Versuchsprogramm nicht enthalten waren die Wasserdurchlaufgeschwindigkeitswerte, ausgedrückt in Meter Wasserdurchlauf pro Tag durch einen wassergesättigten Boden. Sie zeigen, daß nach starken Niederschlägen ein Wasserstau nur an der Pflugsohle oder am Übergang vom (B)g zum *Löß* zu erwarten ist, denn diese Schichten zeigen eine geringere Wasserdurchlässigkeit als die darüber lagernden. Für die Mühe, die Herr Direktor Doktor F. Blümel mit diesen Untersuchungen auf sich genommen hat, sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt. (Tabelle Nr. 21 im Anhang.)

Abschließend kann gesagt werden, daß die Strukturuntersuchungen die Ähnlichkeit der untersuchten Böden unter den Feldern I, II und III, die schon auf Grund der Profilbeschreibung und der Schlämmanalyse vermutet wurde, bestätigt haben. Es können

Abbildung 14:
pF-Werte in Volumsprozent Wasser in verschiedenen Wassertiefen

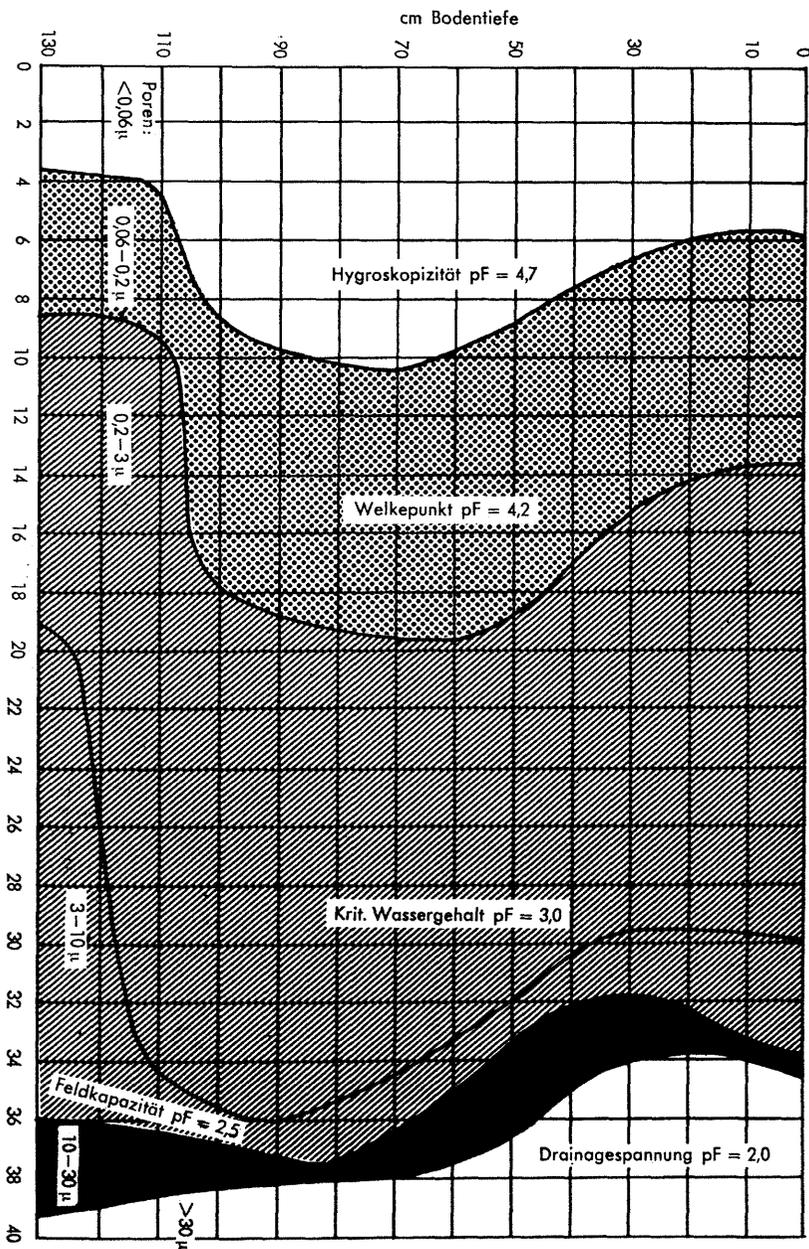
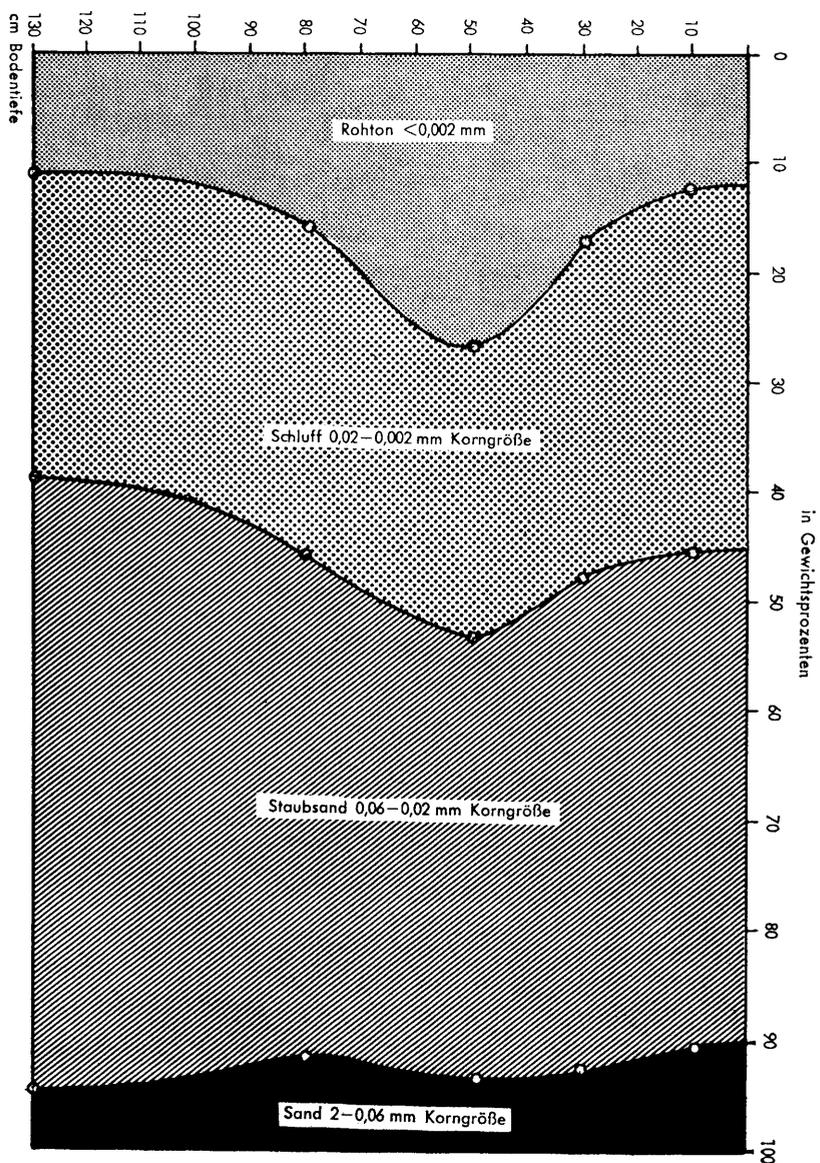


Abbildung 15: Aufteilung der Bodensubstanz nach Korngrößen



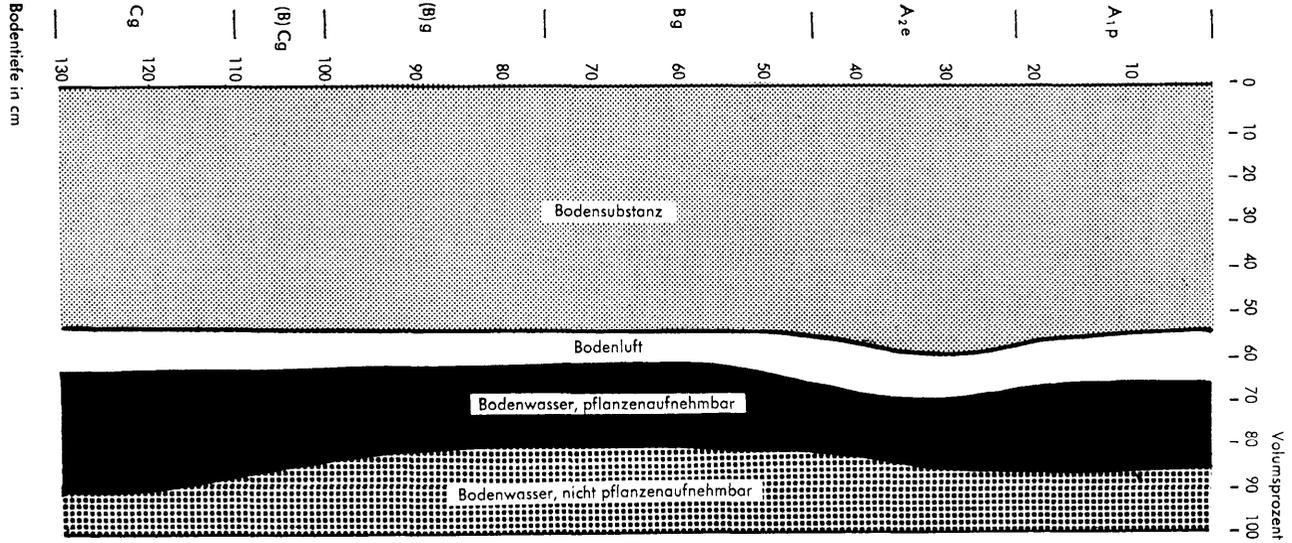


Abbildung 16: Feldkapazität: Boden-, Wasser- und Luftverteilung

daher die auf den einzelnen Feldern beobachteten Bodenfeuchtigkeitswerte untereinander verglichen werden.

TABELLE 10
Punkte des Saugspannungsdiagrammes in Volumsprozenten,
errechnet als Durchschnittswert der Parzellen I, II und III
 (nur die 0,1-Werte stammen von Parzelle II)

Bodentiefe cm	Horizont	Saugspannung in Atmosphären	0,1	0,3	1,0	15,0	50,0
		Saugspannung in pF	2,0	2,5	3,0	4,2	4,7
		Äquivalenter Poren- durchmesser in mm	30,0	10,0	3,0	0,2	0,06
10	A _{1p}	Wassergehalt in Volumsprozent	33,7	33,2	29,6	13,7	5,6
30	A _{2e}		33,9	31,6	29,7	15,4	6,7
50	Bg		37,1	33,8	32,2	19,0	8,9
80	(B)g		38,1	37,5	35,8	19,4	10,2
130	Cg		39,7	36,0	19,3	8,7	3,6

TABELLE 11
Ergebnisse der Schlämmanalyse, dargestellt als Durchschnittswert
der Parzellen I bis III

Horizont- bezeichnung	Entnahme- tiefe cm	Gewichtsprozentanteile an den Korngrößen gemessen in mm			
		2 bis 0,06	0,06 bis 0,02	0,02 bis 0,002	kleiner also 0,002
A _{1p}	10	9	45	33	13
A _{2e}	30	7	45	31	17
Bg	50	6	40	27	27
(B)	80	8	46	30	16
Cg	130	5	56	28	11

2. Die Ergebnisse der periodischen Feuchtigkeitsuntersuchungen

Die Bodenfeuchtigkeit zeigt in Abhängigkeit von der Witterung und der Pflanzendecke im zeitlichen Ablauf große Unterschiede. Die Ergebnisse der periodischen Untersuchungen (Detailtabellen im Anhang), insbesondere der Feuchtigkeitsgehalt in den verschiedenen Bodenschichten, lassen sich am übersichtlichsten in Form von Diagrammen darstellen. Die Ordinate zeigt die Bodentiefe, die Abszisse den Wassergehalt des Bodens in Volumsprozenten an. Für jede

Kulturart ergibt sich in bezug auf jeden Untersuchungstermin eine Kurve. Der Vergleich der Kurven untereinander läßt auf den Einfluß der Feldfrüchte und des Wachstumsstadiums auf den Feuchtigkeitszustand des Bodens schließen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen diese Zeitkurven. Auf die Darstellung des Wassergehaltes im *Löß* wurde zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet. Die geringen Schwankungen sind aus der Tabelle abzulesen.

Feuchtigkeitsbeobachtungen 1960

Abbildung 17, Bodenwassergehalt am 17. Oktober 1959

Die Wirkung einer zwei Monate langen Trockenperiode ist deutlich zu sehen. Der sich nach Winterweizen entwickelnde Rotklee beansprucht die Wasservorräte bis zu einer Tiefe von 80 Zentimetern sehr stark, bis 40 Zentimeter fast zum Welkepunkt. Das Brachfeld nach Weizen, für die Zuckerrübe 1960 bestimmt, hat dagegen durch den Stoppelsturz nur sehr wenig Wasser verloren, schon bei einer Tiefe von 20 Zentimetern ist die Feldkapazität beinahe erreicht.

Abbildung 18, Bodenwassergehalt am 5. März 1960

Die im Spätherbst und Winter gefallenene Niederschläge in der Höhe von 151 Millimetern reichen aus, um alle Böden mit Wasser abzusättigen und die im Oktober vorhandenen Unterschiede auszugleichen. Der Wassergehalt auf sämtlichen Parzellen ist nur geringfügig höher als der der Feldkapazität entsprechende Wert bei 0,33 Atmosphären. Die Oberkrume von Rotklee und Winterroggen weist infolge der am 1., 3. und 4. März gefallenene Niederschläge einen höheren Wassergehalt auf, während der Zustand der rauen Furche des Zuckerrübenfeldes eine gewisse Abtrocknung ermöglicht hat.

Abbildung 19, Bodenwassergehalt am 11. April 1960

Klee und Winterroggen, der sich gut bestockt hat, sind etwa 20 Zentimeter hoch, die Zuckerrübe wurde am 7. April angebaut. Das Wetter im Beobachtungsintervall ist durch starke Niederschläge am 16. und 17. März in der Höhe von 50 Millimetern und eine anschließende Schönwetterperiode gekennzeichnet. Zwei Tage vor der Probennahme ist wieder Regen in der Höhe von 11 Millimetern gefallen (die gesamte Regenmenge seit 5. März beträgt 76 Millimeter). In den obersten Bodenschichten verbraucht Klee stärker, Winterroggen in etwas geringerem Ausmaß Feuchtigkeit. Bei Zuckerrübe ist nur geringe oberflächliche Austrocknung durch die Bodenbearbeitung festzustellen.

Abbildung 20, Bodenwassergehalt am 9. Mai 1960

Beim Winterroggen setzt das Ährenschieben ein, Rotklee entwickelt sich gut und erreicht eine Höhe von etwa 50 Zentimetern. Die Zuckerrübe, soeben vereinzelt, befindet sich im Vier- bis Sechsstadium. Das Wetter war vorher trocken und in der ersten Maidekade sogar ausgesprochen warm. Die Gesamtregenmenge seit 11. April beträgt 28 Millimeter.

Abbildung 17: Bodenwassergehalt am 17. 10. 1959

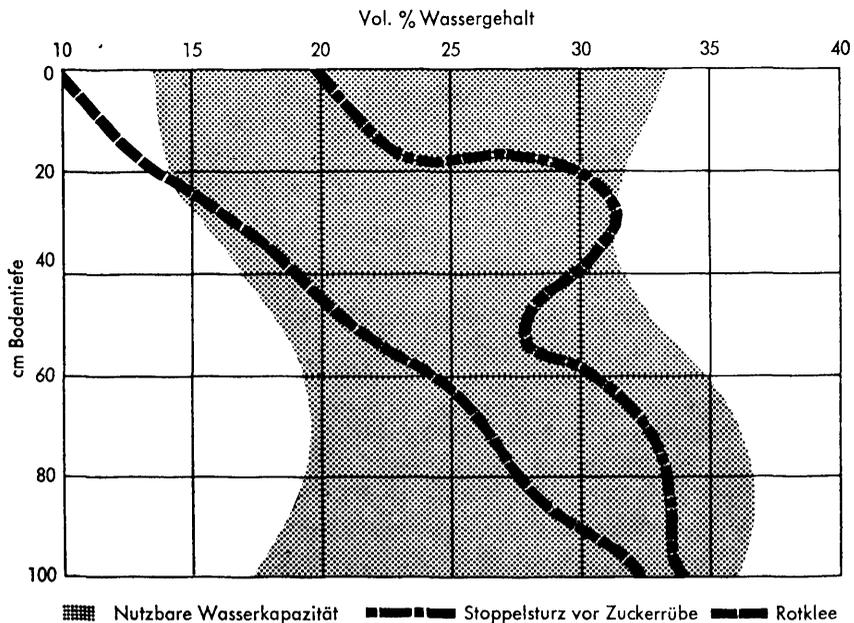


Abbildung 18: Bodenwassergehalt am 5. 3. 1960

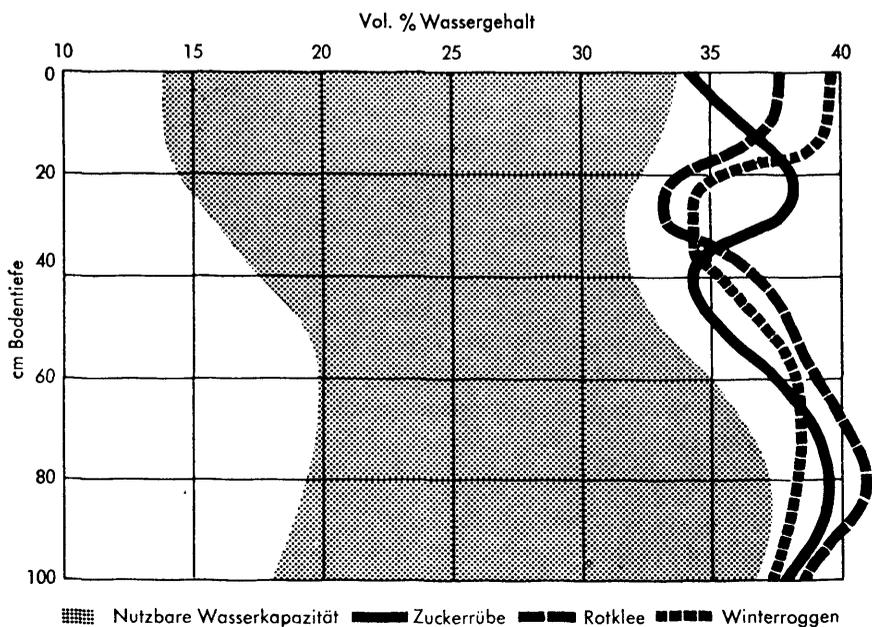


Abbildung 19: Bodenwassergehalt am 11. 4. 1960

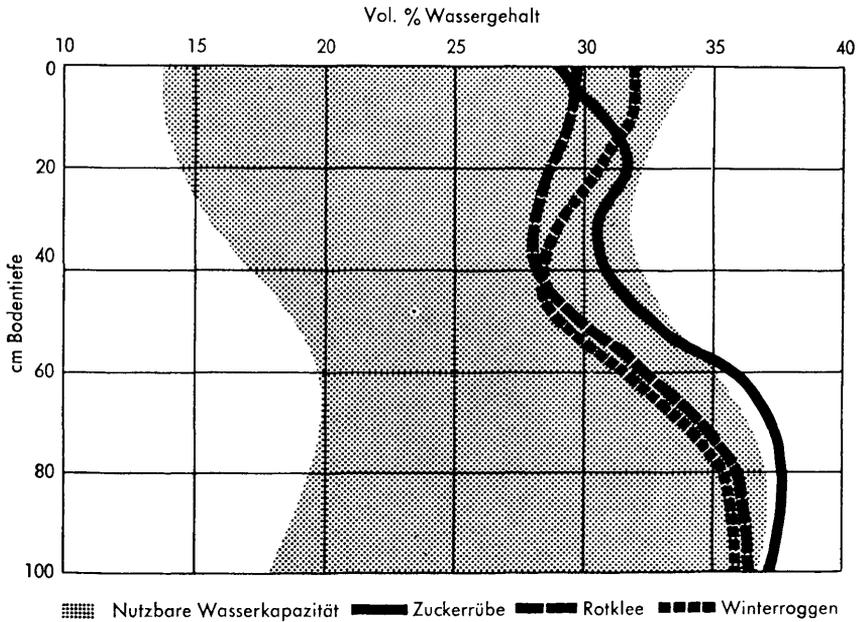


Abbildung 20: Bodenwassergehalt am 9. 5. 1960

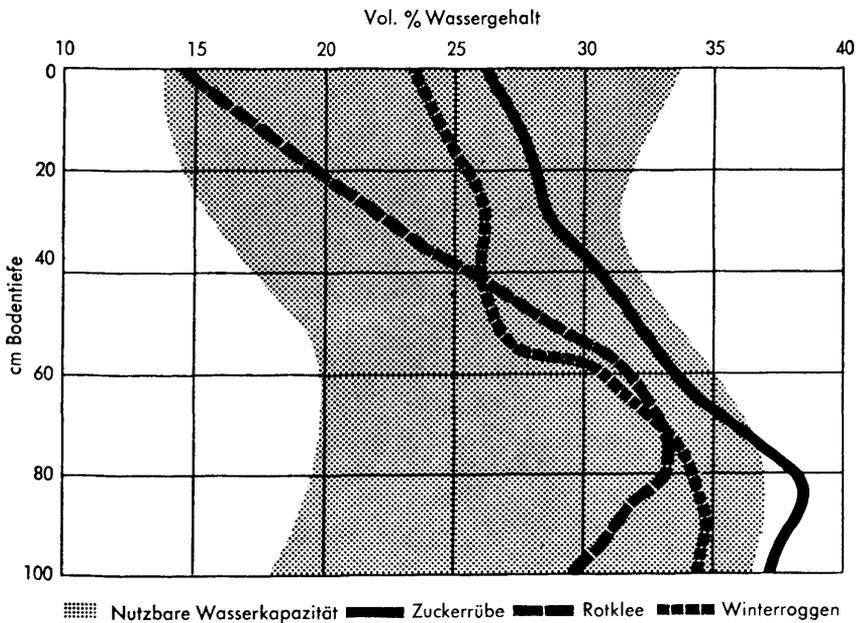


Abbildung 21: Bodenwassergehalt am 1. 6. 1960

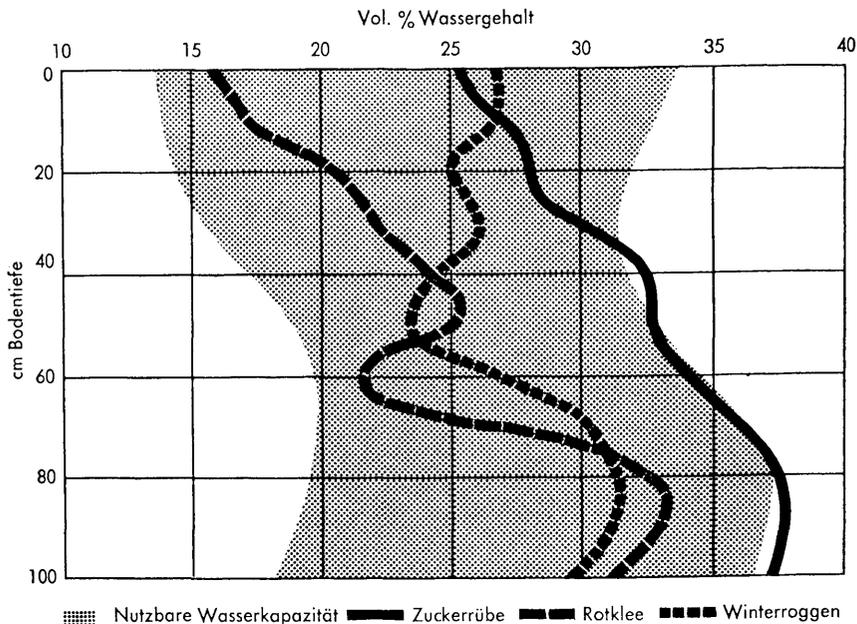
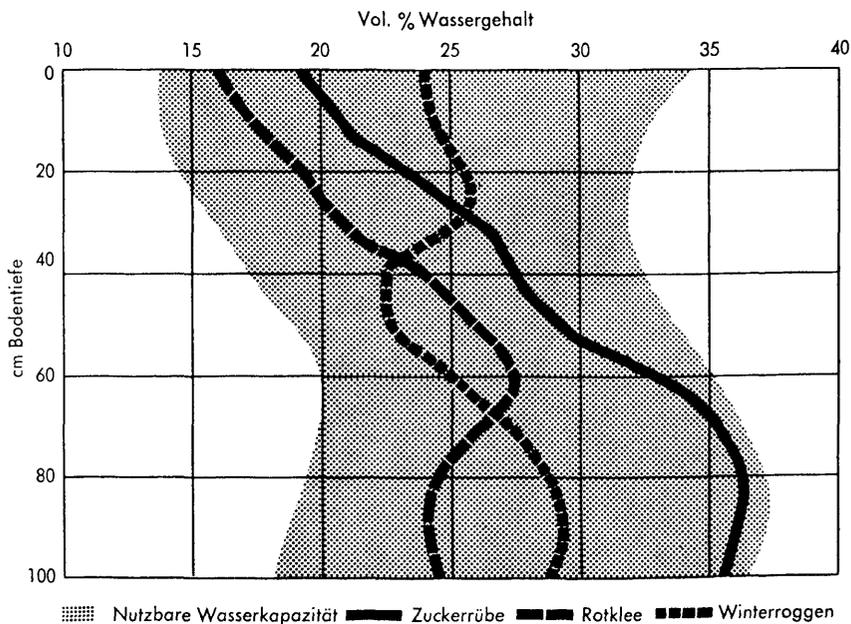


Abbildung 22: Bodenwassergehalt am 23. 6. 1960



Klee und Winterroggen trocknen den Oberboden bis 40 Zentimeter stark aus. Bei Zuckerrübe treten Wasserverluste nur an der Oberfläche auf, die durch die Pflegearbeiten (Hacke und Vereinzeln) zu erklären sind. Ab 30 Zentimeter Tiefe bleibt der Wassergehalt unverändert. Alle drei Kurven zeigen eine gleichmäßige von oben nach unten fortschreitende Austrocknung an.

Abbildung 21, Bodenwassergehalt am 1. Juni 1960

Klee und Winterroggen blühen (Kleeschnitt erfolgt am 3. Juni), die Zuckerrübe entwickelt etwa das zehnte Blattpaar.

Das Wetter ist vorherrschend warm. Eine kurze Regenperiode vom 19. bis 24. Mai bringt 60 Millimeter Niederschläge. Die Gesamtregenmenge im Untersuchungsintervall beläuft sich auf 63 Millimeter.

Diese Niederschläge reichen aus, die Austrocknung der oberen Bodenschichten zu kompensieren. Beachtenswert ist der geringe Wassergehalt bei Klee und Winterroggen bei 50 Zentimeter Tiefe. Das Sickerwasser kann also nicht bis dorthin vordringen. Bei Zuckerrübe ist keine wesentliche Veränderung seit 9. Mai zu bemerken, die Winterfeuchte bleibt gut erhalten.

Abbildung 22, Bodenwassergehalt am 23. Juni 1960

Der Winterroggen befindet sich in Milchreife, der Klee entwickelt sich nach dem ersten Schnitt wieder gut und die Zuckerrübe deckt. Die Witterung ist durch häufige Niederschläge gewittriger Art gekennzeichnet. Insgesamt sind 45 Millimeter Regen gefallen. Die Wassergehaltskurven entsprechen bei Winterroggen und Rotklee dem 1. Juni. Der Verbrauch konnte durch Regen kompensiert werden. Der Unterboden zeigt jedoch zunehmende Austrocknung. Die Zuckerrübe beansprucht das erste Mal die Wasservorräte der obersten Bodenschichten etwas stärker. Ab 60 Zentimeter herrscht jedoch fast noch Feldkapazität.

Abbildung 23, Bodenwassergehalt am 22. Juli 1960

Winterroggen und Klee stehen kurz vor dem Schnitt, der bei beiden Früchten am 27. Juli beginnen wird. Die Zuckerrüben zeigen befriedigendes Wachstum. Im ganzen Beobachtungsintervall herrscht ausgesprochenes Westwetter. Vom 23. Juni bis 22. Juli sind 187 Millimeter Niederschläge gefallen. Da der Wasserverbrauch von Winterroggen zu dieser Zeit nicht mehr groß ist, die Wasservorräte unter Zuckerrübe noch nicht stark angegriffen sind, kommt es bei beiden Feldern zu einer Auffüllung über die Feldkapazität hinaus. Höherer Wassergehalt im Löß zeigt sogar eine Versickerung in den Untergrund an. Anders beim Rotklee. Die Feuchtigkeitszunahme beschränkt sich im wesentlichen auf die obersten 20 Zentimeter. Eine geringe Erhöhung des Wassergehaltes in den unteren Bodenschichten ist nur schwach angedeutet.

Abbildung 24, Bodenwassergehalt am 23. August 1960

Auf den Feldern I und II entwickelt sich der Klee gut (bei I Klee-Einsaat unter Winterroggen). Die Zuckerrübe zeigt guten Wurzelansatz. Das regnerische Wetter hält an, die Regenmenge beträgt 144 Millimeter.

Durch den Schnitt wird der Wasserverbrauch des Klees eingeschränkt, so daß es nun wie bei den anderen Feldern zu einer Wassersättigung kommt. Der

Abbildung 23: Bodenwassergehalt am 22. 7. 1960

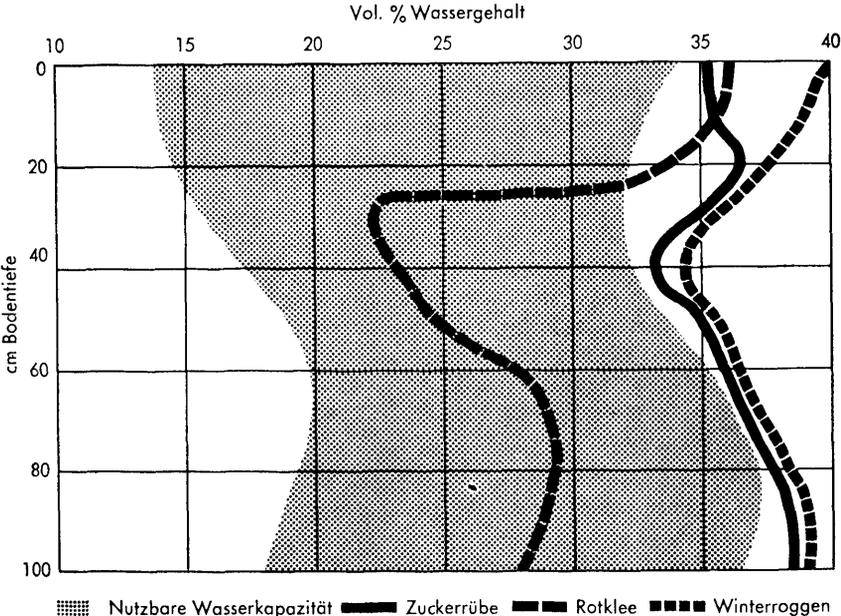


Abbildung 24: Bodenwassergehalt am 23. 8. 1960

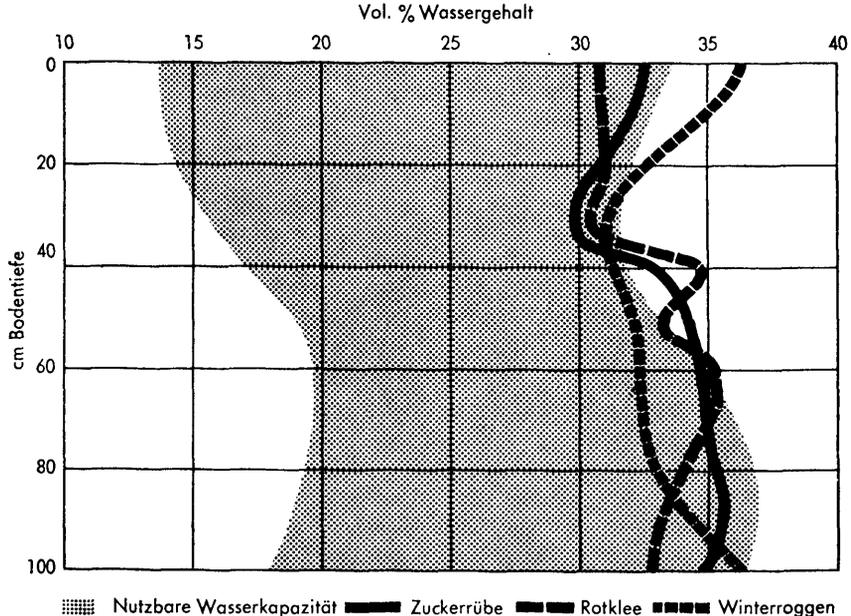


Abbildung 25: Bodenwassergehalt am 8. 10. 1960

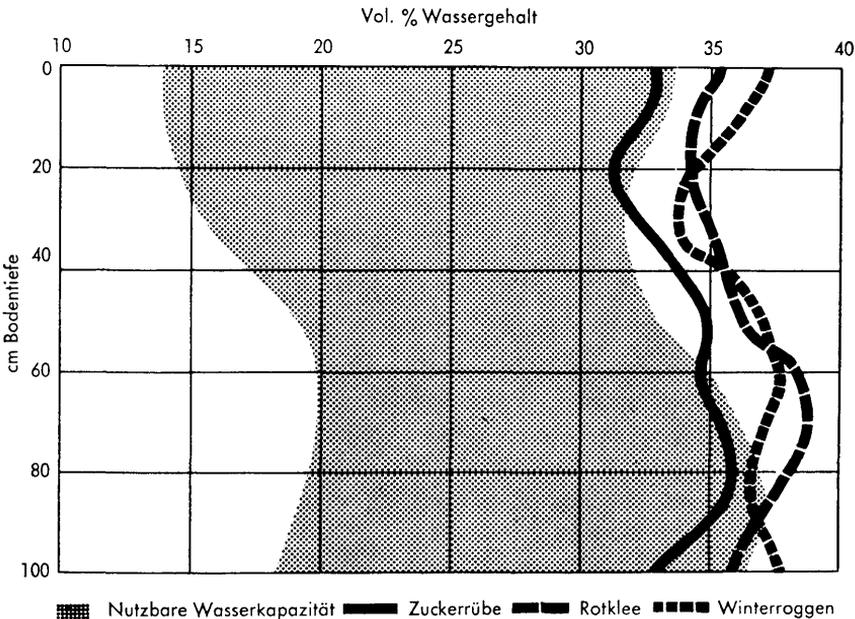
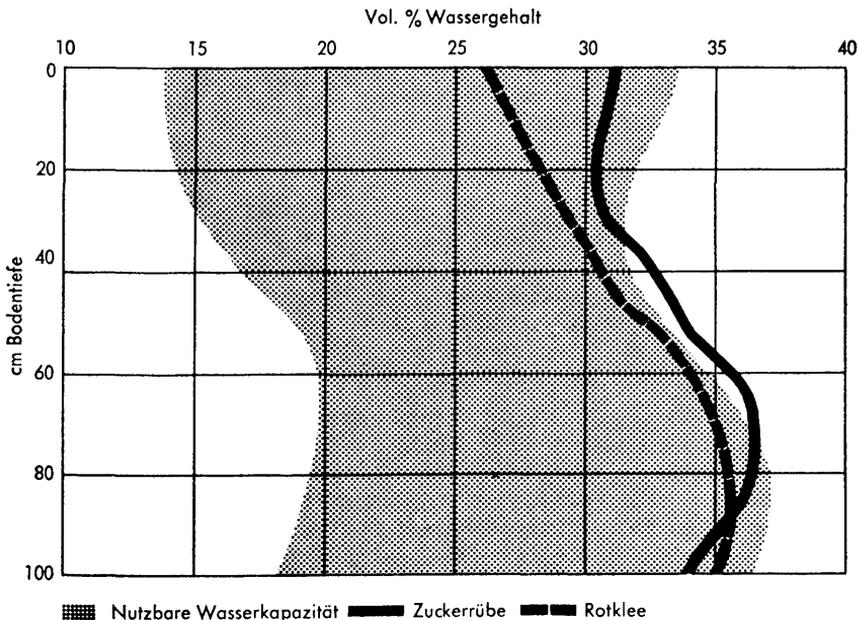


Abbildung 26: Bodenwassergehalt am 11. 6. 1961



Wassergehalt ist bei allen Feldern dem am Beginn der Vegetationsperiode sehr ähnlich.

Abbildung 25, Bodenwassergehalt am 8. Oktober 1960

Beide Kleefelder werden teilweise zur Heu-, teilweise zur Grünfuttengewinnung herangezogen. Bei der Zuckerrübe wird bereits mit der Ernte begonnen. Die seit Juli herrschende Schlechtwetterperiode wird lediglich vom 8. bis 18. September unterbrochen (Gesamtregenmenge 132 Millimeter). So ist es verständlich, daß sich der Wassergehalt seit dem letzten Untersuchungstermin nicht verändert hat.

Feuchtigkeitsbeobachtungen 1961

Das feuchte Sommerwetter 1960 führte dazu, daß die Wasserverbrauchsbeobachtungen für Zuckerrübe nicht restlos befriedigen konnten und es wurden daher mit Beginn der Blattdeckung am 11. Juni 1961 neuerliche Untersuchungen eingeleitet. Als Vergleichsfrucht wurde wieder Rotklee gewählt, der sich nun auf der Winterroggenparzelle 1960 befand. Ab September wurde auch die Feuchtigkeit unter Winterroggen beobachtet.

Abbildung 26, Bodenwassergehalt am 11. Juni 1961

Rotklee befindet sich unmittelbar nach dem ersten Schnitt, die Zuckerrübe steht vor dem Blattschluß (Anbau 4. April, Vereinzeln Ende April abgeschlossen). Vor dem Untersuchungstermin herrscht ausgesprochen kühles, regnerisches Westwetter, besonders in der Zeit vom 8. bis 23. Mai und vom 2. bis 8. Juni (190 Millimeter Niederschlag).

Der Wassergehalt beider Böden zeigt nur geringe Abweichungen von den Werten der Feldkapazität.

Abbildung 27, Bodenwassergehalt am 7. Juli 1961

Das Wachstum von Rotklee und Zuckerrübe verläuft normal. Die Witterung ist hochsommerlich warm, einzelne Gewitter bringen reichliche Niederschläge (insgesamt 43 Millimeter).

Beide Kurven zeigen eine Parallelverschiebung nach links. Die Austrocknung ergreift die oberen Bodenschichten stärker.

Abbildung 28, Bodenwassergehalt am 7. August 1961

Der Rotklee ist am 27. Juli das zweite Mal geschnitten worden. Die Zuckerrüben haben sich gut entwickelt. Vom 9. bis 20. Juli herrscht regnerisches, vorwiegend kühles Wetter. Anschließend folgt starke Erwärmung und in der ersten Augustwoche hochsommerliche Hitze. Die obersten Bodenschichten werden stark ausgetrocknet. Der Wassergehalt nimmt mit der Tiefe linear zu. Bemerkenswert ist das gleichsinnige Verhalten von Klee und Zuckerrübe.

Abbildung 27: Bodenwassergehalt am 7. 7. 1961

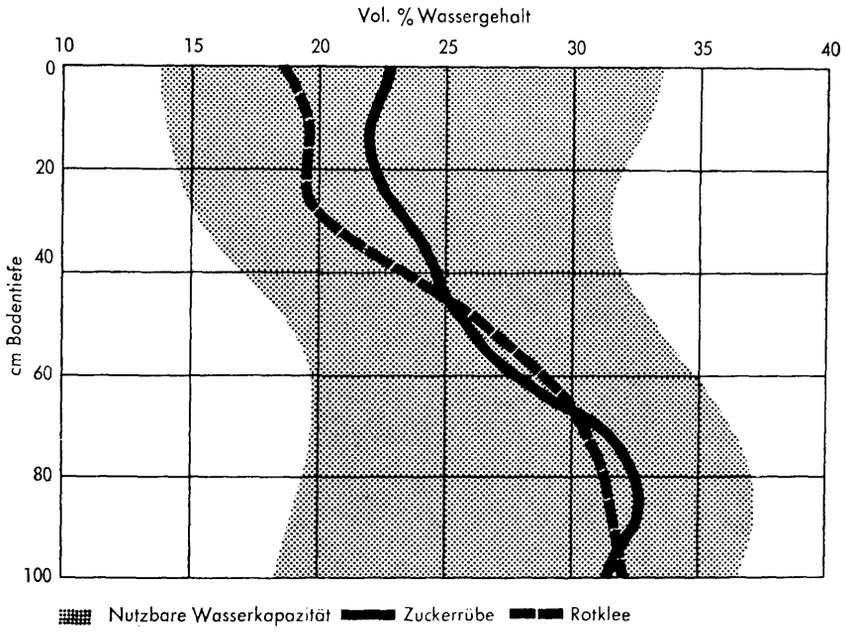


Abbildung 28: Bodenwassergehalt am 7. 8. 1961

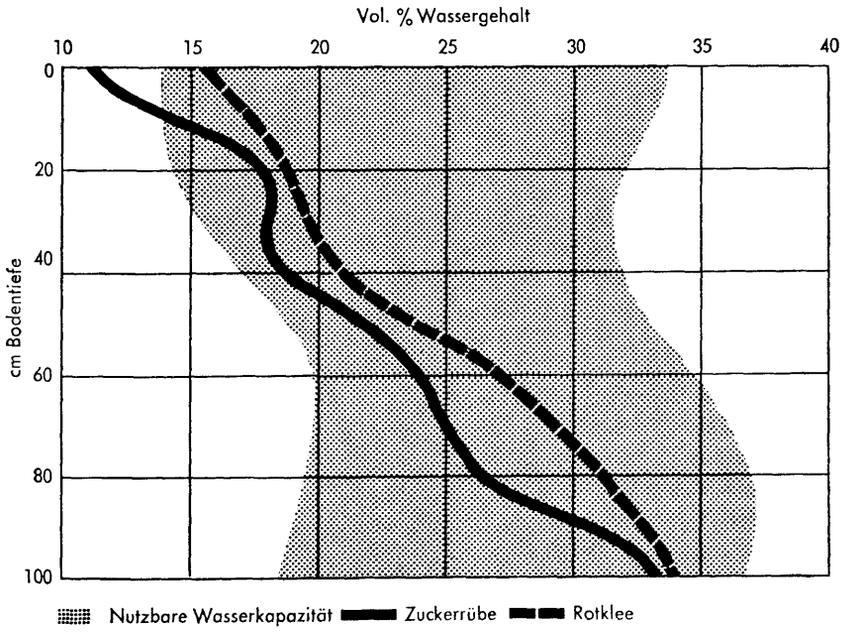


Abbildung 29: Bodenwassergehalt am 14. 8. 1961

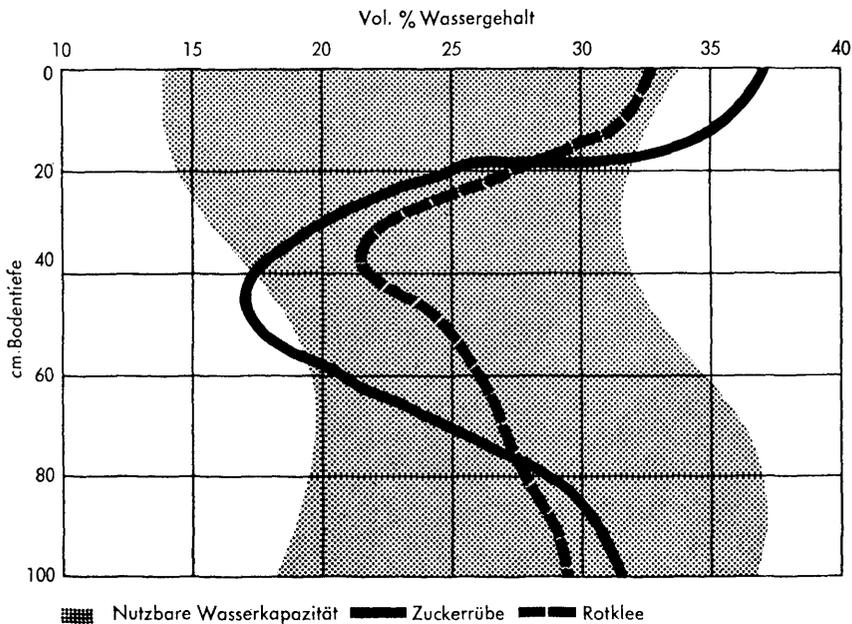


Abbildung 30: Bodenwassergehalt am 27. 9. 1961

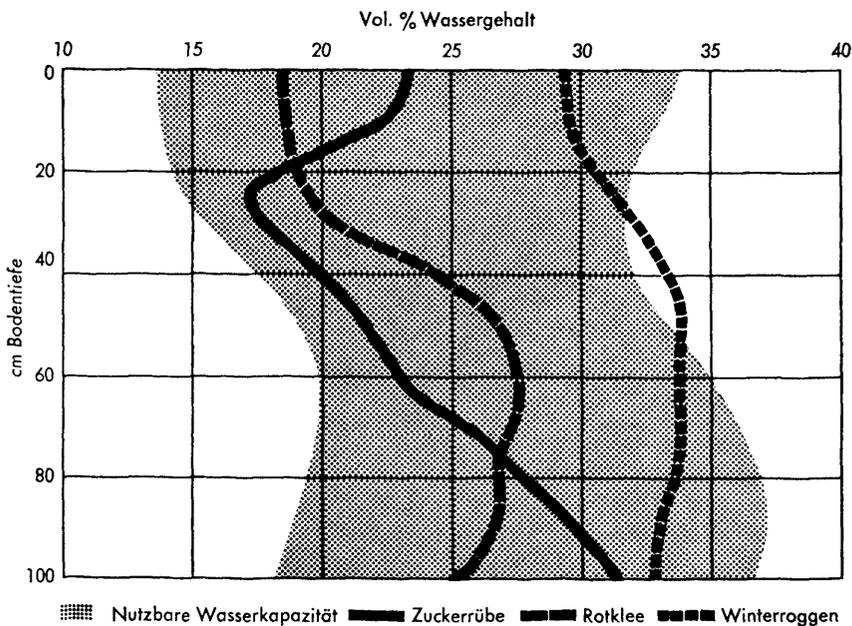


Abbildung 29, Bodenwassergehalt am 14. August 1961

Der Kulturzustand der Feldfrüchte hat sich im wesentlichen nicht geändert. Das trockene und heiße Wetter hält an. Am 10. August können am Zuckerrübenfeld bereits Welkeerscheinungen festgestellt werden. Kurz vor dem Untersuchungstermin erfolgt ein Wettersturz und es fallen am 12. August 37 Millimeter Regen (Regenmenge des gesamten Zeitabschnittes = 41 Millimeter). Die Niederschläge füllen die obere Bodenschicht auf, darunter liegt in plötzlichem Übergang trockener Unterboden.

Abbildung 30, Bodenwassergehalt am 27. September 1961

Der Klee wird sukzessive zur Grünfütterung herangezogen, die Zuckerrübe zeigt gute Wurzelentwicklung.

Das Wetter im Beobachtungszeitraum ist durch ergiebige Regenfälle in der Zeit vom 14. bis 20. August und vom 5. bis 9. September gekennzeichnet (insgesamt 92 Millimeter). Die zum letzten Termin beobachtete Auffüllung der Oberkrume ist beseitigt, der Wassergehalt erscheint in den unteren Bodenschichten geringfügig höher. Zuckerrübe und Klee zeigen wieder nahezu gleiches Verhalten. In die Feuchtigkeitsbeobachtungen wird nun ein Winterroggenfeld miteinbezogen, dessen Anbau am 19. September durchgeführt worden ist. Da dieses Feld nach der Weizenernte gleich geschält worden ist und seither auch keine Pflanzendecke mehr getragen hat, ist auch der Wasserverbrauch sehr gering. Der Wassergehalt ist von der Feldkapazität nicht weit entfernt.

Abbildung 31, Bodenwassergehalt am 7. Oktober 1961

Zuckerrübe und Klee sind unverändert. Der Winterroggen ist gleichmäßig aufgelaufen. Das Wetter ist sonnig.

Der Boden unter Zuckerrübe und Klee zeigt eine gleichmäßige Austrocknung in allen Schichten. Unter Winterroggen ist der Boden oberflächlich etwas ausgetrocknet.

Abbildung 32, Bodenwassergehalt am 13. November 1961

Zu diesem Zeitpunkt ist das Klee- und Rübenfeld bereits geackert. Der Winterroggen bestockt sich gut. Bei wechselhaftem Wetter fallen 86 Millimeter Niederschläge. Die Feuchtigkeitszunahme ist in den oberen Bodenschichten stärker als in den unteren.

Bemerkungen zur Darstellung des Wassergehaltes. In den Kurven wurde die Bodenfeuchtigkeit in Volumsprozents angegeben. Es wurden dabei die in Tabelle 7 angeführten Raumgewichte zur Umrechnung der Gewichtsprozente herangezogen. Zwischenwerte wurden durch Interpolation errechnet (Tabellenteil).

Abweichend von der üblichen Form, den Wassergehalt in den verschiedenen Bodentiefen durch Verbinden der Meßpunkte mit geraden Linien darzustellen, wurden bei dieser Untersuchung Kurven

Abbildung 31: Bodenwassergehalt am 7. 10. 1961

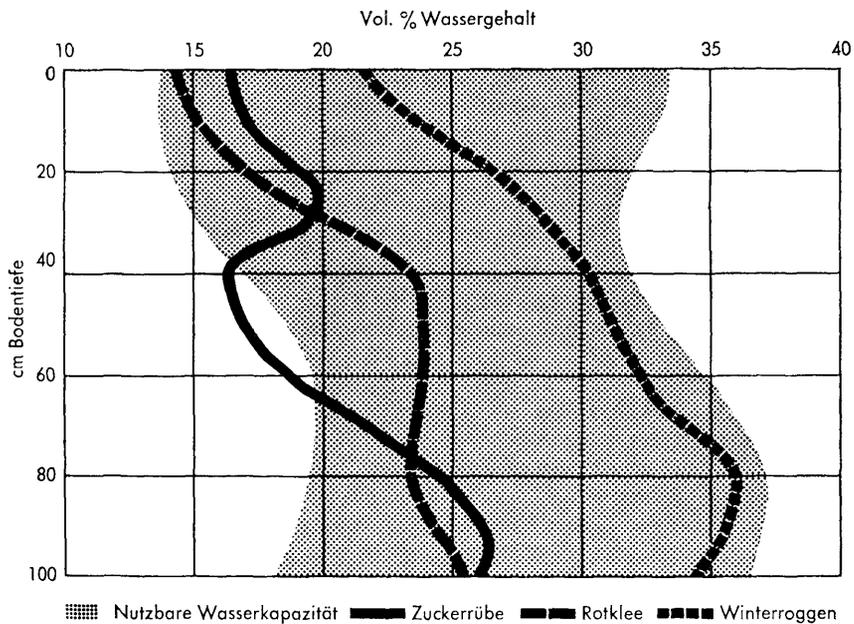
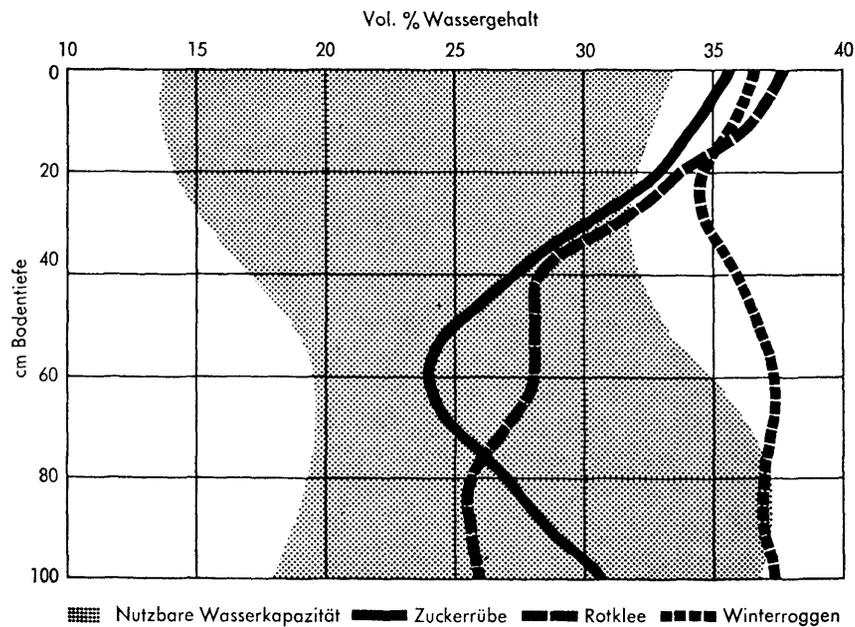


Abbildung 32: Bodenwassergehalt am 13. 11. 1961



bevorzugt. Obwohl die Verbindung zweier Punkte durch eine Gerade exakter erscheinen mag, ergeben sich dadurch oft sehr spitze Winkel, also sehr plötzliche Übergänge, die unter natürlichen Verhältnissen wohl nur selten auftreten. Durch kontinuierlich gekrümmte Linien werden daher nicht nur harte Übergänge vermieden, die einzelnen Punkte treten auch untereinander in eine bessere Beziehung und die Interpolation ergibt für die Wasserhaushaltsrechnung auf diese Weise wahrscheinlichere Werte (Tabellen 22 bis 39 im Anhang).

H) DISKUSSION DER ERGEBNISSE

1. Allgemeine Bemerkungen über Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsvorgänge

Während im Jahre 1960 die Wasserverbrauchskurven der einzelnen Pflanzengattungen große Differenzen aufweisen, laufen sie 1961 bei den untersuchten Früchten Rotklee und Zuckerrübe parallel. Dieses unterschiedliche Verhalten in den beiden Beobachtungsjahren kann auf den verschiedenen Wachstumsrhythmus der Pflanzen zurückgeführt werden.

Während die geschlossene Vegetationsdecke bei Rotklee und etwas abgeschwächt auch bei Winterroggen sehr bald im Frühjahr 1960 Wasser verbraucht, kann die Zuckerrübe erst beim Erreichen der Blattdeckung die Bodenfeuchte nennenswert beeinflussen. 1960 war daher nur in der Zeit vom 1. bis 23. Juni eine Wassergehaltsverminderung feststellbar. Die nachfolgende Regenperiode, die bis in den Herbst dauerte, verwischte dann die Unterschiede zwischen allen Pflanzenarten. Erst 1961 waren für Zuckerrübe und Rotklee die Vergleichsbedingungen günstig, da die Niederschläge im Sommer nicht das Ausmaß von 1960 erreichten und daher mit einer Versickerung im Untersuchungsintervall in den Untergrund nicht zu rechnen war. Wie aber im Untersuchungsvorgang nachgewiesen werden konnte, benötigen beide Vegetationsdecken annähernd die gleiche Wassermenge für ihr Gedeihen. Umgekehrt verbrauchen Brachfelder nur sehr wenig Wasser.

Man vergleiche den Wassergehalt zwischen Feld der Zuckerrübe (Schälffurche) und Klee im Herbst 1959 (Abbildung 17), zwischen Zuckerrübe (nach dem Vereinzeln) und Klee im Frühsommer 1960 (Abbildung 20 und 21) und zwischen Klee-Zuckerrübe einerseits und Wintergerste andererseits (Abbildung 30) im Herbst 1961.

Bemerkenswert ist, daß bei fehlender oder nicht stark wachsender Vegetationsdecke die Niederschläge tiefer eindringen, vermutlich weil die Saugwirkung der Wurzeln fehlt. Dies zeigen die Kurven vom 22. Juli 1960: Winterroggen (Abbildung 23), und vom 13. November 1961: Rotklee und Zuckerrübe, bereits geackert (Abbildung 32).

Wie die durch Niederschläge wenig gestörten Kurven vom 17. Oktober 1959 Rotklee (Abbildung 17), 9. Mai 1960 Rotklee und Winterroggen (Abbildung 20) und 7. August 1961 Rotklee und Zuckerrübe (Abbildung 28) deutlich zeigen, entnehmen die Pflanzen das Wasser zuerst den oberen Bodenschichten und pumpen dann einen Horizont nach dem anderen aus. Daher nimmt in diesem Fall der Wassergehalt im Profil gleichmäßig, fast könnte man sagen linear zu. Wird dieser Austrocknungsvorgang durch kräftige Niederschläge unterbrochen, findet sich in den mittleren Bodenschichten ein Gürtel geringerer Feuchtigkeit, abhängig von der Eindringtiefe des Regens und dem Austrocknungsgrad des darunterliegenden Bodens. Die Kurve zeigt dann einen fast parabelförmigen Verlauf, wie Abbildung 29 zeigt.

Genügen die Niederschläge nicht, die Wasserversorgung der Vegetation zu befriedigen, werden auch tiefere Bodenschichten in Anspruch genommen.

2. Versuch einer Wasserhaushaltsrechnung

Der Zweck einer Wasserhaushaltsrechnung besteht darin, den Wasserverbrauch eines Bodens zu bestimmen. Es hängt von der Art der Feldfrüchte und deren Entwicklungszustand ab, wie groß ihr Wasserbedarf ist und wieviel dann noch in den Untergrund versickern kann.

Eine Wasserhaushaltsrechnung ergibt sich aus dem Vergleich des Wassergehaltes desselben Bodens zu verschiedenen Zeitpunkten unter Einbeziehung der zwischen zwei Untersuchungsterminen gefallenem Niederschläge. Die zu berechnende Unbekannte der Wasserhaushaltsgleichung ist der Wasserabgang, der sich aus Versickerung und Evapotranspiration zusammensetzt.

Änderung des Wasservorrates = Niederschlag
 minus Abfluß
 minus Evapotranspiration.

Wie die Versuchsberichte der Petzenkirchner Lysimeteranlage (SCHLEIFER, 1959) zeigen, ist im humiden Klimagebiet Westösterreichs nicht nur im Winter, sondern auch im Laufe der Vegetationsperiode bei ausgiebigen und anhaltenden Niederschlägen mit einer Versickerung zu rechnen. Diese Versickerung stellt naturgemäß bei einer Wasserhaushaltsberechnung einen großen Unsicherheitsfaktor dar.

Durch den Vergleich des Wasserverbrauchs der einzelnen Feldfrüchte, durch die Verdunstungswerte nach HAUDE und durch die selten auftretenden Feuchtigkeitsschwankungen im Löß läßt sich die Versickerung abschätzen.

Anschließend werden die Wasserhaushaltstabellen wiedergegeben. Der Wassergehalt in Millimeter ergibt sich durch die Addition der Kurvenmittelwerte bis 100 Zentimeter Tiefe. Der unter dem *Sol lessivé* liegende Löß wurde nicht in die Berechnung miteinbezogen.

Die Wasserhaushaltsrechnungen, insbesondere die Aufteilung des Gesamtwasserverbrauches in Evapotranspiration und Versickerung, sollen an Hand von zwei Beispielen erklärt werden.

Tabelle 13, Wasserhaushaltsrechnung 1959/60, Rotklee, 5. März 1960.

Der Wassergehalt des Bodens wird durch die Summe der interpolierten Volumsprozente (Tabelle 27) bestimmt. Er beträgt am 5. März 379 Millimeter. Seit dem letzten Untersuchungstermin am 17. Oktober 1959 hat der Wassergehalt um 164 Millimeter zugenommen. Da die Niederschlagsmenge 191 Millimeter betrug und sich der Verdunstungsanspruch nach HAUDE mit 66 Millimeter berechnet, ist anzunehmen, daß von der Niederschlagsmenge 164 Millimeter zur Auffüllung des Bodenwassergehaltes verwendet wurden und nur eine geringe Menge von 27 Millimetern, also weniger als Haude angibt, verdunstete. Die Versickerung ist daher auch praktisch null.

Tabelle 12, Wasserhaushaltsrechnung 1959/60, Winterroggen, 22. Juli 1960.

Von 23. Juni bis 22. Juli hat sich der Wassergehalt des Bodens von 258 auf 372 Millimeter erhöht (Tabelle 24). Da die Regenmenge 187 Millimeter betrug, aber nur 114 Millimeter zur Auffüllung verwendet wurden, verbleibt noch ein Differenzbetrag von 73 Millimetern. Da auch im Löß ein höherer Wassergehalt auftrat und in einem reifen Roggenfeld mit einer gedrosselten Evapotranspiration zu rechnen ist, wurden 20 Millimeter der Versickerung, 53 Millimeter der Evapotranspiration zugeschrieben.

Die Summen des Gesamtverbrauches, der sich aus Evapotranspiration und Versickerung zusammensetzt, wurden in der Jahresübersicht in Prozenten der Niederschlagsmenge ausgewiesen, so daß die Unterschiede im Wasserverbrauch der einzelnen Feldfrüchte besonders deutlich ins Auge fallen.

Graphische Darstellungen der Wasserbewegung bieten die Abbildungen 33 und 34 in übersichtlicher Form.

TABELLE 12: Wasserhaushaltsrechnung 1959/60, Winterroggen

Untersuchungstermin	17. 10.	5. 3.	bis 11. 4	bis 9. 5.	bis 1. 6.	bis 23. 6.	bis 22. 7.	bis 23. 8.	bis 8. 10.	Summe 375 Tage	in % vom Niederschlag
Wassergehalt	294 *)	375	324	289	275	258	372	333	365		
Zunahme des Wassergehaltes	81						114		32	71	8
Abnahme des Wassergehaltes		51	35	14	17			39			
Niederschlagsmenge	191	76	28	63	45	187	144	132		866	100
Gesamtverbrauch an Wasser	110	127	63	77	62	73	183	100		795	92
Evapotranspiration, geschätzt	30	67	63	77	62	53	103	100		555	64
Versickerung, geschätzt	80	60	—	—	—	20	80	—		240	28
Verdunstungsanspruch (HAUDE) (zum Vergleich)	66	54	53	80	75	80	82	98		588	68

TABELLE 13: Wasserhaushaltsrechnung 1959/60, Rotklee

Untersuchungstermin	17. 10.	5. 3.	bis 11. 4	bis 9. 5.	bis 1. 6.	bis 23. 6.	bis 22. 7.	bis 23. 8.	bis 8. 10.	Summe 375 Tage	in % vom Niederschlag
Wassergehalt	215	379	316	267	248	231	289	331	364		
Zunahme des Wassergehaltes	164						58	42	33	149	17
Abnahme des Wassergehaltes		63	49	19	17						
Niederschlagsmenge	191	76	28	63	45	187	144	132		866	100
Gesamtverbrauch an Wasser	27	139	77	82	62	129	192	99		717	83
Evapotranspiration, geschätzt	27	79	77	82	62	129	102	99		657	76
Versickerung, geschätzt	—	60	—	—	—	—	—	—		60	7
Verdunstungsanspruch (HAUDE) (zum Vergleich)	66	54	53	80	75	80	82	98		588	68

TABELLE 14: Wasserhaushaltsrechnung 1959/60, Zuckerrübe

Untersuchungstermin	17. 10.	5. 3.	bis 11. 4	bis 9. 5.	bis 1. 6.	bis 23. 6.	bis 22. 7.	bis 23. 8.	bis 8. 10.	Summe 375 Tage	in % vom Niederschlag
Wassergehalt	294	369	340	325	329	296	362	335	340		
Zunahme des Wassergehaltes	75				4		66		5	46	5
Abnahme des Wassergehaltes		29	15		33			27			
Niederschlagsmenge	191	76	28	63	45	187	144	132		866	100
Gesamtverbrauch an Wasser	116	105	43	59	78	121	171	127		820	95
Evapotranspiration, geschätzt	40	45	43	59	78	101	101	127		594	69
Versickerung, geschätzt	76	60	—	—	—	20	70	—		226	26
Verdunstungsanspruch (HAUDE) (zum Vergleich)	66	54	53	80	75	80	82	98		588	68

Sämtliche Werte in Millimeter Wasserhöhe.

*) Geschätzt.

TABELLE 15: Wasserhaushaltsrechnung 1960/61, Rotklee

Untersuchungstermin	8. 10.	11. 6. bis 7. 7.	7. 7. bis 7. 8.	7. 8. bis 14. 8.	14. 8. bis 27. 9.	27. 9. bis 7. 10.	7. 10. bis 13. 11.	Zwischen- summe 365 Tage	in % v. Nieder- schlag	Summe 402 Tage	in % v. Nieder- schlag
Wassergehalt	364	322	258	245	271	246	216	296			
Zunahme des Wassergehaltes				26				80			
Abnahme des Wassergehaltes	42	64	13		25	30		148	22	68	9
Niederschlagsmenge	424	43	83	41	92	0	86	683	100	769	100
Gesamtverbrauch an Wasser	466	107	96	15	117	30	6	831	122	837	109
Evapotranspiration, geschätzt	266	107	96	15	117	30	6	631	93	637	83
Versickerung, geschätzt	200	—	—	—	—	—	—	200	29	200	26
Verdunstungsanspruch (HAUDE) (zum Vergleich)	263	108	91	20	127	24	23	633	93	656	85

TABELLE 16: Wasserhaushaltsrechnung 1960/61, Zuckerrübe

Untersuchungstermin	8. 10.	11. 6. bis 7. 7.	7. 7. bis 7. 8.	7. 8. bis 14. 8.	14. 8. bis 27. 9.	27. 9. bis 7. 10.	7. 10. bis 13. 11.	Zwischen- summe 365 Tage	in % v. Nieder- schlag	Summe 402 Tage	in % v. Nieder- schlag
Wassergehalt	360*)	337	270	220	258	227	201	289			
Zunahme des Wassergehaltes				38				88			
Abnahme des Wassergehaltes	23	67	50		31	26		159	23	71	9
Niederschlagsmenge	424	43	83	41	92	0	86	683	100	769	100
Gesamtverbrauch an Wasser	447	110	133	3	123	26	—2	842	123	840	109
Evapotranspiration, geschätzt	220	110	133	3	123	26	—2	615	90	613	80
Versickerung, geschätzt	227	—	—	—	—	—	—	227	33	227	29
Verdunstungsanspruch (HAUDE) (zum Vergleich)	263	108	91	20	127	24	23	633	93	656	85

Die Zwischensummen erfassen die 365 Tage vom 8. Oktober 1960 bis 7. Oktober 1961.

Sämtliche Werte in Millimeter Wasserhöhe.

*) Geschätzt.

Abbildung 33: Wasserbewegung 1960

I. Niederschläge zwischen den Untersuchungsterminen in mm

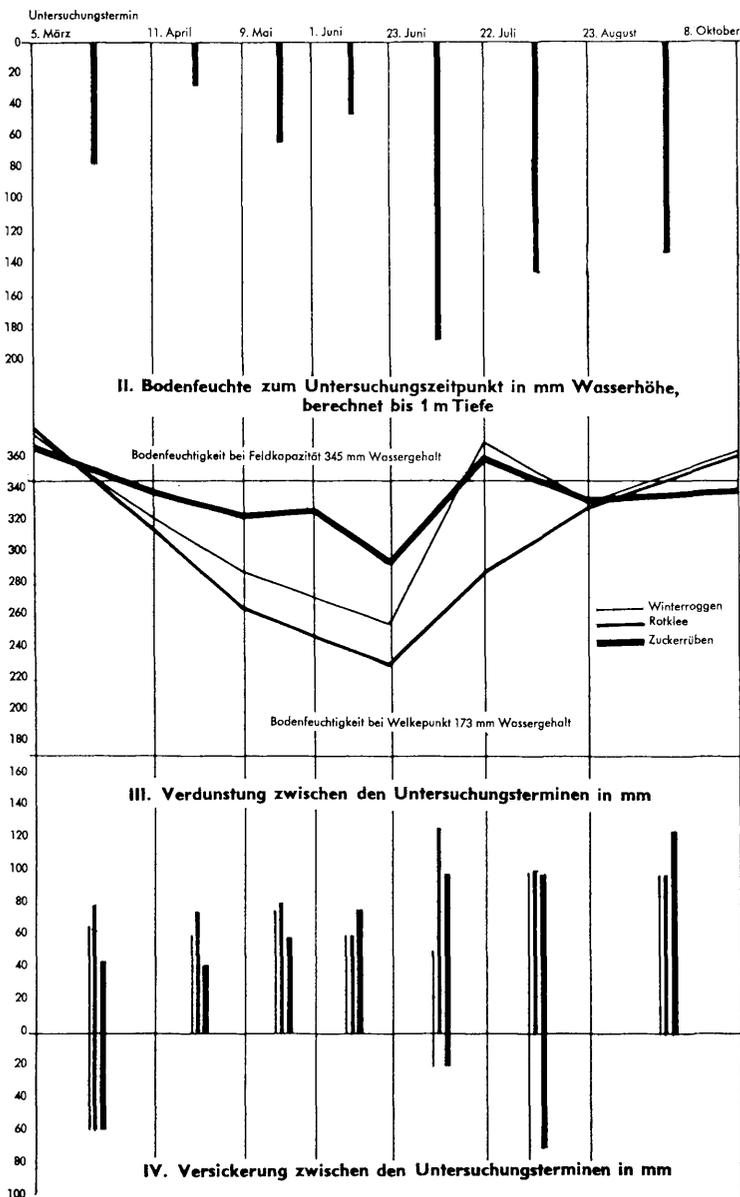
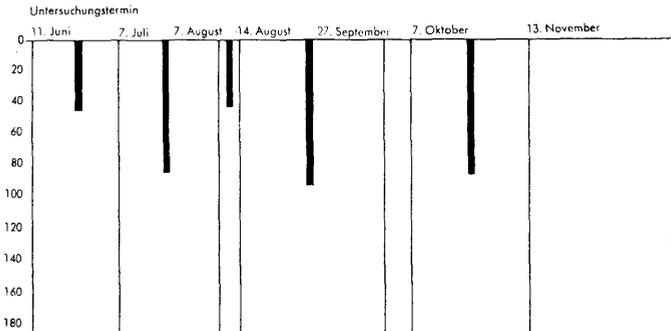
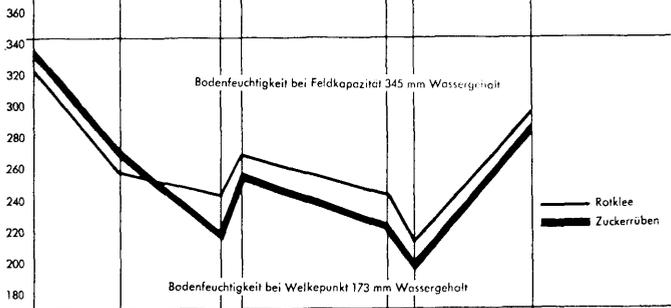


Abbildung 34: Wasserbewegung 1961

I. Niederschläge zwischen den Untersuchungsterminen in mm



II. Bodenfeuchte zum Untersuchungszeitpunkt in mm Wasserhöhe, berechnet bis 1 m Tiefe



III. Verdunstung zwischen den Untersuchungsterminen in mm



IV. Versickerung zwischen den Untersuchungsterminen: null



3. Wasserverbrauch — Pflanzenproduktion

Werner Koch (1957) bezeichnet die Produktivität der Transpiration als Assimilations-Transpirationsquotient. Ohne Transpirationsmessung an den Pflanzen selbst ist aber eine Trennung von Transpiration und Evaporation nicht denkbar. Daher kann bei vorliegender Berechnung nur die gesamte von der Bodenoberfläche und den Pflanzen an die Atmosphäre abgegebene Wassermenge ins Verhältnis zur erzeugten Pflanzenmasse gesetzt werden.

Der Wachstumsrhythmus wurde dabei solcherart berücksichtigt, daß bei Winterroggen die Zeit zwischen Pflanzensaat und Ernte, bei Rotklee die Verdunstung während der ganzen Vegetationsperiode berücksichtigt wurde. Bei Zuckerrübe diente als Berechnungsgrundlage die Zeit zwischen Vereinzeln und Ernte. Die Verdunstungszahlen wurden der Wasserhaushaltsrechnung entnommen, falls das nicht möglich war, nach Haude geschätzt. Die Erträge wurden vom Landwirt genau aufgezeichnet und vom Verfasser kontrolliert. Der Trockensubstanzgehalt wurde bei Winterroggen, Rotklee und Rübenblatt nach der DLG-Futterwerttabelle, bei Zuckerrüben nach den Erfahrungswerten der Ennser Zuckerfabrik unter Berücksichtigung des Zuckergehaltes angegeben.

Winterroggen 1960

Ertrag: Körnerertrag 2625 kg pro ha

Strohertrag 5250 kg pro ha

7875 kg entspricht 6780 kg Trockenmasse (86 %).

Wasserverbrauch: Herbst 1959 50 mm (geschätzt)

5. 3. bis 22. 7. 1960 352 mm

402 mm

402 mm ergeben pro Hektar 4,020.000 Liter.

$$\frac{4,020.000 \text{ l/ha}}{6780 \text{ kg/ha}} = 593 \text{ l Wasser je kg erzeugte Trockensubstanz.}$$

Rotklee 1960

Ertrag: 14.700 kg Kleeheu/ha = 12.642 kg Trockenmasse (86 %).

Wasserverbrauch: 5. 3. bis 9. 10. 1960 657 mm.

$$\frac{6,570.000 \text{ l/ha}}{12.642 \text{ kg/ha}} = 519 \text{ l Wasser je kg erzeugte Trockensubstanz.}$$

Zuckerrübe 1960

Ertrag: 49.000 kg Rübe/ha

43.208 kg Blatt/ha (Blatt-Wurzel-Verhältnis 88:100).

Bei einem Zuckergehalt von 17,3 % war 1960 mit 19,5 % löslicher Trockensubstanz und 4 % Markanteil zu rechnen.

Trockensubstanzgehalt der Rübe	23,5 %	11.515 kg
Trockensubstanzgehalt des Blattes	14 %	6.050 kg

Insgesamt Trockenmasse 17.565 kg

Wasserverbrauch: 9. 5. bis 9. 10. 1960 467 mm.

$$\frac{4.670.000 \text{ l/ha}}{17.565 \text{ kg/ha}} = 266 \text{ l Wasser je kg erzeugte Trockensubstanz.}$$

Rotklee 1961

Ertrag: 18.200 kg Kleeheu/ha = 15.652 kg Trockenmasse (86 %).

Wasserverbrauch: 5. 3. bis 11. 6., nach Haude geschätzt, 203 mm

11. 6. bis 7. 10. 365 mm

568 mm

$$\frac{5.680.000 \text{ l/ha}}{15.652 \text{ kg/ha}} = 374 \text{ l Wasser je kg erzeugte Trockensubstanz.}$$

Zuckerrübe 1961

Ertrag: 53.000 kg Rübe/ha

54.060 kg Blatt/ha (Blatt-Wurzel-Verhältnis 102:100).

Bei einem Zuckergehalt von 17,4 % war 1961 mit einer löslichen Trockensubstanz von 19,6 % und 4,5 % Markanteil zu rechnen.

Trockensubstanzgehalt der Rübe	24,1 %	12.673 kg
--------------------------------	--------	-----------

Trockensubstanzgehalt des Blattes	14 %	7.568 kg
-----------------------------------	------	----------

Gesamte Trockenmasse 20.241 kg

Wasserverbrauch: 9. 5. bis 11. 6., nach Haude geschätzt, 67 mm

12. 6. bis 7. 10. 397 mm

464 mm

$$\frac{4.640.000 \text{ l/ha}}{20.241 \text{ kg/ha}} = 229 \text{ l Wasser je kg erzeugte Trockensubstanz.}$$

Die Produktivität beträgt also je kg erzeugte Trockensubstanz bei:

Winterroggen 1960	593 Liter Wasser
-------------------	------------------

Rotklee 1960	519 Liter Wasser
--------------	------------------

Rotklee 1961	374 Liter Wasser
--------------	------------------

Zuckerrübe 1960	266 Liter Wasser
-----------------	------------------

Zuckerrübe 1961	229 Liter Wasser
-----------------	------------------

Im Jahre 1960 wurde also bei feuchtem Wetter mehr Wasser verbraucht als im niederschlagsärmeren Jahr 1961. Für ein und dieselbe Kulturgattung schwankt aber der Verbrauch nur innerhalb gewisser Grenzen und die Produktivität wird daher hauptsächlich vom Ernteertrag mitbestimmt. Zuckerrübe zeigt in beiden Jahren die höchste Produktivität, gefolgt von Rotklee und Winterroggen.

Da bereits im Frühjahr 1960 im Roggenfeld Rotklee eingesät wurde und dieser mit zunehmender Entwicklung immer mehr Wasser verbraucht hat, ist der hohe Transpirationskoeffizient bei Winterroggen nicht als echt anzunehmen.

LÜDECKE (1961), HELLRIEGL, SHANTZ (nach ROEMER und SCHEFFER, 1959) geben für die Erzeugung von einem Kilogramm Trockensubstanz folgende Wassermengen in Liter an:

	Hellriegl	Shantz	Lüdecke
Sommerroggen	353	634	—
Rotklee	510	698	—
Zuckerrübe	300	443	300 — 500

4. Der Versorgungsgrad

Wie schon im vorhergehenden Kapitel erwähnt wurde, liegen die Erträge 1961 etwas höher als 1960. Da Sommer und Herbst 1961 viel trockener waren als 1960, erhebt sich die Frage, in welchem Ausmaß die Pflanzen (genügend) mit Wasser versorgt waren. Als Versorgungsgrad wird der Wassergehalt des Bodens in Prozent des pflanzenverfügbaren Wassers bezeichnet. Nutzbare Kapazität (BAUMANN, 1948).

Die Meinungen darüber, wie hoch der Versorgungsgrad sein soll, um noch eine optimale Ernte zu erzielen, gehen derzeit noch weit auseinander. UHLIG (1957) nimmt dafür noch 60 bis 90 Prozent an, CZERATZKI und KORTE (1961) sprechen nur mehr von 30 bis 50 Prozent. Zweifellos spielt aber nicht nur der Wachstumszustand, in dem sich die Pflanzen befinden, eine große Rolle, wie BROUWER meint (1958), sondern ist auch eine knappe Wasserversorgung (Abhärtung) in der Jugendentwicklung ausschlaggebend, ob die Pflanzen in der Lage sind, langdauernde Trockenperioden ohne Ertragseinbuße durchzuhalten (EBERDORFER, 1955). Der Versorgungsgrad jeder einzelnen Bodenschicht unter den verschiedenen Feldfrüchten zu den Untersuchungsterminen findet sich im Anhang (Tabellen 45 bis 50).

Der Versorgungsgrad als Durchschnittswert von 1 bis 100 Zentimetern sei für die Jahre 1960 und 1961 nachstehend wiedergegeben (Wurzelraum).

Berechnung für einen Meter Bodentiefe (vergleiche Tabelle 40)

Feldkapazität	345,1 mm
Welkepunkt	172,9 mm
<u>nutzbare Kapazität</u>	<u>172,2 mm = 100 %.</u>

TABELLE 17: Werte in Prozent nutzbarer Kapazität 1960 (auch Tab. 41, 42, 43)

Frucht	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
Winterroggen	—	116	87	68	58	49	115	93	111
Rotklee	24	120	83	55	42	33	86	92	111
Zuckerrübe	70	114	97	88	91	71	110	95	97

TABELLE 18: Werte in Prozent nutzbarer Kapazität 1961 (auch Tab. 44, 45, 46)

Frucht	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
Klee	86	49	42	57	42	25	71
Zuckerrübe	95	56	27	50	32	16	68
Winterroggen	—	—	—	—	89	78	111

Die von CZERATZKI angegebene kritische Grenze der Wasserversorgung wurde im Untersuchungszeitraum nur selten unterschritten. 1959 am 17. Oktober bei Rotklee, am 7. August 1961 bei Zuckerrübe und am 7. Oktober 1961 bei Klee und Zuckerrübe.

Da nach der Untersuchung am 7. August 1961 bereits am 10. August alle Zuckerrübenpflanzen am Feld Welkeerscheinungen zeigten, muß angenommen werden, daß diese Austrocknungszeit zu Wachstumsstockungen geführt hat. Die Pflanzen haben aber sicher bereits früher, wie HUBER (1956) beweist, ihre Assimilationstätigkeit durch Schließen der Spaltöffnungen stark gedrosselt, um Wasserverluste zu vermeiden. Bereits am 14. August ist allerdings die Wasserversorgung durch 41 Millimeter Niederschlag wieder normalisiert. Die übrigen Unterschreitungen des Versorgungsgrades fanden schon im vorgeschrittenen Herbst statt und hatten auf die Ertragsbildung vermutlich nur mehr einen sehr geringen Einfluß. Der Ertragsfaktor Wasser ist daher in den Untersuchungsjahren auf dem vorliegenden *Sol lessivé* auf *Löß* mit seinem guten Wasserspeichervermögen nur kurzfristig ins Minimum geraten und hat sich daher nie ertragsbegrenzend ausgewirkt.

I) SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. An den untersuchten Böden wurde eine befriedigende Ausgleichswirkung zwischen Niederschlagsangebot und Wasserbedarf der Pflanzen gefunden.
2. Der Feuchtigkeitsgehalt hängt primär von der Witterung ab, doch prägt sich der Wasserentzug bei den einzelnen Kulturpflanzen in Abhängigkeit von dem Wachstumsrhythmus auf.

3. Das Verhältnis Wasserverbrauch — erzeugte Trockenmasse kann durch höhere Pflanzenproduktionsleistungen, die wohl durch Maßnahmen der Düngung und Kulturpflege zu erreichen sind, verbessert werden.
4. Die Einplanung von Gründecken in die Fruchtfolge kann nur bei wirklich ausreichender Wasserversorgung des Bodens empfohlen werden. Im Untersuchungszeitraum 1959 bis 1961 wurde durch die Kleedecke der Wasservorrat im Herbst zweimal weitgehend ausgeschöpft. Umgekehrt kann man in Gebieten mit reichlichen Niederschlägen eine gewisse Bodendrainage durch Gründecken erreichen.

J) ZUSAMMENFASSUNG

1. Auf einem *Sol lessivé* auf *Löß* wurden auf vier in unmittelbarer Nähe liegende Parzellen die Wasserhaltefähigkeit und andere bodenphysikalische Eigenschaften, wie Textur und Struktur, untersucht. Eine weitgehende Ähnlichkeit der Böden wurde dabei festgestellt.
2. Der Wassergehalt der Parzellen, auf denen verschiedene Feldfrüchte angebaut waren, wurde periodisch kontrolliert und die Ergebnisse in Millimeter Regenhöhe und Prozent nutzbare Wasserkapazität (Feldkapazität minus totes Wasser) ausgewiesen.
3. Die möglichen Ursachen des unter den Feldfrüchten gefundenen Wassergehaltes wurden besprochen.
4. Durch das gute Wasserspeichungsvermögen der untersuchten Böden kam es in keinem Untersuchungsjahr zu einer Beeinflussung des Pflanzenertrages durch die verschiedenen Witterungsbedingungen.

Der Vorstand des Instituts für Geologie und Bodenkunde der Hochschule für Bodenkultur in Wien, Herr Professor Dipl.-Ing. Dr. Herbert Franz, hat in freundlicher Weise gestattet, diese an seiner Lehrkanzel eingereichte Dissertationsarbeit zu veröffentlichen.

TABELLENTEIL

TABELLE 19: Streuung der Volumsgewichte

Bodentiefe cm	Feld I M±m m%	Feld II M±m m%	Feld III M±m m%	Feld IV M±m m%
10	146±5,5 3,7	154±1,6 1,1	146±1,3 0,9	153±2,2 1,4
30	154±2,4 1,5	164±1,2 0,8	163±1,2 0,7	170±1,7 1,0
50	148±2,5 1,7	151±0,8 0,5	152±1,5 1,0	151±0,5 0,3
80	150±0,4 0,3	150±0,5 0,4	153±1,3 0,8	n. b.
130	n. b.	150±1,2 0,8	n. b.	n. b.

Die Volumsgewichte wurden auf ganze Zahlen aufgerundet.

Anzahl der Wiederholungen (n)

Bodentiefe cm	Feld I	Feld II	Feld III	Feld IV
10	4	15	10	4
30	4	15	10	5
50	4	15	10	4
80	4	15	10	—
130	—	10	—	—

M = Mittelwert. m = mittlerer Fehler des Mittels. $m\% = \frac{m}{M} \cdot 100$

TABELLE 20: Saugspannungswerte in Gewichtsprozenten

Mittelwerte und Streuung dargestellt bei Feld II

Bodentiefe cm	0,1 Atm. M ± m	0,33 Atm. M ± m	1,0 Atm. M ± m	15,0 Atm. M ± m
10	22,0±0,20 m ⁰ / ₀ =0,91	21,7±0,19 m ⁰ / ₀ =0,85	19,6±0,26 m ⁰ / ₀ =0,85	10,4±1,48 m ⁰ / ₀ =14,2
30	20,2±0,07 m ⁰ / ₀ =0,3	19,4±0,29 m ⁰ / ₀ =1,52	18,7±0,22 m ⁰ / ₀ =1,16	10,5±0,81 m ⁰ / ₀ = 7,7
50	24,6±0,44 m ⁰ / ₀ =1,80	23,0±0,16 m ⁰ / ₀ =0,76	22,3±0,20 m ⁰ / ₀ =0,88	12,8±0,91 m ⁰ / ₀ = 7,1
80	25,3±0,15 m ⁰ / ₀ =0,60	25,2±0,19 m ⁰ / ₀ =0,75	23,6±0,10 m ⁰ / ₀ =0,41	13,9±0,70 m ⁰ / ₀ = 5,0
130	26,6±0,14 m ⁰ / ₀ =0,50	24,1±0,30 m ⁰ / ₀ =1,25	12,9±0,15 m ⁰ / ₀ =1,16	5,8±0,21 m ⁰ / ₀ = 3,60

Anzahl der Wiederholungen (n)

Bodentiefe	0,1 Atm.	0,33 Atm.	1,0 Atm.	15,0 Atm.
10	4	5	5	5
30	4	5	5	3
50	4	5	5	3
80	4	5	5	3
130	4	5	5	4

TABELLE 21:

Wasserdurchflußgeschwindigkeit, ermittelt an der Bundesanstalt für technische Bodenkunde, Petzenkirchen, Niederösterreich

Entnahmetiefe	Horizontbezeichnung	Wasserdurchfluß in Meter/Tag
10	A ₁ P	0,055 ±0,0134
30	A ₂ e	0,0091±0,0063
50	Bg	0,37 ±0,142
80	(B)g	0,22 ±0,219
130	Cg	0,027 ±0,0039

TABELLE 22: Wassergehalt in Gewichtsprozenten 1959/60; Winterroggen

Bodentiefe cm	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
10	27,2	22,0	16,7	18,4	16,7	26,8	24,1	25,0
20	24,3	21,0	17,5	17,1	17,6	25,2	22,1	23,7
30	23,5	20,6	17,1	17,1	16,4	23,5	20,1	22,0
40	23,1	18,4	17,0	16,3	14,7	21,8	20,6	23,6
50	24,8	n. b.	n. b.	15,5	14,9	23,6	21,5	24,4
60	24,7	21,2	20,5	18,4	16,6	24,3	21,6	25,2
80	25,9	23,7	22,8	20,9	19,3	25,7	22,2	24,2
100	25,9	23,1	22,8	19,7	18,9	25,9	24,9	25,6
120	15,7	17,7	16,0	13,8	13,4	21,4	28,0	17,5
140	15,0	17,5	15,9	14,9	13,9	15,7	27,9	16,9
160	16,4	16,9	16,2	14,6	14,2	14,6	19,4	16,4
180	15,8	16,4	16,0	14,4	14,4	13,6	18,7	16,5

TABELLE 23: Wassergehalt in Volumsprozentsen 1959/60; Winterroggen

Bodentiefe cm	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
10	39,7	32,1	24,4	26,9	24,4	39,1	35,2	36,5
20	35,5	30,7	25,5	25,0	25,7	36,8	32,0	34,6
30	34,3	31,7	26,3	26,3	25,3	36,2	31,0	33,9
40	35,2	28,0	25,9	24,9	22,4	33,2	31,4	35,9
50	37,4	n. b.	n. b.	23,3	22,5	35,6	32,4	36,8
60	37,2	31,9	30,9	27,7	25,0	36,5	32,6	38,0
80	39,0	35,7	34,4	31,5	29,0	38,7	33,4	36,5
100	39,0	34,9	34,4	29,7	28,5	39,0	37,5	38,5
120	23,4	26,4	23,9	20,8	20,0	31,9	42,0	26,1
140	23,5	26,1	23,8	22,4	20,8	24,5	41,7	25,3
160	24,4	25,2	24,2	21,9	21,9	21,8	29,0	24,5
180	23,5	24,5	24,0	21,6	21,5	20,2	27,9	24,7

Anmerkung: Ab 120 cm unverwitterter LÖB.

Volumsgewichte 10 bis 20 cm 146, 30 cm 154, 40 cm 152,4
50 bis 100 cm 150,8, 120 bis 180 cm 149,5

TABELLE 24:

Interpolierte Volumsprozentsen, abgelesen an der Kurve; Winterroggen 1959/60

Bodentiefe cm	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
5	39,8	32,2	23,9	27,0	24,1	39,7	36,1	37,1
15	39,3	31,4	24,9	25,4	25,1	37,5	33,6	35,5
25	34,2	31,1	26,0	25,8	25,8	36,6	31,5	34,0
35	34,7	29,0	26,0	25,7	23,7	34,1	31,1	34,5
45	36,5	28,6	26,1	23,8	22,4	34,0	31,7	36,5
55	36,3	30,9	27,4	24,3	23,6	36,2	32,4	37,4
65	37,4	33,3	32,0	29,3	26,6	37,2	32,8	37,9
75	38,6	35,2	33,8	31,2	28,3	38,1	33,2	36,9
85	39,0	35,8	34,5	31,6	29,2	39,0	34,3	36,9
95	39,0	36,0	34,7	30,5	29,1	39,2	36,2	37,6
Summe	374,8	323,5	289,3	274,6	257,9	371,6	332,9	364,5

TABELLE 25: Wassergehalt in Gewichtsprozenten 1959/60; Rotklee

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
10	7,7	24,4	19,2	10,9	11,1	11,2	23,3	20,1	22,4
20	9,1	22,1	18,7	12,9	13,6	12,6	22,3	20,2	22,4
30	10,4	21,7	17,4	13,7	13,6	12,8	13,6	18,6	21,3
40	12,2	23,5	17,9	16,2	15,8	15,4	14,8	22,3	22,6
50	14,4	25,1	n. b.	n. b.	16,5	17,4	16,3	22,2	24,2
60	16,6	26,0	21,8	21,1	14,2	18,3	18,5	23,5	25,7
80	18,4	27,1	23,5	22,2	22,0	16,2	19,5	22,7	25,2
100	22,9	25,2	23,9	19,8	20,5	16,2	18,5	22,0	23,7
120	15,5	17,4	17,6	15,8	15,5	14,3	13,1	14,7	14,5
140	15,4	16,4	17,3	16,2	15,6	14,9	14,0	15,1	14,8
160	16,9	15,9	16,3	15,8	15,8	15,4	14,0	14,8	15,1
180	16,6	16,1	16,7	15,9	15,3	15,9	13,8	14,4	14,9

TABELLE 26: Wassergehalt in Volumsprozente 1959/60; Rotklee

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
10	11,8	37,5	29,6	16,8	17,0	17,3	35,9	31,0	34,4
20	14,0	34,0	28,8	19,8	20,9	19,4	34,3	31,1	34,4
30	17,0	33,5	28,4	22,4	22,2	20,9	22,2	30,4	34,8
40	19,3	36,9	28,1	25,4	24,8	24,2	23,2	35,0	36,6
50	21,7	37,8	n. b.	n. b.	24,9	26,2	24,5	33,4	36,5
60	25,0	39,2	32,8	31,8	21,4	27,6	28,0	35,5	38,7
80	27,7	40,8	35,5	33,4	33,1	24,4	29,4	34,2	38,0
100	33,1	38,0	36,0	29,8	30,9	24,4	27,9	33,1	35,7
120	23,1	26,0	26,3	23,7	23,2	21,4	19,6	21,9	27,7
140	23,0	24,5	25,9	24,3	23,4	23,3	20,8	22,5	22,1
160	25,2	23,7	24,4	23,7	23,7	23,0	20,8	22,1	22,6
180	24,7	24,0	25,0	23,6	22,9	23,9	20,6	21,5	22,3

Anmerkung: Ab 120 cm unverwitterter Löß.

Volumsgewichte: 10 bis 20 cm 154, 30 cm 163,5, 40 cm 157 cm
5 bis 100 cm 150,8 120 cm bis 180 cm 149,5

TABELLE 27:

Interpolierte Volumsprozente, abgelesen an der Kurve; Rotklee 1959/60

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
5	10,5	37,7	29,6	15,8	16,5	16,7	36,2	30,9	34,8
15	12,6	36,6	29,1	18,3	18,7	18,3	35,0	31,2	34,4
25	15,7	33,0	28,5	21,2	21,5	20,1	29,0	30,8	34,5
35	18,3	35,3	28,2	23,9	23,4	22,1	22,7	31,1	35,3
45	20,3	37,6	28,8	27,2	25,4	25,2	23,9	34,2	36,1
55	23,4	38,7	31,0	30,6	22,4	27,0	26,0	35,0	37,7
65	25,8	40,0	34,0	32,6	23,2	27,3	28,9	35,5	38,9
75	27,0	40,7	35,1	33,4	31,4	25,3	29,4	34,9	38,5
85	29,1	40,6	35,9	33,1	33,3	24,4	29,1	33,9	37,5
95	32,0	39,0	35,9	30,6	32,2	24,3	28,5	33,2	36,5
Summe	214,7	379,2	316,1	266,7	248,0	230,7	288,7	330,7	364,2

TABELLE 28: Wassergehalt in Gewichtsprozenten 1959/60; Zuckerrübe

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
10	14,7	24,9	21,3	18,5	18,6	14,1	24,2	21,9	22,3
20	20,2	26,7	21,7	19,3	19,2	15,9	25,2	21,3	21,4
30	19,6	23,0	18,7	17,7	18,6	16,3	21,5	18,4	19,8
40	19,0	21,8	19,7	19,6	20,8	17,6	21,1	21,1	21,5
50	18,6	23,5	n. b.	n. b.	21,8	19,4	23,5	23,1	23,2
60	20,5	25,0	24,0	22,3	22,9	22,3	24,0	23,2	23,0
80	21,8	25,3	25,0	25,6	25,0	24,2	25,2	23,8	24,1
100	22,0	25,0	24,9	24,4	24,9	23,4	25,7	23,1	21,6
120	n. b.	18,1	17,8	16,6	15,6	15,9	24,9	15,5	15,4
140	n. b.	16,2	17,1	16,4	16,1	15,5	17,7	16,2	14,4
160	n. b.	16,2	16,9	16,4	15,9	15,4	16,4	16,0	14,6
180	n. b.	16,6	17,0	16,3	15,9	15,3	16,0	15,7	14,2

TABELLE 29: Wassergehalt in Volumsprozente 1959/60; Zuckerrübe

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
10	21,5	36,5	31,1	27,0	27,4	20,6	35,4	32,0	32,6
20	29,5	38,2	31,7	28,2	28,0	23,2	36,8	31,1	31,2
30	32,0	37,5	30,5	28,8	30,3	26,6	35,1	30,0	32,3
40	29,8	34,2	30,9	30,8	32,6	27,6	33,3	33,6	33,7
50	28,0	35,4	n. b.	n. b.	32,9	29,3	35,4	34,8	35,0
60	30,9	37,6	36,1	33,6	34,6	33,6	36,2	35,0	34,7
80	32,8	38,1	37,7	38,6	37,7	36,4	38,0	35,8	36,3
100	33,2	37,6	37,5	37,0	37,5	35,2	38,7	34,8	32,6
120	n. b.	27,0	26,6	24,8	23,4	23,8	37,4	23,1	23,0
140	n. b.	24,1	25,5	24,5	24,1	23,2	26,4	25,2	21,5
160	n. b.	24,1	25,2	24,5	23,6	23,1	24,5	23,9	21,8
180	n. b.	24,8	25,3	24,4	23,6	23,0	23,9	23,4	21,2

Anmerkung: Ab 120 cm unverwitterter LÖB.

Volumsgewichte: 10 bis 20 cm 146, 30 cm 163, 40 cm 157
50 bis 100 cm 150,8, 120 bis 180 cm 149,5

TABELLE 30:

Interpolierte Volumsprozente, abgelesen an der Kurve; Zuckerrübe 1959/60

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
5	20,7	35,2	30,0	26,7	26,1	20,1	35,2	32,4	33,0
15	22,5	37,4	31,6	27,9	27,8	21,7	36,3	31,6	31,6
25	31,8	38,3	31,1	28,4	28,9	24,9	36,0	30,5	31,4
35	31,0	34,7	30,5	29,7	31,8	27,0	33,8	30,2	33,1
45	28,5	34,7	31,6	31,5	32,7	28,2	33,6	34,2	34,5
55	29,5	36,3	34,6	33,0	33,7	30,8	35,9	35,0	34,9
65	31,5	38,0	36,9	34,6	35,6	34,6	36,5	35,0	35,1
75	32,4	38,0	37,8	37,3	37,2	36,2	37,5	35,6	36,2
85	32,9	38,0	37,8	38,6	37,8	36,3	38,4	35,7	35,7
95	33,2	37,9	37,7	37,6	37,8	35,8	38,9	35,2	34,1
Summe	294,0	368,5	339,6	325,1	329,4	295,6	362,1	335,4	339,6

TABELLE 31: Wassergehalt in Gewichtsprozenten 1961; Rotklee

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
10	17,8	12,6	11,2	20,8	12,1	9,8	23,8
20	18,6	12,7	12,1	17,5	12,3	11,2	21,9
30	18,0	13,2	12,6	14,4	13,6	13,3	20,0
40	20,2	15,2	13,7	14,5	16,1	15,6	18,5
50	21,9	17,6	15,9	16,4	18,1	15,9	18,6
60	22,8	19,2	18,1	17,4	18,5	15,8	18,6
80	23,8	20,3	20,6	18,6	17,9	15,5	16,9
100	23,2	21,2	22,5	19,7	19,8	16,6	17,2
120	14,7	n. b.	12,5	n. b.	n. b.	10,2	11,2
140	14,3	n. b.	12,7	n. b.	n. b.	10,4	11,4
160	14,3	n. b.	12,9	n. b.	n. b.	11,3	12,6
180	14,6	n. b.	13,8	n. b.	n. b.	12,1	11,7

TABELLE 32: Wassergehalt in Volumsprozenten 1961; Rotklee

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
10	27,4	19,4	17,4	32,4	18,6	15,1	36,7
20	28,6	19,5	18,7	26,9	19,0	17,2	33,7
30	27,7	20,3	19,4	22,2	20,8	20,5	30,8
40	30,8	23,2	20,9	22,1	24,6	23,7	28,2
50	32,9	26,5	24,0	24,7	27,2	24,0	28,1
60	34,4	29,0	27,2	26,3	27,9	23,8	28,1
80	35,8	30,6	31,1	28,1	27,0	23,4	25,5
100	35,0	31,9	33,8	29,7	29,8	25,1	25,9
120	22,0	n. b.	18,3	n. b.	n. b.	15,2	16,7
140	21,4	n. b.	18,9	n. b.	n. b.	15,6	17,0
160	21,4	n. b.	19,3	n. b.	n. b.	16,9	18,8
180	21,8	n. b.	20,8	n. b.	n. b.	18,1	17,6

Anmerkung: Ab 120 cm unverwitterter Löß.

Volumsgewichte: 10 bis 30 cm 154, 40 cm 152,4,

50 bis 100 cm 150,8, 120 bis 180 cm 149,5

TABELLE 33:**Interpolierte Volumsprozente, abgelesen an der Kurve; Rotklee 1961**

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
5	26,8	19,1	16,2	32,8	18,5	14,7	37,5
15	27,9	19,7	18,0	30,9	18,7	16,0	35,3
25	29,2	19,4	19,0	24,2	19,7	18,8	32,0
35	30,2	21,6	19,9	21,4	22,8	22,3	29,4
45	31,7	24,8	22,2	23,6	26,2	23,9	28,1
55	33,8	27,9	25,8	25,6	27,6	24,0	28,2
65	34,8	30,0	28,4	26,7	27,7	23,7	27,3
75	35,6	31,2	30,2	27,6	27,0	23,4	26,1
85	36,0	31,8	32,1	28,7	27,5	23,9	25,6
95	35,7	32,0	33,6	29,6	29,3	24,9	26,0
Summe	321,7	257,5	245,4	271,2	245,0	215,6	295,5

TABELLE 34: Wassergehalt in Gewichtsprozenten 1961; Zuckerrübe

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
10	20,2	14,2	9,4	23,4	14,8	10,9	22,6
20	19,8	14,4	11,6	18,2	12,1	12,5	21,5
30	18,2	13,9	10,6	11,4	10,5	11,4	17,9
40	20,6	15,5	11,8	10,8	12,6	10,1	17,2
50	22,6	17,1	14,5	11,7	14,3	11,3	16,6
60	23,9	18,8	15,9	13,8	15,2	12,4	15,9
80	24,3	21,6	17,7	19,4	18,1	16,5	17,9
100	22,6	20,8	22,0	21,0	16,7	17,1	20,1
120	14,1	n. b.	12,2	n. b.	n. b.	11,6	12,1
140	14,7	n. b.	12,5	n. b.	n. b.	12,1	12,5
160	14,5	n. b.	13,1	n. b.	n. b.	12,9	13,3
180	14,3	n. b.	13,3	n. b.	n. b.	12,3	13,6

TABELLE 35: Wassergehalt in Volumsprozenten 1961; Zuckerrübe

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
10	31,0	21,9	14,4	36,0	22,8	16,8	34,8
20	30,5	22,1	17,8	28,0	18,6	19,2	33,0
30	31,0	23,6	18,0	19,4	17,8	19,4	30,5
40	33,0	24,8	18,9	17,3	20,2	16,3	27,7
50	34,0	25,7	21,9	17,6	21,6	17,0	25,0
60	36,0	28,3	24,0	20,8	22,9	18,7	24,0
80	36,6	32,7	26,7	29,2	27,3	24,8	27,0
100	34,0	31,3	33,2	31,7	25,1	25,8	30,3
120	21,0	n. b.	18,2	n. b.	n. b.	17,3	18,2
140	21,9	n. b.	18,7	n. b.	n. b.	18,0	18,6
160	21,7	n. b.	19,6	n. b.	n. b.	19,3	19,9
180	21,3	n. b.	19,9	n. b.	n. b.	18,4	20,3

Anmerkung: Ab 120 cm unverwitterter LÖB.

Volumsgewicht: 10 bis 20 cm 153,7 30 cm 170, 40 cm 160,4
50 bis 100 cm 150,8, 120 bis 180 cm 149,5**TABELLE 36:****Interpolierte Volumsprozente, abgelesen an der Kurve; Zuckerrübe 1961**

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
5	31,1	22,4	12,1	36,9	23,3	16,6	35,4
15	30,7	21,8	17,0	34,2	21,0	17,9	34,0
25	30,6	22,6	18,1	21,2	17,0	19,9	31,8
35	32,1	24,6	17,7	18,2	19,0	17,3	29,0
45	33,4	25,0	20,7	16,8	20,9	16,5	26,3
55	35,0	27,0	23,4	19,0	22,1	17,7	24,1
65	36,7	29,6	24,4	22,9	24,2	20,0	24,4
75	36,9	32,1	25,5	27,4	26,8	23,3	26,1
85	36,2	32,7	28,5	30,2	27,1	25,6	27,9
95	34,6	32,0	32,6	31,5	26,0	26,2	30,0
Summe	337,3	269,8	220,0	258,3	227,4	201,0	289,0

TABELLE 37: Wassergehalt in Gewichtsprozenten 1961; Winterroggen

Bodentiefe cm	27. 9.	7. 10.	13. 11.
10	19,4	15,4	23,4
20	20,0	17,5	22,8
30	19,3	17,1	20,9
40	21,1	18,7	22,6
50	22,5	20,8	24,6
60	22,5	21,5	24,9
80	22,5	21,5	24,9
100	21,7	22,9	24,9
120 — 180 nicht bestimmt (n. b.)			

TABELLE 38: Wassergehalt in Volumsprozentsen 1961; Winterroggen

Bodentiefe cm	27. 9.	7. 10.	13. 11.
10	29,7	23,6	35,8
20	30,6	26,7	34,8
30	32,3	28,7	35,1
40	33,8	30,2	36,2
50	34,0	31,4	37,1
60	34,0	32,4	37,5
80	33,6	36,5	37,3
100	32,7	34,5	37,5
120 — 180 n. b.			

Anmerkung: Volumsgewichte 10 bis 20 cm 153, 30 cm 168,
40 cm 160,2, 50 bis 100 cm 150,8, 120 bis 180 cm 149,5

TABELLE 39:**Interpolierte Volumsprozentsen, abgelesen an der Kurve; Winterroggen 1961**

Bodentiefe cm	27. 9.	7. 10.	13. 11.
5	29,5	22,4	36,3
15	30,0	25,2	35,2
25	31,3	27,9	34,8
35	33,1	29,6	35,6
45	34,0	30,8	36,7
55	34,0	31,8	37,5
65	33,9	33,2	37,5
75	33,7	35,8	37,4
85	33,4	36,3	37,2
95	33,0	35,3	37,4
Summe	325,9	308,3	365,6

TABELLE 40:

Nutzbare Kapazität (n. K.) in Volumsprozentsen bzw. Millimeter Wasserhöhe, interpolierte Werte

Bodentiefe cm	Feldkapazität	— Welkepunkt	= Nutzb. Kapazität
5	33,4	13,6	19,8
15	32,6	13,9	18,7
25	31,7	14,8	16,9
35	31,8	16,4	15,4
45	33,0	18,2	14,8
55	34,6	19,2	15,4
65	36,1	19,4	16,7
75	37,4	19,4	18,0
85	37,5	19,3	18,2
95	37,0	18,7	18,3
Summe %, mm	345,1	172,9	172,2

TABELLE 41:

Versorgungsgrad in Prozent n. K.; Winterroggen 1959/60

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
5	n. b.	132	94	52	68	53	132	114	119
15	n. b.	136	94	59	62	60	126	105	116
25	n. b.	115	96	66	65	65	129	99	114
35	n. b.	119	82	62	60	47	115	96	118
45	n. b.	124	70	58	38	28	107	91	124
55	n. b.	111	76	53	33	28	110	86	120
65	n. b.	108	83	75	59	43	107	80	111
75	n. b.	107	88	80	66	84	104	77	97
85	n. b.	108	91	83	68	54	108	82	97
95	n. b.	111	95	85	65	57	112	96	103
Summe ϕ (Durchschnitt)	n. b.	116	87	68	58	49	115	93	111

TABELLE 42:

Versorgungsgrad in Prozent n. K.; Rotklee 1959/60

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
5	0	122	81	11	15	15	114	87	107
15	0	121	81	24	26	24	113	92	110
25	5	108	81	38	40	31	84	95	83
35	12	123	77	49	45	37	41	95	123
45	14	131	76	61	49	47	39	108	121
55	27	127	77	74	21	51	44	104	120
65	38	123	87	79	23	47	57	96	117
75	42	118	87	78	67	33	56	86	106
85	54	117	91	76	77	28	54	80	100
95	73	111	94	65	74	31	54	79	97
Summe ϕ (Durchschnitt)	24	120	83	55	42	33	86	92	111

TABELLE 43: Versorgungsgrad in Prozent n. K.; Zuckerrübe 1959/60

Bodentiefe cm	17. 10.	5. 3.	11. 4.	9. 5.	1. 6.	23. 6.	22. 7.	23. 8.	8. 10.
5	36	109	83	66	63	33	109	95	98
15	46	125	95	74	74	42	120	95	95
25	100	139	96	80	83	60	125	93	98
35	95	119	92	86	100	69	113	90	108
45	70	111	91	90	98	68	104	108	110
55	67	111	100	90	94	75	108	103	102
65	72	111	105	91	97	91	102	93	94
75	72	103	102	99	99	93	101	90	93
85	75	103	102	106	102	93	105	90	90
95	79	105	104	103	104	93	110	90	84
Summe ϕ (Durchschnitt)	70	114	97	88	91	71	110	95	97

TABELLE 44: Versorgungsgrad in Prozent n. K.; Rotklee 1961

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
5	67	28	13	97	25	5	120
15	75	31	22	91	26	11	114
25	85	27	25	56	29	24	102
35	90	34	23	33	42	38	85
45	91	45	27	36	54	39	67
55	95	56	43	41	55	31	58
65	92	63	54	44	50	26	47
75	90	66	60	46	42	22	37
85	92	69	70	52	45	25	35
95	93	73	81	60	58	34	40
Summe ϕ (Durchschnitt)	86	49	42	57	42	25	71

TABELLE 45: Versorgungsgrad in Prozent n. K.; Zuckerrübe 1961

Bodentiefe cm	11. 6.	7. 7.	7. 8.	14. 8.	27. 9.	7. 10.	13. 11.
5	88	45	0	118	49	15	100
15	90	42	17	107	38	21	108
25	93	46	19	38	13	30	110
35	102	53	8	12	17	6	82
45	97	46	17	0	18	0	55
55	103	51	27	0	19	0	32
65	104	59	30	21	29	4	30
75	97	61	34	44	41	22	37
85	93	74	50	40	43	35	47
95	87	73	76	70	40	41	62
Summe ϕ (Durchschnitt)	95	56	27	50	32	16	68

TABELLE 46: Versorgungsgrad in Prozent n. K.; Winterroggen 1961

Bodentiefe cm	27. 9.	7. 10.	13. 11.
5	80	44	115
15	86	60	114
25	98	77	118
35	108	86	125
45	107	85	125
55	96	82	119
65	87	82	108
75	85	91	100
85	77	93	98
95	78	91	102
Summe ϕ (Durchschnitt)	89	78	111

Schrifttum:

- Baumann H.: Wetter und Ernteertrag. Schriftenreihe Deutscher Bauernverlag, 19, 1949.
- Baumann H.: Zur Ermittlung des Wasserbedarfs der Landwirtschaft. Wasser und Boden, 2, S. 225, 1950.
- Baumann H. und Klatt F.: Berechnungszeitpunktversuche mit Hafer und Winterweizensorten. Z. Acker und Pflanzenbau 103, S. 380, 1957.
- Braumüller E.: Die paläographische Entwicklung des Molassebeckens in Oberösterreich und Salzburg. Zeitschrift Erdöl, Urbanverlag Wien-Hamburg, 1962.
- Brouwer W.: Berechnung nach dem Entwicklungszustand der Pflanzen. Vortrag bei der Konferenz „Berechnung“ der Kommission 6 der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Kopenhagen, 1958, zitiert nach Czeratzki.
- Czeratzki W.: Bodenphysikalische Probleme des Bodenwasserhaushalts und der Feldberechnung. Landbauforschung Völkenrode, 8. Jahrgang, Heft 4, S. 85–89, 1958.
- Czeratzki W. und Korte W.: Rationelle Steuerung der Feldberechnung. Landbauforschung Völkenrode, 5. Jahrgang, Heft 4, S. 75–79, 1955.
- Czeratzki W. und Korte W.: Wasseraufnahme von Getreide und Zuckerrübe aus dem Boden. Wasser und Nahrung, Heft 2, 1959.
- Czeratzki W. und Korte W.: Die Berechnung der Zuckerrübe nach der Bodenfeuchte. Zucker, 14. Jahrgang, Nr. 10, 15. Mai 1961, S. 244–249, Verlag Schaper, Hannover.
- Beutner E. L., Garbe R. R., Horton R. E.: Sprinkled Plat Runoff and Infiltration Experiments on arizona Desert Soils SLS-TP. 38, sept. 1940, zitiert nach Uhlig S. Abschätzung der Verdunstung an Hand von Bodenfeuchtemeßwerten. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, Nr. 35, Bad Kissingen, S. 182–189, 1952.
- Eberdorfer S.: Der Einfluß von Wasser und Nährstoffangebot auf den Gesamtertrag und die Ertragsbildung von Pflanzen. Dissertationsarbeit zur Erlangung des Doktorgrades an der Hochschule für Bodenkultur. 1955 (unveröffentlicht).
- Franz H.: Feldbodenkunde, Verlag Georg Fromme und Co., Wien und München, 1960.
- Geiger R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Verlag Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig, 1961.
- Haude W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 11, 1955.
- Herrmann R, Thun R. und Knickmann E.: Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethode (Methodenbuch). Die Untersuchung von Böden, 1., 2. und 3. Auflage, Verlag Neumann, Radebeul und Berlin, 1955.
- Huber B.: Tages- und Jahresrhythmen im pflanzlichen Stoffwechsel — ein lehrreiches Beispiel aus der Botanik. Die Umschau in Wissenschaft und Technik, 56. Jahrgang, Heft 10, 15. Mai 1956, S. 302–304.

- Huber B.: Bemühungen zur Senkung der Transpiration und Atmungsverluste in Waldbeständen. Mitteilung aus der Bayrischen Staatsforstverwaltung, 29, 1957, S. 81—90.
- Hydrographischer Dienst in Österreich: Die Lufttemperaturen im Zeitraum 1901 bis 1950. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien, 1951.
- Hydrographischer Dienst in Österreich: Die Niederschläge in Österreich im Zeitraum 1901 bis 1950. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 1951.
- Koch W.: Der Tagesgang der Produktivität der Transpiration. *Planta*, Bd. 48, S. 418—452, 1957.
- Kohl H.: Die Exkursion zwischen Lambach und Enns, aus Exkursionen zwischen Salzach und March. Beiträge zur Pleistozänforschung in Österreich. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, Sonderheft D, 1955.
- Korte W.: Die klimatische Wasserbilanz als Charakteristik der Witterung. *Landbauforschung Völkenrode*, 11. Jahrgang, Heft 1, S. 9—11, 1961.
- Korte W.: Klimatische Wasserbilanz — ein Hilfsmittel zur Steuerung der Feldberegnung. *Landbauforschung Völkenrode*, 8. Jahrgang, Heft 4, S. 90—92, 1958.
- Korte W. und Czeratzki W.: Einsatz der Feldberegnung in Niedersachsen nach der Völkenroder Methode. *Wasser und Nahrung*, 1959, Heft 2, Droste-Verlag, Düsseldorf.
- Leenheer de L.: Monografie der zeepolders Pepertorium von de Bodenkundige Eigenschappe der belangrijken Boemtypen in de Belgische Zeepolders. 1961.
- Nestroy O.: Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in zwei niederösterreichischen Lößböden. *Mitteilungen der österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Heft 5, S. 43—55, 1961.
- Nitzsch W.: Bessere Bodenbearbeitung, *RKTL Schrift* 85, Berlin, 1939, nach Rid. H. Über die Komplexwirkung der Untergrundlockerung. *Z. für Acker und Pflanzenbau*, 110, S. 393—424, 1960.
- Richard L. A.: Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science*, 1948, 66, 105. Zitiert nach: Studie von de Poriendeling in de boden. *Med v. d. Landbouwhogeschool, Gent*, 1955, S. 98—130.
- Richard L. A.: Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Science*, 1949, 68, 95.
- Roemer Th. und Scheffer F.: *Lehrbuch des Ackerbaues*, 5. Auflage, Paul Parey, Berlin, 1959.
- Schadler J.: *Geologischer Schnitt durch das Trauntal bei Hörsching*. Unveröffentlichte geologische Aufnahme, 1949.
- Schleifer H.: *Lysimeterversuche in Österreich*. Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und Technische Bodenkunde Petzenkirchen, Niederösterreich, 1959.
- Schiller H.: Die jahreszeitliche Verschlammungsneigung von zwei Böden aus dem oberösterreichischen Molassegebiet. *Landwirtschaftlich-chemische Bundesversuchsanstalt Linz/Donau, Tätigkeitsbericht L VII/3*.

- Schiller H. und Janik V.: Ein Beitrag zur Kenntnis der oberösterreichischen Böden. Die Bodenkultur, Ausgabe A, 10, Heft 3, S. 187—211, Verlag Fromme, Wien, Juli 1959.
- Sekera F.: Nutzbarkeit des Bodenwassers für die Pflanze. Fragestellung und Methodik. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 26, S. 57—125, Berlin, 1932.
- Uhlig S.: Die Untersuchung und Darstellung der Bodenfeuchte. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, Nr. 30, 1951.
- Uhlig S.: Bestimmungen des Verdunstungsanspruches der Luft mit Hilfe von Piche-Evaporimetern. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes Nr. 13, Band 2, Bad Kissingen, 1955.
- Uhlig S.: Berechnungen monatlicher Mittelwerte der Gebietsverdunstung nach einer Methode von Kalweit. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes Nr. 15, Band 3, Bad Kissingen, 1956.
- Uhlig S.: Acht Jahre Bodenfeuchtebestimmung des Deutschen Wetterdienstes. Meteorologische Rundschau, 10. Jahrgang, Heft 5, S. 163—170, 1957.
- Uhlig S.: Wasserhaushaltsbetrachtungen nach Thornthwaite. Z. für Acker und Pflanzenbau, Band 109, Heft 4, S. 384—407, 1959.
- Woodroof C. M.: Soil moisture and plant growth in relation to p. F. Soil Science Society American Proceedings (1940) 1941, 5, 36.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Naturkundliches Jahrbuch der Stadt Linz \(Linz\)](#)

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Bronner Hans

Artikel/Article: [Bodenfeuchtebeobachtung unter Zuckerrüben und anderen Feldfrüchten auf Lößlehm im Raum von Linz, Oberösterreich 41-118](#)