

**Prom. Nr. 2334**

**Untersuchungen über die Wirkung einiger Verfahren  
der Bodenbearbeitung auf Bodenstruktur und Pflanzenertrag  
mit methodischem Beitrag zur serienmässigen  
physikalischen Bodenanalyse**

VON DER

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE IN ZÜRICH**

ZUR ERLANGUNG

**DER WÜRDE EINES DOKTORS  
DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN**

GENEHMIGTE

**PROMOTIONSARBEIT**

VORGELEGT VON

**HANSJÜR GUYER**

dipl. ing. agr.

VON ZÜRICH UND USTER

REFERENT: HERR PROF. DR. R. KOBLET

KORREFERENT: HERR PROF. DR. H. DEUEL

ZÜRICH 1954

BRUNNER & BODMER

Leer - Vide - Empty

## INHALTSVERZEICHNIS

A. ALLGEMEINER TEIL	6
I. Einleitung und Problemstellung	6
II. Die Methoden	9
1. Die Probenahme	9
2. Die Bestimmung des Wassergehaltes	10
3. Die Berechnung der Wasserkapazität	11
4. Die Bestimmung der Luftkapazität	13
5. Die Messung der Luftdurchlässigkeit	14
6. Die Hohlraumanalyse	15
7. Die Krümelanalyse	21
8. Die Bestimmung der biologischen Bodenaktivität	23
9. Die Ermittlung der Bodentemperatur	24
B. SPEZIELLER TEIL	27
I. Die Methoden der Stoppelbearbeitung und deren Anordnung auf den Versuchsfeldern	27
II. Die Ergebnisse der einzelnen Versuche	29
1. Die Böden der Versuchsfelder der Jahre 1950 - 1952	29
2. Die Versuche des Jahres 1950	29
a. Der Versuch auf der landwirtschaftlichen Schule Strickhof, Zürich	29
b. Die übrigen Versuche des Jahres 1950	39
c. Beobachtungen im Frühjahr 1951	43
3. Die Versuche des Jahres 1951	45
a. Der Versuch auf dem Rossberg	45
b. Die übrigen Versuche des Jahres 1951	55
c. Beobachtungen im Frühjahr 1952	59

4. Die Versuche des Jahres 1952	60
a. Der Versuch auf dem Rossberg	60
b. Die übrigen Versuche des Jahres 1952	75
c. Beobachtungen im Frühjahr 1953	79
III. Ueberblick über die Ergebnisse	82
C. ZUSAMMENFASSUNG	91
Literaturverzeichnis	100

## VORWORT

Mit den Untersuchungen von Dr. O. Buess über die Diagnostizierung verdichteter Bodenhorizonte, die unter der Leitung von Prof. Dr. F. T. Wahlen standen, wurden am Institut für Pflanzenbau der ETH die Arbeiten über die Probleme der Bodenbearbeitung aufgenommen.

Ein neuer Beitrag aus den Arbeitsbeschaffungskrediten des Bundes erlaubte die Weiterführung ähnlicher Untersuchungen. Nach Rücksprache mit dem Ausschuss für Bodenbearbeitung des Schweizerischen Landwirtschaftlichen Vereins wurden die Fragen der Stoppelbearbeitung in Angriff genommen.

Die vorliegende Arbeit gibt einen Ueberblick über die diesbezüglichen Bodenbearbeitungsversuche der Jahre 1950 - 1953. Die Kredite, die die Durchführung dieser Versuche ermöglichten, seien an dieser Stelle bestens verdankt.

Es bleibt uns die angenehme Pflicht, allen denjenigen zu danken, die durch ihre wertvolle Mithilfe die Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben. Wir denken in erster Linie an Herrn Prof. Dr. R. Koblet, der als Präsident des Bodenbearbeitungsausschusses das Programm angeregt und als Vorsteher des Institutes für Pflanzenbau der ETH die Arbeiten geleitet hat. Herr W. Zwingli, Assistent am Institut für Pflanzenbau, hat in der dritten Versuchsperiode bei der Durchführung der Untersuchungen tatkräftig mitgeholfen und die botanischen Analysen besorgt. Bei der Feststellung der Erträge und bei anderen Messungen war Herr L. Hasenböhler, Obergärtner an der ETH, ein unentbehrlicher Mitarbeiter. Herr Hasenböhler hat ebenfalls die graphischen Darstellungen gezeichnet. Zum Schlusse möchten wir allen Betriebsleitern danken, die Arbeitskräfte und Land für die Anlage unserer Feldversuche zur Verfügung gestellt haben.

"Prima Ceres ferro mortalis vertere terram  
instituit. .... "

(Virgilius).

## A. ALLGEMEINER THEIL

### I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

"Diejenigen Felder / die man immerdar bauet / tragen mehr als andere / weilen wegen Vestigkeit des Bodens und verstopfften Luftlöchern der Erden die innerliche Krafft der Fruchtbarkeit und Fermentation nicht ausdampffen kann / dahero die lang ausgeruhete / verlegene feyernde Felder und Neubrüch nicht so hoch zu schätzen als diejenigen Felder welche stäts gebaut worden sind /" Mit diesen Worten weist zu Beginn des 18. Jahrhunderts Emmanuel KÖNIG in seinem "Schweitzerisch Hauss - Buch" auf die Bedeutung der Bodenstruktur für das Wachstum der Pflanzen hin. Diese Probleme haben zu jenen Zeiten schon viele Gelehrte und Praktiker beschäftigt; denn schon 1770 erschien eine Preisschrift der Oekonomischen Gesellschaft von Bern über "Die Anfangsgründe des Landbaues". Der Verfasser, Pfarrer BERTRAND von Orbe, schildert seine Erfahrungen mit den folgenden Worten: "Eurer Rede nach scheint es der Mist mache alles, doch ist es gewiss, dass die Ernte hauptsächlich von der guten oder schlimmen Bearbeitung und dem Pflügen abhänget. Ein aufgebrochener Boden zieht aus der Luft kräftige Nahrungssäfte von allen Arten; sodass man den Oertern wo der Mist selten ist, den Mangel desselben durch öfteres Pflügen ersetzen kann. ... Der Frost besonders trennt und scheidet Theile, die am stärksten miteinander verbunden sind; darum ist das Pflügen im Herbst und im Winter vorteilhaft. ... Das Pflügen besitzt aber noch vile andere Vortheile. ... Es zerstört die schädlichen Pflanzen und Saamen. Es verschafft den Wurzeln nützlicher Pflanzen leichte Durchgänge; denn die Wurzeln vermehren sich und dehnen sich nach Massgabe, dass sie ein wackeres und wohlberitetes Erdreich antreffen. ... Wenn man in gutem Boden den Pflug tiefer treibt, wie es von Zeit zu Zeit geschehen soll, so bringt man Erde herauf, die den Boden wieder erneuert. Man beunruhiget das Ungeziefer, zerstört dessen Nester, zerdrückt oder verjagt sie. In den Jahren, wenn die Käfer unter dem Boden sind, in Gestalt weisser Würmer oder Inger wie ihr sie nennt, lasset ihr euren Sohn mit einem Korb hinter dem Pflug hergehen, um alle Inger

zusammenzulesen, die er in den Furchen findet." Die Erkenntnisse, die diese Leute allein durch ihre scharfe Beobachtung erforscht haben, sind erstaunlich.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts versuchte SCHULZ - FLEET (1856) die optimale Bodenstruktur zu beschreiben und ihre Entstehung zu erklären: " Wenn häufig die Ansicht ausgesprochen ist, dass es bei der Beackerung nur darauf ankomme, den Boden möglichst zu zerkleinern und zu pulverisieren; so ist solche Ansicht, ganz allgemein betrachtet, vollkommen irrig. Die Ackererde soll nicht überall ein gleichmässiges feines Pulver darstellen; ... Die Erde soll locker und porös sein, aber dabei doch immer einen gewissen Zusammenhang in ihren einzelnen Theilen behalten. In einen solchen Zustand kann der Boden durch Pulverisierung allein nicht versetzt werden; ... Wenn eine Wurzel z.B. vermodert, so wird ihr Volumen vermindert, und es bildet sich ihrer ganzen Länge nach ein Porenkanal; ... " -

Die Erkenntnis, dass der physikalische Aufbau des Bodens für die Entwicklung der Pflanzen von grosser Bedeutung ist, geht einige Jahrhunderte zurück. Bis in die jüngste Zeit stehen sich in bezug auf den Begriff der Struktur des Bodens die verschiedensten Ansichten gegenüber. Es drängen sich daher die folgenden grundsätzlichen Fragen auf:

1. Was verstehen wir unter der Bodenstruktur, und welches ist ihre Bedeutung ?
2. Welches ist die für die Pflanze optimale Struktur ?
3. Durch welche Massnahmen, besonders in bezug auf die Bodenbearbeitung, kann man diese Struktur begünstigen ?

BAVER (1948) definiert die Bodenstruktur als die Anordnung der Bodenteilchen, unter denen er nicht nur die mechanischen Elemente des Bodens (Primärteile), wie Sand, Ton und Humus, versteht, sondern auch die grösseren, aus diesen zusammengesetzten Teile (Sekundärteile). LYON und BUCKMAN (1952) stellen bei ihrer Definition ebenfalls die Verteilung der Primär- und Sekundärteilchen in den Vordergrund, während SEKERA (1937) die Bodenstruktur als die Gliederung der Bodenhohlräume definiert. RUSSELL (1950) fasst die beiden Gesichtspunkte zusammen und sagt, dass die Verteilung der festen Bodenteile oder die davon abhängigen Formen der Poren die Struktur des Bodens bestimmen. Vom Standpunkte des Pflanzenbauers aus sind beide Komponenten der Bodenstruktur von gleicher Bedeutung; sie müssen daher bei einer physikalischen Bodenuntersuchung in gleicher Weise berücksichtigt werden.

BAVER (1948) nennt die Bodenstruktur den Schlüssel zur Bodenfruchtbarkeit. Bevor man die Fruchtbarkeit eines Bodens am Ertrag der Pflanzen beurteilen kann, muss man die physikalischen Eigenschaften des Bodens kennen. Beobachtungen und Versuche haben nach BAVER gezeigt, dass auf nährstoffarmen Böden trotz einwandfreier Düngung und trotz normaler Niederschläge keine Steigerung der

Erträge erzielt werden konnte. Die Ursache dieser Erscheinung war der schlechte Zustand der Bodenstruktur. Vor allem haben Wurzelwachstum und Nährstoffaufnahme wegen der zu geringen Sauerstoffversorgung gelitten.

Für anspruchsvolle Pflanzen und für die Bodenorganismen gilt das Schwammgefüge (FREI, 1948) als optimale Struktur. Es wird durch locker gelagerte Krümel verschiedenster Grössenordnungen aufgebaut. Zwischen diesen festen Teilen und in ihrem Innern befinden sich grössere und kleinere Hohlräume, Röhren und Kapillaren, die miteinander kommunizieren. Dieses ideale Gefüge entsteht durch das Zusammenwirken der Bodenorganismen, die durch ihre Ausscheidungen die Primärteilchen zusammenkleben. Dazu kommt, dass Pilzfäden Einzelteilchen oder Krümel miteinander verbinden. Durch diese Vorgänge entsteht der sog. Lebendverbau (SEKERA, 1951) der Krümel. Nach KOBLET (1951) wurde auf Grund vieler Versuche und Feldbeobachtungen festgestellt, dass die Wurzeln von ausdauernden Gräsern und Kleearten die Bildung stabiler Krümel fördern. Eine vollständige Erklärung dieser Feststellung kann heute noch nicht gegeben werden. Es scheint jedoch, dass die Wurzeln den Zusammenhalt des dichten Bodens an verschiedenen Stellen schwächen. Die Wurzeln entziehen aus der näheren Umgebung Wasser, was zu lokalen Schrumpfungen des Bodens führt, die ihrerseits die Bildung von Trennungsflächen an den Schwächestellen hervorrufen.

Untersuchungen haben ergeben, dass die Humussubstanzen für die Erhaltung und Verbesserung des Bodengefüges von grosser Bedeutung sind, da sie z.T. die Fähigkeit haben, sich an Tonmineralien anzulagern und stabile Krümel zu bilden. (DEUEL, 1950).

In diesem Zusammenhang ist es angezeigt, den Begriff der Bodengare näher zu betrachten. Der Landwirt bezeichnet den Boden in der Regel als gar, wenn der Acker zur Aufnahme der Saat bereit ist. Der Boden ist mürbe. Die Auffassung der Biologen geht dahin, dass die Gare den Zustand der optimalen Tätigkeit der Bodenflora und -fauna darstelle. Andere Forscher verstehen darunter die Krümelstruktur. Zwischen der Aktivität der Organismen und der Struktur des Bodens bestehen enge Wechselbeziehungen. Es ist daher schwierig zu entscheiden, ob die Krümelstruktur die Organismenaktivität anregt, oder ob letztere die erwünschte Struktur hervorruft. SEKERA (1951) definiert die Bodengare als denjenigen Zustand des Bodens, bei dem die Lebendverbauung der Krümel durch Mikroorganismen vorhanden ist.

Die Frage nach den Bodenbearbeitungsmassnahmen, die die optimale Struktur begünstigen, versuchen wir anhand der Untersuchungen, die dieser Arbeit zu Grunde liegen, zu beantworten. Zu diesem Zwecke haben wir die wirtschaftlichsten Methoden der Stoppelbearbeitung herausgegriffen, da einerseits die Erhaltung der Bodengare durch Nachsommer und Herbst für unsere Verhältnisse wesentlich ist, und andererseits die hohen Kosten von Zwischenfütteranlagen hohe Erträge des

Herbstfutters erfordern. Mit der Ausdehnung und Intensivierung des Ackerbaues sind diese Fragen für unsere Landwirte besonders bedeutungsvoll geworden.

Auf dem Gebiet der physikalischen Analyse des Bodens wurde in den letzten zwei Jahrzehnten in der Schweiz nur wenig gearbeitet. Ausländische Institute jedoch entwickelten neue Methoden der Strukturanalyse und sammelten Erfahrungen in deren Verwendung. Die Bodenbearbeitungsversuche boten daher eine sehr günstige Gelegenheit, verschiedene neue Methoden auf ihre Verwendbarkeit in Serienuntersuchungen zu prüfen und kritisch zu betrachten.

## II. DIE METHODEN

### 1. Die Probenahme

Für die Strukturuntersuchungen ist es entscheidend, die Bodenproben im natürlich gelagerten Zustand in das Laboratorium zur Untersuchung zu bringen. Es stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung, die diese Bedingungen erfüllen, nämlich die Schollenprobe und die Probenahme mit dem Stechzylinder. Die Schollenprobe kann bei grösseren Serienuntersuchungen wegen Transportschwierigkeiten nicht in Frage kommen. Es stellte sich die Frage, ob die 1000 ccm Zylinder nach BURGER (1922) oder die 100 ccm Zylinder nach V. NITZSCH (1926) zu verwenden sind. Der Fehler, der den grossen Proben anhaftet, ist wesentlich geringer als dies bei den kleinen der Fall ist. Hinsichtlich der Strukturuntersuchungen bei Bodenbearbeitungsversuchen ist es jedoch möglich, dass durch die 10 cm hohen Zylinder noch Horizontteile erfasst werden, die durch verschiedene Geräte überhaupt nicht beeinflusst werden können. Dieser Teil der Probe würde die vergleichende Strukturuntersuchungen stören. Die gewichtsmässige Belastung ist zudem sehr gross. Die Fehler der kleinen Proben in den 100 ccm Zylindern kann durch eine Vermehrung der Wiederholungen stark verringert werden, ohne grössere Transportschwierigkeiten zu erhalten. Die Höhe der kleinen Zylinder beträgt 4 cm; es ist also möglich, die bearbeitete oberste Schicht zu erfassen. Aus diesen Gründen haben wir uns für die Verwendung der 100 ccm Zylinder entschlossen. Um den Fehler zu verkleinern, wurden von jedem Verfahren sechs Proben genommen.

## 2. Die Bestimmung des Wassergehaltes

Die Zylinderproben wurden bei 105 - 110 Grad C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, was in der Regel ca. 20 Stunden beanspruchte. Als Wassergehalt des Bodens bezeichnen wir den durch diese Methode festgestellten Prozentsatz an Wasser bezogen auf die trockene Feinerde.

In unseren Versuchen werden wir den Wassergehalt in Volumenprozenten angeben, da diese Ausdrucksweise verschiedene Vorteile gegenüber der Angabe in Gewichtsprozenten bietet. Die Volumenprozente veranschaulichen das Verhältnis der festen Bodenbestandteile zu Wasser und Luft. Man kann sich z.B. zwei Böden vorstellen, die genau gleichviel Gewichtsprozente Wasser aufweisen, aber ganz verschiedene Wassermengen auf das Volumen bezogen besitzen.

Da wir die Bodenproben in Zylindern von bestimmtem Inhalt entnehmen, ist die Angabe der Feuchtigkeit in Volumenprozenten leicht durchzuführen.

Verschiedene Autoren (FLETCHER, 1939; RICHARDS, 1937) haben versucht, die Feuchtigkeit auf dem Felde zu bestimmen. Bei einem Verfahren wird Alkohol von bestimmter Konzentration über eine Bodenprobe gegossen, um nachher aus der Konzentrationsänderung den Wassergehalt zu bestimmen. Bei einer weiteren Methode wird Calciumcarbid mit dem feuchten Boden vermischt. Das Volumen des sich entwickelnden Acetylens wird gemessen und daraus die Feuchtigkeit errechnet. Eine ähnliche Methode schreibt die Verwendung von konzentrierter Schwefelsäure vor. Die dabei entstehende Wärme ist ein Maß für den Wassergehalt des Bodens. Diese Feldverfahren sind sehr wenig geprüft und geben nur Näherungswerte. Diese Methoden wurden deshalb in unseren Versuchen nicht verwendet.

Seit ungefähr zwanzig Jahren wurde in verschiedenen Versuchen die Kapillartension für die Feststellung der Feuchtigkeitsveränderungen im Boden verwendet. Ein mit Wasser gefülltes, poröses Tongefäß, das mit einem Manometer versehen ist, wird in den Boden vergraben. Das Wasser wandert nun vom Boden in das Gefäß oder umgekehrt, je nach dem Feuchtigkeitszustand der nächsten Umgebung. Mit diesem Apparat können Wassergehalte im Bereiche des Feuchtigkeitsäquivalentes gemessen werden. \*)

Vergleicht man die Resultate der Feuchtigkeitsmessungen mit diesem Tensiometer, so stellt man fest, dass die Wassergehalte bei einem bestimmten pF - Wert (s. Kap. II, 6) nicht mit denjenigen der Feuchtigkeitscharakteristik des untersuchten Bodens übereinstimmen. Die wichtigsten Ursachen sind wohl in Hystereserscheinungen und Messfehlern zu suchen.

BAVER (1948) ist der Auffassung, dass der Tensiometer ein wertvoller Ap-

---

\*) Das Feuchtigkeitsäquivalent erhält man, indem eine gesättigte Bodenprobe mit einer Kraft von 1 000 g bis zur Gewichtskonstanz zentrifugiert wird.

parat für die Untersuchung von Veränderungen von Wassergehalten, die höher als die Feldkapazität sind, darstellt. Ihr Gebrauch unter Feldbedingungen ist daher beschränkt.

In unseren Untersuchungen haben wir die Wassergehalte durch Trocknung bestimmt, da die andern Methoden ungenau oder für grössere Serienuntersuchungen ungeeignet sind.

### 3. Die Berechnung der Wasserkapazität

RAMANN (1911) definiert die Wasserkapazität mit den folgenden Worten: "Die Fähigkeit des Bodens, Wasser in tropfbarflüssigem Zustande in sich aufzunehmen und längere oder kürzere Zeit festzuhalten, bezeichnet man als Wasserkapazität, früher wasserhaltende Kraft."

Physikalische Bodenuntersuchungen verlangen eine Bestimmung der Wasserkapazität, obschon sie über die Menge des für Pflanzen verfügbaren Wassers nichts aussagt. BURGER (1922) weist darauf hin, dass bei gleichbleibendem Humusgehalt die Grösse der Wasserkapazität durch das Vorhandensein einer grösseren oder geringeren Zahl kapillar wirkender Räume bedingt ist. Die Art der Verteilung der Porengrössen ist für die Höhe der Wasserkapazitätswerte entscheidend. Nach BURGER wäre die Wasserkapazität dann am grössten, wenn alle Poren jene maximale Grösse aufweisen, bei der sie gerade noch kapillar wirksam sind. Nimmt der Durchmesser der Poren ab, so wird die Wasserkapazität langsam kleiner, während sie bei einer Zunahme der Porenweiten rasch abnimmt. Auf diese Verhältnisse werden wir bei der Besprechung der Resultate der Bearbeitungsversuche zurückkommen.

BURGER (1922) bestimmt die Wasserkapazität, indem er die 1000 ccm Stechzylinderprobe im Wasserbad während 24 Stunden sättigt, eine Stunde abtropfen lässt und anschliessend trocknet. Der über den Zylinderrand hinausgequollene Boden wird im feuchten Zustand weggeschnitten. Aus der Differenz zwischen Gewicht des gesättigten Bodens und dem der trockenen Probe ergibt sich der Wassergehalt des gesättigten Bodens. Durch Umrechnung dieses Wassergehaltes erhält man die Wasserkapazität in Volumenprozenten.

LEUTENEGGER (1950) weist mit Recht darauf hin, dass sich beim Eintauchen die Luftkanäle der Bodenprobe rasch mit Wasser füllen. Erst nachher beginnen die luftgefüllten kapillaren Poren der Krümel Wasser aufzusaugen. Die wegströmende Luft sammelt sich in grösseren Hohlräumen und kann nur teilweise entweichen. Beim Abtropfen kann das Wasser nur z. T. aus den Luftkanälen abfliessen, da Luftblasen den Weg versperren. Die Werte der Wasserkapazität werden daher zu hoch.

Aus diesen und ähnlichen Ueberlegungen haben DOJARENKO (1931) und SEKERA (1931) die Proben durch kapillaren Aufstieg gesättigt. SEKERA schlägt vor, die Bodenproben so auf den gesättigten Quarzsand zu bringen, dass sie 7 cm über einem konstant gehaltenen Grundwasserspiegel stehen. Das Wasser dringt nun aus dem Sand auf kapillarem Wege in die trockenere Probe ein. Dieser Vorgang geht genügend langsam, sodass für das Entweichen der Luft Zeit bleibt. Die Wassersättigung ist je nach Bodenart nach ein bis vier Tagen erreicht. Anschliessend wird die Probe gewogen, das Volumen der Feinerde bestimmt und die Wasserkapazität in Volumenprozent umgerechnet.

Auf Grund der Beziehung zwischen Steighöhe und Kapillardurchmesser kommt SEKERA auf 7 cm Höhenunterschied zwischen Bodenprobe und Grundwasserspiegel. Er steht auf dem Standpunkt, dass bei einer Sandschicht unter 7 cm die Abhängigkeit der Wassersättigung von kleinen Abweichungen von einer bestimmten Höhe der Sandschicht viel stärker ins Gewicht falle, als bei "Grundwassertiefen" von über 7 cm. Er versucht nachzuweisen, dass die Unterschiede zwischen den Wasserkapazitäten verschiedener Bodenarten bei jenen Proben deutlicher hervortreten, die 7 cm über dem Wasserspiegel gesättigt worden waren, während bei jenen, die auf einer niedrigeren Sandschicht standen, die Unterschiede weniger klar in Erscheinung treten. Die Wasserkapazitäten aller Bodenarten sind aus naheliegenden Gründen bei jenen Proben höher, die näher über dem Wasserspiegel gesättigt worden waren. Vergleicht man aber die Differenzen zwischen Unterschieden der Wasserkapazitäten der verschiedenen Bodenarten, so erkennt man, dass sie nur 2-3% betragen. Unterschiede dieser Grössenordnung sind besonders bei physikalischen Bodenuntersuchungen statistisch kaum gesichert.

LEUTENEGGER (1950) hat diese beiden Methoden der Sättigung mit Proben aus verschiedenen Profiltiefen verglichen und ist in bezug auf Wasser- und Luftkapazität zu den folgenden Schlüssen gekommen:

1. Jene Horizonte, die sich durch eine stabile Krümelung auszeichnen, weisen bei kapillarer Wassersättigung bedeutend grössere Luftkapazitäten auf als beim Sättigen durch Untertauchen.
2. Bei Proben mit instabiler Krümelung besteht nur ein sehr geringfügiger Unterschied.
3. Da die Volumina der skelettfreien Bodensubstanz im allgemeinen nicht verändert werden, erfolgt die Erhöhung der Luftkapazität auf Kosten der Wasserkapazität.

Für die Bestimmung der Wasserkapazität haben wir in unseren Versuchen im Prinzip die Methode von SEKERA angewandt. Die 100 ccm Stechzylinderproben wurden jedoch - hauptsächlich aus Zeitgründen - nur 2 cm über dem Grundwasserspiegel abgesättigt. In der Regel waren alle Proben nach 24 Stunden gewichts-

konstant. Sie wurden auf ein über den Sand ausgebreitetes Filtrierpapier gelegt, um ein Anhaften von Sandkörnern zu vermeiden. Nach der Sättigung wurden die Proben gewogen, getrocknet und das Trockengewicht bestimmt. Der Skelettanteil vieler Proben war beträchtlich, sodass es nötig war, die Steine aller Proben ebenfalls zu wägen. Um die Wasserkapazität in Volumenprozenten des natürlich gelagerten, skelettfreien Bodens angeben zu können, war es notwendig, das Volumen des Skelettes zu berechnen. Zu diesem Zwecke haben wir das spezifische Gewicht der Steine für jedes Versuchsfeld bestimmt. Bei der Verwendung von 100 ccm Zylindern erhält man mittels der folgenden Formel die Wasserkapazität in Volumenprozenten der natürlich gelagerten Feinerde:

$$WK (\text{Vol. \%}) = \frac{\text{Vol. \% HOH bei Sättigung} \cdot 100}{100 - \text{Vol. Skelett}} \quad (I)$$

#### 4. Die Bestimmung der Luftkapazität

KOPECKY (1914), der den heutigen Begriff der Luftkapazität des Bodens eingeführt hat, definiert ihn folgendermassen: "Unter Luftkapazität des Bodens verstehe ich jene Grösse, welche das Volumen jener Poren des Bodens angibt, das nach der Sättigung des Bodens mit Wasser bis auf die Höhe der absoluten Wasserkapazität noch immer mit Luft ausgefüllt bleibt."

Diese Definition zeigt, dass die Luftkapazität nicht vom gesamten Porenvolumen abhängt, sondern nur von jenen Poren, die nicht kapillar wirken. Diese Tatsache spricht für die eben beschriebene Methode der Sättigung von Bodenproben.

Das Luftvolumen der mit Wasser gesättigten Proben wurde nach der folgenden Gleichung errechnet:

$$\text{Volumen Luft} = 100 - (\text{Vol. HOH bei Sättigung} + \text{Vol. Skelett} + \text{Vol. Feinerde}) \quad (II)$$

Das Volumen der Feinerde wurde nach dem Vorschlag von LEUTENEGGER (1950) mit Hilfe der spezifischen Gewichte von 2,6 gr/ccm für Mineralerde und von 1,2 gr/ccm für Humus berechnet. Diese Angaben basieren auf einer Zusammenstellung von DEMOLON (1948). Die Werte der Luftkapazität wurden wie die Wasserkapazität auf das Volumen der natürlich gelagerten Feinerde bezogen und in Volumenprozenten ausgedrückt.

Obschon die Luftkapazität in bezug auf den Luftaustausch oder in bezug auf die Intensität der Sauerstoffdiffusion nichts aussagen kann, ist es doch wertvoll,

bei Strukturanalysen verschieden bearbeiteter Parzellen diese Werte zu kennen, da sie einen Hinweis auf die Grössenverteilung der Poren geben.

In der ersten Versuchsperiode haben wir die Luftkapazität mit dem Druckluftpyknometer von VISSER (1937) gemessen, das BUESS (1949) in seinen Versuchen über die Untergrundlockerung verwendet hat. Wir haben die Messungen mit diesem Apparat hauptsächlich aus zwei Gründen aufgegeben:

1. Wir erhielten relativ viele negative Werte für die Luftkapazität.
2. Bei der Verwendung dieser Messmethode ist die zeitliche Beanspruchung während der Versuchsperiode grösser als bei der Berechnung, die nach dem Abschluss der Versuche ausgeführt werden kann.

## 5. Die Messung der Luftdurchlässigkeit

In Anbetracht der Bedeutung der Bodendurchlüftung schien es uns notwendig, die Werte der Luftkapazität durch Luftdurchlässigkeitsmessungen am gewachsenen Boden zu ergänzen. Zu diesem Zwecke verwendeten wir den Durchlüftungsmesser von Janert, der von BUESS (1949) verbessert worden war.

Bei der Untersuchung der Beziehungen zwischen Luftdurchlässigkeit und Wassergehalt des Bodens stellt BUESS eine Regression nicht linearer Natur fest. Das Ausmass der Veränderung der Luftdurchlässigkeit hängt vom absoluten Wassergehalt ab. BUESS (1949) hat in seiner Arbeit gezeigt, dass der Feuchtigkeitsgehalt von 25 Gew. % eine gewisse Grenze darstellt, da bei Wassergehalten unter 25% eine Veränderung des Feuchtigkeitsgehaltes um 1% nur eine geringe Zu- bzw. Abnahme der Luftdurchlässigkeit bewirkt, während oberhalb dieser Grenze bei der gleichen Veränderung des Wassergehaltes eine beträchtliche Veränderung der Luftdurchlässigkeit eintritt. BUESS erklärt diese Erscheinung, indem er seine Kurven mit der Porengrösseneinteilung nach SEKERA (1938) vergleicht. Danach sind bei Wassergehalten von 20 - 25% die engsten und ein geringer Teil der mittelgrossen Poren mit Wasser gefüllt. Wenn aber die mittleren und z. T. auch die grösseren Poren mit Wasser erfüllt sind, also der Wassergehalt mehr als 25% beträgt, sinkt die Luftdurchlässigkeit sehr rasch ab. Misst man die Luftdurchlässigkeit einer Probe bei verschiedenen Wassergehalten, so ist es möglich, Rückschlüsse auf die Verteilung der Porengrössen zu ziehen.

In der ersten Versuchsperiode haben wir die Durchlüftungsmessungen vorgenommen. Die gleichzeitig festgestellten Wassergehalte haben in der Regel grössere Unterschiede zwischen den verschiedenen bearbeiteten Parzellen ergeben. In vielen Fällen wurden auf den einen Bearbeitungstreifen Wassergehalte bis zu 30% bestimmt, während sie auf anderen zwischen 20 und 25% betragen. Die unter diesen Verhältnissen erhaltenen Werte der Durchlüftungsmessungen sind auf

Grund der angeführten Tatsachen nicht vergleichbar. Die Messungen der Luftdurchlässigkeit wurden in den folgenden Jahren nicht mehr durchgeführt.

Um zuverlässige Werte der Durchlüftung zu erhalten, ist es nötig, pro Versuchspartzele mindestens vier bis sechs Messungen vorzunehmen. Diese grosse Zahl von Messtellen macht aber einen grossen Teil des Feldes für weitere Strukturuntersuchungen unbrauchbar. Das war ein weiterer Grund, warum der Durchlüftungsmesser für unsere Zwecke nicht dienlich war.

## 6. Die Hohlraumanalyse

"Das Hohlraumvolumen des Bodens ist der Lebensraum der im Boden lebenden Mikroorganismen und der Pflanzenwurzeln. Der Wasser- und Lufthaushalt dieses Lebensraumes wird beherrscht von seiner Gliederung in grobe, mittlere und feine Kapillaren." (SEKERA, 1938).

Die Werte der Luft- und Wasserkapazität können über die Gliederung der Bodenhohlräume nichts aussagen. Bei vergleichenden Strukturuntersuchungen ist es jedoch unumgänglich, die Grössenverteilung der Poren festzustellen, um Hinweise auf den Wasser- und Lufthaushalt zu erhalten.

Der von BUCKINGHAM (1907) eingeführte Begriff des Kapillarpotentials ist für diese Untersuchungen grundlegend. Dieser Autor vergleicht die Bewegung des Wassers im Boden mit der Ausbreitung der Wärme in einem Metallstab oder mit dem Fluss der Elektrizität durch einen Draht. Die für die Bewegung des Wassers nötige Kraft ist die Differenz zwischen den Anziehungskräften für Wasser zweier sich berührender, verschieden feuchter Bodenteile. Ein feuchter Boden nimmt weniger Wasser auf als ein trockener, da beim feuchten Boden die Anziehungskräfte geringer sind. Bei umgekehrter Betrachtungsweise kann man sagen, dass eine geringere Kraft angewendet werden muss, um von einem annähernd gesättigten Boden eine bestimmte Menge Wasser wegzunehmen als von einer fast trockenen Probe.

Die Grösse des Kapillarpotentials wird nach BUCKINGHAM (1907) mit der potentiellen Energie einer Wassersäule verglichen und die Höhe dieser Säule in cm ausgedrückt. Es handelt sich hier, besonders bei geringeren Feuchtigkeitsgehalten, um sehr grosse Energien. SCHOFIELD (1935) hat daher vorgeschlagen, den Logarithmus der Höhe in cm der Wassersäule zu verwenden. Er nennt ihn, in Anlehnung an den pH - Wert, den pF - Wert. Es ist dies somit ein Mass für die energetischen Beziehungen zwischen den festen Bodenbestandteilen und Wasser.

SCHOFIELD (1935) bestimmte die pF - Werte eines feuchten Bodens, indem er ihn in einen mit einer Glassinterplatte versehenen Trichter brachte und das Wasser aus der Probe mit abgestuften Saugdrücken absog. Bei jeder Stufe stellte er

durch Wägung der Probe den Wassergehalt fest, um bei Gewichtskonstanz eine nächst höhere Stufe der Saugspannung einzustellen. Auf diese Weise war es möglich, die Wassergehalte bei jeder beliebigen Saugspannung bis zu 1 000 cm Wassersäule, was einem  $pF$  von 3 oder ungefähr einer Atmosphäre entspricht, zu bestimmen. Zeichnet man diese Werte der Wassergehalte und die entsprechenden Logarithmen der Saugspannungen in ein Koordinatensystem ein, so erhält man die sog.  $pF$  - Kurve oder die Feuchtigkeitscharakteristik eines Bodens. Bei dieser Art der Versuchsanordnung ist es nicht möglich, höhere Saugdrücke als eine Atmosphäre anzuwenden. Um die Wassergehalte bei  $pF$  - Werten von mehr als 3 zu ermitteln, wäre es nötig, den Druck oberhalb des Filters auf die Bodenprobe wirken zu lassen, um das Wasser herauszupressen. Eine andere Möglichkeit zur Festlegung weiterer Punkte der  $pF$  - Kurve bietet die Bestimmung von Gefrierpunkt- und Dampfdruckerniedrigung des Bodenwassers.

Die Form der Feuchtigkeitscharakteristik ist abhängig von der Verteilung der Porengrößen. Diese Verhältnisse sind jedoch sehr kompliziert, da Hysteresis - Wirkungen und das Quellen und Schrumpfen der Tone bei der Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes mitwirken.

Wird eine unter bestimmtem Druck stehende trockene Probe angefeuchtet, so stellt man fest, dass sich ein anderer Feuchtigkeitsgehalt einstellt als bei der Entwässerung unter gleichen Druckverhältnissen. Es entstehen zwei verschiedene  $pF$  - Kurven, je nachdem, ob die Bodenprobe durch eine Saugspannung entwässert oder gegen einen Druck angefeuchtet wird. Es kann daher ein Kapillarpotential vorhanden sein, ohne dass eine messbare Wasserbewegung stattfindet.

ROBINSON (1939) gibt ein anschauliches Bild über die Bedeutung des  $pF$  - Wertes: Die Wasseraufnahme einer Wurzel aus dem Boden kann als Wirkung einer Potentialdifferenz oder als Wirkung des Unterschiedes der  $pF$  - Werte zwischen Wurzel und Boden angesehen werden. Wenn nun der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens sinkt, erhöht sich dessen  $pF$  - Wert. Bei einem bestimmten Wassergehalt vermag der Boden nicht mehr rasch genug Wasser nachzuliefern, um die Transpirationsverluste zu decken. Die Pflanze beginnt zu welken. Der  $pF$  - Wert des Bodens, bei dem dies eintritt, wird als Welkepunkt bezeichnet. SCHOFIELD (1935) hat gezeigt, dass dieser Punkt bei einer Reihe von Böden mit einem  $pF$  - Wert von 4,2 charakterisiert werden kann.

Dank dem Entgegenkommen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen war es möglich, von zwei Versuchsfeldern Entwässerungskurven herzustellen.

Das Wasser wurde stufenweise unter Druck aus den Proben herausgepresst. Nach jeder Drucketappe stellten wir den Wassergehalt der Proben fest. Die Kurven sind einerseits durch die Feldkapazität (FC) und andererseits durch den permanenten Welkepunkt (PWP) begrenzt.

Nach RICHARD (1953) ist die Feldkapazität "jener Wassergehalt, eines normal drainierten Bodens, der sich einstellt, wenn das durch die Gravitationskraft entfernbare Wasser aus den Grobporen wegdrainiert ist und wenn die Abwärtsbewegung des Wassers praktisch zum Stillstand gekommen ist. Dieser Wassergehalt wird meistens in 2 - 3 Tagen nach einem Regenfall erreicht und kann über Wochen unverändert bleiben, wenn kein Niederschlag erfolgt und wenn keine wasserverbrauchende Vegetation vorhanden ist und wenn zudem die Wasserverdunstung an der Bodenoberfläche verhindert wird." Die Grössenordnung der Feldkapazität hängt von jenem Porenvolumen ab, aus dem das Wasser durch die Schwerkraft entfernt werden kann. Die Feldkapazität ist daher in bezug auf die Wasserführung eines Bodens ein charakteristischer Wert.

Unter dem permanenten Welkepunkt versteht man denjenigen Wassergehalt eines Bodens, bei welchem der Boden nicht mehr genügend Wasser an die Pflanze abgeben kann, um den normalen Turgor aufrecht zu erhalten. Die Pflanze welkt permanent (RICHARD, 1953).

Bei den von uns untersuchten Böden zweier Versuchsfelder handelt es sich beim einen (Buchboden) um einen schwach humosen, kalkhaltigen, schwach sandigen Lehm, beim andern (Untere Zelg) um einen schwach humosen, schwach tonigen Lehm.

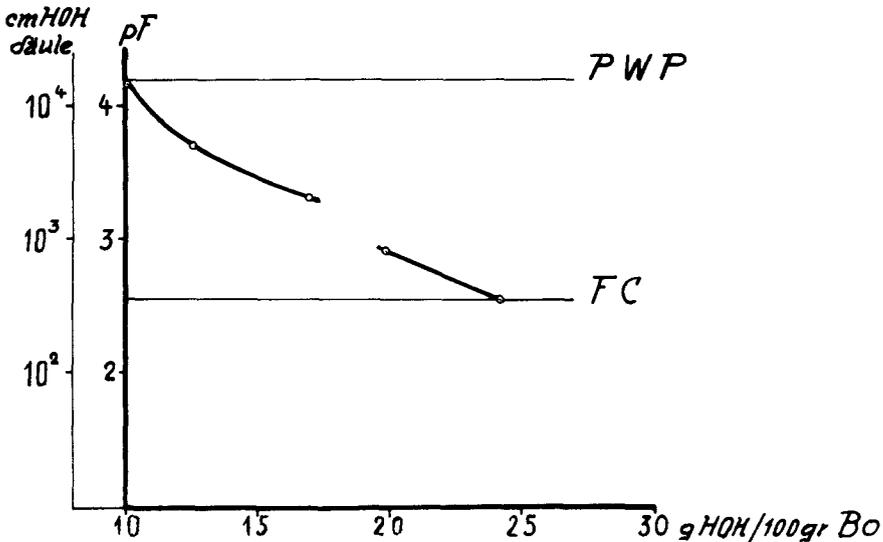


Fig. 1a: Teile der pF - Kurve des Versuchsfeldes Buchboden, Rossberg, 1951.

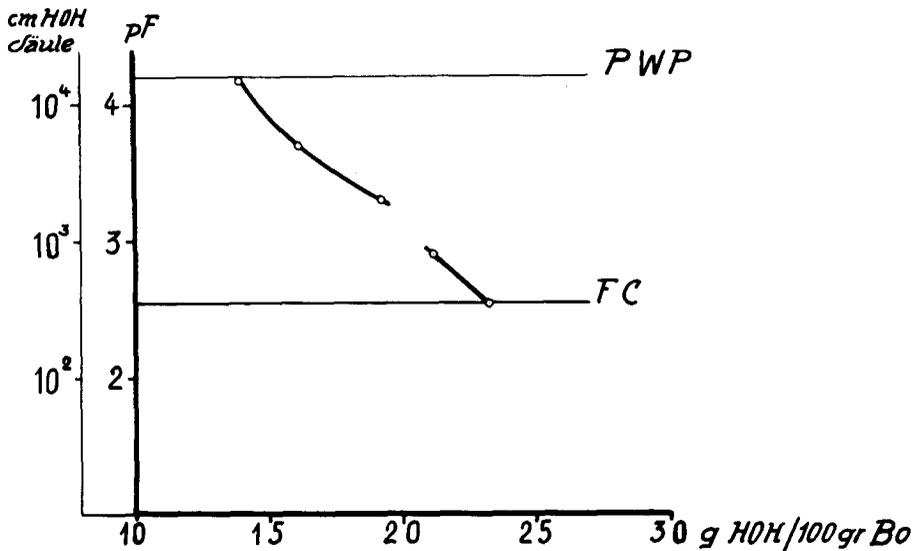


Fig. 1b: Teile der pF - Kurve des Versuchsfeldes "Untere Zelg", Rossberg, 1952.

Legende zu Fig. 1a und 1b:

PWP = permanenter Welkepunkt

FC = Feldkapazität (nach Richard, 1953)

Der Vergleich der beiden Kurven zeigt, dass die beiden Böden fast gleich grosse Feldkapazitäten aufweisen, während der permanente Welkepunkt beim sandigen Lehm des Feldes "Buchboden" erheblich tiefer liegt als beim schwach tonigen Lehm der "Unteren Zelg". RICHARD (1953) hat in seinen Versuchen die gleichen Beobachtungen gemacht. In seiner Arbeit "Ueber die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze" (1953) zeigt er die Abhängigkeit des Charakters der Sorptionskurve von der Porengrössenverteilung. Die Höhe des Wassergehaltes am permanenten Welkepunkt, die für jeden Boden einen charakteristischen Wert hat, ist ebenfalls von der Grössenverteilung der Poren abhängig. Der Feinporenanteil und damit der Wassergehalt am permanenten Welkepunkt wächst mit zunehmendem Tongehalt.

Beide Kurven wurden in zwei Teilstücken dargestellt, da die Feldkapazität und der nächste Wert nicht mit der gleichen Apparatur wie die drei tieferen Wassergehalte bestimmt worden sind.

Auf Grund von Entwässerungsversuchen dieser Art hat SEKERA (1938) eine einfache Einteilung des Bodenwassers vorgeschlagen:

- a. leicht bewegliches Wasser, das durch Saugdrucke bis 0,1 Atmosphären entfernt werden kann.
- b. normal bewegliches Wasser, das bei Saugdrucken von 0,1 - 1 Atmosphären wegdrainiert werden kann.
- c. träge bewegliches Wasser, das sich erst bei Saugdrucken von mehr als 1 Atmosphäre entfernen lässt.

SEKERA glaubt, dass das träge bewegliche Wasser von der Pflanze nicht mehr ausgenutzt werden kann. Diese Grenze scheint uns zu tief festgesetzt zu sein, da SCHOFIELD und andere englische und amerikanische Autoren den Welkepunkt für die meisten Böden bei einem  $pF$  von ungefähr 4,2 angeben.

SEKERA gibt für jede Klasse des Bodenwassers die Porengrösse in Form von Äquivalentdurchmessern an. Das ist jedoch sehr gewagt, da in natürlich gelagerten Böden niemals ideale Kapillaren vorkommen können. In unseren Versuchen werden wir deshalb immer nur von Saugspannung oder Tension sprechen.

DONAT (1937) und SEKERA (1938) haben fast gleichzeitig eine Methode zur Bestimmung der Porengrößenverteilung in Bodenproben auf Grund der Vorschläge von FISCHER (1937) angegeben. Es scheint, dass sich diese Arbeiten z. T. auf diejenige von SCHOFIELD (1935) stützen. Die Apparate von DONAT und SEKERA bestehen aus einer Glassinternutsche, die durch einen Schlauch mit einer Messbürette verbunden ist. Dieser sog. Kapillarimeter wird mit Wasser gefüllt, sodass durch Heben oder Senken der Messbürette oder des Ausgleichgefässes verschiedene Saugspannungen eingestellt werden können. Auf diese Weise kann eine auf die Glassinterplatte gestellte Bodenprobe Tensionen bis 200 cm Wassersäule ausgesetzt werden. Die entzogenen Wassermengen können an der Messbürette abgelesen werden.

Mit dem Apparat in dieser Ausführung kann zur Hauptsache nur das "leicht bewegliche Wasser" untersucht werden. SEKERA (1938) hat daher diesen Kapillarimeter weiter entwickelt. Er stellt den Saugdruck mittels eines Vakuums her, da beim Wasserkapillarimeter die Gefahr besteht, dass unter hohen Saugspannungen die im Bodenwasser gelösten Gase sich unter der Glassinterplatte abscheiden und so das Abreißen der Wassersäule bewirken können. Das Vakuum, das genau eingestellt werden kann, wird durch eine Wasserstrahlpumpe erzeugt und mit einem Quecksilbermanometer kontrolliert. Auf diese Weise ist es möglich, Saugspannungen bis zu einer Atmosphäre zu erreichen; mit anderen Worten: man kann auch das "normal bewegliche Wasser" im Sinne von Sekera aus dem Boden entfernen.

Die Idee des Kapillarimeters schien ebenfalls unseren Zwecken zu dienen. Für unsere Serienuntersuchungen benötigten wir aber Platten grösseren Ausmasses.

Als Kapillarimetermembran verwendeten wir vorerst Gipsplatten von 40 auf 60 cm und 2 cm Dicke. Diese wurden in Blechwannen luftdicht eingebaut. Der Apparat (Bild No. 1) wurde so mit Wasser gefüllt, dass unter der Platte keine Luftblasen vorhanden waren. Mit dieser Einrichtung war es möglich, gleichzeitig ungefähr 30 Bodenproben pro Platte zu entwässern. Die Proben waren in der Regel nach ca. 24 Stunden gewichtskonstant, sodass man die nächst höhere Saugspannungsstufe einstellen konnte. Vor der Entwässerung sättigten wir die Proben nach

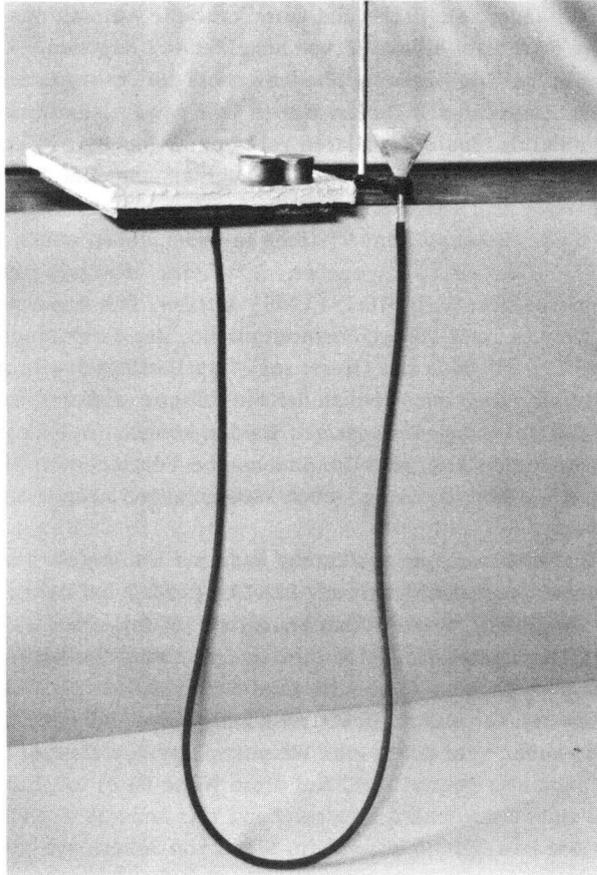


Abb. 1: Kapillarimeter mit Gipsplatte.

der im Kapitel II,2 beschriebenen Methode. Die Proben wurden vor und nach der Sättigung, vor jeder Aenderung der Saugspannung und nach dem Trocknen gewogen. Aus diesen Wägungen konnten wir die Wassergehalte vor und nach der Sättigung, sowie die Gewichtsverluste nach jeder Saugspannungsstufe berechnen. Jede Probe war in sechs Wiederholungen vorhanden.

Die Gipsplatten haben sich im Prinzip sehr gut bewährt. Beim Nachfüllen der Blechwannen mit Wasser bestand aber die Gefahr, dass die Platte zerbrach. Wir haben uns daher entschlossen, in der folgenden Versuchsperiode eine Membransubstanz zu verwenden, die eine ähnliche Porosität aufweist wie Gips, aber weniger starr ist. LEAMER und SHAW (1941) benützten für ihren Apparat starke Fliesspapiere. Es schien uns jedoch, dass diese unseren Anforderungen nicht genügen würden. Dr. FREI von der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Zürich-Oerlikon hat uns in einer Diskussion auf die Asbesttensionsplatten von JAMISON und REED (1949) aufmerksam gemacht. Untersuchungen über die Brauchbarkeit der Asbestplatten von 4 mm Dicke haben zur vollen Befriedigung geführt. Die Grenze für ihre Verwendung liegt ungefähr bei 400 cm Wassersäule. Weitere Vorteile sind, dass die Platten nach dem Gebrauch gereinigt werden können und man sie auch nach einer eventuellen Austrocknung wieder in Gebrauch nehmen kann. Auf Grund dieser erwünschten Eigenschaften haben wir die Gipsplatten durch Asbestplatten ersetzt. Die Proben wurden genau gleich behandelt wie bei der Verwendung der Gipsplatten. Aus Versuchen russischer Forscher (BAVER, 1948, S. 191) geht hervor, dass Bodenbearbeitungsverfahren hauptsächlich auf die grösseren Poren einen Einfluss haben. Aus diesem Grunde war es notwendig, eine feinere Abstufung der Saugspannungen innerhalb relativ enger Grenzen vorzunehmen. Aus versuchstechnischen Gründen haben wir drei Stufen gewählt: 50 cm, 100 cm, 150 cm Wassersäule. Auf diese Weise war es möglich, die Grenze der Wirksamkeit der Bearbeitungsgeräte auf die Porengrösse festzustellen. Die Verteilung der feineren Poren hängt von der Bodenart ab und wird von der Bearbeitung kaum beeinflusst.

## 7. Die Krümelanalyse

Neben der Hohlraumgliederung, die durch die Verteilung der festen Bodenteile bestimmt wird, ist es bei Strukturuntersuchungen notwendig, die Grössenanteile der Krümel zu untersuchen. Wie wir schon festgestellt haben, ist die Stabilität der Krümel eines der wichtigsten Merkmale der Bodengare. Die Aufgabe der Krümelanalyse besteht darin, die Anteile der verschiedenen Krümelgrössen und deren Dauerhaftigkeit im Laufe der Versuchsperiode festzustellen.

Nach LEUTENEGGER (1950) bestehen für die Krümel verschiedene Defini-

tionen, die auf deren Grösse, Eigenschaften, Bildungsursachen oder auf ihrem Verhalten basieren. FREI (1944) fasst die zusammengesetzten Bodenteilchen von weniger als 0,2 mm bis mehr als 10 mm Durchmesser unter den Begriff "Vielfachteilchen" zusammen. Er versteht darunter "Zusammenlagerungsprodukte mehrerer, durch Hauptvalenzen mit geringer integraler Bindefestigkeit untereinander verbundener Einzelteilchen; sie lassen sich durch Zusatz von Dispersionsmitteln, durch geeignete Peptisationsmittel oder durch schwache physikalische Einwirkung in ihre Einzelteile zerlegen." Er unterteilt die Vielfachteilchen je nach ihrer Dispersität in die folgenden Fraktionen (1950):

a. Mikroaggregate: Der Äquivalentdurchmesser der Teilchen ist kleiner als 0,2 mm.

b. Makroaggregate: (Krümel). Der Äquivalentdurchmesser der Teilchen liegt zwischen 0,2 mm und 10 mm.

c. Klumpen: Ihre Äquivalentdurchmesser sind grösser als 10 cm.

Diese Vielfachteilchen können noch durch Wurzelfauna oder durch Verklebung zu Vielfachteilchenaggregaten zusammenschliessen.

Nach russischen Forschungen (KRAUSE, 1931) liegt die optimale Krümelgrösse in bezug auf den Pflanzenertrag bei 2-3 mm Durchmesser. Diese Ergebnisse werden von HELMICH (1941) bestätigt. Da solche Untersuchungsergebnisse nur sehr vereinzelt vorliegen, sollen sie nicht verallgemeinert werden (HELMICH, 1941).

Die Stabilität der Krümel ist nach FREI (1944) umso grösser:

a. je mehr kolloide Bindesubstanz vorhanden ist,

b. je mehr Koagulatoren, besonders Ca - und  $PO_4$  - Ionen an den Bodenoberflächen absorbiert sind,

c. je intensiver die Lebendverbauung der Krümel durch Mikroorganismen und Feinwurzeln ist.

Für die direkte Bestimmung der Krümelstabilität besteht noch keine direkte Methode. Man unterscheidet daher wasserbeständige und im Wasser zerfallende Krümel.

Es handelt sich nun darum, eine Methode auszuwählen, die erlaubt, die verschiedenen Grössenanteile der Vielfachteilchen festzustellen. Die Bedingungen sind, dass die Teilchen einer möglichst geringen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt sind und dass die Methode ein rasches Arbeiten gewährleistet.

Auf Grund der Erfahrungen von LEUTENEGGER (1950) haben wir dessen Spülmethode, die auf dem Verfahren von TJULIN (Krause, 1931) aufbaut, verwendet. LEUTENEGGER hat den Apparat und dessen Arbeitsweise in seiner Dissertation eingehend beschrieben.

Da die Proben für die Analysen wegen der Verstopfung der Siebe sehr klein gehalten werden müssen (10 gr Trockengewicht), haben wir sechs Wiederholungen

vorgenommen. Wir haben fünf Siebe verwendet, sodass wir sechs Fraktionen erhielten; nämlich Teilchen von  $>4$  mm; 2 - 4 mm; 1 - 2 mm; 0,5 - 1 mm; 0,25 - 0,5 mm und  $<0,25$  mm Durchmesser. In den grössten vier Fraktionen wurden die Gewichtsanteile der Steinchen bestimmt und vom Gewicht der einzelnen Fraktionen abgezählt. Die einzelnen Gewichtsanteile wurden in Prozenten der ganzen Probe ohne Steinchen ausgedrückt.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es von Vorteil ist, die Proben vor der Analyse anzufeuchten. Auf diese Weise kann die Schlämmdauer auf eine halbe Stunde herabgesetzt werden.

## 8. Die Bestimmung der biologischen Bodenaktivität

Der Lebensraum der Hohlräumbewohner des Bodens, d. h. jener Bodenlebewesen, die nicht graben können, wird durch das Porenvolumen bestimmt. STÖCKLI (1946) unterscheidet innerhalb dieser Organismengruppe noch zwei Untergruppen, nämlich die Organismen mit festem Körperbau und jene mit veränderlicher Körperform. Die erste Untergruppe kann nur jenen Teil des Porenvolumens bewohnen, deren Hohlräume gleich oder grösser sind als der grösste Körperdurchmesser. Den Organismen der zweiten Untergruppe dient das ganze Porenvolumen als Lebensraum ohne jene Hohlräume, deren Durchmesser kleiner sind als der kleinstmögliche Durchmesser der Mikroben. Die Grössenverteilung der Poren spielt demnach für die Ausbreitung der Mikroorganismen ebenfalls eine Rolle.

Das Porenvolumen, besonders aber die Grössenverteilung der Hohlräume, wird durch die Bodenbearbeitung mit verschiedenen Geräten verschieden beeinflusst. Im Hinblick auf die Bedeutung der Tätigkeit der Mikroorganismen ist es wichtig, die Wirkung der Bearbeitungsverfahren auf die Aktivität der Hohlräumbewohner zu untersuchen. RICHARD (1945) definiert die biologische Bodenaktivität als die "Gesamtheit aller biologisch-physikalischen und biologisch-chemischen Vorgänge im Boden, die auf die Tätigkeit der höheren Pflanzen, der Mikroflora und -fauna wie auch der höheren Bodentiere zurückzuführen sind."

Es besteht eine überraschend grosse Zahl von Methoden, die die quantitative Erfassung der biologischen Aktivität zum Ziele haben. LUNDEGÅRD (1924) z.B. misst die Kohlensäuremenge, die pro Zeiteinheit einer bestimmten Bodenfläche entströmt. Auf diese Weise erhält man Vergleichswerte jener Vorgänge der biologischen Aktivität, deren Endprodukt u. a.  $\text{CO}_2$  ist. Bei einer weiteren Methode wird die Nitratbildung geprüft (WAKSMAN, 1930). Die Resultate dieser Laboratoriumsmethode können nach RICHARD nicht ohne weiteres ein Bild des Nitrifizierungsvermögens des gewachsenen Bodens unter Feldbedingungen geben. Der

C:N-Quotient der organischen Bodensubstanz ist die Grundlage einer dritten Methode zur Bestimmung der biologischen Bodenaktivität (RICHARD, 1945). Hohe C:N-Quotienten (über 15) bedeuten einen sehr geringen Abbau der ursprünglichen Humusbildner. Die Bakteriologen schliessen anhand von Keimauszählungen auf den mikrobiologischen Zustand des Bodens. Nach STÖCKLI (1946) erhält man aber auf diese Weise zu hohe Keimzahlen, da auch die toten Exemplare mitgezählt werden.

Alle diese Methoden bedürfen entweder teurer Apparaturen oder viel Zeit. Sie eignen sich daher wenig für Serienuntersuchungen. RICHARD (1945) hat eine Methode ausgearbeitet, die es erlaubt, einen wichtigen Ausschnitt aus der biologischen Aktivität zu erfassen. Er schlägt vor, normierte Zellulose- und Eiweiss-testschnüre mittels langer Nadeln horizontal in das Bodenprofil einzuziehen und nach bestimmten Versuchszeiten auf ihren Abbau durch den sog. Reisstest zu untersuchen. Die Vorteile dieser Methode sind die folgenden:

- a. geringe Kosten,
- b. die Untersuchungen sind am natürlich gelagerten Boden unter Feldbedingungen möglich,
- c. Erfassung einer grossen Artenzahl von Mikroorganismen, die den Abbau von Pflanzenresten bewirken,
- d. die Auswertung der Schnüre ist nach der Versuchsperiode noch möglich.

In unseren Versuchen haben wir uns wegen der Kürze der Versuchsperiode nur auf die Zelluloseschnüre beschränkt. Sie sind bei jedem Bearbeitungsverfahren in viermaliger Wiederholung in Tiefen von 3 cm, 7 cm, 12 cm und 20 cm horizontal eingezogen worden. In der Regel liessen wir sie zwei bis drei Wochen im Boden, um sie anschliessend auf ihre Reissfestigkeit zu prüfen. Zu diesem Zweck werden die ungefähr 50 cm langen Schnüre in Stücke von 3 cm zerschnitten und mit jedem Stück der Reisstest mittels eines speziellen Reissapparates durchgeführt. Der Durchschnitt aller Resultate einer Schnur wird umgerechnet auf die Abnahme der Reissfestigkeit pro Tag, ausgedrückt in Prozenten der Reissfestigkeit der frischen Zelluloseschnur.

## 9. Die Ermittlung der Bodentemperatur

Die Intensität chemischer und biologischer Vorgänge ist von der Temperatur abhängig. Nach dem Gesetz von Van't Hoff verdoppelt oder verdreifacht sich die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen mit jeder Temperaturzunahme von 10 Grad C. Mit steigenden Temperaturen werden auch die Lebensvorgänge im Boden bis zu einem gewissen Optimum intensiviert. Die Nitrifikation z. B. beginnt erst bei einem bestimmten Temperaturminimum (ca. 4 Grad C), wird aber bis zu

einem Temperaturoptimum (ca. 28 Grad C) gesteigert. Die optimalen Keimungstemperaturen der Pflanzen variieren sehr stark.

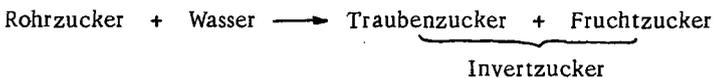
Die Bodentemperatur hängt in der Hauptsache von den folgenden Faktoren ab:

1. von der Wärme, die der Boden absorbiert,
2. von der Wärmeenergie, die für eine bestimmte Temperaturänderung in einem bestimmten Bodenvolumen (incl. Wasser) nötig ist,
3. von der Energie, die für Vorgänge physikalischer Art, wie z. B. die Verdunstung, verbraucht wird,
4. von der Leitfähigkeit des Bodens,
5. von der Wärmeausstrahlung. (Lyon and Buckman, 1952).

In unseren Versuchen sind vor allem der zweite und dritte Punkt von Bedeutung, da die Bodenfarbe und die Exposition auf einem Versuchsfeld einheitlich sind. Die Wärmeenergie, die für eine Temperaturänderung des Bodens nötig ist, hängt sehr stark vom Wassergehalt ab. Da die verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren die Bodenfeuchtigkeit beeinflussen, wird die Intensität der Erwärmung und der Abkühlung des Bodens in Mitleidenschaft gezogen.

Diese Ueberlegungen haben dazu geführt, die Bodentemperaturen der verschieden bearbeiteten Parzellen zu messen. Die Frage nach der Methode war leicht zu entscheiden, da eine elektrische Temperaturmessung, z. B. mit Thermoelementen, wegen der grossen Zahl von Messtellen zum vorneherein nicht in Frage kam. An Einzelwertmessungen mit Quecksilberthermometern war wegen der hohen Kosten und wegen des grossen Zeitaufwandes für die Ablesungen nicht zu denken. Die von PALLMANN (1940) und Mitarbeitern entwickelte Methode war für unsere Zwecke am besten geeignet. Das Prinzip dieses Messverfahrens besteht darin, dass die Mitteltemperatur eines bestimmten Zeitintervalles aus der Inversionsgeschwindigkeit des in der Pufferlösung gelösten Rohrzuckers polarimetrisch bestimmt wird. Die Ampullen mit der Zucker-Pufferlösung können an beliebigen Orten ausgelegt oder in den natürlich gelagerten Boden eingegraben werden.

Der chemische Vorgang folgt der Gleichung:



Die Temperatur beeinflusst die Inversionsgeschwindigkeit bei konstanter Wasserstoffjonenkonzentration sehr stark. Je höher die Temperatur, desto rascher spaltet sich der Rohrzucker. Der Inversionsbetrag kann polarimetrisch gemessen werden, da die optische Aktivität des Rohrzuckers und des Invertzuckers nach Vorzeichen und Ausmass sehr unterschiedlich ist.

Die Inversionskonstante  $K_T$  wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$K_T = \frac{1}{H \cdot t} \cdot \log \frac{(\alpha_0 - \beta_0)}{(\alpha - \beta_0)} \quad (\text{III})$$

$K_T$  = Mittelkonstante \*) für die wirksame Mitteltemperatur

$H$  = Wasserstoffjonenkonzentration der Lösung

$t$  = Zeit (bei unseren Versuchen in Tagen)

$\alpha_0$  = optischer Drehwinkel des Rohrzuckers zur Zeit  $t = 0$  (positiv)

$\beta_0$  = optischer Drehwinkel zur Zeit  $t = \infty$  (negativ)

$\alpha$  = optischer Drehwinkel der partiell invertierten Zuckerlösung zur Zeit  $t$ .

Mit der folgenden Gleichung wird die Temperatur  $T$  berechnet:

$$T = \frac{\log K_T - B}{m} \quad (\text{IV})$$

$B$  und  $m$  sind Konstante einer Geradengleichung. Für das Temperaturgebiet von  $-2$  Grad C bis  $+28$  Grad C gelten:

$$B = -1,2200 \quad \text{und} \quad m = 0,0720 \quad (\text{für pH } 2,90)$$

Für dieses Temperaturgebiet stellt die Gleichung (IV) eine Gerade dar. Bei der Feststellung der mittleren wirksamen Temperatur ist es daher notwendig, die Mittelkonstante  $K_T$  zu berechnen. Die Temperatur lässt sich dann aus der graphischen Darstellung der Gleichung (IV) ablesen ( $eT$  - Zahl).

Die mittlere wirksame Temperatur hat exponentiellen Charakter. Sie liegt zwischen den Extremtemperaturen. Sie ist aber immer höher als die arithmetische Mitteltemperatur, da die höheren Temperaturen sich auf die  $eT$  - Zahl stärker auswirken als die niederen. Der Grund für dieses Verhalten liegt in der Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von der Temperatur. Wir erinnern an das am Anfang dieses Abschnittes erwähnte Gesetz von Van't Hoff.

---

\*) Die Mittelkonstante  $K_T$  stellt einen Mittelwert aller Inversionskonstanten  $K_T$  der auf die Zucker-Pufferlösung, in bestimmten Zeitabschnitten (Etappen) konstanten, wirkenden Temperatur dar. Sie ist ein Mittelwert aller Etappenkonstanten.

## B. SPEZIELLER TEIL

### I. DIE METHODEN DER STOPPELBEARBEITUNG UND DEREN ANORDNUNG AUF DEN VERSUCHSFELDERN

Während dreier Versuchsperioden wurden verschiedene Methoden der Bearbeitung der Teilbrache und der Herrichtung des Saatbettes vergleichend geprüft. Wir untersuchten, wie sich die einzelnen Verfahren auf die Bodenbeschaffenheit und auf das Wachstum der Pflanzen auswirkten. Die Versuche wurden in der Regel nach Winterweizen durchgeführt und die Wirkungen der verschiedenen Bearbeitungsverfahren an Wickhafer geprüft. Nach dem Schnitt des Zwischenfutters wurde das ganze Versuchsfeld einheitlich gepflügt und im folgenden Frühling mit Sommergetreide besät.

Die untersuchten Bearbeitungsverfahren sind die folgenden:

- a. Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der gepuppten Garben, d. h. 10 - 15 Tage nach dem Schnitt; zweite Behandlung vor der Saat.
- b. Scheibenegge: Erste Bearbeitung sofort nach dem Schnitt des Getreides (Scheibenegge am Garbenbinder angehängt); zweite Behandlung unmittelbar vor der Saat.
- c. Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode a.
- d. Schälflug ohne Eggenstrich: 5 - 8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e. Schälflug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode d.
- f. Unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g. Normalpflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode d. Tiefe 15 - 20 cm.

Die vergleichenden Untersuchungen über die Auswirkungen dieser Methoden bedingen, dass sie alle auf einem Felde angelegt werden. Die statistische Bewertung der Resultate verlangt weiterhin, dass in diesem Falle mindestens drei bis vier Wiederholungen durchgeführt werden. Die Verfahren wurden auf parallelen Streifen in zufälliger Reihenfolge angeordnet; quer dazu säte man den Wickhafer

so, dass drei besäte Blöcke entstanden. Auf diese Weise konnten drei Wiederholungen jeder Methode untersucht werden. Im ersten Versuchsjahr wurden auf einem Versuchsfeld, im 2. und 3. Jahr auf allen Feldern die Bearbeitungsverfahren je einmal wiederholt, sodass wir auf einem Versuchsfeld pro bebautes und unbebautes Verfahren je sechs Wiederholungen erhielten. (Fig. 2).

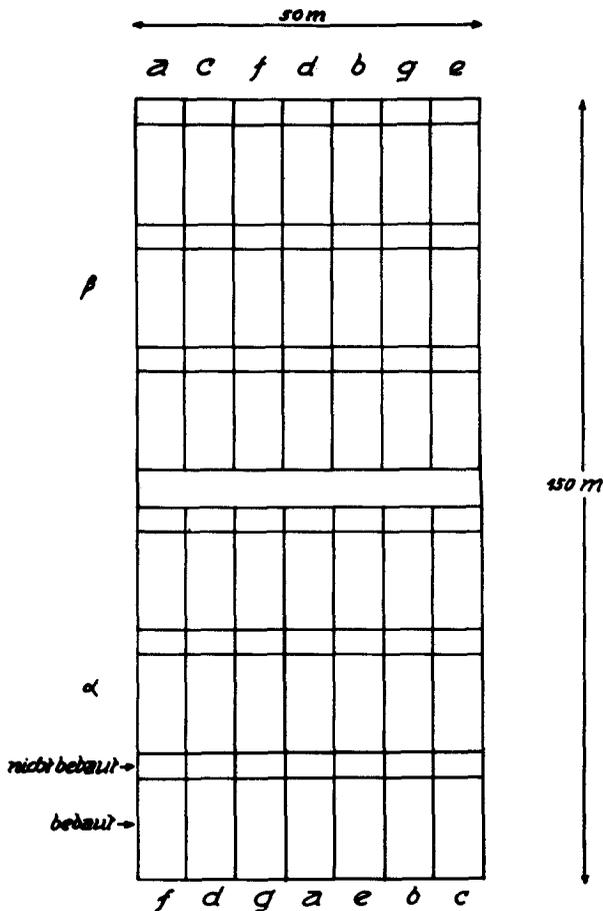


Fig. 2: Beispiel eines Versuchsplanes.

In der ersten Versuchsperiode wurden die Bearbeitungsversuche auf fünf verschiedenen Betrieben angelegt, während sie in den beiden letzten Perioden nur noch auf drei durchgeführt wurden. In jedem Jahr nahmen wir mit geringfügigen Ausnahmen auf einem Versuchsfeld alle aufgezählten Untersuchungen vor; auf den andern wurden nur einzelne Messungen ausgeführt. Eine exakte Verfolgung der Veränderungen der Bodenstruktur verlangt mehrmalige Probenahmen in kürzeren Abständen.

Sämtliche Resultate von Messungen und Berechnungen wurden mittels der Varianzanalyse ausgewertet. (LINDER, 1950/51; SNEDECOR, 1950).

## II. DIE ERGEBNISSE DER EINZELNEN VERSUCHE

### 1. Die Böden der Versuchsfelder der Jahre 1950 - 1952.

Bei der Auswahl der Versuchsfelder wurden einerseits verschiedene klimatische Bedingungen und andererseits verschiedene Bodenarten berücksichtigt. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen \*) sind in Tabelle 1 auf Seite 30 zusammengestellt.

### 2. Die Versuche des Jahres 1950.

Die Versuche dieser Periode dienten hauptsächlich der Prüfung der Methoden und zur Sammlung von Erfahrungen in bezug auf die Durchführung solcher Versuche. Sie wurden auf dem Versuchsgut der ETH, Rossberg-Kempththal, auf den Betrieben der landwirtschaftlichen Schulen Strickhof, Zürich, und Affoltern am Albis, auf dem Betrieb des stadtzürcherischen Männerheimes in Rossau, sowie auf dem Sentenhof bei Muri durchgeführt. Leider konnten wir nur vier Versuche auswerten, da die Resultate des fünften Versuches wegen fehlerhafter Anlage nicht brauchbar waren.

#### a. Der Versuch auf der landwirtschaftlichen Schule Strickhof, Zürich.

Der Hauptversuch dieser Periode wurde in der Zeit zwischen dem 21. und dem 27. Juli auf dem Feld Neubühl angelegt. Die Saat des Wickhafers erfolgte am 27. Juli.

---

\*) Die Bodenanalysen wurden in freundlicher Weise durch die Eidg. landwirtschaftliche Versuchsanstalt in Zürich-Oerlikon besorgt.

Tabelle 1: Bodenverhältnisse der Versuchsfelder 1950 - 1952.

Bezeichnung der Probe Bodenart	pH	CaCO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Zahl	K <sub>2</sub> O mg/100 g	Ton %	Schluff %	Sand %	Humus %
<u>1950</u>								
<u>Rosberg</u> : humoser kalkhaltiger schwach sandiger Lehm	7,0	2,5	18,5	2,5	24,6	20,3	55,1	5,6
<u>Affoltern a. A.</u> : schwach humoser schwach sandiger Lehm	6,8	0,3	6	1,3	24,2	24,6	51,2	4,9
<u>Rossau</u> : schwach humoser schwach sandiger Lehm	6,7	Spur	17	0,5	-	-	-	-
<u>Sentenhof</u> : schwach humoser kalkhaltiger schwach sandiger Lehm	7,3	1,9	62	8,8	20,5	21,5	58,0	4,5
<u>Strickhof</u> : schwach humoser kalkhaltiger schwach toniger Lehm	7,0	0,5	8	0,2	27,1	23,3	49,6	4,8
<u>1951</u>								
<u>Rosberg</u> : schwach humoser kalkhaltiger schwach sandiger Lehm	7,5	3,0	33	5,3	19,5	19,9	56,6	4,0
<u>Strickhof</u> : schwach humoser kalkreicher schwach toniger Lehm	7,95	11,0	17,5	2,6	32,4	20,9	43,0	3,7
<u>Rheinau</u> : schwach humoser sandiger Lehm	6,8	0,1	15,5	1,6	16,8	15,8	64,9	2,5
<u>1952</u>								
<u>Rosberg</u> : schwach humoser schwach toniger Lehm	7,1	0,1	26	2,2	-	-	-	2,6
<u>Strickhof</u> : humoser kalkhaltiger schwach sandiger Lehm	7,7	1,9	24	1,8	-	-	-	4,3
<u>St. Katharinenthal</u> : schwach humoser sandiger Lehm	6,95	0,3	45	7,3	-	-	-	2,9

Anm. zu Tabelle 1 siehe folgende Seite.

Anm. zu Tabelle 1:

Bestimmung von P- und K-Vorrat : Extraktion mit  $\text{CO}_2$ -Wasser in Anlehnung an Dierks und Scheffer.

Bestimmung des Humusanteils: Titrationsmethode mit Kaliumbichromat.

Ton:  $< 2\mu$   
Schluff:  $2 - 20\mu$   
Sand:  $20\mu - 2\text{ mm}$

Wir untersuchten zu fünf verschiedenen Zeitpunkten den Wassergehalt, die Luftkapazität, die Luftdurchlässigkeit und die Grössenverteilung der Krümel. Die Bodentemperatur wurde während zweier Zeitabschnitte gemessen. Am 3. Oktober haben wir den Wickhafer geschnitten und die Erträge der verschieden bearbeiteten Parzellen bestimmt.

Ueber die Niederschläge und die Temperaturverhältnisse geben die folgenden graphischen Darstellungen (Fig. 3) Auskunft: (Die Werte wurden in freundlicher Weise von der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich zur Verfügung gestellt).

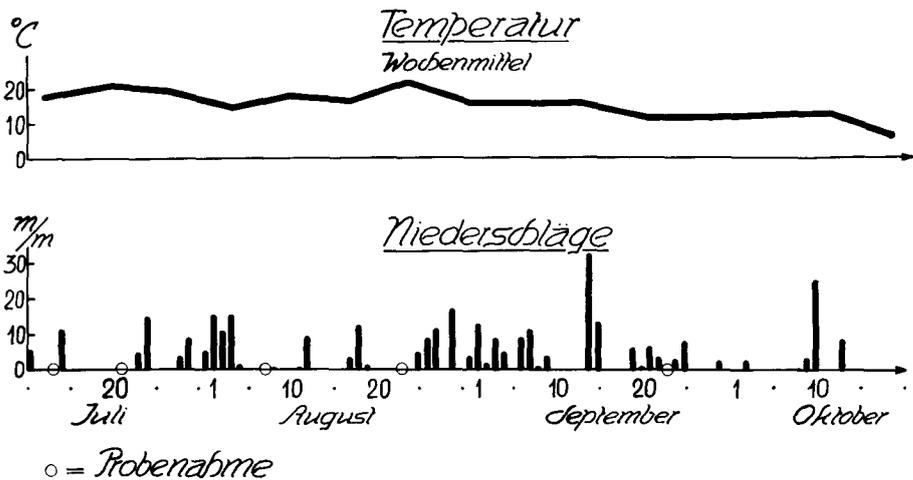


Fig. 3.

Tabelle 2: Wassergehalte in Gewichtsprozenten des trockenen Bodens auf dem Versuchsfeld Strickhof, 1950.

Bearbeitungs- methoden	14.7.	21.7.	7.8.		22.8.		15.9.	
	n.beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.
Vor Bearb.	23,9	19,5						
Scheibenegge a			27,4	26,1	27,2	26,3	31,2	31,5
Scheibenegge b		21,4	26,2	29,3	25,2	25,6	30,8	30,6
Kultivator c			25,4	26,0	24,8	25,1	31,9	30,7
Schälflug o.E. d			26,5	26,2	24,9	24,7	31,9	29,6
Schälflug m.E. e			27,1	28,7	27,0	28,5	30,0	30,7
unbehandelt f			-	24,9	-	24,8	-	29,5
Pflug mit Egge g			26,5	26,9	24,9	27,1	33,1	32,6
GD 5%			4,89		4,67		4,22	
F <sub>0,05</sub> Bearb.			1,89		0,99		0,94	
F <sub>0,05</sub> Saat <sup>1)</sup>			0,47		2,46		1,98	

Anm.: n. beb. = nicht bebaut; beb. = bebaut.

1) F<sub>0,05</sub> Saat bedeutet: F - Wert (für 5% Wahrscheinlichkeit) der Interaktion bebaut zu nicht bebaut.

Bevor wir auf die Besprechung dieser Resultate eintreten, geben wir einen kurzen Ueberblick über die Auswertung der Versuchsergebnisse. Als Beispiel greifen wir die Wassergehalte des Versuchsfeldes Strickhof vom 7. August 1950 heraus.

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen vom 7. August 1950.

Streuungsursache	F.G.	Quadratsumme	mittleres Quadrat	F - Test	F <sub>0,05</sub>
Bearb. verfahren	6	204,11	34,02	1,89	2,24
Wiederholungen	5	54,19	10,83	0,60	2,36
beb. / n. beb.	1	8,47	8,47	0,47	3,99
B x beb. / n. beb.	6	33,87	5,65	0,31	2,24
B x W	30	253,17	17,97 F.G. 65		
W x beb. / n. beb.	5	191,30			
Rest	30	723,74			
Insgesamt	83	1'468,85			

$$\text{Grenzdifferenz (GD) der Mittelwerte} = 1,998 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 17,97}{6}} = 4,89$$

Die F - Werte für die ersten vier Streuungsursachen der Tabelle 3 sind nicht gesichert \*). Die Grenzdifferenz, d. h. die kleinste gesicherte Differenz zwischen den Mittelwerten (least significant mean difference), ist grösser als alle Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Verfahren.

Die Proben wurden in der Regel nach zwei bis drei niederschlagsfreien Tagen (vgl. Fig. 3) genommen. Trotzdem zeigen sich weder gesicherte Unterschiede zwischen den Feuchtigkeitsgehalten der verschiedenen bearbeiteten Parzellen, noch besteht ein gesicherter Einfluss der Saat auf den Wassergehalt des Bodens.

Bei der näheren Betrachtung der Veränderung der Bodenfeuchtigkeit (Tabelle 2) auf den verschiedenen Streifen lassen sich doch einige Tendenzen aufdecken, die dann mit den übrigen Versuchen dieses Jahres verglichen werden können. Die Wassergehalte auf den bebauten und unbebauten Parzellen der Verfahren a und b der Scheibenegge sind bei der dritten und vierten Probenahme annähernd gleich gross, während sie bei der Pflugmethode g auf den bebauten Parzellen abnehmen. (22.8.) Die Verhältnisse liegen bei der Schälmmethode e ähnlich. Die Proben vom 15. September mussten aus organisatorischen Gründen nach einem nächtlichen Gewitterregen am folgenden Nachmittag genommen werden. Die Zunahme der Wassergehalte ist auf den gepflügten Parzellen grösser als auf den mit den Verfahren

\*) Einer Vereinbarung zufolge bezeichnet man stark gesicherte Werte (1%) mit \*\* und genügend gesicherte (5%) Werte mit \*.

a und b (Scheibenegge) bearbeiteten Streifen.

Wie wir im methodischen Teil erwähnt haben, wurden die Luftkapazitäten mit dem Pyknometer von VISSER gemessen. Zur Sättigung stellten wir in dieser Versuchsperiode die Proben 24 Stunden in ein Wasserbad und nicht auf den gesättigten Sand. Die rasche Wasseraufnahme und die Quellung der Proben bewirkten eine teilweise Zerstörung der Struktur. Trotz des Abtropfens der gesättigten Proben während einer Stunde konnte sich nicht alles Wasser entfernen, das nicht kapillar zurückgehalten wurde. Wir verweisen auf die früheren Ausführungen. Aus diesen Gründen haben wir so viele negative Werte für die Luftkapazität erhalten, dass wir gezwungen waren, auf zwei von sechs Wiederholungen zu verzichten. Die grosse Streuung innerhalb der Wiederholungen und die grossen Schwankungen innerhalb der Verfahren haben uns bewogen, die Resultate der Luftkapazitätsmessungen nicht zu veröffentlichen.

Es scheint aber, dass im allgemeinen die Parzellen der Pflugverfahren die höheren Luftkapazitätswerte aufweisen als die flach bearbeiteten Streifen.

Tabelle 4: Werte der Luftdurchlässigkeit in mm-Wassersäule auf dem Versuchsfeld Strickhof, 1950.

Bearbeitungs- methoden	14.7.	21.7.	7.8.		22.8.	
	n.beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.
Vor. Bearb.	17	28				
Scheibenegge a			109	85	17	24
Scheibenegge b			47	64	39	21
Kultivator c			89	91	27	17
Schälflug o. E. d			61	50	10	10
Schälflug m.E. e			48	31	19	15
unbehandelt. f			-	66	-	49
Pflug mit Egge g			74	46	15	12
GD 5%			35,59		21,90	
F <sub>0,05</sub> Bearb.			6,09*		3,84*	
F <sub>0,05</sub> Saat			0,95		7,83*	

Die einzelnen Messungen mit dem Durchlüftungsmesser von BUESS (1949) haben gezeigt, dass der Apparat schon bei geringen Veränderungen des Gefüges sehr stark reagiert. Die Streuung zwischen den einzelnen Messungen auf einer Parzelle sind deshalb sehr gross. Als Beispiel erwähnen wir die folgenden Zahlen:

Tabelle 5: Sechs Luftdurchlässigkeitsmessungen auf einer bebauten und auf einer nicht bebauten Parzelle am 22. August 1950.

Scheibenegge Methode a	bebaut	nicht bebaut
1	12	10
2	18	16
3	28	70
4	22	28
5	16	14
6	8	8
Mittel	17,3	24,3

Als Ursachen für diese grossen Schwankungen können Fuss- oder Hufspuren, Wagen- oder Traktorspuren, die vor der Bearbeitung entstanden, sowie grössere Steine unter der Messtelle in Frage kommen.

Auch bei dieser Untersuchung konnte erwartet werden, dass die Luftdurchlässigkeit der Parzellen, die mit dem Pflug bearbeitet worden waren, grösser ist als diejenige der mit der Scheibenegge behandelten Streifen. Die F - Werte für den Einfluss der Bearbeitung sind gesichert. Der Einfluss der Saat auf die Luftdurchlässigkeit ist bei diesem Versuch anlässlich der Probenahme vom 22. August ebenfalls gesichert.

Die Krümelanalyse wurde am 7. und am 22. August, sowie am 25. September durchgeführt. In der folgenden graphischen Darstellung sind die Resultate zusammengestellt.

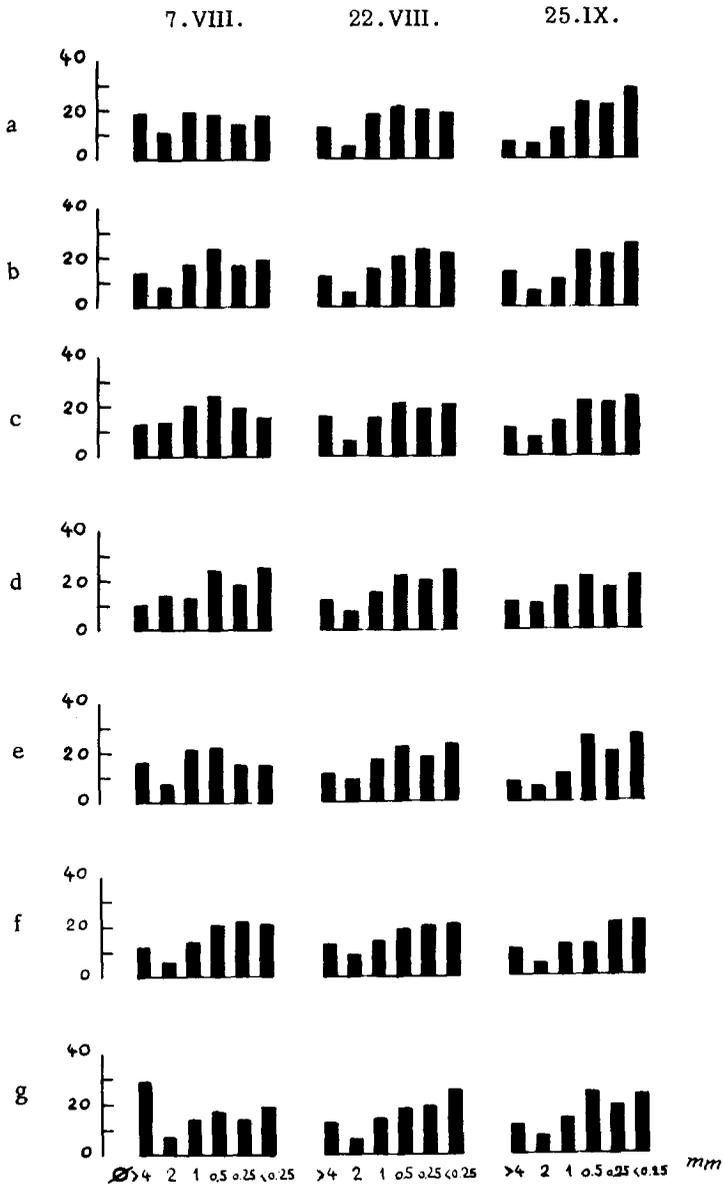


Fig. 4: Resultate der Krümelanalysen des Versuches Strickhof, 1950.

Legende zu Fig. 4:

- a: Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der Garben; zweite Bearbeitung vor der Saat.
- b: Scheibenegge: Erste Bearbeitung sofort nach dem Schnitt des Getreides (Scheibenegge an den Garbenbinder angehängt); zweite Behandlung unmittelbar vor der Saat.
- c: Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode a.
- d: Schälpflug ohne Eggenstrich: 5-8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e: Schälpflug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode d.
- f: unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g: Normalpflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode d. Tiefe: 15-20 cm.

Beim Vergleich der Krümelgrößenverteilung der verschiedenen Bearbeitungsmethoden kurz nach der Bearbeitung (7. August) stellt man fest, dass beim Tiefpflügen (g) die Bildung von Krümeln von mehr als 4 mm Durchmesser sehr stark gefördert wird, während bei der Bearbeitung mit der Scheibenegge (a,b) die prozentualen Anteile aller Krümelgrößen mehr oder weniger hoch sind. Das Schälen (d,e) und das Kultivieren (c) bewirken eine Vergrößerung der Anteile von Krümeln mittlerer Grösse, also von 0,5 bis mehr als 1 mm Durchmesser.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Veränderung der Krümelanteile, da diese einen Anhaltspunkt für die Stabilität gibt. Die Krümelzahl (LEUTENEGGER, 1950), d. h. die Summe der prozentualen Gewichtsanteile der Krümel mit einem Durchmesser von mehr als 0,5 mm, nimmt bei allen Verfahren ab. Besonders ausgeprägt ist diese Abnahme bei den Methoden der Scheibenegge.

Tabelle 6: Vergleich zwischen den Differenzen der Krümelzahlen der Methoden a und g im Jahre 1950.

Zeitspannen	Abnahmen der Krümelzahl		GD 5%	F <sub>0,05</sub>
	Scheibenegge (a)	Pflug m. Egge (g)		
7.8.-22.8.	6,07	14,23	12,75	1,98
22.8.-25.9.	14,67	- 5,07	11,74	14,12**
Summe der Abnahme	21,04	9,16	24,78	1,12

Wir haben diese beiden Methoden herausgegriffen, da die Werte der Verfahren a (Scheibenegge nach Abräumen des Feldes) für flachwirkende Bearbeitungsmethoden, diejenigen des Pflugverfahrens g für tiefer wirkende typisch sind.

Die Tendenz zur stärkeren Abnahme der Anteile der erwünschten Krümelgrößen geht deutlich aus dieser Zusammenstellung hervor. Die Abnahme der Krümelzahl geht bei der Methode a fast linear vor sich, während bei der Pflugmethode im ersten Abschnitt der Versuchsperiode eine sprunghafte Abnahme eintritt. Im zweiten Abschnitt kann man sogar eine leichte Zunahme feststellen, die hauptsächlich auf die Bildung von Krümeln von 0,5 mm - 1 mm Durchmesser aus kleineren Vielfachteilchen zurückzuführen ist.

Zur Bestimmung der Bodentemperatur wurden pro Parzelle drei Ampullen vergraben, sodass wir 18 Wiederholungen pro Verfahren erhielten. Wir konnten aber nur einen kleinen Teil (ca. 30%) der ausgelegten Ampullen auswerten, da die restlichen durch Kinder entfernt worden waren. Die Streuung dieser wenigen Werte innerhalb der Verfahren war zudem ziemlich gross, sodass man über die Temperaturverhältnisse nichts aussagen kann. Die Schwankungen der wirksamen Mitteltemperaturen lagen bei allen Verfahren zwischen 17 und 21 Grad C.

Nach unserer Ansicht ist die Beschaffenheit der Umgebung der Ampulle im Boden für die auf die Zuckerlösung wirkende Temperatur von grosser Bedeutung. Es ist nicht gleichgültig, ob z. B. mehrere Steine unmittelbar bei der Ampulle liegen oder ob sie zufälligerweise an einer stärker durchlüfteten Stelle des Bodens liegt. Im ersten Fall ist ein höherer Temperaturwert zu erwarten, da sich die Steine nachts weniger rasch abkühlen. Wir haben u. a. auch aus diesem Grunde die grosse Zahl an Wiederholungen gewählt.

Beim Aufgehen des Wickhaferers konnten keine Unterschiede zwischen den verschieden bearbeiteten Streifen festgestellt werden, da nach der Saat mit kurzem Unterbruch reichlich Regen fiel. Die allgemeine Beurteilung der Wuchshöhe und der Dichte des Herbstfutters ergab, dass es auf den mit dem Pflug bearbeiteten Parzellen mastiger und dichter stand als auf den mit der Scheibenegge oder mit dem Kultivator behandelten Teilfeldern. Der Unkrautwuchs und das Aufgehen des Ausfallgetreides ging auf allen brachen Parzellen parallel. Auf den tief bearbeiteten Teilfeldern keimte das Unkraut und das Ausfallgetreide weniger rasch und zahlreich als auf den flach geritzten Parzellen.

Tabelle 7: Erträge des Herbstfutters (Wickhafer) auf dem Versuchsfeld Strickhof, 1950.

	a	b	c	d	e	g	GD 5%	F 0,05
Trockensubstanz q/ha	20,3	21,2	20,4	19,0	21,7	19,9	2,23	1,58

Die Erträge der verschiedenen Parzellen sind sehr ausgeglichen. Den höchsten Ertrag lieferten die mit Schälplug und Egge (Methode e) bearbeiteten Parzellen. Die Unterschiede sind aber nicht gesichert.

Ueberblickt man die Teilresultate der verschiedenen Bearbeitungsverfahren, so stellt man, besonders anhand der Wassergehalte, der Luftkapazität und der Krümelanalyse, fest, dass die Scheibenegge eine verdichtende Wirkung auf den Boden hat. Sie fördert die Bildung von feinen, nur mit Wasser gefüllten Poren. Diese Verdichtung hat sich nicht auf den Ertrag ausgewirkt.

#### b. Die übrigen Versuche des Jahres 1950.

Auf vier anderen Betrieben wurde je ein weiterer Bodenbearbeitungsversuch durchgeführt. Die Resultate sind mit denjenigen des Hauptversuches nicht restlos vergleichbar, da andere Faktoren, vor allem andere Böden und andere Witterungen, wirkten. Zudem konnte man mit der Probenahme nach einem Regen nicht immer lange genug warten. Es ist jedoch angezeigt, dass die Tendenzen dieser Versuche mit denjenigen des Hauptversuches verglichen werden.

Alle vier Versuche wurden im gleichen Zeitraum wie der Hauptversuch angelegt, nämlich zwischen dem 20. Juli und dem 5. August. Eine Ausnahme bildete jedoch das Datum der Saat auf dem Versuchsfeld Rossberg. Infolge einer langdauernden Regenperiode in den ersten beiden Wochen des Monats August konnte die Saat erst am 22. August ausgeführt werden.

Bei der Prüfung der Wassergehalte (Tabelle 8) der verschiedenen Versuchsfelder fällt auf, dass im allgemeinen zwei Hauptgruppen von Bearbeitungsverfahren unterschieden werden können. Die eine Gruppe von Methoden, deren Parzellen in der Regel höhere Wassergehalte aufweisen, umfasst die Bearbeitungen mit der Scheibenegge und dem Kultivator, während die gepflügten Teilfelder geringere Feuchtigkeit besitzen. Die unbearbeiteten Streifen zeigen in den meisten Fällen eine Tendenz zu geringerem Wassergehalt. Diese Feststellungen decken sich mit den Resultaten des Hauptversuches auf dem Strickhof.

Die Resultate des Versuches auf dem Sentenhof konnten nicht ausgewertet werden, da bei der Anlage Fehler vorgekommen sind.

Tabelle 8: Wassergehalte in Gewichtsprozenten des trockenen Bodens auf den Versuchsfeldern Rossberg, Affoltern und Rossau, 1950.

Bearbeitungs- methoden	Rossberg				Affoltern				Rossau				
	20.7.	26.7.	26.8.	30.9.	19.7.	23.7.	31.7.	16.8.	9.9.	12.7.	19.7.	9.8.	9.9.
Vor Bearb.	24,9	25,2			19,1	27,5				25,1	24,4		
Scheibenegge a beb.				37,3			26,3	23,0	36,4			27,7	32,2
n. beb.			37,5	33,7			26,3	28,7	37,3			27,5	33,5
Scheibenegge b beb.				34,5			22,8	25,8	36,0			27,5	31,1
n. beb.			32,2	29,1			25,9	26,6	33,8			27,5	29,7
Kultivator c beb.				33,3			24,3	23,9	35,7			29,6	33,4
n. beb.			35,8	32,0			26,2	26,6	35,0			32,3	34,1
Schälflug o.E. d n. beb.				34,4			23,4	26,3	30,3			26,1	27,3
Schälflug m.E. e beb.				32,8			24,2	23,7	35,9			25,1	31,5
n. beb.			33,7	31,8			23,0	25,7	34,9			27,2	31,8
unbehandelt f			26,8	30,9			24,6	24,5	37,0			27,0	28,3
Pflug m. Egge g beb.				30,9			25,1	25,8	34,6			27,1	31,7
n. beb.			29,1	27,8			23,2	25,8	33,7			28,2	31,1
GD 5%			6,08	5,87			4,23	3,11	6,61			7,25	3,72
F <sub>0,05</sub> Bearb.			1,02	1,84			0,85	2,17	0,03			1,62	2,58*
F <sub>0,05</sub> Saat			-	4,47			0,03	8,33*	0,19			1,11	0,004

Anm.: Die Werte dieser Tabelle beruhen auf drei Wiederholungen, ausgenommen diejenigen der Proben, die vor der Bearbeitung genommen worden waren. Diese basieren auf 12 Wiederholungen.

Die Tabelle über die Wassergehalte zeigt, dass im wesentlichen die Unterschiede zwischen den unbehandelten Parzellen und denjenigen der mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen gesichert sind. Bei den Untersuchungen in Affoltern sind aber auch diese Unterschiede nicht gesichert. Der Grund dieser Tatsache liegt in den Witterungsbedingungen, unter denen die Bodenproben genommen werden mussten. Nach einem Regen war es nicht möglich, mit der Probe-  
nahme zwei bis drei sonnige Tage zu warten. Wir waren aus organisatorischen Gründen gezwungen, schon am Abend des ersten schönen Tages oder am Morgen des folgenden Tages die Proben zu holen. Die Felder waren aber in diesem Zeit-

punkt noch zu wenig abgetrocknet.

Bei der Probenahme vom 9. September in Rossau konnten wir einen schwach gesicherten F - Wert für die Bearbeitung feststellen. Die gesicherten Differenzen beziehen sich hauptsächlich auf die Unterschiede zwischen den Wassergehalten der un bebauten, geschälten und nicht geggten Parzellen (d) und den übrigen Streifen. Die Werte der anderen Parzellen sind sehr ausgeglichen, dass diese Sicherung nur zufälliger Natur ist. Der sehr stark gesicherte F - Wert der Wirkung des Wickhafers auf die Feuchtigkeit bei der Probenahme vom 16. August in Affoltern zeigt, dass ein Einfluss des Herbstfutters auf den Wassergehalt vorhanden ist. Die Probenahme erfolgte am Nachmittag des vierten Tages einer Schönwetterperiode. Die Wassergehalte der bebauten Parzellen sind deutlich geringer als die der unbepflanzten, mit Ausnahme des tief gepflügten Streifens. Dieser Wasserverlust ist hauptsächlich auf die Transpiration des Wickhafergemenges zurückzuführen.

Die Anzahl der negativen Luftkapazitätswerte war bei diesen Versuchen so gross, dass nur drei Wiederholungen berücksichtigt werden konnten. Die Resultate werden daher nicht publiziert. Die Ursache für das Versagen der Luftkapazitätsmessungen nach VISSER liegt, wie schon früher erwähnt, in der Art der Sättigung der Proben. Die Wasserbadmethode ist für diese Zwecke nicht geeignet.

Es scheint, dass das Resultat des Hauptversuches, nämlich die höheren Luftkapazitäten der gepflügten Parzellen, bestätigt wird. Beim Versuch Rossau lässt sich noch eine leichte Tendenz zur Verkleinerung der Luftkapazität zwischen den Probenahmen vom 9. August und vom 9. September feststellen. Die Unterschiede sind aber nicht gesichert. ( Siehe Tabelle 9 auf der folgenden Seite ).

Wie im Hauptversuch auf dem Strickhof wurde auch bei zwei Nebenversuchen ein gesicherter Einfluss der Bearbeitung auf die Luftdurchlässigkeit festgestellt. Die Wirkung der Saat hingegen ist bei keinem der Versuche gesichert. Bei der Probenahme vom 22. August auf dem Strickhof, wo der F - Wert für die Saat gesichert war, handelt es sich offenbar um ein Zufallsresultat. Die Unterschiede der Luftdurchlässigkeit zwischen den tief bearbeiteten und den flach behandelten Streifen sind zwar nur zum Teil gesichert.

In bezug auf den Wuchs des Unkrautes und auf das Aufgehen des Ausfallgetreides konnten ähnliche Beobachtungen gemacht werden wie auf dem Strickhof. Unkraut und Ausfallweizen keimten auf den flach bearbeiteten Brachparzellen viel rascher, regelmässiger und in grösserer Zahl als auf den gepflügten Streifen.

Tabelle 9: Werte der Luftdurchlässigkeit in mm-Wassersäule auf den Versuchsfeldern Rossberg, Affoltern und Rossau, 1950.

Bearbeitungs- methoden	Rossberg			Affoltern				Rossau		
	20.7.	26.7.	30.9.	19.7.	23.7.	31.7.	16.8.	12.7.	19.7.	9.8.
Vor Bearb.	17	20		41	15			121	93	
Scheibenegge a										
beb.			33				23			49
n. beb.			39			7	29			39
Scheibenegge b										
beb.			69				17			107
n. beb.			27			12	20			93
Kultivator c										
beb.			27				41			55
n. beb.			53			6	28			16
Schälplugo.E. d										
n. beb.			57			4	5			4
Schälflugm.E. e										
beb.			11				10			18
n. beb.			18			7	9			18
unbehandelt f			15			13	67			50
Pflug mit Egge g										
beb.			33				8			22
n. beb.			36			5	7			18
GD 5%			72,9			5,9	27,3			41,8
F <sub>0,05</sub> Bearb.			0,73			2,8*	3,2*			5,1*
F <sub>0,05</sub> Saat			0,02			-	1,07			2,33

Beim Versuch Rossberg lag zwischen den Zeitpunkten des Schnittes des Getreides und der ersten Bearbeitung ein Zeitraum von 25 Tagen. Während dieser Zeit keimte der grösste Teil des Unkrautes und des Ausfallgetreides. Durch die Bearbeitung wurde es wieder zerstört, sodass die Brachparzellen fast unkrautfrei blieben. Vom Ausfallgetreide waren nur noch vereinzelt Pflanzen vorhanden.

Tabelle 10: Erträge des Wickhafers in q/ha Trockensubstanz auf den Versuchsfeldern Rossberg, Affoltern und Rossau, 1950.

Versuchsort	Datum der Saat	Datum der Ernte	Veg. dauer	a	b	c	e	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
Rossberg	22. 8.	18. 10.	57	13,4	15,4	13,4	14,7	16,5	2,72	2,49
Affoltern	28. 7.	18. 9.	52	14,8	12,5	20,4	14,7	17,9	7,49	1,82
Rossau	5. 8.	28. 9.	54	20,6	20,1	24,0	22,3	22,1	5,95	0,71

Die Erträge dieser drei Versuche sind wie im Hauptversuch sehr ausgeglichen. Es ist jedoch bemerkenswert, dass bei den gepflügten Parzellen die Tendenz besteht, höhere Erträge zu liefern als die Methoden a und b der Scheibenegge. Auffallend sind ebenfalls die hohen Erträge, die auf den mit dem Kultivator bearbeiteten Parzellen geerntet werden konnten.

Es ist angezeigt, in diesem Zusammenhang auf den Zeitpunkt der Saat des Zwischenfutters aufmerksam zu machen. Die Erträge auf dem Versuchsfeld Rossberg betragen nur ungefähr 65% derjenigen des Feldes in Rossau, obschon die Vegetationsdauer des Wickhafers annähernd gleich lang war. Der Düngerzustand der Böden war ebenfalls vergleichbar. Auf dem Betrieb in Rossau wurde der Wickhafer am 5. August gesät, während auf dem Rossberg die Saat wegen einer Regenperiode erst am 22. August erfolgen konnte.

### c. Beobachtungen im Frühjahr 1951.

Nach der Ernte des Wickhafers wurden die Versuchsfelder ohne Rücksicht auf die Parzelleneinteilung gepflügt. Im Frühling säte man auf allen Feldern Sommergetreide. Beim Aufgehen der Saat konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Auf den Versuchsfeldern Rossau und Rossberg war das Getreide vor dem Schossen auf jenen Parzellen etwas höher, die für die Saat des Zwischenfutters tief gepflügt und geeeggt worden waren. Auf drei Versuchsfeldern lagerte das Getreide wegen

der starken Niederschläge und heftigen Gewitter schon recht frühzeitig. Nur auf einem Feld blieb der Sommerweizen teilweise stehen. Er lagerte auf jenem Streifen, der tief gepflügt worden war (Abb. 2). Wir konnten nur auf diesem Felde die Erträge des Sommergetreides ermitteln. (Tabelle 11.)



Abb. 2: Versuchsfeld in Rossau: Huron im Jahr 1951.

Tabelle 11: Erträge des Sommerweizens auf dem Versuchsfeld Rossau, 1951.

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
Körnererträge q/ha	19,2	22,4	19,6	16,3	22,1	20,9	14,5	6,54	1,90

Anm. : Streifen g lagerte im Zeitpunkt der Ernte.

Die Unterschiede zwischen den Erträgen sind nicht gesichert. In bezug auf die Fusskrankheiten konnten keine Beobachtungen gemacht werden, die mit der unterschiedlichen Bearbeitung in Zusammenhang zu bringen wären. Auf allen Feldern waren Infektionsherde vorhanden, aber ihre Verteilung war nicht an die Bearbeitungsstreifen gebunden.

### 3. Die Versuche des Jahres 1951.

#### a. Der Versuch auf dem Rossberg.

In dieser Versuchsperiode wurde der Hauptversuch auf dem Rossberg angelegt. Ueber die Verteilung der Niederschläge gibt die folgende graphische Darstellung Auskunft:

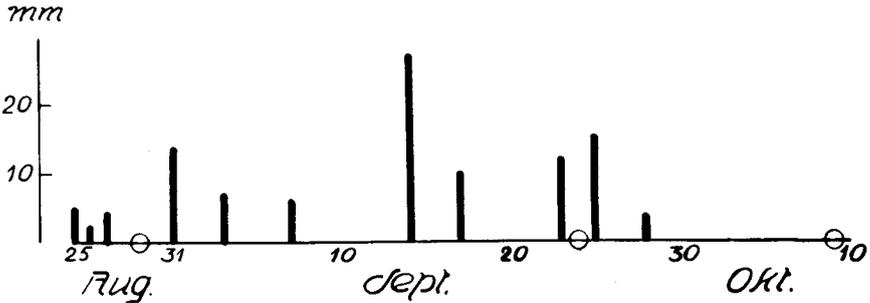


Fig. 5: Verteilung der Niederschläge auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1951.  
( O = Probenahme)

Tabelle 12: Wassergehalte in Volumenprozenten auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1951.

Bearbeitungs- methoden	29.8.	25.9.		9.10.	
	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	26,1	32,5	33,9	29,7	30,1
Kultivator c	24,7	30,7	30,2	25,5	26,9
Schälflug o.E. d	24,9	28,6	27,9	26,4	23,7
Schälflug m.E.e	23,5	30,0	26,4	26,2	24,6
unbehandelt f	24,4	-	36,3	-	33,6
Pflug m. Egge g	24,7	31,1	28,3	29,1	26,7
GD 5%	1,53	3,21		3,09	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	2,36	6,42**		6,96**	
F <sub>0,05</sub> Saat	-	0,02		1,30	

Der Einfluss der Bearbeitung auf die Wassergehalte der verschiedenen Parzellen ist im Zeitpunkt der zweiten und dritten Probenahme gesichert. In bezug auf die Saat kann hingegen keine gesicherte Wirkung festgestellt werden.

Bei diesem Versuch war es möglich, nach Niederschlägen mit der Probenahme mindestens zwei Tage zu warten. Die Wassergehalte in den gepflügten Parzellen sind im allgemeinen etwas tiefer als in den mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen. In einigen Fällen, besonders bei den Wassergehalten der nicht bebauten Parzellen, sind die Unterschiede gesichert. Diese Feststellung lässt den Schluss zu, dass die mit der Scheibenegge bearbeiteten Felder das Wasser länger speichern können als die gepflügten. Es ist nun wesentlich zu wissen, ob auch in 100 gr trockenen Boden in den mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen mehr Wasser zur Verfügung stehe. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 13: Gramm Wasser pro 100 gr trockenen Boden, Rossberg 1951.

Bearbeitungs- methoden	29.8.	25.9.		9.10.	
	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	31,7	40,8	38,3	41,9	40,0
Kultivator c	34,3	37,4	36,9	37,0	36,5
Schälflug o.E. d	32,9	33,6	34,7	35,0	35,0
Schälflug m.E. e	35,6	35,2	36,7	36,1	36,4
unbehandelt f	27,6	-	34,5	-	33,0
Pflug m. Egge g	32,3	35,7	35,9	40,4	36,8
GD 5%	5,45	3,40		4,79	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	2,14	3,10**		2,47*	

Das Resultat ist besonders bei der Probenahme vom 25. September sehr eindeutig. Bemerkenswert sind die Ergebnisse der nicht bebauten Parzellen am 9. Oktober. Nach 10 regenfreien Tagen, am 25. September, wiesen die mit der Scheibenegge bearbeiteten Felder wesentlich mehr Wasser auf als die mit den andern Methoden bearbeiteten Parzellen. Die im folgenden untersuchte Wasserkapazität und die Hohlraumanalyse geben darüber noch näheren Aufschluss.

Tabelle 14: Werte der Wasserkapazität in Volumenprozent auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1951.

Bearbeitungs- methoden	29.8.	25.9.		9.10.	
	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	34,8	40,6	41,8	41,7	41,9
Kultivator c	35,6	38,3	38,9	35,7	38,1
Schälflug o.E. d	35,1	35,3	36,4	33,9	33,5
Schälflug m.E. e	34,4	37,3	36,5	36,4	35,7
unbehandelt f	33,1	-	42,2	-	40,8
Pflug m. Egge g	34,7	38,8	36,9	38,5	37,1
GD 5%	4,68	2,90		4,36	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	0,14	4,97*		3,70*	
F <sub>0,05</sub> Saat	-	0,60		0,46	

Die Wirkung der verschiedenen Bearbeitungsmethoden auf die Wasserkapazität in den obersten 10 cm zeigen sich bei diesen Untersuchungen erst einige Zeit nach der Bearbeitung.

Aus den Werten der Wasserkapazität und aus denjenigen der Luftkapazität (Tabelle 15) lässt sich der Schluss ziehen, dass alle verwendeten Geräte die Bodenoberfläche in ähnlicher Weise lockern. Es bestehen aber Unterschiede zwischen den verschiedenen bearbeiteten Parzellen in der Bereitschaft zur Verdichtung. Deren Ausmass tritt aber erst bei den späteren Messungen in Erscheinung, wo bei den verschiedenen Streifen grössere oder kleinere Zunahmen der Wasserkapazitäten zu verzeichnen sind und damit ein stärkerer oder schwächerer Verdichtungsgrad erreicht ist.

Auf den Parzellen der Methode a (Tabelle 14) stellte man kurz nach der Bearbeitung am 29. August eine Wasserkapazität von 34,8 Volumenprozenten fest, am 9. Oktober eine solche von 41,7 Volumenprozenten, während bei den gepflügten Parzellen die Wasserkapazität von 34,7 am 29. August nur auf 38,5 Volumenprozenten am 9. Oktober anstieg. Die Zunahme betrug also etwas mehr als die Hälfte derjenigen der mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen. Die Unterschiede in den letzten beiden Zeitpunkten sind stark gesichert. Bei den andern Verfahren bestehen ähnliche Tendenzen; sie sind aber nicht so ausgeprägt wie bei den erwähnten Methoden. Auf den unbearbeiteten Streifen bestehen ähnliche Verhältnisse wie bei den Parzellen der Methode a.

Am 25. September wurde eine erheblich grössere Wasserkapazität festgestellt als am 29. August. Diese Erscheinung ist hauptsächlich auf die verschlammende Wirkung der gewittrigen Niederschläge, die in der Nacht vom 23. auf den 24. September fielen, zurückzuführen.

Tabelle 15: Werte der Luftkapazität in Volumenprozenten auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1951.

Bearbeitungs- methoden	29.8.	25.9.		9.10.	
	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	20,4	17,7	13,3	16,9	14,5
Kultivator c	21,7	20,7	18,9	24,6	18,9
Schälflug o.E. d	21,8	20,5	20,5	25,7	23,4
Schälflug m.E. e	27,3	19,0	22,6	21,7	22,2
unbehandelt f	16,5	-	7,4	-	8,8
Pflug m. Egge g	21,0	16,1	20,6	21,9	21,4
GD 5%	8,09	6,51		6,07	
$F_{0,05}$ Bearb.	2,60	3,57*		5,54*	
$F_{0,05}$ Saat	-	1,29		7,37*	

Die Luftkapazitäten fast aller Parzellen zeigen eine geringe abnehmende Tendenz. Die folgende Berechnung zeigt, dass die zeitlichen Schwankungen der Luftkapazitätswerte innerhalb der Verfahren nicht gesichert sind. Wir haben für die Verfahren a (Scheibenegge) und c (Kultivator) die F - Werte für den Einfluss der Zeit ermittelt:

Verfahren der Scheibenegge:  $F_{0,05} = 0,83$

Kultivator :  $F_{0,05} = 2,48$

Die Luftkapazitätswerte der unbehandelten Parzelle weisen deutlich auf eine Verschlämmung hin. Die Luftvolumina der gepflügten oder kultivierten Parzellen sind in der Regel höher als diejenigen der mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen. Es zeigt sich auch bei dieser Untersuchung, dass die Scheibenegge auf den Boden eine verdichtende Wirkung ausübt.

Zur besseren Kennzeichnung der Struktur und zur Abklärung der Frage, welche Porengrößen die Bearbeitungsgeräte noch beeinflussen können, wurde die Hohlraumanalyse durchgeführt. In der Tabelle 16 sind deren Resultate zusammengestellt.

Tabelle 16: Wasserrentzug in ccm pro 100 ccm Boden durch Saugspannungen von 50 cm, 100 cm und 150 cm Wassersäule aus Bodenproben des Versuchsfeldes Rossberg, 1951.

50 cm Zeitpunkte	Sch. egge a		Kultivator c		Sch. pfl. o. E. d		Sch. pfl. m. E. e		unbeh. f		GD 5 %	F <sub>0,05</sub> Bearb.	F <sub>0,05</sub> Saat
	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	n. beb.	beb.			
29. 8.	2,23	4,69	4,69	3,49		4,58	2,11	3,70	1,22	6,39*	-		
25. 9.	4,95	5,14	5,68	4,93	5,18	7,24	4,50	6,02	5,95	1,98	1,68	0,09	
9.10.	5,11	4,30	6,64	5,22	6,43	8,62	3,31	6,19	5,90	1,97	4,97*	0,70	
GD 5 %	2,55	2,25	0,77		1,62	1,50		1,66					
F <sub>0,05</sub> Zeitpte.	4,82*	2,21	8,01*		10,81**	5,80*		10,82**					
F <sub>0,05</sub> Saat	0,37	0,03	0,006		7,49*	-		0,02					
100 cm													
29. 8.	2,63	3,88	3,88	4,00		4,35	3,14	3,26	1,62	1,31	-		
25. 9.	1,65	1,24	1,30	1,11	1,73	0,80	0,53	1,63	1,29	0,98	0,74	6,11*	
9.10.	1,20	1,38	1,75	1,51	0,96	1,19	0,67	1,26	1,17	0,78	1,22	0,41	
GD 5 %	1,20	1,22	0,69		0,98	1,66		0,99					
F <sub>0,05</sub> Zeitpte.	6,34*	20,94**	84,67**		28,14**	5,57*		21,39**					
F <sub>0,05</sub> Saat	0,05	0,10	0,05		1,06	-		0,26					
150 cm													
29. 8.	0,60	0,86	0,86	1,17		1,14	1,50	1,43	1,03	0,90	-		
25. 9.	1,95	1,32	1,78	2,09	2,11	1,41	1,44	1,71	1,25	0,79	1,19	6,11*	
9.10.	0,65	0,74	0,83	0,67	0,75	0,77	1,13	0,62	0,87	0,38	1,00	1,18	
GD 5 %	0,72	0,50	0,82		0,67	1,22		0,83					
F <sub>0,05</sub> Zeitpte.	10,62**	16,88**	7,63*		11,33**	0,54		4,51*					
F <sub>0,05</sub> Saat	0,78	3,58	0,02		1,70	-		0,04					

Beim Vergleich der Werte der Wasserentzüge der drei verschiedenen Spannungsstufen im Zeitpunkt der zweiten und der dritten Probenahme stellt man fest, dass durch die Saugspannung von 50 cm Wassersäule mehr Wasser aus den Proben herausgesogen wurde als durch die beiden höheren Saugspannungen (100 cm und 150 cm Wassersäule) zusammen. Der Volumenanteil der Hohlräume, die sich bei 50 cm Tension entleert haben, war grösser als derjenige der Poren, die mit den beiden höheren Tensionen entwässert werden konnten.

Bei den Proben vom 29. August, also anlässlich der ersten Probenahme, hat es sich gezeigt, dass das Volumen der Hohlräume, die bei 50 cm Saugdruck entwässert worden sind, ungefähr gleich gross war wie dasjenige jener Poren, die sich bei 100 cm Tension entleert hatten.

Verfolgt man die Entwicklung der Hohlräume, die sich bei 50 cm Wassersäule entleerten, so erkennt man bei den einzelnen Verfahren eine Zunahme dieser Grössenklasse während der Versuchsperiode. Das Volumen der bei 100 cm Tension entwässerten Proben nahm hingegen während der Zeit zwischen der ersten und zweiten Probenahme sprunghaft ab. Das Volumen der feinsten Poren, die durch diese Analyse erfasst worden sind, nahm auf allen Parzellen - mit Ausnahme der gepflügten - etwas zu und wurde vor der dritten Probenahme wieder kleiner.

Der Gesamtwasserentzug aus den Proben der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen war geringer als bei den Proben der übrigen Verfahren. Der Wassergehalt der Proben dieser Methode war demnach nach Abzug des entzogenen Wassers immer noch höher als bei den Proben der andern Verfahren. Diese Tatsache beweist, dass in den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen mehr kleine Poren, die durch die angewendeten Saugspannungen nicht erfasst werden konnten, vorhanden sind als in den mit den andern Methoden bearbeiteten Streifen. Die anlässlich der Untersuchung der Luftkapazität festgestellte verdichtende Wirkung der Scheibenegge wird durch die Hohlraumanalyse bestätigt.

Der Einfluss der Bearbeitung auf das Hohlraumvolumen war nur bei der Tension von 50 cm Wassersäule gesichert. Bei dieser Saugspannung war der Wasserentzug bei den Proben aus den mit der Scheibenegge behandelten Parzellen am geringsten, bei denjenigen aus den gepflügten Streifen am grössten. Bei den beiden andern Saugspannungstufen (100 und 150 cm Wassersäule) war die Wirkung der Bearbeitung nicht gesichert.

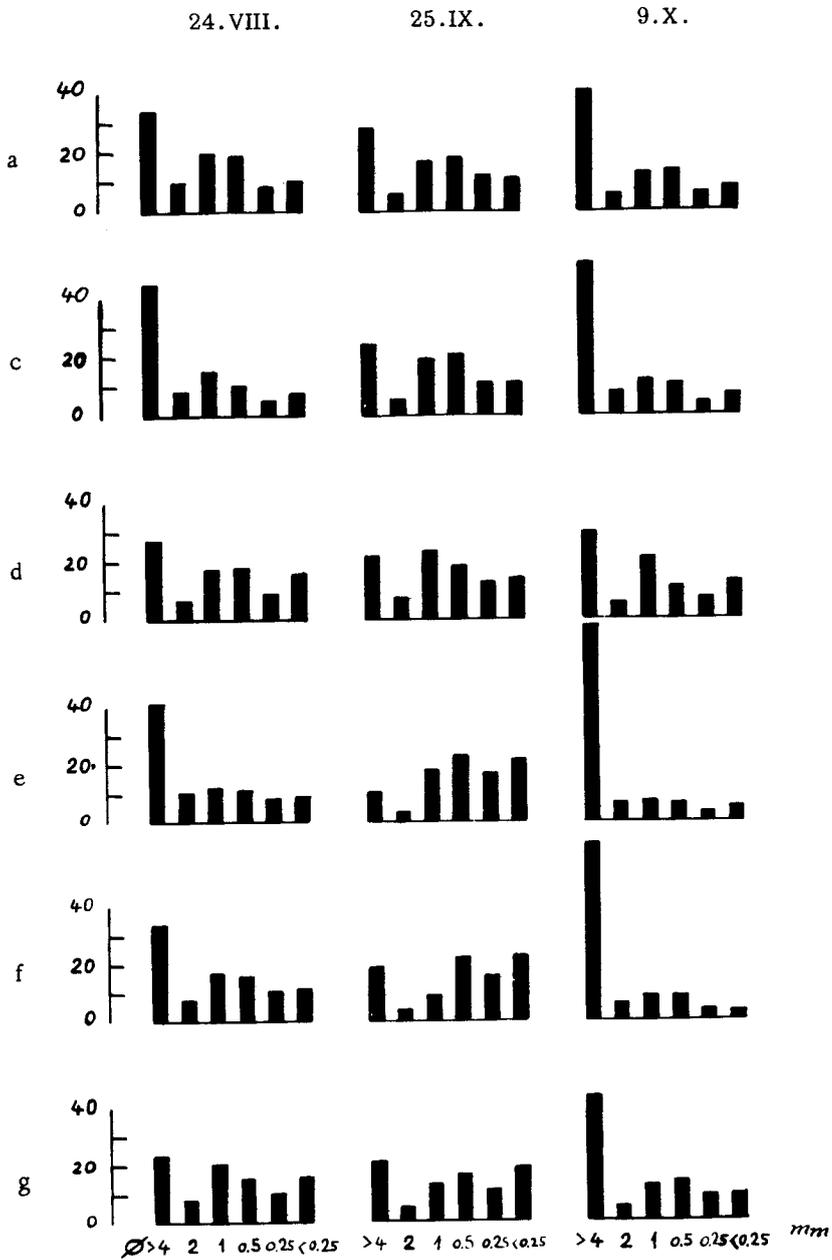


Fig. 6: Resultate der Krümelanalyse des Versuchsfeldes Rossberg, 1951.  
(bebaute Parzellen) (Legende siehe folgende Seite.)

Legende zu Fig. 6:

- a: Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der Garben; zweite Bearbeitung vor der Saat.
- c: Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitungen wie bei Methode a.
- d: Schälplflug ohne Eggenstrich: 5 - 8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e: Schälplflug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode d.
- f: Unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g: Normalpflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode d; Tiefe 15 - 20 cm.

Die Krümelanalyse: Wir haben nur die Resultate der bebauten Parzellen dargestellt, da die Ergebnisse der nicht bebauten Streifen ähnlich sind.

Für dieses Feld scheint in dieser Versuchsperiode der sehr hohe Anteil an Makroaggregaten von mehr als 4 mm Durchmesser charakteristisch zu sein. Bei den Proben aller Verfahren stellt man zwischen dem 29. August und dem 25. September eine Abnahme der Anteile der Makroaggregate von 4 und mehr mm Durchmesser fest. Im Zeitpunkt der letzten Probenahme jedoch steigt der Prozentsatz wieder sehr stark an. Diese Erscheinung entspricht nicht unseren Erfahrungen der ersten Versuchsperiode, wo wir eine stetige Abnahme der Makroaggregatanteile festgestellt haben. GLIEMEROTH (1949) hat in seinen Untersuchungen ähnliche Resultate erhalten und sie auf die Unterschiede der Bodenfeuchtigkeit anlässlich der Probenahme zurückgeführt. Diese Feuchtigkeitsdifferenzen scheinen auch in unseren Versuchen der Grund für den Anstieg der Anteile der Makroaggregate von 4 und mehr mm Durchmesser zu sein, sind doch die Wassergehalte der bebauten Parzellen (Tabelle 13) besonders auf den Streifen der Methoden a (Scheibenegge) und g (Pflug und Egge) am 9. Oktober bis 25% grösser als am 29. August.

Die Messungen der biologischen Bodenaktivität beschränkten sich aus organisatorischen Gründen auf die unbebauten Parzellen des Versuchsfeldes Rossberg. Die Zelluloseschnüre waren vom 11. September bis am 10. Oktober im Boden. Die Resultate sind in der folgenden graphischen Darstellung zusammengestellt.

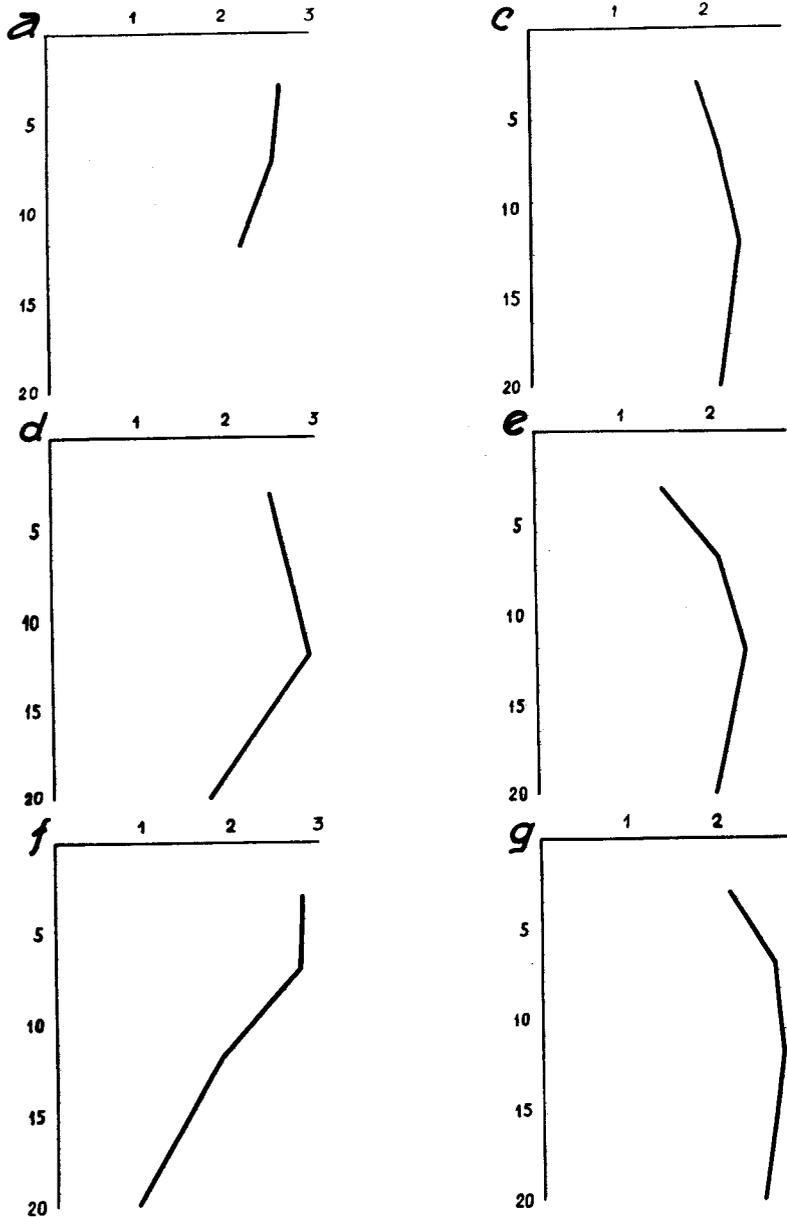


Fig. 7: Biologische Bodenaktivität auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1951.  
(Legende siehe folgende Seite.)

Legende zu Fig. 7:

- a: Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der Garben. Zweite Behandlung vor der Saat.
- c: Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode a.
- d: Schälplflug ohne Eggenstrich: 5 - 8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e: Schälplflug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode d.
- f: Unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g: Normalpflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode d. Tiefe 15 - 20 cm.

Bei der Beurteilung der biologischen Bodenaktivität in den verschiedenen bearbeiteten Streifen stellt man fest, dass das Maximum meistens in jener Tiefe erreicht wird, in der sich die Hauptmasse des durch die Bearbeitung untergebrachten Pflanzenmaterials befindet. Die Kurve des unbearbeiteten Streifens f ist für die biologische Aktivität in den obersten 20 cm des Bodenprofils des "natürlich gelagerten" Bodens dieses Feldes charakteristisch. Bei der Methode a (Scheibenegge) ist eine ähnliche Tendenz vorhanden, da die Scheibenegge die Stoppeln mehrheitlich an der Oberfläche belässt. Die Pflugmethoden dagegen wenden die Oberfläche und bringen Stoppeln und Unkräuter in Tiefen von 8-20 cm. Die Intensität der Bodenaktivität ist deshalb in diesen Streifen in den erwähnten Tiefen am grössten, während die Aktivität unmittelbar unter der Bodenoberfläche geringer ist als bei den unbearbeiteten oder mit der Scheibenegge behandelten Streifen. Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Intensität der biologischen Aktivität ist bei allen untersuchten Tiefen gesichert.

Ein Vergleich mit den Wassergehalten der verschiedenen bearbeiteten Streifen ist nicht angezeigt, da deren Einwirkung auf die biologische Aktivität durch den Einfluss der faulenden Stoppeln auf die Intensität des Bakterienlebens überdeckt wird.

Tabelle 17: Bodentemperaturen in Grad C auf dem Versuchsfelde Rossberg, 1951.

Rossberg	a	c	d	e	f	g	GD 5 %	F <sub>0,05</sub>
bebaut	14,1	14,1	13,9	14,0	-	14,3		
n. bebaut	14,4	14,4	14,1	14,2	14,0	14,3	1,2	1,91

In diesem Versuch haben wir pro Parzelle zwei Ampullen in 7 cm Tiefe vergraben, sodass wir pro Verfahren 12 Wiederholungen erhielten. Die Temperaturunterschiede zwischen den Verfahren sind in keiner Weise gesichert. Es ist nicht möglich, aus diesen Werten auf eine Tendenz zu schliessen, da die Unterschiede viel zu gering sind.

Auf diesem Versuchsfeld wurden Rübsen von Hand gesät, da der Zeitpunkt für die Saat von Wickhafer zu spät war.

Beim Aufgehen der Rübsen konnten zwischen den verschiedenen bearbeiteten Streifen keine Unterschiede festgestellt werden. Später schien es jedoch, dass sich das Zwischenfutter auf den gepflügten Parzellen etwas rascher entwickelte als auf den flach bearbeiteten Teilfeldern. Der Unterschied war jedoch bald ausgeglichen, sodass beim Abschluss des Herbstwachstums der Rübsen keine Differenzen in der Wuchshöhe mehr festzustellen waren.

Unkraut und Ausfallgetreide entwickelten sich noch sehr schwach, da im Zeitpunkt der Bearbeitung die meisten Pflanzen schon gekeimt hatten und durch die Geräte ausgerissen oder untergepflügt wurden. Auf den flach bearbeiteten Parzellen hat sich noch etwas Unkraut entwickelt, während die gepflügten Felder fast unkrautfrei blieben.

Wir beabsichtigten die Erträge im nachfolgenden Frühjahr zu bestimmen. Die Saat war jedoch so ungleichmässig, dass wir auf die Ermittlung der Ernte verzichten mussten.

#### b. Die übrigen Versuche des Jahres 1951.

Neben dem Hauptversuch wurden in dieser Vegetationsperiode nur zwei Versuche angelegt. Die Bearbeitungsverfahren wurden aber wie auf dem Versuchsfeld Rossberg je einmal wiederholt. Bei der Auswahl der Versuchsfelder war man bestrebt, die Wirkung der Bearbeitungsmethoden auch in einem trockeneren Gebiet mit leichtem Boden zu untersuchen. Aus diesem Grunde entschlossen wir uns für die Anlage eines Versuches auf dem Betriebe der kantonalen Heil- und Pflegeanstalt in Rheinau. Der zweite Nebenversuch wurde wiederum auf dem Betrieb der kantonalen landwirtschaftlichen Schule Strickhof in Zürich durchgeführt.

Tabelle 18: Wassergehalte in Volumenprozenten auf den Versuchsfeldern Strickhof und Rheinau, 1951.

Bearbeitungs- methoden	Strickhof				Rheinau				
	23.8.		18.9.		14.8.	5.9.		4.10.	
	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.
Scheibenegge a	42,9	40,4	38,6	36,6	24,7	27,6	25,8	22,4	24,9
Scheibenegge b	42,2	40,4	37,1	38,8	25,6	25,6	26,1	26,5	22,4
Kultivator c	41,3	40,1	39,3	32,0	23,7	23,9	24,9	26,3	24,3
Schälpflug o.E. d	37,5	35,5	36,1	38,7	24,0	25,9	25,5	25,6	21,5
Schälpflug m.E. e	41,9	42,8	38,8	34,0	24,3	25,1	22,4	25,3	22,3
unbehandelt f	-	37,6	-	39,6	23,3	-	24,3	-	24,8
Pflug m.Egge g	37,8	38,4	29,1	30,7	20,9	22,9	23,0	25,7	21,5
GD 5%	3,74		5,13		3,72	3,19		2,42	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	3,17*		3,82*		1,43	1,73		4,62*	
F <sub>0,05</sub> Saat	2,97		0,49		-	0,90		21,16*	

Der Einfluss der Bearbeitungsmethoden auf den Wassergehalt des Bodens ist wie im Hauptversuch auch bei diesen beiden Versuchen in den meisten Fällen gesichert. Die gepflügten Parzellen besitzen in der Regel die geringsten Feuchtigkeitsgehalte, während die mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen eine größere Wasserreserve aufweisen. Eine Ausnahme bilden die Feuchtigkeitsgehalte der bebauten Parzellen der Methoden a und g (Pflug mit Egge) am 4. Oktober in Rheinau. Auf den gepflügten Streifen besteht hier die Tendenz zu höherem Wassergehalt. Diese unerwartete Tatsache lässt sich aus den bei diesem Versuch festgestellten bodenphysikalischen Daten nicht ohne weiteres erklären. Wir werden aber bei der Behandlung von Luft- und Wasserkapazität darauf zurückkommen.

Die Werte der Wasserkapazität der mit den übrigen Methoden bearbeiteten Parzellen liegen zwischen den beiden genannten Extremwerten. Die Unterschiede sind nicht oder nur in Ausnahmefällen gesichert. Es lässt sich daher keine Reihenfolge der Bearbeitungsmethoden in bezug auf die Bodenfeuchtigkeit festlegen, sondern nur eine Gruppierung in flach- und tiefarbeitende Verfahren, wie wir sie schon in der ersten Versuchsperiode festgestellt haben, nämlich die flacharbeitenden Methoden mit höheren und die tiefgehenden Verfahren meistens mit niedrigerem Wassergehalt.

Tabelle 19: Werte der Wasserkapazität in Volumenprozenten auf den Versuchsfeldern Strickhof und Rheinau im Jahre 1951.

Bearbeitungs- methoden	Strickhof				Rheinau				
	23.8.		18.9.		14.8.	5.9.		4.10.	
	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.
Scheibenegge a	47,0	45,7	42,1	41,8	37,7	40,7	38,2	34,5	37,7
Scheibenegge b	45,9	45,9	41,5	42,9	36,3	37,6	37,5	37,6	34,3
Kultivator c	44,9	44,4	44,1	37,4	35,4	35,8	36,0	37,7	36,2
Schälflug o.E. d	43,2	43,2	40,1	43,9	34,0	36,7	36,7	36,1	34,8
Schälflug m.E. e	46,2	46,8	43,8	39,5	34,8	35,9	35,8	36,2	36,3
unbehandelt f	-	42,1	-	45,5	35,8	-	38,1	-	36,9
Pflug m. Egge g	42,9	42,9	35,3	36,7	29,4	35,7	34,5	36,4	35,9
GD 5%	3,26		5,68		4,21	3,63		2,85	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	2,07*		1,19		3,35*	1,53		2,21*	
F <sub>0,05</sub> Saat	1,07		0,002		-	0,31		0,59	

Die flach bearbeiteten Streifen zeichnen sich auch bei diesen Versuchen wieder durch höhere Wasserkapazitäten aus. Eine Ausnahme bilden die mit der Scheibenegge behandelten Parzellen in Rheinau am 4. Oktober.

Die gepflügten Parzellen wurden im Vergleich zu den flach bearbeiteten durch Witterungseinflüsse so stark verdichtet, dass die Wasserkapazität dieser Streifen viel stärker stieg als diejenige der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen. Von diesem Gesichtspunkt aus ist der höhere Wassergehalt, der übrigens nicht gesichert ist, verständlich.

Die Luftkapazitätswerte (vergl. Tabelle 20 auf Seite 58) des Versuchsfeldes Strickhof vom 23. August, d. h. kurz nach der Bearbeitung, sind auffallend klein, da die Bearbeitung bei zu feuchtem Boden durchgeführt werden musste. Im Laufe der Zeit hat sich aber der Boden in dieser Beziehung wieder erholt. Die Erhöhung der Luftkapazitätswerte im Verlaufe der Versuchsperiode ist wahrscheinlich auf die Wirkung der Wurzeln und auf die bakterielle Tätigkeit zurückzuführen.

Die Luftkapazitäten des Versuches in Rheinau blieben während der ganzen Versuchsperiode überraschenderweise ziemlich gleich hoch oder haben nur wenig abgenommen. Die stärkste Verkleinerung ist bei den gepflügten Streifen festzustellen. Es ist anzunehmen, dass die Bedingungen im allgemeinen für die Entwicklung der Mikroorganismen und der Pflanzenwurzeln günstig waren und dadurch die Vielfachteilchen stark verbaut wurden.

In bezug auf die Verunkrautung und auf das Aufgehen des Ausfallgetreides konnten ähnliche Beobachtungen wie im vorhergehenden Jahr gemacht

Tabelle 20: Werte der Luftkapazität in Volumenprozenten der Versuchsfelder Strickhof und Rheinau, 1951.

Bearbeitungs- methoden	Strickhof				Rheinau				
	23.8.		18.9.		14.8.	5.9.		4.10.	
	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.
Scheibenegge a	1,4	5,0	5,5	9,5	28,6	19,1	26,7	32,3	24,8
Scheibenegge b	3,5	4,0	9,0	10,2	28,7	23,7	24,7	26,6	28,3
Kultivator c	4,9	4,1	6,4	14,7	32,2	26,7	27,5	24,7	24,3
Schälflug o.E. d	6,7	8,9	11,8	11,5	34,6	21,8	27,2	27,3	30,1
Schälflug m.E. e	4,5	3,5	7,1	12,2	33,6	28,1	30,7	25,9	28,9
unbehandelt f	-	8,4	-	10,9	26,6	-	20,5	-	22,6
Pflug m. Egge g	6,6	6,0	15,8	15,0	37,8	30,5	29,1	24,4	27,5
GD 5%	3,60		4,92		8,68	7,98		6,32	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	2,68*		3,54*		1,11	1,48		1,46	
F <sub>0,05</sub> Saat	2,33		8,09*		-	0,64		0,04	

werden. Die mit Scheibenegge oder Kultivator bearbeiteten, unbebauten Parzellen waren stärker verunkrautet als die gepflügten Streifen.

Tabelle 21: Erträge in q Trockensubstanz/ha der Versuche Strickhof und Rheinau, 1951.

	a	b	c	d	e	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
Strickhof	13,3	11,6	13,1	13,3	13,1	10,1	2,51	2,29
Rheinau	24,0	20,0	21,4	22,1	19,3	21,2	2,47	3,74*

Die geringen Erträge auf dem Versuchsfeld Strickhof sind sehr auffallend. Die Gründe dafür liegen einerseits in der späten Saat am 18. August und in der kurzen Vegetationsdauer von nur 55 Tagen, andererseits aber auch in der geringen Luftführung des Bodens (vgl. Tabelle 20). Der Einfluss der Bearbeitung auf die Erträge ist nicht gesichert. Es besteht scheinbar eine Tendenz zu höheren Erträgen auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen.

Beim Versuch im Trockengebiet auf dem sandigen Boden von Rheinau wurde auf den Parzellen der Methode a (Scheibenegge nach dem Abräumen des Feldes) der höchste Ertrag geliefert. Der F - Wert der Bearbeitung und die meisten Differenzen zwischen den Erträgen dieser Streifen und denjenigen der andern Parzel-

len sind gesichert. Die hohen Erträge der mit der Scheibenegge bearbeiteten Felder sind in diesem niederschlagsarmen Gebiet auf die höheren Wassergehalte der a-Parzellen besonders während der ersten Hälfte der Versuchsperiode zurückzuführen.

### c. Beobachtungen im Frühjahr 1952.

Im Frühling 1952 wurden auf allen Versuchsfeldern des Jahres 1951 Sommergerste gesät. Das Aufgehen der Saat war im allgemeinen auf jedem Feld gleichmässig. Die unterschiedliche Bearbeitung des vorangegangenen Herbstes hat sich auf die Entwicklung der Gerste nicht ausgewirkt. Nur auf dem Versuchsfeld Rheinau schien die Gerste auf den im Herbst mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen anfänglich etwas rascher zu wachsen. Der Unterschied war aber in kurzer Zeit ausgeglichen.

Trotz der langen Trockenperiode des Sommers 1952 konnten keine Unterschiede in bezug auf Wuchshöhe, Krankheitsbefall und Reifegrad der Gerste festgestellt werden. Bei der Getreideernte wurde der Körnerertrag der im Herbst verschieden bearbeiteten Parzellen verglichen. Die Resultate sind in der Tabelle 22 zusammengestellt.

Tabelle 22: Gerstenerträge in q/ha, 1952.

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
Rosberg	23,3	-	23,3	23,2	24,1	24,9	23,4	1,73	0,46
Strickhof	24,3	26,3	21,2	24,8	22,2	28,9	24,4	1,02	5,07*
Rheinau	15,6	14,8	14,7	14,9	13,1	14,6	14,7	2,19	0,29

Der Einfluss der Herbstbearbeitung auf die Gerstenerträge war nur beim Versuch Strickhof gesichert. Es zeigte sich hier, dass der unbehandelte und nicht besäte Streifen den höchsten Gerstenertrag geliefert hat. Die F - Werte für die Bearbeitung bei den beiden andern Versuchen sind so gering, dass man dieses Resultat als zufällig betrachten muss. Die Erträge sind im allgemeinen so ausgeglichen, dass sich auch keine Tendenzen mit Sicherheit feststellen lassen.

Auf dem Versuchsfeld Rossberg war es interessant zu beobachten, dass die in die Gerste eingesäte Kleeegrasmischung auf den im vorhergehenden Herbst unbeebeiteten und unbesäten Parzellen sich sehr schwach entwickelte. Diese Streifen waren während der Versuchsperiode sehr stark verunkrautet. Es ist möglich, dass die Konkurrenzwirkung des Unkrautes die Mischung nicht oder nur spärlich aufkommen liess.



Tabelle 23: Wassergehalte in Volumenprozenten auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1952.

Bearbeitungs- methoden	4.8.		21.8.		2.9.		24.9.		6.10.	
	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	33,0	31,4	34,2	32,5	28,3	29,3	34,3	31,7	38,3	36,4
Scheibenegge b	29,2	29,3	33,9	33,8	29,3	27,7	35,6	32,1	37,2	35,9
Kultivator c	28,7	25,9	32,9	32,6	26,1	26,6	34,5	28,9	37,4	35,5
Schälflug o.E. d	26,7	26,5	31,0	28,8	25,4	24,2	31,7	28,2	35,8	32,2
Schälflug m.E. e	26,4	26,6	32,5	28,9	26,3	26,5	33,2	28,2	35,7	35,4
unbehandelt f	-	27,3	-	33,5	-	27,2	-	29,2	-	32,7
Pflug m. Egge g	27,3	25,8	30,9	30,3	27,0	25,7	32,1	26,7	36,0	30,5
GD 5%	4,60		3,70		3,20		2,30		2,90	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	1,82		1,90*		1,55		12,50*		5,45*	
F <sub>0,05</sub> Saat	0,13		2,14		0,26		37,75**		21,66**	

einmal gesichert. Diese Tatsache zeigt wiederum, dass der Wassergehalt in den tief bearbeiteten Feldern stärkeren Schwankungen unterworfen ist als in den flach geritzten. Diese Erscheinung hängt mit der intensiven Durchlüftung des gepflügten Bodens zusammen.

Tabelle 24: Werte der Wasserkapazität in Volumenprozenten auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1952.

Bearbeitungs- methoden	4.8.		21.8.		2.9.		24.9.		6.10.	
	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	42,7	41,4	41,8	42,0	39,0	39,6	42,2	40,2	43,7	40,3
Scheibenegge b	40,9	42,7	42,5	42,4	40,0	39,5	43,1	42,5	43,7	42,8
Kultivator c	41,0	39,6	41,7	42,0	36,2	36,3	43,0	39,2	43,9	43,2
Schälflug o.E. d	35,5	36,9	40,0	38,5	37,3	34,8	41,5	39,1	42,6	39,7
Schälflug m.E. e	39,9	37,9	42,2	39,6	35,9	36,7	41,5	39,0	42,8	42,5
unbehandelt f	-	39,2	-	40,7	-	37,5	-	39,2	-	40,3
Pflug m. Egge g	36,8	34,2	40,7	40,5	36,3	36,4	40,1	38,5	42,2	39,2
GD 5%	3,60		2,60		3,00		2,03		2,51	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	4,62*		1,83		2,25*		7,36**		4,27*	
F <sub>0,05</sub> Saat	2,21		1,67		0,09		21,74**		16,88**	

In bezug auf die Wasserkapazität bestätigen sich die bisherigen Resultate ebenfalls, indem die flach bearbeiteten Parzellen, besonders nach Anwendung der Scheibenegge, die höheren Werte aufweisen als die tiefer bearbeiteten Streifen. Bei allen Parzellen kann man im Laufe der Zeit eine Zunahme der Wasserkapazität feststellen. Diese Tendenz ist bei diesem Versuch bei den gepflügten Streifen viel stärker ausgeprägt als auf den flach bearbeiteten Parzellen. Im letztjährigen Hauptversuch auf dem Rossberg war jedoch die Zunahme der Wasserkapazität auf den gepflügten Parzellen geringer als auf den mit der Scheibenegge behandelten Teilfeldern. Die Ursachen für dieses unterschiedliche Verhalten in den beiden Jahren beruhen auf verschiedenen Faktoren und deren Zusammenwirken. Beim Versuch des Vorjahres waren die Werte der Wasserkapazitäten der mit den beiden erwähnten Verfahren behandelten Parzellen kurz nach der Bearbeitung annähernd gleich hoch, während in diesem Versuch zwischen ihnen schon bei der ersten Messung ein gesicherter Unterschied besteht. Die Wasserkapazität der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen ist schon kurz nach der Bearbeitung sehr hoch. Diese Erscheinung hängt offenbar mit dem hohen Wassergehalt des Bodens im Zeitpunkt der Bearbeitung zusammen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Verdichtung und damit die Wasserkapazität des bearbeiteten Bodens bis zu einem gewissen Wert mit der Zeit zunimmt. So erreichen z.B. im Versuch Rossberg 1952 alle bebauten Parzellen am 6.10. eine Wasserkapazität, die zwischen 42 und 44 Volumenprozenten liegt. Die Anfangswerte auf den verschieden bearbeiteten Parzellen lagen jedoch zwischen 35 und 42 Volumenprozenten.

Das Ausmass der Verdichtung, die ein Boden erreichen kann, hängt von der Bodenart ab, besonders aber vom Kalkgehalt. Es ist nun möglich, dass die a-Parzellen (Scheibenegge nach dem Abräumen des Feldes) dieses Versuches schon durch die Bearbeitung mit der Scheibenegge annähernd den Grenzwert der Verdichtung erreicht haben und sie daher nicht mehr stark zunehmen kann. Daneben sind andere Faktoren, wie Witterungseinflüsse und Feuchtigkeitsgehalt im Zeitpunkt der Bearbeitung, von grosser Bedeutung.

Tabelle 25 : Werte der Luftkapazität in Volumenprozenten auf dem Versuchsfeld  
Rossberg, 1952.

Bearbeitungs- methoden	4.8.		21.8.		2.9.		24.9.		6.10.	
	beb.	n.beb.								
Scheibenegge a	6,6	9,2	10,8	8,5	16,4	12,5	11,7	9,0	7,3	10,7
Scheibenegge b	14,6	6,3	13,8	12,3	15,0	16,2	9,9	12,3	11,5	11,7
Kultivator c	17,2	26,0	15,6	14,2	23,8	21,1	12,1	19,1	12,3	11,4
Schälpflug o.E. d	20,5	22,7	16,4	17,9	19,2	21,7	14,7	15,1	14,1	16,1
Schälpflug m.E. e	20,7	24,6	15,2	15,8	22,9	19,9	14,0	22,3	14,1	10,8
unbehandelt f	-	12,8	-	13,7	-	17,9	-	17,9	-	15,9
Pflug m. Egge g	25,5	29,0	15,2	15,8	23,7	19,3	16,4	19,7	14,6	19,1
GD 5%	7,70		7,00		6,40		5,30		4,90	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	4,02*		0,97		2,19*		4,29*		3,80*	
F <sub>0,05</sub> Saat	0,35		0,11		2,06		5,75*		2,08	

Die Luftkapazitätswerte bestätigen die Ergebnisse der früheren Versuche, indem die gepflügten Parzellen die grössten Werte aufweisen. In bezug auf die Veränderungen der Luftkapazität stellt man im allgemeinen entsprechend der Zunahme der Wasserkapazitäten eine Abnahme der Luftkapazitätswerte mit der Zeit fest. Diese ist auf den gepflügten Streifen am grössten, während sie bei den mit der Scheibenegge behandelten Parzellen sehr gering ist.

Auch bei den Proben der in Tabelle 26 auf Seite 64 festgehaltenen Versuchsperiode wurde bei einer Saugspannung von 50 cm Wassersäule bei allen Verfahren mehr Wasser herausgesogen als bei den Tensionen von 100 cm und 150 cm zusammen.

Das Volumen der Hohlräume, die bei 50 cm Saugspannung entleert werden, nimmt im allgemeinen im Laufe der Zeit ab. Der Einfluss der Zeit ist bei allen Verfahren gesichert. Bei den gepflügten Parzellen besteht die Tendenz zu einer stärkeren Abnahme als auf den mit der Scheibenegge behandelten Feldern. Die Richtung dieser Entwicklung ist derjenigen der Veränderung der Wasserkapazität sehr ähnlich. Wir haben dort festgestellt, dass die Wasserkapazität der mit der Scheibenegge behandelten Parzellen nur wenig zunimmt, während sie auf den gepflügten Streifen viel stärker anwächst. Es scheint, dass die Struktur, die die Scheibenegge hervorruft, auf die Witterungseinflüsse viel weniger rasch reagiert, als diejenige, die durch den Pflug unter den gleichen Bedingungen gebildet wird. Die lockere Lagerung des gepflügten Bodens wird im Vergleich zu derjenigen des mit der Scheibenegge behandelten Bodens stärker verdichtet. Das Endresultat des Verdichtungsprozesses ist auf einem gesunden Acker unter normalen Witterungs-

Tabelle 26: Wasserentzug in cm pro 100 cm Boden durch Saugspannungen von 50 cm, 100 cm und 150 cm Wasser säule aus Bodenproben des Versuchsfeldes Rosberg, 1952.

50 cm	Sch. egge a	Sch. egge b	Kultivator c	Sch. pfl.o.E.d	Sch. pfl.m.E.	umbenh.f	Pflug m.E. g	GD	F <sub>0,05</sub>	F <sub>0,05</sub>
Zeitpunkte	beb. n. beb.	beb. n. beb.	beb. n. beb.	beb. n. beb.	beb. n. beb.	n. beb.	beb. n. beb.	5%	Beatr.	Saat
4. 8.	4,07 4,69	5,09 3,77	6,17 5,57	5,33 4,48	6,66 5,90	3,82	6,47 4,54	1,87	2,55*	7,32*
21. 8.	3,87 3,77	4,74 4,97	4,11 5,51	5,97 4,66	6,56 5,84	4,36	5,36 4,85	1,38	3,45*	0,94
2. 9.	2,18 1,67	3,73 2,25	1,99 2,71	3,40 2,34	3,39 2,24	1,55	2,34 2,11	1,19	3,01*	11,71*
24. 9.	4,11 3,67	3,92 4,90	3,80 4,72	4,45 5,26	4,97 4,41	3,44	3,91 3,77	1,61	0,99	0,14
6.10.	3,28 2,36	3,72 4,33	3,09 3,87	4,82 3,67	4,82 3,46	3,85	3,51 3,31	1,86	0,78	0,09
GD 5%	1,77	1,81	1,81	1,74	1,99	1,86	1,68			
F <sub>0,05</sub> Zp.	4,51*	2,50*	8,77*	3,62*	9,23*	3,00*	10,06*			
F <sub>0,05</sub> Saat	0,46	0,33	2,84	0,75	3,67	-	4,16*			
100 cm										
4. 8.	1,57 1,99	1,77 2,71	1,26 1,84	1,88 2,18	1,82 1,84	1,53	1,68 2,18	1,15	0,99	2,77
21. 8.	2,81 2,62	2,58 2,45	2,91 2,31	1,92 3,09	2,29 2,10	2,11	3,02 3,01	1,20	0,77	0,03
2. 9.	2,35 1,87	2,02 3,19	3,23 2,30	2,38 2,35	2,45 1,33	3,28	1,62 2,63	1,25	2,08*	0,01
24. 9.	1,90 1,55	1,65 1,58	2,28 2,35	2,93 2,26	1,39 2,54	2,59	1,80 2,12	1,34	0,96	0,33
6.10.	1,65 1,50	1,54 1,30	1,48 2,57	1,58 1,23	2,07 1,49	1,68	1,81 3,01	1,58	0,79	0,19
GD 5%	1,07	1,38	1,75	1,20	1,28	1,37	1,34			
F <sub>0,05</sub> Zp.	2,98*	2,12	1,23	2,63*	0,26	2,28	2,21			
F <sub>0,05</sub> Saat	0,04	1,23	0,009	0,10	0,67	-	2,91			
150 cm										
4. 8.	1,19 1,35	1,13 1,53	1,13 0,93	0,53 0,82	1,16 0,53	1,11	0,57 0,68	0,65	1,86	0,65
21. 8.	0,53 0,56	0,93 0,43	0,80 0,63	0,33 0,62	0,79 0,42	0,70	0,51 1,14	0,37	2,81*	0,01
2. 9.	0,79 0,73	0,66 1,15	0,60 0,73	0,65 0,73	0,48 0,46	0,67	0,62 0,61	0,46	1,24	1,61
24. 9.	0,97 0,75	0,71 0,96	1,53 1,31	1,27 0,68	0,86 0,95	0,56	0,47 0,95	0,71	1,00	0,04
6.10.	0,80 0,89	0,74 0,64	1,52 0,71	1,32 0,85	1,32 0,94	0,71	0,77 0,77	0,75	0,85	0,25
GD 5%	0,63	0,69	0,88	0,42	0,82	0,56	0,49			
F <sub>0,05</sub> Zp.	3,63*	2,61*	0,94	3,76*	1,95	1,24	0,13			
F <sub>0,05</sub> Saat	0,0007	0,49	0,31	0,012	1,58	-	4,36			

bedingungen jedoch bei beiden Bearbeitungsmethoden praktisch das gleiche. Es handelt sich nur um die Frage der Zeit.

Bei den Wasserentzügen durch 100 cm und 150 cm Wassersäule kann man bei den meisten Methoden ebenfalls eine Abnahme im Laufe der Zeit feststellen, was auf ein Abnehmen dieser kleineren Poren hindeutet. Dieser Rückgang des Volumens dieser Porengrössenklassen ist jedoch bei beiden Saugspannungsstufen nicht so ausgeprägt wie bei der Tension von 50 cm Wassersäule. Die F - Werte für den Einfluss der Zeit sind nur bei wenigen Verfahren gesichert.

Der Gesamtwasserentzug aus den Proben der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen ist geringer als bei denjenigen der gepflügten oder kultivierten Streifen. Der Wassergehalt der Proben aus den mit der Methode a oder b behandelten Parzellen ist nach der Hohlräumenanalyse grösser als bei denjenigen der gepflügten Streifen. Die verdichtende Wirkung der Scheibenegge wird auch in dieser Versuchsperiode bestätigt.

Bei den ersten Untersuchungen über die Hohlräume haben wir festgestellt, dass die Bearbeitung nur die Poren beeinflusst, die bis zu einer Saugspannung von 50 cm Wassersäule entleert werden. Dieses Ergebnis hat sich in der Hauptsache bestätigt. Nur in zwei Fällen waren bei höheren Saugspannungen die F - Werte für die Bearbeitung gesichert. Die Resultate können als zufällig betrachtet werden, da die Sicherung nur ganz knapp oder durch Extremwerte stark beeinflusst ist.

Fig. 9 zeigt den Verlauf des Wasserentzuges aus Bodenproben verschieden bearbeiteter Parzellen. Die Wassergehalte sind angegeben in Prozenten der Sättigung, sodass aus der graphischen Darstellung die prozentualen Anteile der Porengrössenklassen entnommen werden können. Die Strecke AB z.B. stellt in diesem Falle den Anteil der Poren in den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen dar, die sich bis zu einem Saugdruck von 50 cm Wassersäule entleeren. (Siehe Fig. 9 auf S. 66).

Aus dieser graphischen Darstellung geht hervor, dass der Gesamtwasserentzug aus den Proben der mit der Scheibenegge (a) behandelten Streifen viel geringer ist als aus denjenigen der gepflügten Parzellen (g). Die Proben aus den kultivierten Teilfeldern (c) nehmen in dieser Beziehung eine Mittelstellung ein.

Aus dem Verlauf der Kurven kann man auf den Anteil der verschiedenen Porenklassen schliessen. Je flacher ein Teilstück zwischen zwei verschiedenen Saugspannungsstufen ist, desto grösser ist der Porenanteil, der durch die höhere Tension, die das Kurvenstück begrenzt, entleert werden kann.

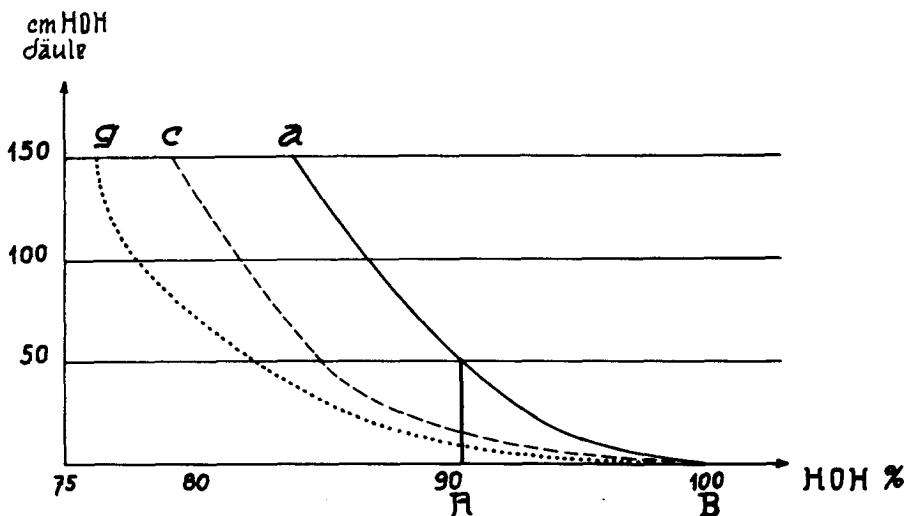


Fig. 9: Wasserentzüge durch verschiedene Saugdrücke aus gesättigten Proben dreier Verfahren, 4.8.53. (Wassergehalt bei Sättigung = 100%) (Erklärungen im Text).

Legende zu nebenstehender Fig. 10:

- a: Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der Garben. Zweite Behandlung vor der Saat.
- b: Scheibenegge: Erste Bearbeitung sofort nach dem Schnitt des Getreides (Scheibenegge an den Garbenbinder angehängt); zweite Behandlung unmittelbar vor der Saat.
- c: Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode a.
- d: Schälflug ohne Eggenstrich: 5-8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e: Schälflug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode d.
- f: Unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g: Normalflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode d. 15-20 cm tief.

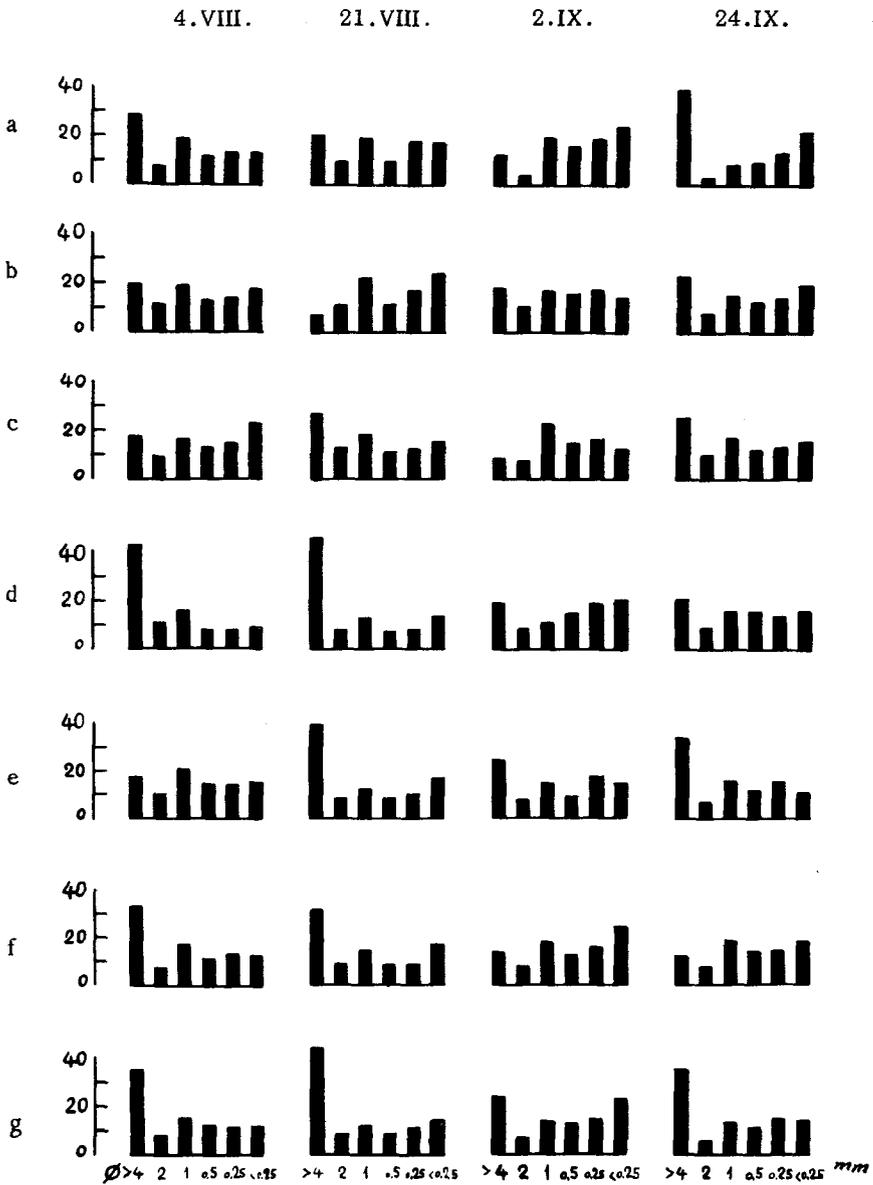


Fig. 10: Resultate der Krümelanalyse, Rossberg, 1952. (bebaute Parzellen).  
 Legende siehe Seite 66.

Die Resultate der Krümelanalyse des Versuchsfeldes Rossberg sind sehr ähnlich denjenigen des Jahres 1950 auf dem Strickhof (vgl. Fig. 4). Die den Boden flach bearbeitenden Methoden wirken auf die prozentualen Grössenanteile der Vielfachteilchen ausgleichend, während der Pflug die Bildung von grösseren Krümeln fördert. Durch die Einwirkung der Witterung wird auf den gepflügten Parzellen besonders der grosse Anteil an Makroaggregaten von 4 und mehr mm Durchmesser zerkleinert. Diese Erscheinung zeigt sich auch in der Vergrösserung der Wasserkapazität bzw. in der Verkleinerung der Luftkapazität im Verlaufe der Zeit. Bei diesem Versuch sind die Veränderungen der einzelnen Grössenklassen mit der Zeit auf den mit der Scheibenegge oder mit dem Kultivator behandelten Streifen weniger ausgeprägt als in den früheren Versuchen.

Anlässlich der letzten Probenahme am 24. September wurde wie im vorhergehenden Jahr bei allen Verfahren eine starke Zunahme des Anteils der Makroaggregate von mehr als 4 mm Durchmesser festgestellt. Diese Erscheinung ist wiederum hauptsächlich auf den hohen Wassergehalt des Bodens im Zeitpunkt der Probenahme zurückzuführen. (GLIEMEROTH, 1949).

Die biologische Bodenaktivität konnte in dieser Versuchsperiode während zwei Zeitabschnitten untersucht werden. Die erste Serie der Zelluloseschnüre war vom 18. August bis am 1. September im Boden, die zweite vom 5. bis am 23. September.

Legende zu Fig. 11 und 12 auf den Seiten 69 und 70:

- a: Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der Garben; zweite Behandlung vor der Saat.
- b: Scheibenegge: Erste Bearbeitung sofort nach dem Schnitt des Getreides (Scheibenegge an den Garbenbinder angehängt); zweite Behandlung unmittelbar vor der Saat.
- c: Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode a.
- d: Schälplug ohne Eggenstrich: 5-8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e: Schälplug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei der Methode d.
- f: Unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g: Normalpflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode d. 15-20 cm tief.

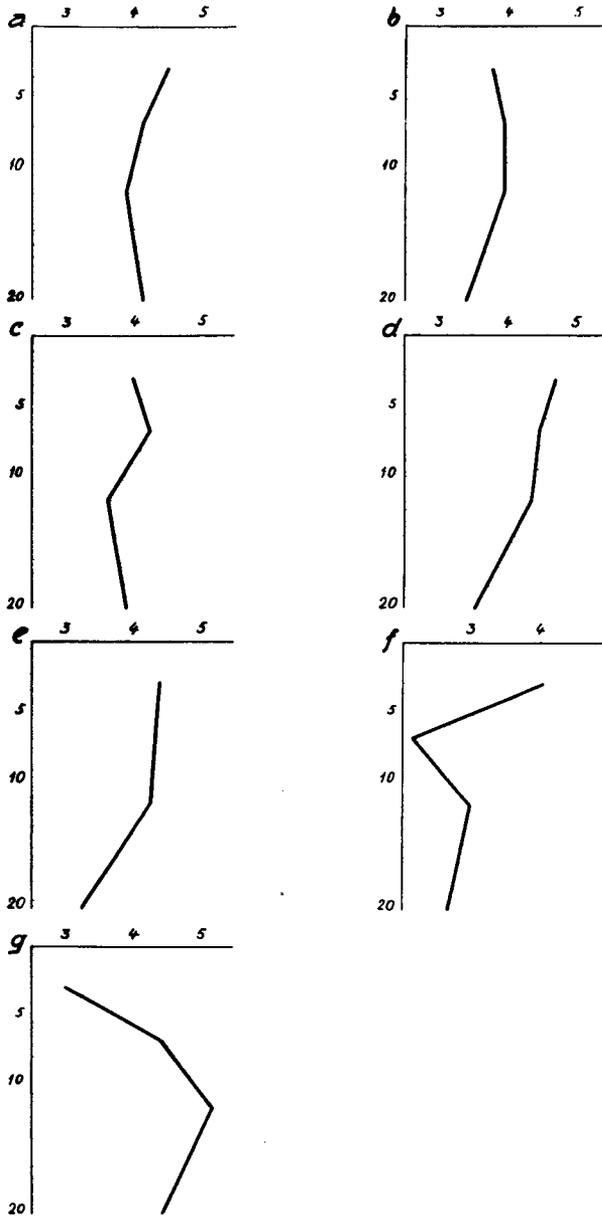


Fig. 11: Biologische Bodenaktivität auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1952, (1. Serie). Legende siehe Seite 68.

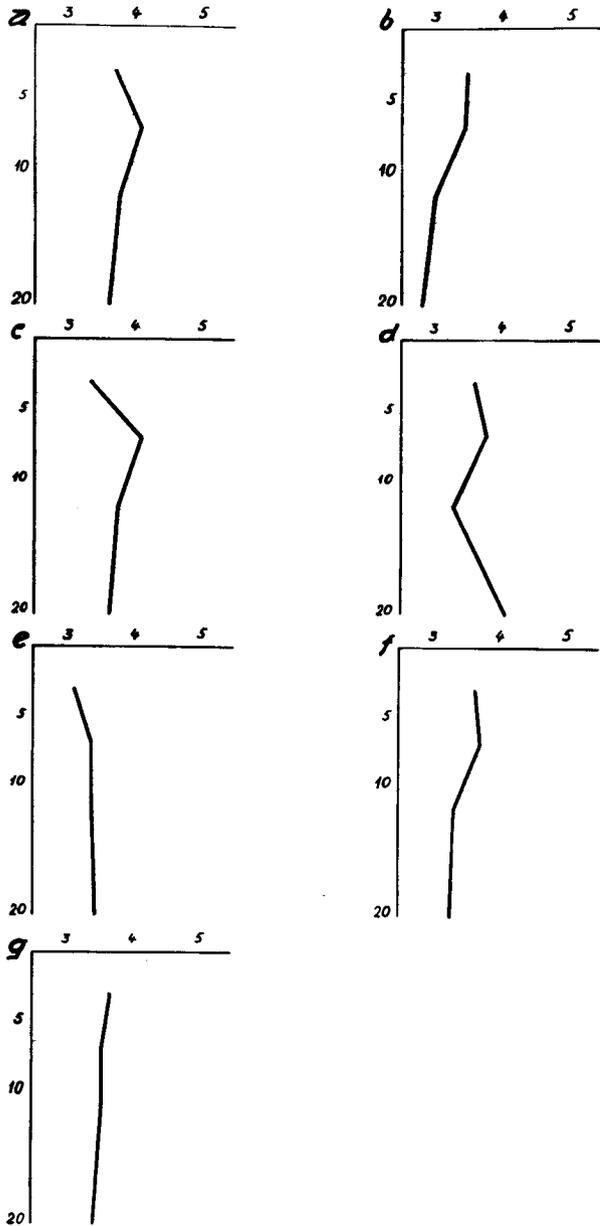


Fig. 12: Biologische Bodenaktivität auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1952, (2. Serie). Legende siehe Seite 68.

Im allgemeinen besteht bei den Parzellen aller Verfahren die gleiche Tendenz der biologischen Aktivität wie in der vorhergehenden Versuchsperiode. In den Streifen, die flach bearbeitet worden waren, nimmt die Aktivität mit der Tiefe ab, während sie in den gepflügten Teilfeldern in 7 - 12 cm Tiefe das Maximum erreicht. Beim Vergleich der beiden Serien stellt man fest, dass in der ersten die Unterschiede zwischen den biologischen Aktivitäten der verschieden behandelten Parzellen in allen Tiefen grösser sind als in der zweiten Serie; sind sie doch in der letzteren nur noch in 7 cm und 20 cm Tiefe gesichert.

Das Maximum der Aktivität ist in der Regel in jener Tiefe zu finden, wo die Hauptanteile der Stoppeln und des Pflanzenmaterials durch die Bearbeitung untergebracht wurden. Diese Feststellung erklärt schon weitgehend die Formen der Kurven, die in Fig. 11 und Fig. 12 dargestellt sind.

Am 24. September, also ungefähr sechs Wochen nach der Saat, haben wir den allgemeinen Stand des Wickhaferers und auf den nicht bepflanzten Parzellen den Unkrautwuchs und das Aufgehen des Ausfallgetreides beurteilt. Die Resultate, die auf sechs Wiederholungen basieren, sind in Tabelle 27 zusammengefasst. Die unbebauten Parzellen wurden nicht beurteilt, da sie zur Unkrautbekämpfung zweimal mit dem Kultivator bearbeitet worden waren.

#### Beurteilungsschema:

Allgemeiner Stand:	1 = sehr schlecht	5 = sehr gut
Unkrautwuchs:	1 = sehr viel Unkraut	5 = unkrautfrei
Ausfallgetreide:	1 = sehr viele Getreidepflanzen	5 = keine Getreidepflanzen

Tabelle 27: Ergebnisse der Beurteilung, Rossberg, 1952. (vgl. Text)

	a	b	c	d	e	g
a) Wickhafer						
Allg. Stand	2,1	2,9	3,5	3,4	3,8	4,0
b) unbepflanzte Streifen						
Unkraut	3,0	3,2	3,0	3,5	3,6	4,1
Ausfallgetreide	2,2	3,4	3,1	3,9	3,8	4,7

Aus dieser Punktierung geht die schlechte Entwicklung des Zwischenfutters auf den Parzellen der Methoden a und b (Scheibenegge) deutlich hervor. Auf den gepflügten Parzellen (Verfahren g) stand der Wickhafer dicht und hoch.

In bezug auf den Unkrautwuchs stellt man einen Unterschied hauptsächlich

zwischen flach- und tieferarbeitenden Verfahren fest. Auf diese Differenz werden wir noch zurückkommen. Das Ausfallgetreide zeigt eine ähnliche Tendenz wie das Unkraut.

Am 14. Oktober wurden auf den unbebauten Streifen die Unkräuter bestimmt und nach dem System von BRAUN - BLANQUET (1951) nach Deckungsgrad und Soziabilität beurteilt. (Tabelle 28).

Es wurden die folgenden Skalen verwendet:

a. Deckungsgrad:

- r = äusserst spärlich und mit sehr geringem Deckungswert
- + = spärlich mit sehr geringem Deckungswert
- 1 = reichlich, aber mit geringem Deckungswert oder ziemlich spärlich aber mit grösserem Deckungswert
- 2 = sehr zahlreich, oder mindestens  $\frac{1}{20}$  der Aufnahmefläche bedeckend
- 3 =  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  der Aufnahmefläche deckend, Individuenzahl beliebig
- 4 =  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  der Aufnahmefläche deckend, Individuenzahl beliebig
- 5 = mehr als  $\frac{3}{4}$  der Aufnahmefläche deckend, Individuenzahl beliebig

b. Soziabilität:

- 1 = einzeln wachsend
- 2 = gruppen- oder horstweise wachsend
- 3 = truppweise wachsend (kleine Flecken oder Polster)
- 4 = in kleinen Kolonien wachsend oder grössere Flecken oder Teppiche bildend
- 5 = in grossen Herden.

Die unbedeckte Bodenfläche wurde in Prozenten der ganzen Parzelle abgeschätzt.

Die Aufnahme wurde in verdankenswerter Weise von W. Zwingli, Institut für Pflanzenbau der ETH, durchgeführt.

Tabelle 28: Unkräuterliste im Versuch Rossberg 1952.

Aufnahme am 14. Oktober 1952 nach Braun-Blanquet (1951) im Streifen  $\alpha_2$ 

	a	b	c	d	e	g	f
unbedeckte Bodenfläche in %	40	60	50	60	70	80	80
<i>Triticum aestivum</i>	3.2	3.2	3.2	2.2	1.2	+1	+1
<i>Taraxacum officinalis</i>	1.1	1.1	1.1	-	-	-	1.1
<i>Plantago major</i>	2.1	+1	1.1	-	-	-	1.1
<i>Capsella bursa pastoris</i>	+1	1.1	1.1	-	+1	-	2.1
<i>Viola biflora</i>	+1	+1	+1	-	-	-	1.1
<i>Thlaspi arvense</i>	-	+1	1.1	-	r.1	-	-
<i>Equisetum arvense</i>	-	+1	+1	-	-	-	-
<i>Ranunculus repens</i>	-	-	1.1	-	-	-	1.1
<i>Euphorbia exigua</i>	r.1	+1	+1	-	-	-	+1
<i>Rumex crispus</i>	+1	+1	-	-	-	-	-
<i>Polygonum aviculare</i>	+1	-	-	-	-	-	-
<i>Trifolium repens</i>	+1	-	-	-	-	-	+1
<i>Potentilla repens</i>	+1	-	-	+1	-	-	+1
<i>Cirsium arvense</i>	-	-	-	1.1	-	-	+1
<i>Geranium spec.</i>	-	-	-	1.1	-	-	-
<i>Sinapis arvensis</i>	+1	1.1	1.1	2.1	2.1	2.1	-
<i>Convolvulus arvensis</i>	-	-	-	+1	-	2.1	+1
<i>Leontodon hispidus</i>	-	-	-	-	+1	-	-
<i>Galeopsis tetrahit</i>	-	+1	+1	r.1	+1	1.1	-
<i>Veronica polita</i>	1.1	2.1	2.1	2.1	3.1	2.1	+1
<i>Chenopodium album</i>	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	-
<i>Cerastium arvense</i>	r.1	+1	1.1	-	1.1	1.1	+1
<i>Polygonum convolvulus</i>	+1	+1	1.1	+1	+1	-	+1
<i>Polygonum Persicaria</i>	+1	+1	-	1.1	1.1	+1	+1
<i>Vicia hirsuta</i>	+1	+1	+1	+1	r.1	+1	+1
<i>Cirsium lanceolatum</i>	+1	+1	+1	-	+1	+1	+1
<i>Lamium purpureum</i>	r.1	r.1	1.1	1.1	-	+1	-
<i>Anagallis arvensis</i>	-	-	-	-	-	-	1.1
<i>Plantago lanceolata</i>	-	-	-	-	-	-	+1
<i>Lotus corniculatus</i>	-	-	-	-	-	-	r.1

Anmerkung und Legende siehe folgende Seite.

Anmerkung zu Tab. 28 auf Seite 73:

Die unbehandelte f - Parzelle wurde zur Unkrautbekämpfung zweimal mit dem Kultivator bearbeitet.

Legende zu Tab. 28 auf Seite 73:

- a: Scheibenegge: Erste Behandlung nach dem Einfahren der Garben. Zweite Bearbeitung vor der Saat.
- b: Scheibenegge: Erste Bearbeitung sofort nach dem Schnitt des Getreides (Scheibenegge an den Garbenbinder angehängt) ; zweite Behandlung unmittelbar vor der Saat.
- c: Kultivator: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Methode a.
- d: Schälflug ohne Eggenstrich: 5-8 cm tief; Bearbeitung nach dem Abräumen des Feldes.
- e: Schälflug mit Eggenstrich: gleiche Tiefe wie bei Methode d; zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei Verfahren d.
- f: Unbehandelt: Während der Versuchsperiode 1952 mit dem Kultivator zur Unkrautbekämpfung bearbeitet.
- g: Normalflug mit Eggenstrich: Zeitliche Durchführung der Bearbeitung wie bei d. Tiefe: 15-20 cm.

Die festgestellten Unkräuter lassen sich in fünf Gruppen einteilen:

1. Das Ausfallgetreide, das auf allen Parzellen vorkommt. Auf den flach gelockerten Streifen tritt es aber besonders häufig auf.
2. Unkräuter, die besonders auf den flach bearbeiteten Parzellen zu finden sind.
3. Unkräuter, die hauptsächlich auf den gepflügten und auf den geschälten Parzellen wachsen.
4. Unkräuter, die auf allen Streifen ungefähr gleichmässig vorkommen.
5. Unkräuter, die nur auf den unbearbeiteten und brach liegenden Streifen auftreten. (Parzellen f.)

Wir haben versucht, Zusammenhänge zwischen Bodenbearbeitung und Art der Verbreitung der Unkräuter herauszuschälen. Dabei muss betont werden, dass diese Regeln nur Tendenzen aufdecken können, da sie auf einer einzelnen Beobachtung basieren. Es handelt sich ausschliesslich um Unkräuter, deren Samen oder Wurzeln schon im Boden waren, die also nicht durch die Saat des Wickhaffers in das Feld gelangten.

Die auf den gepflügten Parzellen aufgegangenen Unkräuter vermehren sich hauptsächlich mit Wurzeln oder Wurzelteilen, oder sie besitzen vorwiegend Sa-

men mit langer bis sehr langer Keimruhe. Als Beispiel für Wurzelunkräuter diene die Ackerwinde; für Samenunkräuter der Ackersenf und der Ackerholzzahn. In bezug auf *Galeopsis tetrahit* sagt SALZMANN (1939), dass Landwirte des Emmentales die Kartoffeläcker vor der Saat des Getreides nicht mehr pflügen, um die "Glurensamen" nicht an die Oberfläche heraufzuholen.

In den flach bearbeiteten Streifen fanden wir vorwiegend Unkräuter, deren Samen keine oder nur kurze Keimruhe besitzen. Als Beispiel für diese Gruppe kann das Hirtentäschelkraut und die kleine Wolfsmilch erwähnt werden. Eine zweite Gruppe umfasst Unkräuter, die sich mit Ausläufern verbreiten, so z.B. der kriechende Hahnenfuss.

Die grosse Gruppe der Unkräuter, die auf allen Bearbeitungstreifen vorkommen, beweisen, dass keine scharfe Umgrenzung der Unkrautgruppen möglich ist.

Tabelle 29: Erträge des Wickhafers in q Trockensubstanz pro ha auf dem Versuchsfeld Rossberg, 1952.

	a	b	c	d	e	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
q TS/ha	18,6	21,1	21,2	21,7	22,5	21,5	2,74	2,01

Trotz der grossen Unterschiede in der Entwicklung des Wickhafers auf den verschiedenen Streifen ist der F - Wert der Bearbeitung in bezug auf die Erträge nicht gesichert. Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Entwicklung des Zwischenfutters auf beiden Wiederholungen der Bearbeitung. Die Unterschiede zwischen den Erträgen der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzelle (Methode a) und denjenigen der gepflügten oder geschälten Streifen (Methoden g, e und d) sind jedoch gesichert. Es besteht auch bei diesem Versuch die Tendenz zu hohen Erträgen auf den gepflügten Parzellen, während der Ertrag auf den mit der Scheibenegge (Methode a) bearbeiteten Streifen deutlich niedriger ist als die Erträge aller andern Parzellen.

#### b. Die übrigen Versuche des Jahres 1952.

Bei diesen Versuchen handelt es sich um jene, die auf dem Betrieb der kantonalen landwirtschaftlichen Schule Strickhof und auf dem Gutsbetrieb St. Katharinenthal bei Diessenhofen angelegt wurden. Die Versuchsanordnung entsprach im Prinzip derjenigen des Hauptversuches auf dem Rossberg; d. h. jedes Verfahren lag in sechs Wiederholungen vor.

Tabelle 30: Wassergehalte in Volumenprozenten auf den Versuchsfeldern Strickhof und St. Katharinenthal, 1952.

Bearbeitungs- methoden	Strickhof				St. Katharinenthal							
	14.8.		16.10.		11.8.		27.8.		16.9.		2.10.	
	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	18,4	21,1	37,0	29,9	14,5	14,4	12,5	14,0	21,7	22,7	26,1	24,0
Kultivator c	19,6	21,7	37,7	33,3	14,0	15,3	12,5	14,3	22,8	21,0	24,9	24,2
Schälflug o.E. d	17,9	19,3	34,6	29,4	13,9	13,8	11,9	14,2	21,6	22,5	24,5	24,1
Schälflug m.E. e	19,1	20,7	33,1	30,1	14,8	14,6	11,4	14,2	21,2	23,2	26,3	23,2
unbehandelt f	-	19,5	-	31,8	-	13,0	-	14,2	-	20,5	-	22,3
Pflug m. Egge g	18,4	20,9	31,9	30,8	14,0	15,3	13,3	13,5	20,8	21,7	24,1	22,9
GD 5%	3,01		2,72		1,53		1,47		1,90		2,50	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	1,39		8,51**		1,55		4,05*		2,39*		2,33*	
F <sub>0,05</sub> Saat	8,25*		46,60**		0,13		31,07**		4,02		7,79*	

Auf diesen beiden Versuchsfeldern konnten dreimal Bodenproben nach einer Trockenperiode von 8 - 14 Tagen genommen werden. Es handelt sich beim Versuch Strickhof um den 14. August und auf dem Versuchsfeld St. Katharinenthal um den 11. und 27. August. Weder beim ersten noch beim zweiten Versuch sind die F - Werte für die Bearbeitung anlässlich der ersten Probenahme gesichert. Die Werte der Wassergehalte der verschieden bearbeiteten Parzellen sind sehr ausgeglichen. Im Gegensatz dazu sind aber die F - Werte für den Einfluss der Saat gesichert. Der Vergleich zeigt, dass die unbebauten Parzellen in den meisten Fällen höhere Wassergehalte aufweisen als die bebauten. Die gleiche Erscheinung konnten wir am 16. August 1950 auf dem Versuchsfeld Affoltern feststellen. Die Ursache für diesen Wasserverlust der bebauten Parzellen ist wiederum in der Transpiration durch das Wickhafergemenge zu suchen.

Die drei übrigen Probenahmen mussten schon nach wenigen regenfreien Tagen durchgeführt werden. Bei allen diesen Untersuchungen weisen die gepflügten Parzellen einen etwas geringeren Wassergehalt auf als die mit der Scheibenegge behandelten Streifen. Die mit den übrigen Verfahren bearbeiteten Teilfelder nehmen eine Mittelstellung ein.

Die F - Werte der Saat sind am 16. Oktober im Strickhof und am 2. Oktober im Katharinenthal gesichert. Die Wassergehalte der unbebauten Parzellen sind in diesen beiden Fällen geringer. Diese Feststellung zeigt, dass die nicht bebauten Streifen nach Niederschlägen anfänglich mehr Wasser abgeben als die bebauten Parzellen, während nach der Erreichung eines bestimmten - offenbar niederen - Feuchtigkeitsgehaltes die bebauten Teilfelder durch die Transpiration der Pflanzen mehr Wasser verlieren als die nicht bebauten.

Tabelle 31: Werte der Wasserkapazität in Volumenprozenten auf den Versuchsfeldern Strickhof und St. Katharinenthal, 1952.

Bearbeitungs- methoden	Strickhof				St. Katharinenthal							
	14. 8.		16. 10.		11. 8.		27. 8.		16. 9.		2. 10.	
	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.	beb.	n. beb.
Scheibenegge a	38,8	39,7	41,1	35,7	50,1	49,8	47,4	46,3	48,1	43,2	46,9	45,6
Kultivator c	39,6	38,7	41,6	39,4	50,0	51,0	47,2	48,0	48,5	46,6	47,9	43,7
Schälflug o. E. d	36,5	36,0	39,3	35,4	48,5	50,4	46,7	47,6	46,1	47,3	47,8	44,4
Schälflug m. E. e	37,0	38,1	37,6	36,5	49,8	49,1	47,5	47,5	47,7	46,3	45,9	47,5
unbehandelt f	-	36,2	-	36,8	-	47,7	-	47,1	-	46,2	-	45,0
Pflug m. Egge g	36,6	39,7	35,7	37,2	49,7	48,5	48,3	48,1	47,6	48,1	45,6	44,8
GD 5%	4,70		2,50		2,12		2,24		2,84		2,72	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	0,68		6,13*		1,61		0,61		2,21*		1,98	
F <sub>0,05</sub> Saat	0,56		25,82**		0,17		0,001		4,81*		9,05*	

Bei diesen Versuchen ist der F - Wert für die Bearbeitung nur in je einem Fall gesichert. Auf dem Strickhof ist die Wasserkapazität der gepflügten Parzellen wie beim Hauptversuch gleich oder kleiner als die der mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen. Auf dem Versuchsfeld St. Katharinenthal hingegen ist die Wasserkapazität der gepflügten Felder gleich oder höher als auf den mit der Scheibenegge befahrenen Parzellen. Es scheint, dass die anfänglich locker gelagerte oberste Bodenschicht der gepflügten Parzellen bei leichten, sandigen Böden stärker verdichtet wird als auf den schwereren Böden. Wir verweisen auf den Versuch in Rheinau von 1951, wo wir ähnliche Feststellungen gemacht haben.

Beim Versuch St. Katharinenthal nimmt die Wasserkapazität bei allen Verfahren mit der Zeit ab, während sie bei allen andern Versuchen langsam zugenommen hat.

Die Luftkapazitätswerte (vergl. Tabelle 32 auf Seite 78) der nicht bebauten Parzellen sind - mit Ausnahme der ersten Bestimmung - im Vergleich zu denjenigen der bebauten Streifen hoch, da die unbebauten Teilfelder während der Versuchsperiode zur Niederhaltung des Unkrautes dreimal mit dem Kultivator bearbeitet worden waren. Aus diesem Grunde legen wir das Hauptgewicht auf die bebauten Parzellen.

Bei diesen beiden Versuchen konnte nur ein gesicherter F - Wert für die Bearbeitung festgestellt werden. Die Unterschiede zwischen den Werten der Luftkapazität der verschieden bearbeiteten Parzellen sind in der Regel nicht gesichert. Eine Ausnahme bilden die Unterschiede zwischen Extremwerten.

Tabelle 32: Werte der Luftkapazität in Volumenprozenten auf den Versuchsfeldern Strickhof und St. Katharinenthal, 1952.

Bearbeitungs- methoden	Strickhof				St. Katharinenthal							
	14.8.		16.10.		11.8.		27.8.		16.9.		2.10.	
	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.	beb.	n.beb.
Scheibenegge a	20,9	19,0	13,6	27,3	8,1	7,0	11,3	10,0	11,0	15,3	9,8	14,4
Kultivator c	18,0	18,9	14,7	21,9	11,2	7,3	12,2	9,2	10,8	14,5	11,3	15,7
Schälflug o.E. d	22,7	19,7	17,5	24,2	9,1	7,5	11,8	10,9	14,1	10,6	11,4	13,7
Schälflug m.E. e	20,4	18,5	19,5	24,0	8,7	8,5	11,2	10,1	12,1	12,0	8,4	15,8
unbehandelt f	-	24,5	-	24,3	-	12,2	-	11,5	-	13,8	-	15,0
Pflug m. Egge g	21,0	16,9	24,1	23,6	9,6	8,0	9,2	8,7	11,5	11,7	14,2	16,8
GD 5%	7,92		5,19		4,41		3,60		6,19		5,60	
F <sub>0,05</sub> Bearb.	0,64		5,83*		1,10		0,83		0,59		1,91	
F <sub>0,05</sub> Saat	2,54		32,85**		0,97		2,38		0,31		12,62**	

Die Luftkapazitäten auf dem Versuchsfeld Strickhof sind wie beim Hauptversuch in den gepflügten Parzellen höher als auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen. Auf dem Versuchsfeld St. Katharinenthal hingegen sind die Luftkapazitätswerte der verschiedenen bearbeiteten Streifen weitgehend ausgeglichen. Es besteht auch bei diesem Versuch auf den gepflügten Parzellen die Tendenz zu hohen Luftkapazitäten. Die F - Werte für die Bearbeitung sind jedoch in keinem der Zeitpunkte gesichert.

Am 4. Oktober wurden auf den beiden Versuchsfeldern der allgemeine Stand des Wickhafers, der Unkrautwuchs und das Ausfallgetreide untersucht und punktiert. Wir haben dabei das gleiche Bonitierungsschema wie beim Hauptversuch angewandt. (Tabelle 27.)

Tabelle 33: Bonitierung der Versuchsfelder Strickhof und St. Katharinenthal.

	Strickhof					St. Katharinenthal *)				
	a	c	d	e	g	a	c	d	e	g
a) Wickhafer										
Allg. Stand	3,5	3,4	4,0	4,5	3,8	3,0	2,4	2,9	2,8	4,0
b) unbepflanzte Streifen										
Ausfallgetreide	2,6	2,5	3,7	3,7	4,6	3,3	2,3	1,6	2,8	4,5
Unkraut	3,2	3,5	3,7	3,8	4,0	3,3	2,3	1,6	2,8	4,5

\*) Ausfallgetreide und Unkrautwuchs wurden zusammen beurteilt.

Diese Beurteilung basiert auf den sechs Bewertungen der Wiederholungen. Es geht daraus hervor, dass die flach bearbeiteten Parzellen wesentlich mehr Unkraut und Ausfallgetreide aufweisen als die gepflügten Streifen. Diese Feststellung bestätigt die Beobachtungen beim Hauptversuch auf dem Strickhof.

Tabelle 34: Erträge des Wickhafers in q Trockensubstanz pro ha auf den Versuchsfeldern Strickhof und St. Katharinenthal, 1952.

TS q/ha	a	c	d	e	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>	Saat	Ernte	Veg. d.
Strickhof	28,1	27,3	26,4	29,9	25,7	2,60	3,62*	30.7.	7.10.	69
St. Katharinenthal	21,1	17,0	19,3	19,1	24,1	3,60	4,72	29.7.	7.10.	70

Der Einfluss der Bearbeitung auf die Höhe der Erträge ist bei beiden Versuchen gesichert. Beim Versuch Strickhof hat der mit der Methode e (schälen und eggen) bearbeitete Streifen den höchsten Ertrag abgeworfen; im Katharinenthal hingegen konnte auf der gepflügten Parzelle (Methode g) am meisten geerntet werden. Bemerkenswert ist beim Versuch Strickhof der hohe Ertrag der mit der Scheibenegge bearbeiteten Streifen (Methode a). Der Unterschied zu demjenigen des gepflügten Teilfeldes ist nicht gesichert. Die Differenz zwischen den Erträgen der Parzellen a und g beim Versuch St. Katharinenthal ist ebenfalls nicht gesichert.

#### c. Beobachtungen im Frühjahr 1953.

Alle drei Versuchsfelder wurden im Herbst 1952 einheitlich gepflügt. Besonders auf dem Rossberg ist es aufgefallen, dass der Kraftaufwand für das Pflügen auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen viel grösser war als auf den andern Streifen.

Im März 1953 wurden auf dem Versuchsfeld Rossberg Bodenproben auf den für das Herbstfutter verschiedenen bearbeiteten Streifen genommen, um die Veränderung der Struktur zu untersuchen und damit auch allfällige Nachwirkungen der oberflächlichen Bearbeitung auf die tieferen Schichten festzustellen. Die Probe-nahme bot einige Schwierigkeiten, da auf dem Felde noch die verwitterten Schollen lagen. Neben den Schollen war der Boden in der Regel feuchter als in den Schollen. Wir haben daher die Bodenproben konsequent aus den Schollen in 2-6 cm Tiefe gestochen.

Tabelle 35 : Wassergehalte in Volumenprozenten des Versuchsfeldes Rossberg,  
21. März, 1953.

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
HOH Gehalt Vol. %	22,7	23,1	22,9	23,2	22,9	21,6	22,3	3,02	0,85

Die Streuung der Wassergehalte innerhalb der Verfahren ist sehr gross. Der F-Wert für die Wiederholungen ist gesichert. Die angeführten Werte basieren auf sechs Wiederholungen. Die Wassergehalte der verschiedenen Parzellen sind sehr ausgeglichen. Keine der Differenzen sind gesichert, obschon die Proben nach einer Trockenperiode von 10 Tagen genommen worden waren. In bezug auf die Wassergehalte des Bodens kann man keinen Einfluss der Bearbeitungsmethoden unseres Versuches mehr feststellen.

Tabelle 36 : Wasserkapazitätswerte in Volumenprozenten des Versuchsfeldes Rossberg am 21. März 1953.

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
WK Vol. %	39,0	38,1	40,6	37,7	39,9	36,7	35,4	2,37	5,00*

Der Einfluss der Stoppelbearbeitung auf die Wasserkapazität des Bodens nach dem Herbstpflügen ist stark gesichert. Es besteht noch eine ähnlich laufende Tendenz wie während der Versuchsperiode; denn die im Spätsommer mit der Scheibenegge, mit dem Kultivator oder mit dem Schälflug bearbeiteten Felder weisen die höhere Wasserkapazität auf als die gepflügten Streifen. Die durch die flache Stoppelbearbeitung unberührten Bodenschichten der Ackerkrume werden durch das Pflügen im Spätherbst an die Oberfläche gebracht. Auf den gepflügten Streifen wird durch die Herbstfurche das locker gelagerte Material an die Oberfläche gewendet. Es scheint, dass die Bodenbearbeitung für das Zwischenfutter aus diesen Gründen auf die Struktur des Bodens noch einen nachhaltigen Einfluss ausübt.

In bezug auf die Luftkapazität können ebenfalls ähnliche Verhältnisse festgestellt werden wie während der Versuchsperiode (Tabelle 37).

Tabelle 37: Luftkapazitätswerte in Volumenprozenten des Versuchsfeldes Rossberg am 21. März 1953.

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
LK Vol. %	17,9	21,8	21,8	18,8	16,1	22,5	26,8	5,32	3,27

Die Luftkapazität der gepflügten Streifen ist auch im Frühling noch immer höher als die der flach bearbeiteten Parzellen. Das Pflügen im Herbst, die Einwirkung des Frostes und die Niederschläge genügten nicht, um die während der Versuchsperiode festgestellten Unterschiede zwischen den Luftkapazitäten der verschiedenen Parzellen auszugleichen.

Tabelle 38: Hohlräumenanalyse der Proben des Versuchsfeldes Rossberg, 21. März 1953. (Werte in ccm pro 100 ccm Boden)

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
50 cm HOH-Säule	6,97	6,82	8,82	5,27	6,08	5,62	5,18	2,11	3,05*
100 cm "	2,11	1,50	1,83	2,15	2,48	1,63	1,86	1,29	0,56
150 cm "	0,77	0,98	0,73	0,98	0,58	0,68	0,83	0,47	0,81

In bezug auf die Verteilung der Hohlräume, die durch unsere Methode erfasst werden können, bestehen zwischen den Proben der verschiedenen Parzellen keine Unterschiede mehr. Beim Saugdruck von 50 cm Wassersäule stellt man wohl noch einen schwach gesicherten F - Wert für die Bearbeitung fest. Es scheint, dass diese Sicherung zufälliger Natur ist, da die Streuung innerhalb der Verfahren ziemlich gross ist.

Beim Aufgehen der Sommergerste konnten keine Unterschiede zwischen den Parzellen festgestellt werden, da nach der Saat für die Keimung durchgehend zu wenig Wasser vorhanden war. Der nach ca. 10 Tagen einsetzende Regen brachte die Gerste in allen Parzellen gleichzeitig zum Keimen. Auf allen Streifen wuchs die Gerste wegen des warmen Wetters sehr rasch. In bezug auf die Wuchshöhe oder den Krankheitsbefall konnten keine Unterschiede zwischen den Parzellen festgestellt werden.

Bei der Gerstenernte wurden wiederum die Erträge der im Herbst verschieden bearbeiteten Parzellen festgestellt. Die Resultate sind in der Tabelle 39 zusammengestellt.

Tabelle 39: Gerstenerträge in q/ha, 1953.

	a	b	c	d	e	f	g	GD 5%	F <sub>0,05</sub>
Rosberg	25,1	25,6	26,6	25,2	27,4	26,3	24,5	3,12	0,85
Strickhof	44,5	-	43,5	44,1	42,7	45,3	41,9	3,42	1,35

Die Unterschiede zwischen den Erträgen sind bei beiden Versuchen nicht gesichert. Bemerkenswert ist jedoch besonders beim Versuch Strickhof, dass wiederum auf der f - Parzelle (brach; zur Unkrautbekämpfung mit dem Kultivator bearbeitet) die Tendenz zu einem höheren Gerstenertrag besteht. Beim Versuch auf dem Rossberg ist diese Erscheinung weniger stark ausgeprägt.

Wir werden später bei der Uebersicht über die Resultate auf diese Feststellung zurückkommen.

### III. ÜBERBLICK ÜBER DIE ERGEBNISSE.

Im Verlaufe der drei Versuchsperioden wurden unter verschiedenen Boden- und Witterungsbedingungen drei Haupt- und acht Nebenversuche durchgeführt. Im Folgenden sollen nun die Ergebnisse verglichen und die gleichlaufenden Tendenzen herausgeschält werden, um Schlussfolgerungen ziehen zu können.

#### 1. Der Wassergehalt.

Der Vergleich der Resultate der Wassergehaltsbestimmungen aller Versuche zeigen, dass die mit der Scheibenegge behandelten Streifen in der Regel die höheren Wassergehalte aufweisen und das Wasser länger speichern können als die gepflügten Teilfelder. Die nach den übrigen Methoden bearbeiteten Parzellen nehmen eine Mittelstellung ein. Diese Feststellungen gelten sowohl für die bebauten wie auch für die nicht bepflanzten Streifen. Im allgemeinen war der Wassergehalt nach einer Trockenperiode von 3 - 4 Tagen auf den bebauten Parzellen höher als auf den unbebauten. Nach längeren niederschlagsfreien Perioden lagen die Verhältnisse wegen der Transpiration des Wickhafergemenges umgekehrt.

Die Wassergehalte der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen sind nicht nur volumenmässig höher, sondern auch in bezug auf 100 gr trockenen Boden.

## 2. Die Wasserkapazität.

Die Werte der Wasserkapazität aller Versuche gehen mit denjenigen der Wassergehalte parallel. Auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen stellte man immer die höchsten Werte fest. Man muss daher annehmen, dass die Scheibenegge mehr feinere Poren bildet, als andere Geräte die das Wasser kapillar zurückhalten. Die "wasserhaltende Kraft" ist demnach in den mit der Scheibenegge behandelten Streifen höher als in den mit den anderen Geräten bearbeiteten Teilfeldern.

## 3. Die Luftkapazität.

Erwartungsgemäss sind die Werte der Luftkapazität in den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen am geringsten, in den gepflügten Feldern am höchsten. Die Untersuchungen von BAVER (1948) haben in dieser Beziehung unter amerikanischen Verhältnissen die gleichen Resultate gezeigt. Die hohen Luftkapazitäten der gepflügten Parzellen tragen zu den geringen Wassergehalten und zu deren stärkeren Schwankungen wesentlich bei.

Die in der ersten Versuchsperiode festgestellten Luftdurchlässigkeit geht mit den Werten der Luftkapazität parallel.

## 4. Die Hohlraumanalyse.

Die beiden Gruppen von Hohlraumanalysen ergaben übereinstimmend, dass die Bearbeitungsgeräte in der Hauptsache auf die Hohlräume, die mit einer Saugspannung von 50 cm Wassersäule entleert werden können, wirken. Die Unterschiede zwischen den Wasserentzügen aus den Proben der verschiedenen bearbeiteten Parzellen sind bei den höheren Saugdrücken bis zu 150 cm Wassersäule statistisch nicht mehr gesichert. Die Wassergehalte der Bodenproben von Parzellen, die mit der Scheibenegge bearbeitet worden waren, enthalten aber nach dem Wasserentzug bei 150 cm Saugspannung in der Regel noch mehr Wasser als die Proben von den gepflügten Feldern nach derselben Behandlung. (vergl. Tabelle 40 auf Seite 84).

Diese Tatsache zeigt, dass die Scheibenegge auch die feineren Poren, die mit unseren Saugspannungen nicht erfasst werden konnten, beeinflusst. Sie verdichtet den Boden, d. h. der Anteil an feinen Poren ist grösser als in den mit den andern Geräten bearbeiteten Streifen. Diese engen Poren halten nach unserer Ansicht in Trockenperioden oder in Gebieten mit geringen Niederschlägen eine willkommene Wasserreserve zurück. Diese Auffassung wird durch die Erfahrungen in bezug auf die Erträge des Jahres 1951 in Rheinau bekräftigt. (vergl. Tabelle 42.)

Tabelle 40: Wassergehalte (in Volumenprozenten) der Bodenproben vor und nach dem Wasserentzug durch alle drei Saugspannungsstufen. \*)

Rossberg	Scheibenegge a		Kultivator c		Pflug m.E. g	
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
4.8.	33,0	26,1	28,7	20,1	27,3	18,5
21.8.	34,2	27,0	32,9	24,1	30,9	22,0
2.9.	28,3	22,0	26,1	20,3	27,0	21,5
24.9.	34,3	26,3	34,5	26,6	32,1	23,9
6.10.	38,3	31,5	37,4	30,3	36,0	30,0

\*) Als Vergleich ist die Methode mit dem Kultivator angeführt.

## 5. Die Krümelanalyse.

Der Vergleich aller Untersuchungen über die Krümelgrößen kurz nach der Bearbeitung zeigt, dass der Pflug in der Regel die Bildung von Krümeln von mehr als 4 mm Durchmesser fördert, während die andern Bearbeitungsgeräte auf die prozentualen Anteile der kleineren Vielfachteilchen eher ausgleichend wirken. Mit der Zeit nehmen die Anteile der grössten Klassen, also die Makroaggregate über 4 mm und diejenigen mit mehr als 2 mm Durchmesser, bei allen Verfahren ab. Diese Abnahme ist aber auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen am grössten, was auf eine stärkere verdichtende Tendenz hinweist. Diese Feststellungen gelten für die bebauten und für die nicht bepflanzten Parzellen.

Vergleicht man Krümelung und Wasserführung, so ergibt sich eine ähnliche Tendenz, wie sie schon KLOEPEL (1930) festgestellt hat; nämlich, dass der Wassergehalt des feiner gekrümelten Bodens stets höher ist als derjenige des gröbereren Bodens.

Im Hinblick auf die Definition der Bodenstruktur würde es nahe liegen, die Resultate der Hohlraumanalyse mit denjenigen der Krümelanalyse oder z. B. mit der Krümelzahl zu vergleichen. Eine Untersuchung dieser Art ist jedoch nicht gerechtfertigt, da die durch die Krümelanalyse festgestellten Makro- und Mikroaggregate Hohlräume von viel grösseren Durchmessern begrenzen, als sie mit den angewandten Tensionen erfasst werden konnten. Die folgenden rein theoretischen Ueberlegungen sollen die Grössenverhältnisse näher beleuchten.

In einem locker gelagerten System von Kugeln (Koordinationszahl = 10), die sich berühren, verlaufen zylindrisch gedachte Kapillaren mit dem Durchmesser von  $2 \cdot z$  (vergl. Fig. 13). Dieser Durchmesser entspricht demjenigen der engsten

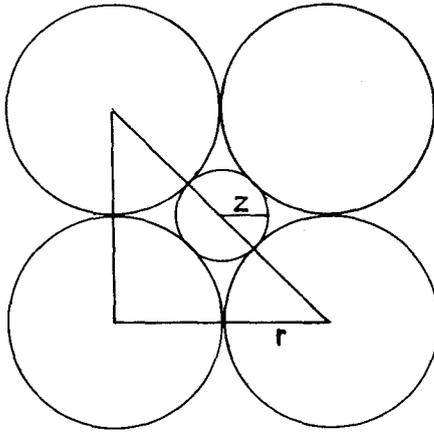


Fig. 13: Beispiel der lockeren Lagerung (Koordinationszahl = 10)  
 $z = r(\sqrt{2} - 1)$

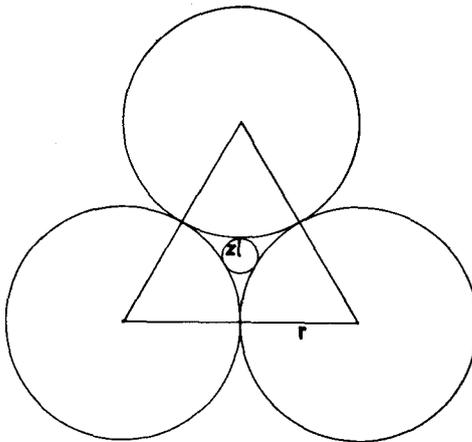


Fig. 14: Beispiel der dichten Lagerung (Koordinationszahl = 12)  
 $z = r\left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1\right)$

Partien zwischen zwei gegenüberliegenden Kugeln und ist eine Funktion der Kugeldurchmesser ( $2.r$ ).

Bei einem dicht gelagerten System von Kugeln (Koordinationszahl = 12) (Fig. 14) nehmen die zwischen den Kugeln verlaufenden Kapillaren einen gekrümmten Verlauf. Als Radius dieser Kapillaren wird der Radius eines Kreises (Fig. 14:  $z$ ) angenommen, der drei benachbarte Kugeln in der gleichen Ebene berührt, in der sie sich untereinander berühren (Fig. 14).

Tabelle 41a: Beziehung zwischen Teilchendurchmesser und Kapillarweite (engste Stellen der Kapillaren.).

Teilchen- durchmesser (mm)	Kapillardurchmesser (mm)	
	lockere Lagerung ( $z$ in Fig. 13)	dichte Lagerung ( $z$ in Fig. 14)
4	1,66	0,622
2	0,83	0,310
1	0,416	0,155
0,5	0,207	0,078
0,25	0,104	0,039

Tabelle 41b: Beziehung zwischen Saugspannung ( $S$ ) in cm Wassersäule und Kapillardurchmesser ( $D$ ).

$S$ (cm)	$D$ (mm)
50	0,06
100	0,06 - 0,03
150	0,03 - 0,018

Die Werte für die Durchmesser in Tabelle 41b wurden auf Grund der Gleichung für die Steighöhe in Kapillaren errechnet (s. Anm.). Die Werte dieser Tabellen

Anm.: Die Gleichung für die Steighöhe lautet:

$$h = \frac{2 \cdot \alpha}{r \cdot d \cdot g}$$

$h$  = Steighöhe  
 $r$  = Radius der Kapillaren  
 $d$  = Dichte (Wasser:  $d = 1$ )  
 $g$  = 981 Dyn  
 $\alpha$  = Oberflächenspannung (Wasser:  $\alpha = 73$  Dyn/cm)

gelten nur für ideale Kapillaren. Ihr absoluter Wert kann nicht auf die Verhältnisse im Boden übertragen werden. Der Unterschied in der Grössenordnung zwischen den durch Kugeln von bestimmten Durchmessern gebildeten Hohlräume und von der Hohlraumanalyse erfassten Kapillaren ist so gross, dass man für den Boden ähnliche Grössenunterschiede annehmen kann.

Die Kapillardurchmesser der Tabelle 41b sind bis fast 30 mal kleiner als diejenigen der Tabelle 41a, d. h. dass wir durch unsere Hohlraumanalyse theoretisch gerade noch mit der Saugspannung von 100 cm Wassersäule die Hohlräume zwischen den dicht gelagerten Teilchen von 0,25 - 0,5 mm Durchmesser erfassen konnten. Wir haben weiter oben festgestellt, dass die Werte für ideale Kapillaren errechnet worden sind und dass diese absoluten Zahlen nicht auf den Boden übertragen werden dürfen. Es ist daher nicht angezeigt, die theoretisch gefundene Uebereinstimmung der Kapillardurchmesser anhand unserer wenigen Versuche praktisch nachzuprüfen.

Beabsichtigt man eine Beziehung zwischen den Hohlräumen, die mit diesen Saugspannungen erfasst werden, und den Teilchengrössen zu suchen, so muss eine Methode der "Krümel" - Analyse angewendet werden, die Teilchen der Grössenordnung von 0,05 mm - 0,15 mm erfassen kann. Will man aber die Hohlräume zwischen den Teilchen von 4 mm bis 0,25 mm untersuchen, so ist man gezwungen, zwischen 0 cm und 100 cm Wassersäule noch mehrere Saugspannungsstufen einzuschalten.

Diese Resultate und Ueberlegungen bekräftigen die Anschauung von HELMICH (1941), der den Raum zwischen den Krümeln *Grosskapillarraum*, denjenigen in den Krümeln *Kleinkapillarraum* nennt. Mit unserer Hohlraumanalyse erfassen wir weitgehend die grösseren Poren innerhalb den durch die Krümelanalyse unterschiedenen Vielfachteilchen.

## 6. Die biologische Bodenaktivität.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die biologische Bodenaktivität zeigten, dass in den flach bearbeiteten Feldern die Aktivität mit der Tiefe abnahm, während sie in den gepflügten Parzellen erst bei 10 - 20 cm Tiefe ihr Maximum erreichte. Diese Feststellung hängt sehr eng mit der verschiedenen tiefen Unterbringung der Stoppein und des Pflanzenmaterials zusammen.

## 7. Die Bodentemperaturen.

Die Messungen der Bodentemperaturen ergaben in beiden Versuchsperioden weder zwischen den Verfahren, noch zwischen den bebauten und unbebauten Par-

zellen gesicherte Unterschiede. Die Temperaturen schwankten im Jahr 1950 zwischen 18 und 20 Grad C., im Jahre 1951 zwischen 14 und 15 Grad C.

## 8. Die Erträge.

Beim summarischen Vergleich der Erträge (vergl. Tabelle 42) stellt man fest, dass sie auf den gepflügten Feldern - mit einer Ausnahme - regelmässig mittel bis hoch ausfielen, während sie auf den flach bearbeiteten Feldern stärkeren Schwankungen unterworfen waren.

Bemerkenswert ist der Ertrag der mit der Scheibenegge (Methode a) bearbeiteten Parzelle im Jahre 1951 auf dem Betrieb No. 3 (Rheinau). Dieses Versuchsfeld lag in einem trockeneren Gebiet. Die Niederschläge waren in jenem Herbst normal. Es zeigt sich hier die Tendenz, dass sich die Scheibenegge unter diesen klimatischen Bedingungen auf leichtem Boden besser bewährt als der Pflug. Dieses Resultat deckt sich mit den Erfahrungen der Bauern jener Gebiete.

Tabelle 42: Uebersicht über die Erträge des Herbstfutters.

Bearbeitungs- methoden	1950				1951			1952		
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
Scheibenegge a	20,3	13,4	14,8	20,6	13,3	-	24,0	28,1	18,6	21,1
Scheibenegge b	21,2	15,4	12,5	20,1	11,6	-	20,0	-	21,1	-
Kultivator c	20,4	13,4	20,4	24,0	13,1	-	21,4	27,3	21,2	17,0
Schälpflug o.E. d	19,0	-	-	-	13,3	-	22,1	26,4	21,7	19,3
Schälpflug m.E. e	21,7	14,7	14,7	22,3	13,1	-	19,3	29,9	22,5	19,1
Pflug m.Egge f	19,9	16,5	17,9	22,1	10,1	-	21,2	25,7	21,5	24,1
GD 5%	2,23	2,72	7,49	5,95	2,51	-	2,47	2,60	2,74	3,60
F <sub>0,05</sub> Bearb.	1,58	2,49	1,82	0,71	2,29	-	3,73*	3,62*	2,01	4,72*
Saatdatum	27.7.	22.8.	28.7.	5.8.	18.8.	29.8.	13.8.	30.7.	3.8.	29.7.
Erntedatum	3.10.	18.10.	18.9.	28.9.	12.10.	-	15.10.	7.10.	10.10.	7.10.
Veg. Dauer	68	57	52	54	55	-	62	69	66	70

1950. 1 = Strickhof  
2 = Rossberg  
3 = Affoltern a.A.  
4 = Rossau

1951. 1 = Strickhof  
2 = Rossberg  
3 = Rheinau

1952. 1 = Strickhof  
2 = Rossberg  
3 = St. Katharinenthal

9. Die Beobachtungen in den Jahren nach den Versuchsperioden.

Zur Herrichtung des Saatbettes für die Sommerfrucht des folgenden Jahres (meist Sommergerste) wurden alle Versuchsfelder ohne Rücksicht auf die Parzelleneinteilung gepflügt. Die Hauptfrucht wurde dann in bezug auf das Aufgehen, auf das Wachstum, auf die Verbreitung von Fusskrankheiten und in bezug auf die Erträge untersucht.

Auf allen Versuchsfeldern und in allen Jahren konnten keine oder nur ganz unwesentliche Unterschiede zwischen den Parzellen festgestellt werden. Die Getreiderträge sind in der Tabelle 43 zusammengefasst.

Tabelle 43: Uebersicht über die Körnererträge der folgenden Hauptfrucht.

Bearbeitungs- methoden	1951	1952			1953	
	4*)	1	2	3	1	2
Scheibenegge a	19,2	24,3	23,3	15,6	44,5	25,1
Scheibenegge b	22,4	26,3	-	14,8	-	25,6
Kultivator c	19,6	21,2	23,3	14,7	43,5	26,6
Schälpflug o.E. d	16,3	24,8	23,2	14,9	44,1	25,2
Schälpflug m.E. e	22,1	22,2	24,1	13,1	42,7	27,4
unbehandelt f	20,9	28,9	24,9	14,6	45,3	26,3
Pflug m.Egge g	14,5	24,4	23,4	14,7	41,9	24,5
GD 5%	6,54	1,02	1,73	2,19	3,42	3,12
F <sub>0,05</sub> Bearb.	1,90	5,07*	0,46	0,29	1,35	0,85

1951: 4 = Rossau

1952: 1 = Strickhof

1953: 1 = Strickhof

2 = Rossberg

2 = Rossberg

\*) Sommerweizen

3 = Rheinau

Die Wirkung der Herbstbearbeitung auf den Ertrag der Hauptfrucht des folgenden Jahres (Gerste) war nur in einem der 6 Versuche gesichert. Dieses Resultat ist hauptsächlich auf den hohen Ertrag der im Herbst brachen und nicht bearbeiteten Parzelle (f) zurückzuführen. Im allgemeinen sind aber die Gerstenerträge sehr ausgeglichen.

## 10. Schlussfolgerungen für die Praxis.

Der Praktiker, der letzten Endes von unseren Untersuchungen profitieren soll, ist besonders an der Wirkung der Bodenbearbeitungsmethoden auf die Erträge des Herbstfutters interessiert. Die Zusammenstellung der Erträge des Zwischenfutters zeigt, dass - mit Ausnahme der Trockengebiete - die gepflügten und anschließend geegten Parzellen immer mittlere bis hohe Erträge hervorgebracht haben. Unter normalen Niederschlags- und Bodenbedingungen soll vom pflanzenbaulichen Standpunkt aus, sofern es die Organisation des Betriebes erlaubt, der Pflug und die Egge zur Stoppelpbearbeitung verwendet werden. Auf Grund dieser Erträge kann man über die Tiefe der Pflugfurche keine bestimmten Aussagen machen. Es scheint aber, dass es bei der Herbstbearbeitung von untergeordneter Bedeutung ist, ob mit dem Pflug nur 5 - 8 cm tief geschält oder 15 - 20 cm tief gepflügt wird.

In niederschlagsarmen Gebieten auf leichten Böden ist die Bearbeitung mit der Scheibenegge vorzuziehen, da dadurch die Wasserreserve des Bodens geschont werden kann.

Die Nachwirkungen der verschiedenen Methoden der Herbstbearbeitung auf die Erträge der folgenden Hauptfrucht unterscheiden sich nur unwesentlich. In bezug auf das Auftreten von Fusskrankheiten bei der Sommergerste konnten zwischen den verschiedenen Verfahren keine Unterschiede festgestellt werden.

Die Zwischenfutteranlage bietet die Möglichkeit einer zusätzlichen Unkrautbekämpfung, da die Unkräuter durch die rasch wachsenden Herbstfuttergemische unterdrückt werden. Bleibt hingegen ein Feld nach der Ernte des Wintergetreides brach, so sind bei der Wahl der Bearbeitungsmethode die Unkrautflora oder zum mindesten die vorherrschenden Unkrautarten in bezug auf die Art der Verbreitung zu berücksichtigen. Sobald Unkräuter wieder zu keimen beginnen, so ist die Bearbeitung zu wiederholen oder mindestens durch eine Behandlung mit einer schweren Egge zu ersetzen.

Vom bodenphysikalischen Standpunkt aus wird mit dem Pflug unter unseren Bedingungen bei normalen Niederschlagsmengen in gesunden Böden diejenige Struktur erreicht, die für die Entwicklung der Pflanzen am besten geeignet ist. Es ist Sache des Betriebswirtschafers zu entscheiden, welches Verfahren unter den gegebenen Bedingungen eines Betriebes am wirtschaftlichsten ist.

## C. ZUSAMMENFASSUNG.

1. Mit der Ausdehnung und Intensivierung des Ackerbaues sind die Fragen der Saatbettherstellung und die Erhaltung einer guten Bodenstruktur durch Nachsommer und Herbst bedeutungsvoll geworden. Ziel unserer Untersuchungen war, die Methoden der Stoppelbearbeitung festzustellen, die die Erhaltung der Bodengare gewährleisten und damit ein rasches und kräftiges Wachstum des Herbstfutters ermöglichen. Wir haben diese Versuche benützt, um die physikalischen Untersuchungsmethoden zu prüfen und für die serienmässige Verwendung auszubauen.
2. Wir haben die Wirkung verschiedener Bearbeitungsmaßnahmen auf die Bodenstruktur anhand von Bestimmungen des Wassergehaltes des Bodens, der Wasserkapazität, der Luftkapazität, der Hohlraum- und Krümelgrössenverteilung untersucht. Die Bodentemperaturen und die biologische Bodenaktivität wurden ebenfalls zwischen den verschieden bearbeiteten Parzellen verglichen. Die angewendeten Methoden waren die folgenden:
  - a. Bestimmung des Wassergehaltes: Die Bodenproben wurden in den 100 ccm Zylindern bei 105 - 110 Grad C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Als Wassergehalt des Bodens bezeichnen wir den durch diese Methode festgestellten Prozentsatz an Wasser bezogen auf die trockene Feinerde. Die Angaben wurden in Volumenprozenten gemacht.
  - b. Bestimmung der Wasserkapazität: Die 100 ccm Stechzylinderproben wurden auf einer Sandschicht 2 cm über dem Grundwasserspiegel abgesättigt und gewogen. Die Wasserkapazität wurde in Volumenprozenten des natürlich gelagerten, skelettfreien Bodens angegeben.
  - c. Bestimmung der Luftkapazität: Die Luftkapazität wurde nach der folgenden Gleichung errechnet:
$$\text{Vol. Luft} = 100 - (\text{Vol. HOH bei Sättigung} + \text{Vol. Skelett} + \text{Vol. Feinerde})$$
  - d. Die Hohlraumanalyse: Aus den mit Wasser gesättigten Bodenproben wurde mit verschiedenen Saugspannungen stufenweise Wasser entzogen. Aus den Gewichtsverlusten konnte man die Anteile der verschiedenen Porengrössen errechnen.
  - e. Bestimmung der Krümelgrössenanteile: Für die Krümelanalyse wurde die Spülmethode angewendet, die von LEUTENEGGER (1950)

auf Grund des Verfahrens von TJULIN (KRAUSE, 1931) ausgearbeitet worden war.

- f. Die Bestimmung der Bodentemperatur: Für diese Untersuchung wurde die Methode von PALLMANN und Mitarbeitern (1940), die auf der Inversionsgeschwindigkeit einer Zucker-Pufferlösung basiert, angewendet.
  - g. Die Bestimmung der biologischen Bodenaktivität: Die biologische Aktivität wurde mittels der Zelluloseschnüre nach RICHARD (1945) untersucht.
3. Der Wassergehalt der mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen war in der Regel am höchsten, während die gepflügten Felder den geringsten aufwiesen. Die mit Kultivator oder Schälflug behandelten Streifen nehmen in bezug auf den Wassergehalt eine Mittelstellung ein. Die höchsten Werte der Wasserkapazität stellt man ebenfalls auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen fest. Die Luftkapazität war auf diesen Teilfeldern klein.
  4. Mit unserer Methode der Hohlraumanalyse haben wir auf direktem Wege festgestellt, dass die Bodenbearbeitung auf jene Hohlräume wirkt, die das Wasser mit einer Kraft zurückhalten, welche der Saugspannung einer Wassersäule von 50 cm und weniger entspricht. Berechnungen haben aber gezeigt, dass die Wassergehalte der Bodenproben derjenigen Parzellen, die mit der Scheibenegge (Methoden a und b) bearbeitet worden waren, nach dem Wasserentzug bei 150 cm Saugspannung noch mehr Wasser als die Proben der mit den andern Geräten bearbeiteten Felder enthielten. Diese Tatsache beweist, dass die Bearbeitung mit der Scheibenegge die Bildung von noch feineren Poren fördert, die erst mit Saugspannungen von mehr als 150 cm Wassersäule entleert werden können. Das Wasser in diesen engen Poren bildet in Trockenperioden oder in Gebieten mit geringen Niederschlägen eine willkommene Wasserreserve.
  5. Die Krümelanalyse zeigte, dass der Pflug die Bildung von Makroaggregaten mit 4 und mehr mm Durchmesser fördert, während die flachen Bearbeitungsmethoden auf die Anteile der verschiedenen Grössenklassen eher ausgleichend wirkten. Mit der Zeit nahmen die prozentualen Anteile der beiden grössten Krümelklassen bei allen Verfahren ab. Dieser Rückgang ist aber auf den mit der Scheibenegge bearbeiteten Parzellen am grössten, was auf eine verdichtende Tendenz hinweist.
  6. Die Unterschiede zwischen den Bodentemperaturen in den verschiedenen bearbeiteten Parzellen waren nicht gesichert.
  7. Die Untersuchungen über die biologische Bodenaktivität ergaben, dass in den

flach bearbeiteten Parzellen die Aktivität mit der Tiefe rasch abnahm, während sie in den gepflügten Parzellen erst bei 10 - 20 cm Tiefe ihr Maximum erreichte. Dieser Unterschied hängt sehr eng mit der verschiedenen tiefen Unterbringung der Stoppeln zusammen.

8. Die Erträge auf den gepflügten Feldern fielen in der Regel mittel bis hoch aus, während sie auf den flach bearbeiteten Feldern stärkeren Schwankungen unterworfen waren.
9. Die Unterschiede in bezug auf den Wuchs des Zwischenfutters, auf das Ausfallgetreide und auf das Unkraut waren vielfach sehr bemerkenswert. Der allgemeine Stand des Wickhafers war auf den tief bearbeiteten Parzellen in der Regel besser als auf den flach geritzten Teilfeldern. Unkraut und Ausfallgetreide wuchsen auf den gepflügten Streifen nur spärlich.
10. Die nachfolgende Hauptfrucht (Sommergetreide) zeigte in bezug auf Wuchs, Krankheitsbefall und Erträge keine Unterschiede, die eine Nachwirkung der verschiedenen Verfahren der Stoppelbearbeitung erkennen liessen.
11. Die Versuche haben erwiesen, dass unter normalen Bedingungen des schweizerischen Mittellandes der Pflug und die Egge die besten Voraussetzungen für das Wachstum des Zwischenfutters schaffen, während die Scheibenegge in Trockengebieten und in trockenen Sommern dem Pflug vorzuziehen ist. Sofern kein Herbstfutter angebaut wird, sind die Unkrautflora oder zum mindesten die wichtigsten Unkrautarten bei der Wahl der Bodenbearbeitungsmethode zu berücksichtigen.

## SUMMARY

1. The problems regarding the preparation of the seedbed and the preservation of a good soil structure during late summer and fall have become important by the extension and the intensive use of the arable land. The aim of our experimental work was to find the methods of tillage with which we would be able to reach a stable soil structure. This kind of structure enables the plants to grow quickly and vigorously. We also utilized these experiments to examine the physical research methods and to complete them for serial use.
2. We examined the effects of different tillage methods on soil structure by measuring the soil water content, the water capacity, the air capacity, the pore space and the size distribution of the crumbs. The soil temperature and the biological activity have been compared between the different plots. The following methods have been applied:
  - a. Determination of the soil water content: The soil samples (100 ccm cylinders) were dried at a temperature of 105 to 110<sup>o</sup> C down to their constant weight. We expressed this soil water content in the per cent of water of the dry soil. All our results are given in per cent by volume.
  - b. Determination of the soil water capacity: The 100 ccm samples were saturated on sand 2 cm above water level. After saturation they were weighed. The water capacity was expressed in per cent by volume of the naturally settled soil without stones.
  - c. Determination of the air capacity: The air capacity was calculated by means of the following equation:
$$\text{Volume of air} = 100 - (\text{vol. HOH at saturation} + \text{vol. of stones} + \text{vol. of fine soil})$$
  - d. The pore space analysis: From the different soil samples water was gradually withdrawn by different tensions. The losses of weight represented a measure of the pore spaces of different diameters.
  - e. Determination of the shares of crumbs of different diameters (analysis of crumbs): For this analysis we employed a washing method which had been worked out by LEUTENEGGER (1950) according to the method of TJULIN (Krause, 1931).

- f. Determination of the soil temperature: We applied the method of PALLMANN and co-workers (1940). It is based on the velocity of inversion of a sugar solution.
- g. Determination of the biological activity in the soil: The biological activity has been examined by means of the cellulose cords of RICHARD (1945).
3. The highest soil water content was found, as a rule, on plots tilled with disks; while that of the plowed fields was the lowest. The water contents of both the cultivated strips and those plowed only on the surface ranged between the results obtained by the two methods mentioned first.  
The highest values of water capacity were also found in the disked plots. The air capacity was low in these fields.
  4. By means of our method of pore space analysis, we found that tillage influences only those pore spaces which keep water by a tension of 50 cm water column. Calculations have shown that the water contents of the soil samples drawn from the disked plots (methods a and b) are higher than those of the samples from the other plots after having withdrawn water at a tension of 150 cm. This proves that disking furthers the formation of smaller pores which can be emptied only by a tension higher than 150 cm. This water can be considered as a reserve for the plants during dry periods or in regions with low precipitations.
  5. The pore space analysis shows that there are more macro-aggregates with diameters of 4 mm and more in the plowed plots. On the disked and cultivated plots, however, we found that the percentage of all fractions of crumbs was rather equal. In the course of time, the shares of the two classes of crumbs with the longest diameters diminished on all the plots. This regress was especially considerable on the disked plots which show a tendency towards a compact surface.
  6. The differences between the soil temperatures of the various plots were not significant.
  7. The examinations on the biological activity of the soil show that this activity decreased with the depth on the shallow tilled plots. On the plowed plots, it reached its maximum at 10 to 20 cm under the surface. This difference is accounted for by the different depths in which the stubbles come to lie according to the various methods of tillage.
  8. The yields of the plowed plots were, as a rule, average to high, while those of the shallow tilled fields fluctuated.
  9. The differences with regard to the growth of catch crops, the germination of grains after scattering and the development of weeds were in many cases most considerable. The general standing of the mixtures of vetches and oats

- was better on the plowed fields than on the plots treated with disks or a cultivator. Weeds and scattered grains developed scarcely on the plowed strips.
10. The succeeding main-crop (spring barley) did not show any difference concerning growth, diseases and yields between the various plots. From this we must conclude that the various tillage methods as applied in fall do not exercise any influence on the succeeding crop.
  11. The experiments show that - under the soil and climatic conditions of the Swiss Plateau - the best yields are obtained when using the plow and the harrow. The disks are preferable in dry regions or in dry summers. If no catch crops are sown out in fall, the presence of weeds or at least their most important species must be taken into consideration when choosing the method of tillage.

## RESUME

1. A la suite de l'extension prise par la culture des champs et l'intensification de celle-ci, les problèmes touchant à la préparation du sol pour les semis et à la conservation d'une bonne structure au cours de l'arrière été et pendant l'automne, sont devenus d'une haute importance. Par nos recherches nous nous sommes attachés à préciser les méthodes de déchaumage capables de favoriser le foisonnement du terrain et de déterminer ainsi une croissance rapide et vigoureuse des fourrages d'automne. Nous nous sommes servis de ces essais pour éprouver les méthodes d'analyse physique du sol et les adapter au travail en série.
2. Nous avons étudié les répercussions de différents travaux aratoires sur la structure du sol en déterminant la teneur en eau de celui-ci, sa capacité de rétention pour l'eau, sa capacité pour l'air, sa porosité et son état structural. Nous avons également effectué des observations comparatives de température et d'activité biologique du terrain des parcelles travaillées différemment.

Nous avons adopté les méthodes d'investigation suivantes :

- a. Dosage de l'humidité : Les échantillons de sols sont portés à la température de 105° C à 110° C dans des cylindres de 100 ccm jusqu'à poids constant. Par taux d'humidité on entend la quantité centésimale d'eau, déterminée par cette méthode et rapportée à la terre desséchée. Les résultats sont exprimés en volume.
- b. Détermination de la capacité de rétention pour l'eau : Les cylindres de 100 ccm sont abandonnés jusqu'à saturation de la terre sur une couche de sable, au-dessus d'un plan d'eau, puis pesés. La capacité de rétention pour l'eau est exprimée en % de volume du sol naturel sans le squelette (gravier).
- c. Détermination de la capacité pour l'air : La capacité pour l'air est calculée au moyen de l'équation suivante :  
$$\text{vol. de l'air} = 100 - (\text{vol. HOH à saturation} + \text{vol. gravier} + \text{vol. terre fine}).$$
- d. Détermination de la porosité : L'eau est extraite graduellement du sol par des forces de succion d'intensités variables. Des pertes de poids enregistrées aux différents paliers d'aspiration on peut déduire

- la proportion des pores de différents diamètres.
- e. Détermination de la grosseur des grumeaux: L'analyse de la stabilité de la structure est effectuée au moyen de la méthode de tamisage sous l'eau mise au point par LEUTENEGGER (1950) d'après le procédé de TJULIN (Krause 1931).
  - f. Détermination de la température du sol: La méthode adoptée pour les essais est celle de PALLMANN et divers collaborateurs (1940), fondée sur le principe de la vitesse d'inversion d'une solution de saccharose tamponnée.
  - g. Détermination de l'activité biologique du sol: L'activité biologique est mesurée au moyen de rubans de cellulose, d'après le procédé RICHARD (1945).
3. Le sol des parcelles travaillées à la herse à disque s'est avéré contenir en règle générale la proportion d'eau la plus élevée. L'humidité la plus faible fut décelée dans le sol des parcelles labourées. Les parcelles traitées au cultivateur et à la charrue polysoc donnèrent à cet égard des valeurs intermédiaires.
- C'est également dans les parcelles travaillées à la herse à disque que fut enregistrée la capacité de rétention pour l'eau la plus élevée. En revanche, la capacité pour l'air s'y est révélée faible.
4. Notre méthode de détermination de la porosité a permis d'établir par voie directe que le travail du sol agit sur la portion du volume capillaire retenant l'eau avec une force correspondant à une colonne d'eau inférieure ou égale à 50 cm. Le calcul a cependant démontré que les échantillons prélevés dans les parcelles travaillées à la herse à disque présentaient encore, après avoir été soumis à une force de succion égale à une colonne d'eau de 150 cm, une teneur en eau (méthodes a et b), supérieure à celle des échantillons provenant des surfaces travaillées avec d'autres instruments. Ce fait prouve que le travail à la herse à disque favorise la formation de pores plus petits que ceux capables de céder leur eau sous des forces de succion correspondant à une colonne d'eau de 150 cm. L'eau que renferme ces pores de faible diamètre, constitue en période sèche, une réserve bienvenue dans les contrées pauvres en précipitations.
5. L'étude de la structure a démontré que le travail à la charrue favorise la formation des gros agrégats possédant un diamètre égal ou supérieur à 4 mm. Les façons culturales superficielles, quant à elles, ont des répercussions plus uniformes sur les agrégats des différentes grosseurs. La proportion des grumeaux appartenant aux deux classes des plus grands diamètres, diminue avec le temps, quelque soit la façon culturale adoptée. C'est néanmoins dans les parcelles travaillées à la herse à disque que cette évolution est la plus marquée;

elle met en évidence une tendance du terrain au tassement.

6. Les écarts de température du sol, observés entre les parcelles travaillées différemment, ne sont pas assurés.
7. L' étude de l' activité biologique a démontré que cette activité diminue rapidement avec la profondeur dans les parcelles travaillées superficielle-ment, alors que dans les parcelles labourées elle atteint son maximum entre 10 et 20 cm. Il y a une corrélation étroite entre ces faits et la profondeur à laquelle ont été enfouis les chaumes.
8. Les surfaces labourées ont procuré dans la règle des rendements moyens à élevés; dans les parcelles soumises aux façons culturales superficielles, les taux de récolte furent irréguliers.
9. Des différences parfois très sensibles furent observées dans la croissance des fourrages intercalaires, dans celui des céréales provenant de grains tombés à la récolte précédente et celui des mauvaises herbes. Le développement du mélange avoine-vesce s' avéra en règle générale meilleur dans les parcelles travaillées en profondeur que dans les sols soumis à des façons culturales superficielles. Dans les parcelles labourées les mauvaises herbes et les graines abandonnées par la récolte de céréale précédente ne se développèrent que dans une faible mesure.
10. La culture principale ultérieure ( céréale de printemps) n' a présenté ni dans son développement, ni dans sa sensibilité aux maladies et sa productivité, des différences qui puissent être mises en relation avec la nature des procédés de déchaumage comparés.
11. Les essais ont démontré que sous le climat du Plateau suisse, le labour à la charrue suivi du hersage sont les travaux du terrain qui, dans la normale, procurent aux cultures fourragères intercalaires, les conditions de croissance les plus favorable. Le travail à la herse à disque doit être préféré aux façons culturales précédentes dans les contrées pauvres en précipitations et pendant les étés secs. S' il n' y a aucune culture de fourrage d' automne, on doit se guider pour le choix des façons culturales à utiliser, par la nature des mauvaises herbes se développant sur le terrain ou du moins par celles des principales d' entre elles.

Trad.: J. Stalé.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Baver L.D.: 1948, Soil Physics, New York, 2. Auflage.
- Bertrand: 1760, Anfangsgründe des Landbaues auf Erfahrungen und Vernunft gegründet, zum Gebrauche des Landvolkes. Eine preisgekrönte Preisschrift. Von der löblichen Oekonomischen Gesellschaft in Bern.
- Bouyoucos G.J. and Mick J.W.: 1940, An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions.  
Michigan Agr. Exp. Station, Techn. Bull.
- Braun - Blanquet J.: 1951, Pflanzensoziologie. 2. Auflage, Wien.
- Buess O.: 1949, Beitrag zur Methodik der Diagnostizierung verdichteter Bodenhorizonte und Ergebnisse von Untergrundlockerungsversuchen auf Schweizerischen Ackerböden. Diss. ETH, Zürich.
- Buckingham E.: 1907, Studies on the movement of soil moisture.  
USDA Bur. Soils, Bull. 38.
- Burger H.: 1922, Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitteilung der Schweiz. Zentralanstalt für forstliches Versuchswesen. Bd. 13, Bern (1-221).
- Colman E.A.: 1946, The place of electrical soil-moisture meters in hydrologic research.  
Trans. Am. Geophys. Union. (847 - 853).
- Demolon A.: 1948, Dynamic du sol. Paris.
- Deuel H.: 1950, Die Tone des Bodens. Schweiz. landw. Monatshefte, No. 12, Bd. 28, (392 - 422).
- Dojarenko A.G.: 1931, zitiert von Krause in: "Russische Forschung auf dem Gebiete der Bodenstruktur."  
Landw. Jahrbücher 73, (603 - 690).

- Donat J.: 1937, Ein Verfahren zur Kennzeichnung des Bodengefüges. Trans. Sixth Int. Comm. Int. Soc. Soil Sc. und Die Ernährung der Pflanze, XXXIII. Jahrgang, Heft 23, (357 - 360).
- Fischer R.Ch.: 1937, Die Oesterreichische Bodenkartierung. Till - Ramsauer, Wien.
- Fletcher J.E.: 1939, A dielectric method for determining soil moisture. Soil Sc. Soc. Am. Proc. Vol. 4. (zitiert von Baver, 1948).
- Frei E.: 1944, Morphologische, chemische und kolloidchemische Untersuchungen subalpiner Weide- und Waldböden der Renzina- und Podsolserie. Bericht Schweiz. Bot. Gesellschaft, 54, (267 - 346).
- " 1948, Gefügeuntersuchungen an landwirtschaftlichen Kulturböden. Landw. Jahrbuch der Schweiz, 62. Jahrg. (20 - 36).
- " 1950, Genesis of various types of soil structure. Trans. of the Int. Congress of Soil Science, Amsterdam Vol. I.
- Gliemeroth G.: 1949, Beeinflussung der Krümelung und der Krümeleigenschaften durch die Bodenfeuchtigkeit. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Bd. 91 (29 - 60).
- Helmich K.: 1941, Zur Kenntnis der Bodengare. Bodenkunde und Pflanzenernährung, 24 (207 - 232).
- Jamison V.C. and Reed I.F.: 1949, Durable asbestos tension tables. Soil Sc., Vol. 67, (311 - 318).
- Kloepfel R.: 1930, Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Bearbeitungen auf die Struktur und die Wasserführung eines Ackerbodens. Archiv für die Landwirtschaft: Pflanzenbau 3, (465 - 493).
- Koblet R.: 1951, Pflanzenbau und Bodenfruchtbarkeit. Schweiz. Landw. Monatshefte, No. 11, Bd. 29, (355 - 373).
- König E.: ca. 1710, Geogica Helvetica Curiosa.
- Kopecky J.: 1914, Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. 2. Auflage. Sonderabdruck aus den int. Mitteilungen für Bodenkunde. (138 - 180).
- Krause: 1931, Russische Forschung auf dem Gebiete der Bodenstruktur. Landw. Jahrbücher 73, (603 - 690).

- Leamer R.W. and Shaw B.: 1941, A simple apparatus for measuring non-capillary porosity on an extensive scale.  
Journ. Am. Soc. Agr. Vol. 33, (1003 - 1008).
- Leutenegger F.: 1950, Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften einiger Bodenprofile der Braunerdeserie des Schweizerischen Mittellandes, mit methodischem Beitrag zur physikalischen Bodenanalyse. Diss. ETH, Zürich.
- Linder A.: 1950/51, Planen und Auswerten von Versuchen.  
Vorlesungen an der ETH, Zürich.
- Lundegård H.: 1924, (zitiert in Diss. von Richard), Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur, Jena.
- Lyon T.L. and Buckman H.O.: 1952, The nature and properties of soils, New York.
- v. Nitzsch W.: 1926, Eine Methode zur physikalischen Untersuchung von Ackerböden in natürlicher Lagerung.  
Pflanzenbau 2. Jahrgang, Berlin, (245 - 250).
- Pallmann H., Eichenberger E. und Hasler A.: 1940, Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. Berichte der Schweiz. Bot. Gesellschaft. Band 50, (337 - 362).
- Ramann E.: 1911, Bodenkunde. 3. Auflage, (zitiert von Burger).
- Richard F.: 1945, Der biologische Abbau von Zellulose- und Eiweisstest-schnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften. Diss. ETH, Zürich.
- " 1953, Ueber die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. Mitteilung der Schweiz. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. XXIX. Band, 1. Heft, (17 - 37).
- Richards L.A. and Neal O.R.: 1937, Some field observations with tensiometers.  
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1 : 71 - 91.  
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 2 : 35 - 44.
- Robinson G.W.: 1939, Die Böden, ihre Entstehung, Zusammensetzung und Einteilung. 3. Auflage übersetzt von Dr. A. Jacob, Berlin.
- Russell E.J.: 1950, Soil conditions and plant growth., Oxford.

- Salzmann R.: 1939, Die Antropochoren der Schweizerischen Klee-gras-wirtschaft, die Abhängigkeit ihrer Verteilung von der Was-serstoffjonenkonzentration und der Dispersität des Bodens mit Beiträgen zu ihrer Keimungsbiologie. Diss. ETH, Zürich.
- Schulz - Fleeth: 1856, Der rationelle Ackerbau in seiner Begründung durch die Ergebnisse der neueren Naturforschung. Berlin.
- Shaw B. and Baver L.D.: 1939, Heat conductivity as an index of soil moisture. Journal Am. Soc. Agr., 31. (886 - 891).
- Schofield R.K.: 1935, The pF of the water in the soil. Trans. 3rd Congress Soil Sc. 2 (37 - 48).
- Sekera F.: 1931, Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglich-keit im Boden. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, A 23, Berlin (87 - 111).
- " 1937, Die Strukturanalyse des Bodens. Bodenkunde und Pflanzenernährung, Band 6, (259 - 312).
- " 1951, Gesunder und kranker Boden. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Snedecor G.W.: 1950, Statistical methods. 4. Auflage, The Iowa State College Press, Ames, Iowa.
- Stöckli A.: 1946, Der Boden als Lebensraum. Sonderabdruck aus der Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. XCI.
- Tjulín A.F.: 1931, zitiert von Krause in: "Russische Forschung auf dem Gebiete der Bodenstruktur." Landwirtschaftliche Jahrbücher 73, (603 - 690).
- Virgilius: Georgicon Liber I.
- Visser W.C.: 1937, Pore space determination as a field method. Soil Sc. Vol. 44 (467 - 478).
- Waksman S.A.: 1930, Der gegenwärtige Stand der Bodenmikrobiologie und ihre Anwendung auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachs-tum. Berlin, Wien.
- Whitney M., Gardner F.D. and Briggs J.L.: 1897, An electrical method of determining the moisture content of arable soils. USDA Bur. of Soils, Bull. 6.

## LEBENS LAUF

Am 6. August 1924 wurde ich in Zürich geboren. Nach 6 Jahren Primarschule absolvierte ich das Gymnasium in Zürich, und anschliessend immatrikulierte ich mich an der Abteilung für Landwirtschaft der Eidgenössischen Technischen Hochschule. Mein Studium begann ich im Herbst 1945, nachdem ich Militärdienste und Praxis beendet hatte. Im Frühling 1949 schloss ich meine Studien mit dem Diplom ab.

Nach einjährigem Aufenthalt in den Vereinigten Staaten von Amerika, wo ich auf verschiedenen Farmen praktisch arbeitete, wurde ich im Mai 1950 am Institut für Pflanzenbau als wissenschaftlicher Mitarbeiter angestellt. Unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. R. Koblet hatte ich die Bodenbearbeitungsversuche des Institutes zu betreuen. Während dieser Tätigkeit wurde es mir ermöglicht, die vorliegende Arbeit abzufassen.