

liolata, petiolo 5 - 7 mm atque petiolulo 2 - 3 mm longo, tomentosis; foliolum 6,5 - 12 cm longum, 2,3 - 4,7 cm latum, oblongum, apice longe acuteque acuminatum, basi rotundatum anguste peltatum, subcoriaceum, nitidum, supra tenuissime reticulatum primum villosum demum costa mediana lateralibusque inferioribus exceptis glabratum, subtus nervis prominentibus reticulatum villosum; costae secundariae utroque latere 9 - 10, arcuatae, ante marginem anastomosantes. Inflorescentiae axillares, glomeratae; flores diclini; flores masculini tetrameri vel rarius pentameri vel partim trimeri; sepala 2 mm longa, valvata, subacuta, extus tomentosa, intus apici tomentosulo excepto glabra; staminum 4 fertilia, 4 staminodialia, in tubum extus glabrum intus villosum connata, filamentis fertiliis villosis; ovarium nullum. Flores feminei folliculique exstant.

Borneo (Korthals!, mit männlichen Blüten).

Die beiden Arten sind habituell einander ungemein ähnlich, sie unterscheiden sich aber durch die Basis der Blättchen und durch die Behaarung des Kelches.

Untersuchungen über den Einfluss der Regenwürmer auf Boden und Pflanze.

Von HANS GEORG KAHSNITZ (Königsberg Pr.).

DARWIN (1) war es, der zuerst auf die Bedeutung der Regenwürmer aufmerksam geworden, nähere Untersuchungen über ihre Lebensweise und ihren Einfluss auf die Gestaltung des Bodens anstellte. Was er rein empirisch fand, wurde später besonders durch HENSEN (2) weiter ausgebaut. Doch das Verdienst, diese Frage in pflanzenphysiologischer Hinsicht zum ersten mal behandelt zu haben, gebührt E. WOLLNY (3), der nicht nur die durch Würmer verursachte Bodenveränderung in physikalischer und namentlich auch in chemischer Beziehung prüfte, sondern auch die Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch die Würmer eingehender Untersuchung unterzog. Nach ihm hat MEHMED DJEMIL (4) gerade diese letzte Frage untersucht und ist zu annähernd den gleichen Ergebnissen wie WOLLNY gekommen. Leider leiden seine wie WOLLNY's Arbeiten daran, dass beide ihre Folgerungen immer nur aus einem einzigen Versuchsergebnis ziehen, ohne auf mehrere unter gleichen Bedingungen angesetzte Versuche zurückzugreifen. Da ein einzelner Versuch immer von grossen Zufälligkeiten, sei es bei der Bodenprobeentnahme, der zufälligen Lagerung des Bodens im Versuchgefäss, der Individualität der Saat u. a. abhängig ist, wird es nie möglich sein, einen Anhalt über die Grösse der Versuchsgenauigkeit zu erhalten. Bei den vorliegenden Untersuchungen ist darum stets so verfahren worden, dass mit vier Parallelversuchen gearbeitet wurde, deren wahrscheinlicher Fehler einen Anhalt über den Wert der Einzelbeobachtung bietet. Die wahrscheinlichen Fehler des Mittels wurden nach MITSCHERLICH (5) ermittelt. Allgemein stand die Versuchsanstellung unter dem Gesichtspunkt, dass alle anderen Wachstumsfaktoren bis auf die Regenwürmer unbedingt konstant zu halten waren. Bei allen 6 Versuchsreihen wurden 25 cm hohe und 22,5 cm im Durchmesser grosse Gefässe aus glasiertem Ton benützt. Die Töpfe waren am unteren Ende durch einen ebenfalls glasierten durchlöcherten Rost abgeschlossen, über den bei den mit Würmern besetzten Versuchen noch ein engmaschiges Drahtnetz gelegt war, um ein Entweichen dieser zu verhindern. Es enthielten:

Versuchsreihe 1 - 3: 9 Kgr Komposterde,
" 4 - 5: 10 Kgr Gartenerde (humoser milder Lehm),
" 6 : 9,5 Kgr Moor und Sand.

Um den Boden steinfrei zu gestalten, wurde er vorher durch ein 1 cm Maschensieb (Maurersieb) abgeseibt und auf das Nichtvorhandensein von Würmern untersucht, worauf die Versuchstöpfe mit den angegebenen Gewichtsmengen Boden gefüllt wurden, sodass den Pflanzen überall die gleichen Nährstoffmengen zur Verfügung standen. Von der Erwägung ausgehend, dass je grösser ein Wurm, umso grösser auch die von

ihm auf den Boden ausgeübte Wirkung ist, wurden die Regenwürmer nach Gewicht auf die einzelnen Versuche verteilt. So kamen bei Versuchsreihe 1 - 3 je Topf 100 Würmer zu etwa 200 gr, da für die folgenden Versuche nur kleinere Würmer zur Verfügung standen, je Topf 100 Würmer zu etwa 140 gr. Andere als die im Boden enthaltenen Nährstoffe wurden den Würmern nicht zur Verfügung gestellt, da es darauf ankam, gerade die physikalischen Veränderungen zu untersuchen, die die Erde durch das Hindurchgehen durch den Wurmkörper erfährt. Nachdem die bei jedem Versuch gleiche Einsaat erfolgt war, wurden die Versuchstöpfe im Gewächshaus aufgestellt, da nur so eine Gewähr für überall gleichmässige Wasserzufuhr geboten schien, die dadurch erreicht wurde, dass alle Versuche täglich bis zur vollen Wasserkapazität gegossen wurden. Unter den Töpfen waren mit Wasser gefüllte Schalen aufgestellt, um eventuell doch entwundene Würmer feststellen zu können, was sich im Verlauf der Vegetationsversuche als notwendig herausstellte. Die im Wasser gefundenen Würmer wurden in die Töpfe zurückgetan. Es mag der Einwand erhoben werden, dass durch die reichliche Wasserzufuhr die Lebensbedingungen der Regenwürmer sich unnatürlich gestalteten; ich war aber dazu einmal durch die höheren Temperaturen im Gewächshaus gezwungen, vor allem aber kam es mir, gestützt auf die Beobachtungen von DARWIN, HENSEN und DJEMIL darauf an, eine möglichst intensive Wurmtätigkeit zu erzielen, die je nach grösserem oder geringerem Wassergehalt stärker oder schwächer ist.

Die Ernte wurde in der Weise bewerkstelligt, dass die einzelnen Pflanzen dicht oberhalb der Bodenoberfläche abgeschnitten und dann im Trockenschrank 24 Stunden lang getrocknet wurden. Die gefundenen Ergebnisse beziehen sich also immer auf die Trockensubstanz des Pflanzen.

Es ist bei den vorliegenden Versuchen natürlich nicht möglich gewesen, die Untergrundverhältnisse in ihrer Abhängigkeit von der Würmerarbeit mit zu berücksichtigen, denn einmal würde eine solche Versuchsanstellung technisch mit ausserordentlichen Schwierigkeiten verbunden sein, andererseits kam es in erster Linie darauf an, die Veränderungen zu prüfen, welche die für unsere Kulturpflanzen so wichtige Krumenschicht erfährt.

Dass die namentlich bei den Bodenuntersuchungen festgestellten Werte sich einem allgemein geltigen Gesetz nicht einordnen lassen, dürfte in der Unmöglichkeit begründet sein, die Versuchsbedingungen, d.h. die Anzahl der Würmer im Verlauf der Versuche konstant zu halten. Eine Gesetzmässigkeit der Ergebnisse könnte nur dann eingetreten sein, wenn am Ende eines Versuches noch die gleiche Anzahl Würmer von demselben Gewicht wie beim Einsetzen vorgefunden würde. Da dieses aber weder bei den vorliegenden noch bei den Versuchen von WOLLNY und MEHMED DJEMIL der Fall war, so wird ein Schwanken der Versuchsergebnisse in der Zahl der in den Töpfen abgestorbenen oder aus ihnen entwichenen Würmer seinen Grund haben. Dieser Tatsache von vornherein Rechnung tragend konnte auf ein Variieren in der Zahl der Würmer verzichtet werden, da es aus vorher genannten Gründen niemals möglich sein wird, etwa den Wirkungsfaktor der Würmer auf den Pflanzenertrag zu ermitteln, ganz abgesehen davon, dass letztere in jedem Boden ein anderer sein würde. Es geht daraus hervor, dass die gefundenen Resultate leider nicht quantitativ, sondern nur qualitativ ausgewertet werden können.

Der Besprechung der Versuchsergebnisse möchte ich erst einige allgemeine Beobachtungen über die Tätigkeit der Würmer voranschicken. Schon in den ersten Tagen nach dem Einsetzen zeigte der Boden mit Würmern eine wesentlich andere Struktur als der wurmfreie; namentlich bei den Erbsenversuchen trat dieses sehr deutlich in Erscheinung. Während die Oberfläche der wurmfreien Versuche einer fast glatten Ebene glich, war namentlich in der Mitte der anderen Versuchstöpfe der Boden auffällig durchwühlt und hatte an Volumen zugenommen. WOLLNY l.c. gibt die Volumzunahme auf 6,9% an. Beim Giessen der Versuche zeigte der mit Würmern besetzte Boden vom ersten Tage an eine bedeutend höhere Wasserdurchlässigkeit. In Sonderheit wieder bei den Erbsenversuchen waren Wurmexkremeute besonders in der ersten Zeit häufig, wie auch gerade bei diesen Versuchen oft, besonders Abends mit eintretender Dunkelheit, Würmer an der Oberfläche zu beobachten waren. Spä-

ter allerdings war dies nur noch seltener der Fall; nur noch an den Rändern der Versuchsgefäße kamen Würmer an die Oberfläche. Ich erkläre mir diese Tatsache mit dem zunehmenden Wurzelwachstum, das in die vorhandenen Wurmröhren eindrang und da nach Beobachtungen von DARWIN, die ich durchaus bestätigen kann, der Wurm in von lebenden Wurzeln durchzogene Gänge nicht mehr hineingeht, war ihm nur die eine Möglichkeit gegeben, nachdem ihm der Weg an die Oberfläche sehr versperrt war, sich in die Tiefe zurückzuziehen. So fand ich je länger das Wachstum anhielt um so mehr Würmer in den unter den Töpfen aufgestellten Schalen. Auch die nach Beendigung der Vegetationsversuche gefundenen Würmer fanden sich sämtlich im unteren Drittel der Versuchsgefäße vor, bei den Versuchen mit Komposterde meist ausgestreckt liegend in den Wurmröhren, bei denen mit Gartenerde (humoser milder Lehm) und Versuchsreihe 6 (Moor und Sand) meist aufgerollt liegend dicht über den Rosten am Boden der Gefäße. Die Tatsache, dass die Würmer sich vor den Wurzeln zurückzogen und diese nicht angriffen, mag ein Beweis dafür sein, dass sie lebenden Pflanzen nicht gefährlich werden, wie auch eine Beeinträchtigung der Saat vor dem Keimen nicht zu konstatieren war. Bei den Haferversuchen erkläre ich mir das völlige Fehlen aller Würmer nach Beendigung der Versuche ebenfalls mit der Tatsache, dass diese durch das starke Wurzelwachstum des Hafers immer mehr zurückgedrängt, kein Betätigungsfeld mehr vorfanden und so nach und nach zugrunde gingen. Bei dem Senfversuch, wo das Wurzelwachstum allerdings nicht so stark war, aber auch nur verhältnismässig wenig Würmer lebend vorgefunden wurden, mag die Annahme MEHMED DJEMIL's zutreffend sein, dass die Würmer den Geruch mancher Pflanzen nicht ertragen können, im vorliegenden Fall mag also das Allylsenföl diese Erscheinung gezeitigt haben.

Die von HENSEN (2) aufgestellte Behauptung, dass die Pflanzenwurzel nur den von Würmern vorgegrabenen Röhren folgte, kann ich ebenso wie MEHMED DJEMIL nicht bestätigen; es mag sein, dass ein Teil der früheren Wurmröhren, in die Wurzeln hineingewachsen waren, zugeschlämmt worden sind, so war doch aber gerade bei den Haferversuchen leicht festzustellen, dass die Wurzeln, besonders auch die Nebenwurzeln, auch ohne Wurmröhren ihren eigenen Weg gegangen waren. Die schon von DARWIN gemachte Beobachtung, dass die Würmer auf der Erdoberfläche liegende, abgestorbene Pflanzenteile in ihre Röhren hineinziehen, fand ich bei nicht mit Pflanzen besetzten Versuchen voll bestätigt. Schon am Tage, nach dem ich welke Blätter auf die Oberfläche gelegt hatte, waren diese von den Würmern in ihre Röhren hineingezerrt.

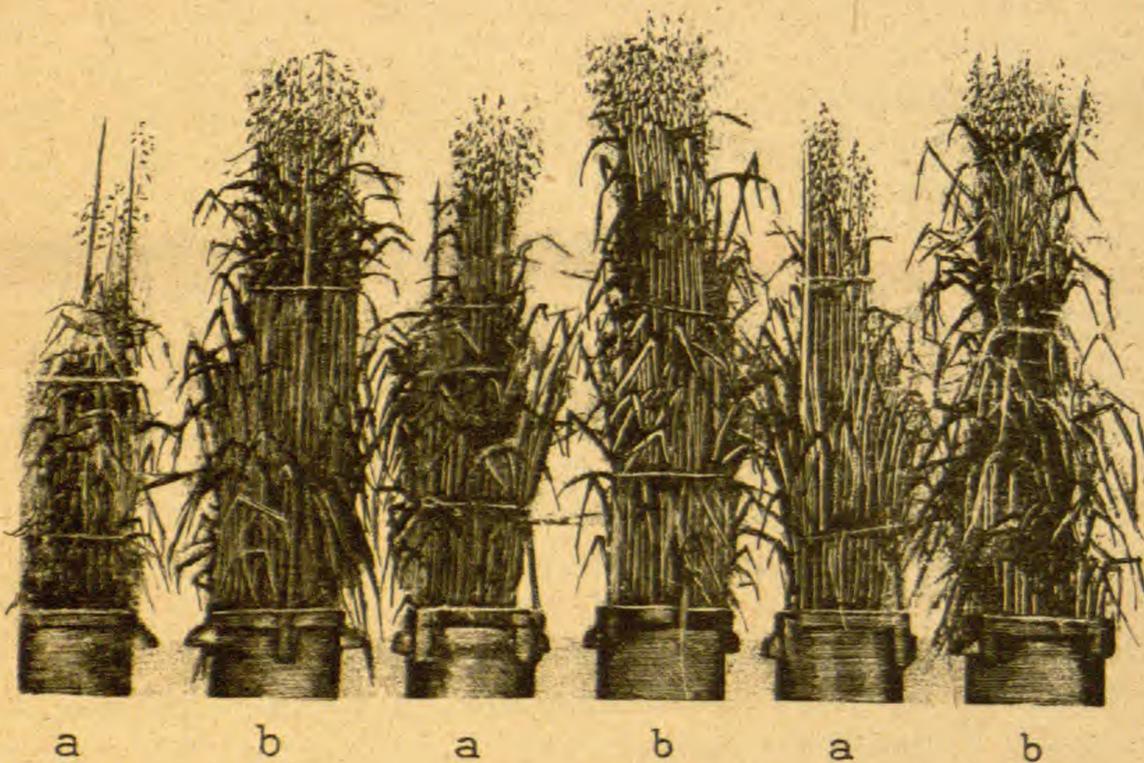
Was die angestellten Vegetationsversuche allgemein betrifft, so war bei allen Versuchen bereits 14 Tage nach dem Keimen ein wesentlich stärkeres Wachstum in den mit Würmern besetzten Töpfen zu beobachten. Selbst bei dem Senf- und 3. Erbsenversuch, die am Schlusse der Vegetation die geringsten Differenzen aufwiesen, waren die Unterschiede schon damals wahrnehmbar, die sich gegen Ende der Vegetation dann aber mehr ausglich. Die von WOLLNY (3) festgestellte Tatsache, dass die Würmer das Verhältnis des Stroh- oder Körnerertrags in bestimmter Weise beeinflussten, fand ich bei meinen Versuchen nicht bestätigt; Stroh- und Körnerertrag waren beim ersten Hafer- und Erbsenversuch fast gleich. Leider war es mir nicht möglich, diesbezügliche Feststellungen auch bei den weiteren Versuchen zu machen, da ich gezwungen war, die Pflanzen vor der Reife wegen Befallenseins mit Rost bzw. Schneeschimmel nach einer Vegetationsdauer von 75 Tagen vorzeitig zu ernten. Zudem hätten sie die nötige Reife doch nicht erreicht, da es aus Mangel an Versuchstöpfen erst Mitte Juli möglich war die 4 - 6 Versuchsreihe anzusetzen. Gelegentlich der Erwähnung der Krankheitserscheinungen beim 2. Hafer- und 2. und 3. Erbsenversuch möchte ich die einzige schädliche Wirkung der Würmer feststellen. Es zeigte sich bei allen Versuchsreihen, dass die Krankheitserscheinungen zuerst bei den Wurmerversuchen auftraten. Ob diese als die Überträger der Krankheitserreger auf die Pflanzen infrage kommen, lasse ich ebenso wie MEHMED DJEMIL, der ähnliche Beobachtungen bei Kartoffelversuchen machte, dahingestellt.

Mit Rücksicht auf die Tatsache, dass beim 1. Haferversuch, der besonders auffällige Unterschiede im Vergleich der wurmfreien zu den mit Würmern besetzten

Töpfe aufwies, alle Würmer abgestorben waren, wurden in der 4. und 5. Versuchsreihe je 3 Parallelversuche mit je 100 toten Würmern eingeschaltet, um so einen Anhalt für deren düngende Wirkung zu erhalten. Da für eine solche doch nur die Trockensubstanz infrage kommt, und ich die Gewissheit haben wollte, dass unter keinen Umständen lebende Würmer sich in diesen Versuchen befanden, wurden immer je 100 von durchschnittlich 120 gr Gewicht zuerst mehrere Stunden dem Sonnenlicht ausgesetzt, das Angaben von DARWIN tödend auf sie einwirken soll, worauf sie noch im Trockenschrank bei 100 Grad 2 Stunden erhitzt wurden. Die Trockensubstanz-Bestimmung ergab im Mittel 5,4 gr je 100 Würmer Trockensubstanz, d.h. also 95,5% Wasser. Aus der Tatsache, dass besonders beim 2. Erbsenversuch die Wachstumsunterschiede zwischen den mit toten Würmern besetzten Versuchen und denen, die keine Würmer enthielten, unwesentliche waren - im ersteren Falle betrug die Ernte $14,9 \pm 2,5$ gegen $14,4 \pm 1,7$ gr Trockensubstanz im wurmfreien Boden - mag ersehen werden, dass den toten Würmern eine besondere düngende Wirkung in diesem Falle nicht zukam, wenn auch MEHMED DJEMIL ihren Stickstoff-Gehalt auf 5,4% angibt. Ganz abgesehen davon aber dürfte eine solche Wirkung dadurch ausgeschaltet worden sein, dass sämtliche Versuche, die 1. - 3. Versuchsreihe von der Hälfte der Vegetationszeit an, die andern von Anfang an, mit Nährlösung in der von MITSCHERLICH (6) angegebenen Weise täglich einmal bis zur vollen Wasserkapazität gegossen wurden. Es geht daraus hervor, wie gering abgestorbene Würmer den Pflanzenwuchs nur beeinflussen haben können. Die etwas grösseren Differenzen zwischen den Ergebnissen der toten (ohne Würmer: $18,7 \pm 2,4$; $16,0 \pm 1,1$ des 2. Haferversuchs) liegen ebenfalls innerhalb der Versuchsfehler der Versuche ohne Würmer. Daraus muss gefolgert werden, dass bei den vorliegenden Versuchen nur die Tätigkeit der **l e b e n d e n** Würmer die Vegetation und die Bodenbeschaffenheit beeinflusst haben kann; wäre dieses nicht der Fall gewesen, so hätten besonders die Haferversuche, wo alle Würmer abgestorben waren, nicht derartige Wachstumsunterschiede zeitigen können. Die Versuche mit toten Würmern werden somit in den nachfolgenden Betrachtungen als unwesentlich übergangen.

Wie schon vorher gesagt, zeigte in Übereinstimmung mit den Versuchen von WOLLNY und MEHMED DJEMIL der mit Würmern besetzte Boden eine bedeutend höhere

Fruchtbarkeit. Gestaltete sich das Verhältnis der Wachstumszunahme bei den gleichen Pflanzen im vorliegenden Falle und im Vergleich zu den Versuchen genannter Forscher nicht gleich, so hat das in den jeweilig verschiedenen Bodenarten und der Dauer des Würmer-Einflusses auf diese seinen Grund. Die stärkste Wachstumszunahme wies der 1. Haferversuch (Fig. 1) auf, mit einer Steigerung von 114% oder im Verhältnis lebende zu toten Würmern = $250,4 \pm 8,1$: $116,7 \pm 1,8$. Ebenfalls eine bedeutende Steigerung erfuhr der 1. Erbsenversuch (Fig. 2) mit 89,9% oder lebende zu keine Würmer = $119,3 \pm 2,5$: $62,8 \pm 1,0$. Dabei waren Stroh- und Kör-



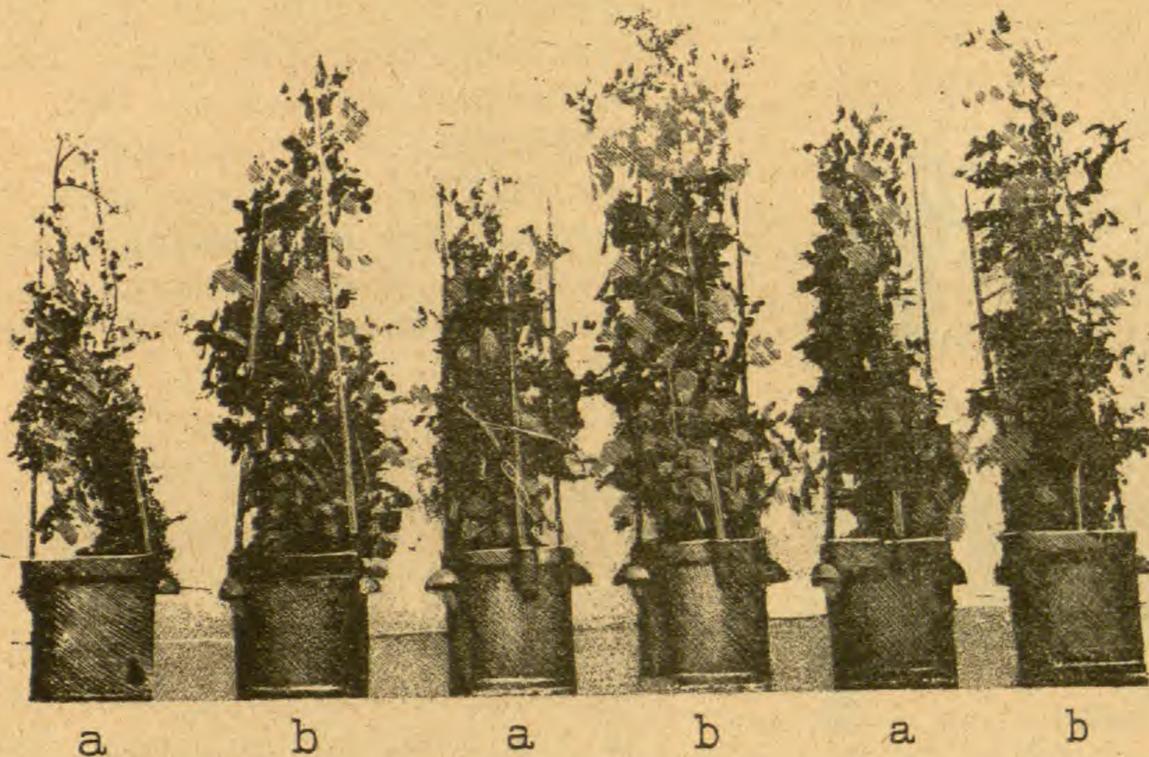
Figur 1. Erster Haferversuch. a = ohne Würmer, b = mit 100 Würmern.

nerertrag bei allen Versuchen zu gleichen Teilen am Wachstumsertrag beteiligt. Am geringsten, 22,5%, war die Erhöhung des Ertrages beim Senfversuch (Fig. 3), der

auch in Komposterde ausgeführt wurde. Das Verhältnis war hier: $93,1 \pm 6,4$ zu $76,0 \pm 2,1$. Die geringe Wachstumszunahme ist hier in einer nur schwachen Wurm-tätigkeit zu suchen, für die auch die später zu besprechende geringe Zunahme der Hygroskopizität spricht. Den stärksten Wachstumsunterschied dieser Versuchsreihe weist Versuch 2 auf (auch im Bild wahrnehmbar), bei dem am Ende der Vegetation noch am meisten Würmer gegenüber den anderen 3 Parallelversuchen sich vorfanden. Gerade auch dieser Versuch ist ein besonderer Beweis dafür, dass mit gesteigerter Wurmtätigkeit auch der Pflanzenertreg gesteigert wird.

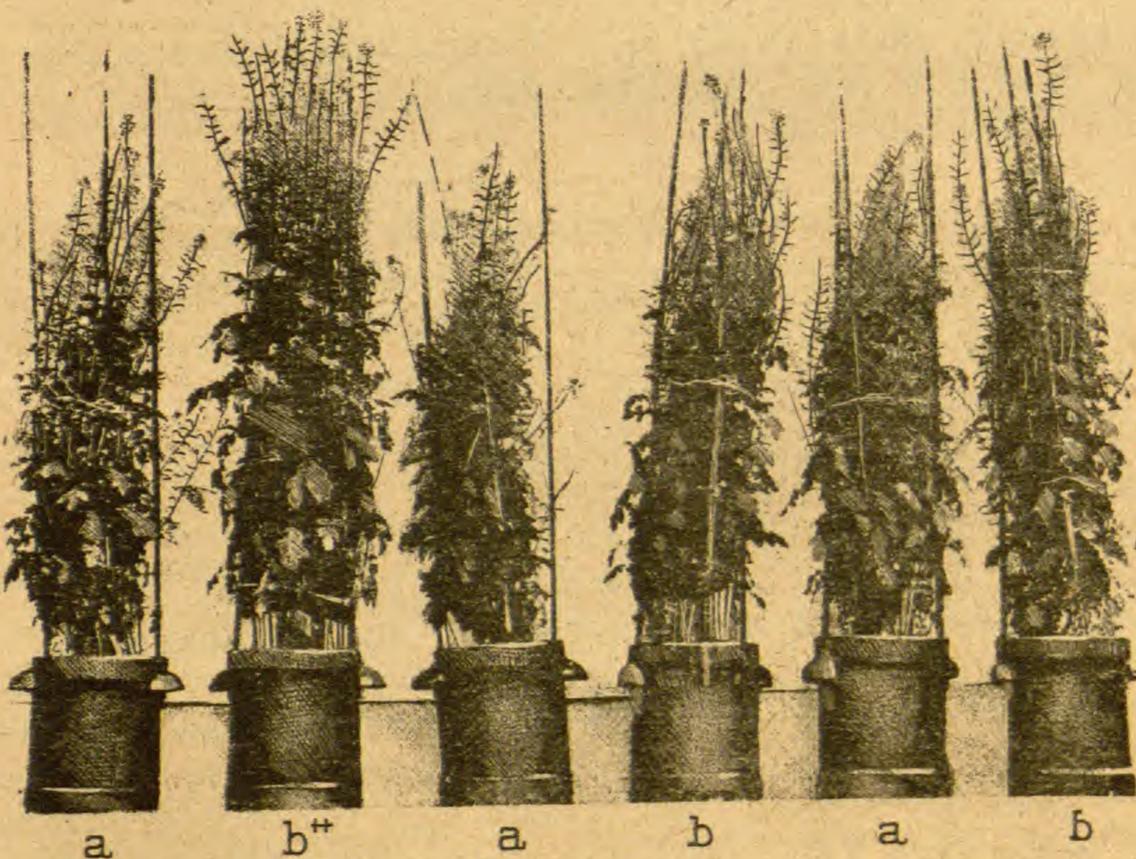
Beim 2. Hafer- und Erbsenversuch (Gartenboden) betrug die Erhöhung des Pflanzenwachstums 86,6 bzw. 66,6%. Beim 2. Haferversuch verhielt sich der Pflanzenertreg von lebenden zu keinen Würmern wie $29,9 \pm 0,7$ zu $16,0 \pm 1,6$, beim 2. Erbsenversuch (Figur 4) wie $24,0 \pm 1,1$ zu $14,4 \pm 1,7$. - Aus später zu besprechenden Gründen war die Zunahme beim 3. Erbsenversuch (Moor und Sand) geringer, nur 38,3% oder $27,8 \pm 1,7$ zu $20,1 \pm 1,3$. Wie verschieden die Würmer die einzelnen Versuche beeinflussten, geht aus der Tatsache hervor, dass die wahrscheinlichen Fehler bei den Würmerversuchen, mit Ausnahme des 2. Erbsenversuchs, bedeutend grösser waren, als die der Versuche ohne Würmer.

WOLLNY stellte in seinen Untersuchungen fest, dass die bessere Ertragsfähigkeit chemisch namentlich auf der besseren Löslichkeit der Stickstoffverbindungen, physikalisch auf einer höheren Wasser- und Luftdurchlässigkeit beruhte. Auch die in vorliegenden Versuchen festgestellte Tatsache, dass der wurmfreie Boden eine bedeutend höhere



Figur 2. Erster Erbsenversuch. a = ohne, b = mit 100 Würmern.

die Erhöhung des Pflanzenwachstums 86,6 bzw. 66,6%. Beim 2. Haferversuch verhielt sich der Pflanzenertreg von lebenden zu keinen Würmern wie $29,9 \pm 0,7$ zu $16,0 \pm 1,6$, beim 2. Erbsenversuch (Figur 4) wie $24,0 \pm 1,1$ zu $14,4 \pm 1,7$. - Aus später



Figur 3. Senfversuch. a = ohne, b = mit 100 Würmern.
bxx Versuch 8.

Wasserkapazität aufweist, deckt sich mit den Resultaten WOLLNY's, wenn die von mir

gefundenen Unterschiede sich auch lange nicht so gross gestalten. Da nun aber die Wasserkapazität von der Struktur und Lagerung der einzelnen festen Bodenteilchen bedingt wird, da sie davon abhängt, ob der Boden feiner oder stärker gekrümelt ist, so lag es nahe, zuerst die Oberflächengrösse der einzelnen Bodenpartikelchen mit einander zu vergleichen. Einen Anhalt dazu bieten die Sieb- und Schlammethode, die Oberflächenbestimmung mit Hilfe des Eiskalorimeters und die Bestimmung der

Hygroskopizität. Auf die Unbrauchbarkeit der Sieb- und Schlammethode ist wie von MITSCHERLICH (7) so auch von FLÖSS (8) hingewiesen worden. Die Bestimmung mit Hilfe des Eiskalorimeters leidet wiederum nach MITSCHERLICH unter dem Übelstand, dass der Boden beim Trocknungsprozess Veränderungen unterworfen ist. Da besonders bei den vorgenannten Verfahren die individuelle Versuchsanstellung sehr misspricht, so wurde als Methode zur Gesamtoberflächenbestimmung die Hygroskopizität nach der von MITSCHERLICH (9) angegebenen Weise bestimmt.

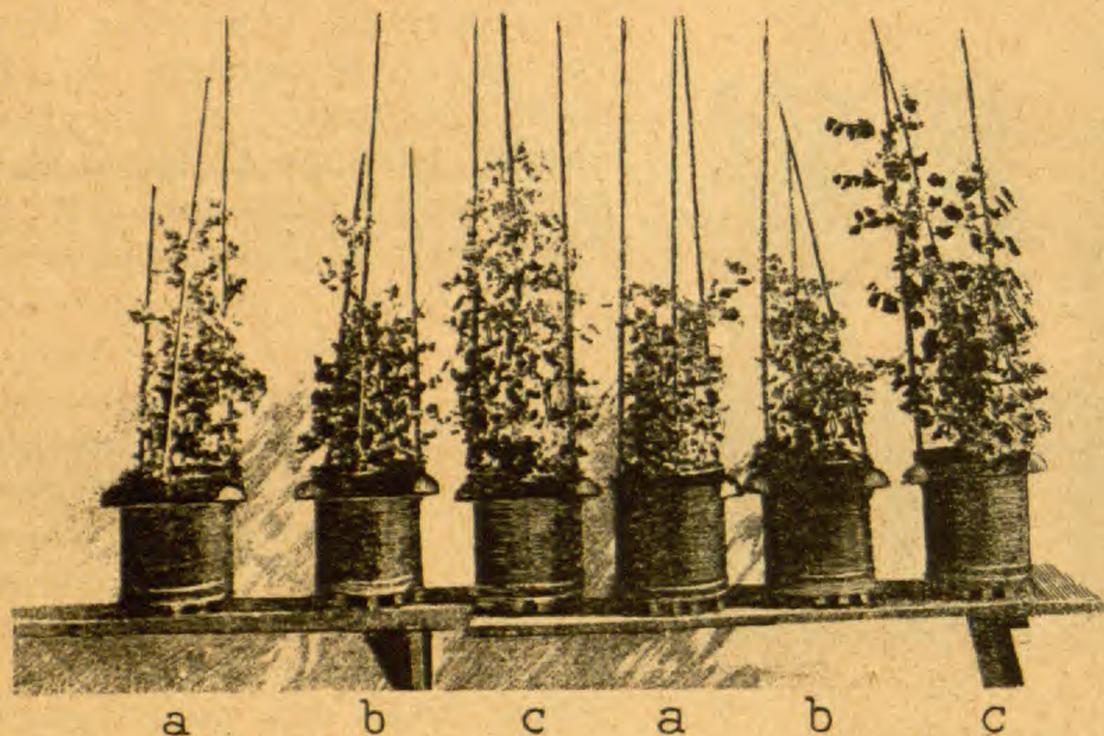
Um festzustellen, inwiefern der zum Versuch benützte Boden während der Vegetationsdauer einer Änderung unterlag, wurde die Hygroskopizität vor dem Ansetzen der Versuche ermittelt; sie kam im Durchschnitt der des wurmfreien Bodens gleich. Im Mittel von 4 Beobachtungen ergab die Hygroskopizität der Versuchsreihen 1 - 3:

$= 7,84 \pm 0,03$; 4 - 5: $= 6,12 \pm 0,06$; 6: $= 3,40 \pm 0,02$.

Übereinstimmend stellte sich heraus, dass in allen 6 Versuchsreihen die Hygroskopizität der Würmererde eine höhere geworden war. Es betrug das Verhältnis der Hygroskopizität bei:

| Versuch | Boden mit W. | Boden ohne W. | Zunahme inf. der W. |
|-----------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1. Hafer | $8,97 \pm 0,04$ | $7,93 \pm 0,03$ | $+ 1,04 \pm 0,08$ |
| 1. Erbsen | $9,58 \pm 0,15$ | $7,99 \pm 0,05$ | $+ 1,59 \pm 0,16$ |
| Senf | $8,99 \pm 0,05$ | $8,55 \pm 0,04$ | $+ 0,44 \pm 0,04$ |
| 2. Hafer | $6,66 \pm 0,03$ | $5,99 \pm 0,02$ | $+ 0,67 \pm 0,03$ |
| 2. Erbsen | $6,39 \pm 0,06$ | $6,16 \pm 0,05$ | $+ 0,23 \pm 0,07$ |
| 3. Erbsen | $3,96 \pm 0,03$ | $3,33 \pm 0,04$ | $+ 0,63 \pm 0,05$ |

Auch hier sind wie bei dem Pflanzenertrag die Schwankungen des Würmerbodens höhere. Angesichts der Tatsache, dass eine Vergrösserung der Hygroskopizität eingetreten war, war es geboten, den Ursachen dieser Erscheinung nachzugehen. DARWIN war es, der feststellte, dass die omnivoren Würmer in Ermangelung anderer Nahrung wie im vorliegenden Falle, Erde in sich aufnehmen, um daraus die für sie erforderlichen Nährstoffe zu resorbieren, z.B. nach KEUP (10) den Traubenzucker als Endprodukt der Zellulosegährung. Dass die ausgeschiedenen Exkremente in chemischer Beziehung Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Boden erfahren, ist von WOLLNY nachgewiesen; es fragte sich nun, inwiefern sie auch physikalisch umgebildet werden. Um dieses festzustellen, wurden Würmer in Komposterde wie bei Versuch 1 - 3 gebracht, die an der Oberfläche gefundenen Exkremente wurden gesammelt und



Figur 4. Zweiter Erbsenversuch.

a = ohne Würmer; b = mit 100 toten, c = mit 100 lebenden Wurmern.

ebenfalls auf ihre Hygroskopizität hin untersucht. Während der Boden eine solche von nur $8,5\% \pm 0,03$ aufwies, war die der Exkremente im Mittel von 5 Beobachtungen $10,5 \pm 0,2$. Einzeln stellte sich das Ergebnis wie folgt:

| Versuch | Hygroskopizität. | Aus diesem Resultat scheint mir der Beweis erbracht, dass die Würmer die Zerkleinerung der einzelnen Bodenpartikel hervorrufen und die Vergrößerung der Gesamtoberfläche bedingt haben. |
|---------|------------------|--|
| 1 | 9,81 | Da aus der Hygroskopizitätsbestimmung nicht die Grösse der einzelnen Bodenpartikel untereinander zu ersehen ist, so wurde zur Ermittlung, ob der Würmerboden gerade was die kleinsten Bodenteilchen anbetrifft, eine Änderung erfährt, die Absatzgeschwindigkeit von je 5 gr Boden jedes Versuchs in einem Reagenzglas geprüft. Doch |
| 2 | 10,51 | |
| 3 | 11,74 | |
| 4 | 10,33 | |
| 5 | 10,20 | |
| | 10,5 \pm 0,2 | Liessen sich Unterschiede dabei nicht wahrnehmen insofern als das über dem Boden stehende Wasser bei allen Versuchen innerhalb derselben Versuchsreihen die gleiche Zeit bis zur Klärung beanspruchte. Man muss daraus den Schluss ziehen, dass die feinsten Bodenteilchen, wenigstens was ihre Grösse, oder wie RAMANN sagt, ihren "hydraulischen Wert" anbetrifft, durch die Würmer nicht verändert werden, mithin auch die Gefahr des Verschlümmens in dem einen oder dem andern Fall nicht verstärkt wird. |

Zieht man bei der Hygroskopizität zum Vergleich die Steigerung des Pflanzenertrags heran, so ergibt sich, dass beide sich nicht immer entsprachen, es widerspricht somit diese Tatsache den von FLÖSS l.c. gemachten Feststellungen. Trotzdem können die vorliegenden Ergebnisse kein Beweis gegen die Resultate von FLÖSS sein. Die Tatsache, dass mit zunehmendem Pflanzenertrag auch die Hygroskopizität stieg, mag eine Bestätigung seiner Versuchsergebnisse sein. Decken sie sich nicht, so mag das seinen Grund einmal in der verschiedenen Reaktion der 3 Bodenarten, dann aber auch in der schon erwähnten wenig genauen Bestimmbarkeit der Anzahl lebender Würmer während der Versuche liegen. Sollte die Hygroskopizität durch Säurebildung erhöht worden sein, so würde diese Annahme in Einklang mit den von WACHE (11) gemachten Feststellungen stehen. Ob diese Annahme jedoch berechtigt ist, muss weiterer Forschung überlassen bleiben, ebenso wie die Behauptung, dass Pflanzenertrag und Hygroskopizität nicht immer sich in Abhängigkeit voneinander befinden, zumal WACHE seine Folgerungen aus Untersuchungen mit künstlichen Böden zieht; ob deren chemische und physikalische Eigenschaften denen des natürlichen Bodens gleichkommen, wird noch festzustellen sein.

Um einen Anhalt zu gewinnen über das Verhältnis von Hygroskopizität und Pflanzenertrag, wurden die Ergebnisse der Versuche ohne Würmer = 100 gesetzt. Es darf dabei aber nicht übersehen werden, dass ein solcher Vergleich nur bedingt zulässig ist, da das Verhältnis der Mehrerträge hier als ein geradliniges aufgefasst ist, während es tatsächlich nach den Gesetzen der Wachstumsfaktoren (12) in Form einer Kurve verläuft, die aber aus schon erwähnten Gründen sich leider nicht feststellen lässt. Folgende Übersicht gibt das Steigen des Pflanzenertrags und der Hygroskopizität wieder, wobei die entsprechenden Eigenschaften der wärmefreien Bodens = 100 gesetzt sind.

Die Zunahme infolge der Würmer betrug in %

| Versuchsreihe | Pflanzenertrag | Hygroskopizität. |
|-------------------------|----------------|------------------|
| Senf (Kompost) | 22,5 | 5,1 |
| 3. Erbsen (Moor & Sand) | 38,5 | 18,9 |
| 2. Erbsen (Gartenboden) | 66,0 | 3,9 |
| 1. Erbsen (Kompost) | 89,0 | 20,0 |
| 2. Hafer (Gartenboden) | 86,0 | 11,1 |
| 1. Hafer (Kompost) | 114,5 | 13,2 |

Vergleicht man die Zunahme innerhalb der 1. bis 3. Versuchsreihe, so weist beim Senfversuch der gering gesteigerte Pflanzenertrag auch nur eine geringe Steigerung der Hygroskopizität auf, während dem im Verhältnis zum Senf um das 4-fache gesteigerten Erbsenertrag auch eine gleich gesteigerte Hygroskopizität gegenübersteht. Der 1. Haferversuch fällt aus dem Rahmen dieser Beobachtung insofern schon heraus, als die Steigerung der Hygroskopizität nicht mehr im Einklang mit dem gesteigerten Pflanzenertrag steht. Doch mag dieses in einem vorzeitigen Aufhören der Würmerarbeit seinen Grund haben, die in diesem Versuch sämtlich nicht mehr vorzufinden waren. Ebenso lassen sich beim 2. Hafer- und Erbsenversuch die von FLÖSS gemachten Feststellungen nicht ermitteln. Hier mag die mehr saure Reaktion des 2. Haferversuchs die Ursache eines geringeren Pflanzenwachstums gewesen sein.

An der Hand der Befunde von WOLLNY, dass die Würmer die Wasser- und Luftkapazität verringerten und auf Grund der Oberflächenvergrößerung lag es nahe, denselben Boden auch auf seine Wasserkapazität noch einmal zu prüfen und das Verhältnis beider zu einander zu ermitteln. Auf die Feststellung der Luftkapazität konnte verzichtet werden, da diese denselben Gesetzen unterworfen ist wie die Wasserkapazität. Letztere wurde ebenso wie die Hygroskopizität vor dem Ansetzen der Versuche bestimmt und zwar nach der von MITSCHERLICH (13) angegebenen Weise. Dabei erwies sich die Wasserkapazität etwas höher, als die am Ende der Vegetationsversuche auf gleiche Weise ermittelte. Sie betrug hier im Mittel von 4 Versuchen bei Versuch 1 - 3 : 60,9f(0,6); Versuch 4 - 5 : 34,9f(0,5); Versuch 6 : 37,5f(0,5).

Bei den Vegetationsversuchen wurde die Bestimmung zuerst im Versuchsgefäß selbst ausgeführt in der Weise, dass die Töpfe bis zur vollen Wasserkapazität gegossen wurden; um dann dem für eine solche Bestimmung nicht inbetracht kommenden kapillären Wasser Gelegenheit zum Abfließen zu geben, wurden die Töpfe $\frac{3}{4}$ - 1 Stunde stehen gelassen. Zur Verhütung einer zu grossen Wasserverdunstung an der Oberfläche wurden diese Bestimmungen erst gegen Abend, wo sich die Temperaturen im Gewächshaus schon wesentlich abgekühlt hatten, gemacht. Zur Kontrolle wurden sie an mehreren Tagen wiederholt, um so einen Anhalt für das Gleichbleiben der Wasserkapazität zu gewinnen. Schon bei diesen Feststellungen zeitigten die Wurmvversuche, mit Ausnahme des 3. Erbsenversuchs, überall übereinstimmend mit den Versuchen WOLLNY's eine Abnahme der Wasserkapazität. Da jedoch solche Bestimmungen im Versuchsgefäß einen verhältnismässig nur groben Anhalt bieten können, zumal eine reinliche Scheidung zwischen kapillär und funiculär gebundenem Wasser darum nicht möglich ist, weil man hier einen kontinuierlichen Abfluss des kapillären Wassers etwa durch Aufstellung auf Filtrierpapier oder ähnliche Vorrichtungen, wie bei den Versuchen im Messzylinder nicht bewerkstelligen kann, so wurde die Wasserkapazität ausserdem noch im Metallzylinder ausgeführt. Relativ gestalteten sich die Ergebnisse genau so wie im Versuchsgefäß, absolut nahm jedoch die Wasserkapazität im Metallzylinder durchweg zu, was in der anders gearteten Bodenlagerung, die im Zylinder erheblich dichter war, seinen Grund haben dürfte. Während ein gewachsener Boden immer schon zur Krümelbildung und damit einer geringeren Wasserkapazität neigt, wurde bei den Versuchen im Metallzylinder durch ein 2 mm-Sieb abgeseibter Boden benützt, dessen einzelne Bodenpartikelchen durch das überstehende Wasser auf das dichteste gelagert, eine grössere Wasserkapazität aufweisen mussten. Wenn auch hier der Wurmboden eine geringere Wasserkapazität ergab, so ist das ein Beweis dafür, dass auch dieser abgeseibte Boden sich noch immer mehr in Krümelstruktur befand als der gleiche wurmfreie Boden. Bei den folgenden Betrachtungen sind in Anbetracht der Tatsache, dass der Boden die für vorliegende Versuche charakteristische Lagerung nur im Versuchstopf haben kann, auch nur diese Ergebnisse zum Vergleich mit herangezogen.

Derselbe Grund, der für einen Unterschied der Wasserkapazität im Versuchsgefäß und Metallzylinder massgebend war, dürfte auch im Vergleich des wurmfreien zu dem mit Würmern besetzten Boden bestimmend sein. Was zunächst die Oberflächenvergrößerung durch die Würmer anbetrifft, so müsste theoretisch, wenn man alle

anderen Faktoren, als die blosse Oberflächengestaltung ausser Acht lässt, durch die Würmer eine Vergrösserung der Wasserkapazität bedingt sein. Auch darüber liegen grundlegende Untersuchungen von WOLLNY (14) vor, der feststellte, dass diese Annahme richtig ist, jedoch fand er auch, dass die Wasserkapazität eines sonst gleichen Bodens mit stärkerer Krümelbildung bedeutend abnahm. Ich glaube, dass diese Beobachtungen WOLLNY's auf keinen Boden zutreffender sind, als gerade auf den von Würmern durcharbeiteten. Gerade durch sie wird eine Krümelstruktur hervorgerufen, wie sie ein wurmfreier Boden niemals aufweist. Als solche Bodenkrümel können einmal die von den Würmern ausgeschiedenen Exkremente angesehen werden, die eine ausserordentlich hohe Kohäsion der einzelnen in ihnen enthaltenen Bodenpartikelchen besitzen. Da aber auch andere als "Exkrementkrümel" besonders an der Oberfläche zu finden sind, so bleibt nur die eine Annahme übrig, dass die Würmer durch Ausscheiden des pankreatischen Saftes, den man in Gefässen, in welche man Würmer ohne Boden hineingetan hat, oft beobachten kann, zu einem "Verkleben" einer Anzahl von Bodenteilchen beitragen, wodurch ein grösseres Hohlraumvolumen im Boden geschaffen wird, das seinerseits wieder, je grösser es ist, eine umso kleinere Wasserkapazität bedingt. Gerade auf diese Krümelbildung im Boden dürfte mehr als durch die von den Würmern geschaffenen Röhren eine Volumenzunahme des Bodens herbeigeführt sein. Dass gerade dieses vergrösserte Hohlraumvolumen in erster Linie der Grund für eine Änderung der Wasserkapazität ist, das beweist der 3. Erbsenversuch. Der Versuchsboden bestand hier aus einem Gemisch von Sand und Moor. Gerade hier war eine Krümelbildung, wie bei allen anderen Versuchen nicht der Fall, erklärlich dadurch, dass der Sand infolge seiner geringen Kohäsionsfähigkeit Krümel nicht bildete. Aus diesem Grunde erklärt sich einmal die entgegen allen anderen Versuchen gesteigerte Wasserkapazität in den mit Würmern besetzten Gefässen, zum anderen auch die hier allein auftretende Säureerscheinung. Im einzelnen waren die Ergebnisse der Wasserkapazitätsbestimmung in den Versuchsgefässen folgende:

Es betrug das Verhältnis der Wasserkapazität bei

| Versuch | Boden mit W. | Boden ohne W. | Zu- bzw. Abnahme infolge der W. |
|-----------|--------------|---------------|---------------------------------|
| 1. Hafer | 49,8 ± 0,4 | 52,6 ± 0,4 | - 2,8 ± 0,6 |
| 1. Erbsen | 51,2 ± 0,9 | 54,2 ± 1,0 | - 2,0 ± 1,3 |
| Senf | 53,4 ± 0,2 | 60,3 ± 0,5 | - 6,9 ± 0,6 |
| 2. Hafer | 28,9 ± 0,4 | 31,5 ± 0,2 | - 2,6 ± 0,5 |
| 2. Erbsen | 32,6 ± 0,3 | 32,9 ± 0,2 | - 0,3 ± 0,3 |
| 3. Erbsen | 32,6 ± 0,2 | 31,8 ± 0,3 | - 0,6 ± 0,3 |

Zieht man zum Vergleich noch das Verhältnis zur Hygroskopizität heran, wobei wieder alle Eigenschaften des wurmfreien Bodens = 100 gesetzt sind, so ergibt sich:

| Versuch | Pflanzenertrag | Wasserkapazität | Hygroskopizität |
|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| Senf | + 22,5 | - 11,5 | + 5,1 |
| 3. Erbsen | + 38,5 | + 2,5 | + 18,9 |
| 2. Erbsen | + 66,6 | - 1,0 | + 3,9 |
| 2. Hafer | + 86,6 | - 8,3 | + 11,1 |
| 1. Erbsen | + 89,0 | - 5,6 | + 20,0 |
| 1. Hafer | + 114,5 | - 5,4 | + 13,2 |

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass in Versuchsreihe 1 - 3 dem gering gesteigerten Pflanzenertrag des Senfs eine gering gesteigerte Hygroskopizität, hingegen stark abnehmende Wasserkapazität entspricht, während die stark

gesteigerten Erträge des 1. Hafer- und Erbsenversuchs nur ein geringes Abnehmen der Wasserkapazität, dagegen eine starke Steigerung der Hygroskopizität aufweisen.

Es geht daraus hervor, dass im vorliegenden Falle der Pflanzenertrag mit steigender Hygroskopizität und am geringsten fallender Wasserkapazität zunahm, oder mit andern Worten der Pflanzenertrag am höchsten war, wo Hygroskopizität und Wasserkapazität sich dem Optimum näherten. Diese Verhältnisse gestalteten sich in der 4. und 5. Versuchsreihe wieder anders, was namentlich auf die weniger alkalische Reaktion des 2. Haferversuchs zurückzuführen sein mag. Wie bei der Hygroskopizität die Wurmexkreme den Beweis für eine Bodenoberflächenänderung erbrachten, so lag es nahe, den Grund für die Verringerung der Wasserkapazität neben den

1. Versuchsreihe. 1. Haferversuch. Komposterde. 35 Pflanzen.

| Nr. | Zahl d. W. | | Ernteertrag | | | Wasserkapazit. | | Hygrosk. | Wasser- durchl. L in '1 | Säure | Bem. z. Säure- best. |
|---|-------------------------|------|---------------|---------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|-------|----------------------------|
| | bei Versuchs- Anfang | Ende | Stroh | Körner | Total | im Ver- suchs- gefäss | im Me- tallzy- linder | | | | |
| 1 | - | - | 58,7 | 53,4 | 112,1 | 53,1 | 62,9 | 7,95 | 0,6 | 4 | 1-4 |
| 2 | - | - | 57,2 | 58,6 | 115,8 | 50,2 | 61,5 | 8,04 | 0,6 | 4 | mittel- |
| 3 | - | - | 61,3 | 59,0 | 120,3 | 52,4 | 62,3 | 7,86 | 0,9 | 4 | starke |
| 4 | - | - | 58,5 | 60,2 | 118,7 | 54,7 | 63,2 | 7,87 | 0,6 | 4 | Kahmsch |
| Mittel | | | 58,9 ±0,6 | 57,8 ±1,1 | 116,7 ±1,4 | 52,6 ±0,4 | 62,4 ±0,3 | 7,93 ±0,03 | 0,7 ±0,05 | 4 | |
| 5 | 100 | - | 132,2 | 128,4 | 251,5 | 48,3 | 51,9 | 8,79 | 0,3 | 4 | 5-8 |
| 6 | 100 | - | 106,8 | 110,5 | 217,3 | 51,4 | 58,2 | 8,98 | 0,3 | 4 | mittel- |
| 7 | 100 | - | 138,4 | 138,9 | 277,1 | 49,7 | 53,9 | 9,07 | 0,2 | 4 | starke |
| 8 | 100 | - | 126,6 | 129,2 | 255,8 | 50,0 | 54,1 | 9,04 | 0,3 | 4 | Kahmsch |
| Mittel | - | - | 126,0 ±4,7 | 126,7 ±3,9 | 250,4 ±8,1 | 49,8 ±0,4 | 54,5 ±0,9 | 8,87 ±0,04 | 0,3 ±0,01 | 4 | |
| Verlust oder Gewinn durch d. Würm | - | - | +67,1 ±4,8 | +68,9 ±4,1 | +143,7 ±8,1 | -2,8 ±0,6 | -8,0 ±0,95 | +1,04 ±0,05 | -0,45 ±0,05 | - | |
| in % ohne W. = 100 | - | - | +113,7 | +119,2 | +114,5 | -5,4 | -12,8 | +13,2 | -64,1 | | |

schon erwähnten Gründen auch in der Umbildung der Wurmexkreme zu erblicken. Leider war es hier aus Mangel an Untersuchungsmaterial nicht möglich mit Parallelversuchen zu arbeiten, das gefundene Resultat kann daher nur einen bedingten Anspruch auf Genauigkeit machen. Gegenüber einer Wasserkapazität des Bodens in dem sich die Würmer befanden von 60,9 f(0,6) betrug die der Exkreme 55,6% : mithin ebenso wie bei den Vegetationsversuchen ein Rückgang der Wasserkapazität, der aus der nach der Bestimmung gefundenen Struktur der Exkreme umso leichter erklärlich wird, als diese immer noch eine ausgesprochene Krümelstruktur zeigten, obwohl sie 3 Tage im Metallzylinder unter Wasser gestanden hatten. Auch diese Tatsache beweist die ausserordentlich hohe Kohäsion der Exkreme, sie beweist die Beeinfluss-

sund der Wasserkapazität durch diese.

Nicht weniger ausschlaggebend dürfte für den Pflanzenertrag auch die erhöhte Wasserdurchlässigkeit des Bodens gewesen sein; auch sie erfährt durch die Würmer eine bedeutende Änderung. Bedingt die von den Würmern geschaffene Bodenkrümelung

2. Versuchsreihe: 1. Erbesenversuch. Komposterde. 20 Pflanzen.

| Nr. | Zahl d. W. bei Versuchs | | Ernteertrag | | Total | Wasserkapazität | | Hygro- skopi- zität | Wasser- Durchl. in L p.¹ | Säure | Bemerk. z. Säure- Betimmg. |
|---|-------------------------|------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|----------------------------------|
| | Anf. | Ende | Stroh | Körner | | im Ver- suchs- Gefäss | im Met. Zylin- der. | | | | |
| 1 | - | - | 30,8 | 30,6 | 61,4 | 52,5 | 56,5 | 8,21 | 0,1 | 4 | |
| 2 | - | - | 31,5 | 33,4 | 64,9 | 56,8 | 57,2 | 7,86 | 0,2 | 4 | 1-4 star- |
| 3 | - | - | 33,6 | 31,2 | 64,8 | 52,9 | 56,3 | 7,95 | 0,1 | 4 | ke Kahm- |
| 4 | - | - | 29,8 | 30,3 | 60,1 | 54,8 | 57,0 | 7,89 | 0,1 | 4 | haut |
| Mittel | - | - | 31,4 ±0,5 | 31,4 ±0,5 | 62,8 ±1,0 | 51,2 ±1,0 | 56,7 ±0,2 | 7,99 ±0,05 | 0,11 ±0,01 | 4 | |
| 5 | 100 | 48 | 57,8 | 59,3 | 117,1 | 52,3 | 56,5 | 9,52 | 0,2 | 4 | |
| 6 | 100 | 51 | 61,4 | 63,2 | 124,6 | 53,9 | 55,5 | 9,77 | 0,2 | 4 | 5-8 star- |
| 7 | 100 | 63 | 64,2 | 60,2 | 124,4 | 48,2 | 54,9 | 10,02 | 0,3 | 4 | ke Kahm- |
| 8 | 100 | 35 | 55,4 | 55,9 | 111,1 | 50,5 | 52,0 | 9,03 | 0,2 | 4 | haut |
| Mittel | 100 | 49 | 59,7 ±1,5 | 59,6 ±1,0 | 119,3 ±2,5 | 51,2 ±0,9 | 54,7 ±0,6 | 9,58 ±0,15 | 0,22 ±0,02 | 4 | |
| Verlust od. Ge- winn d. d. Wurm. | - | - | +28,3 ±1,8 | +28,2 ±1,1 | +56,5 ±2,7 | -2,0 ±1,3 | -2,0 ±0,6 | +1,59 ±0,16 | +0,11 ±0,02 | | |
| in % ohne W. = 100 | - | - | +90 | +89 | +89,9 | -5,6 | -3,6 | +20 | +100 | | |

schon an und für sich eine bessere Wasserdurchlässigkeit, so wird diese durch die Wurmröhren, die wasserleitungsartig den Boden durchziehen, in besonderem Masse hervorgerufen. Auch darüber liegen bereits Untersuchungen von WOLLNY vor, der ausserdem auch die Luftdurchlässigkeit bestimmt hat. Da jedoch WOLLNY seine Untersuchungen an einem Boden anstellte, dem 5 Monate kein Wasser zugeführt war, so dürften seine Ergebnisse für die natürlichen Böden nicht zutreffend sein. Bei der Feststellung der Wasserdurchlässigkeit war es mir allerdings nicht möglich, in Anbetracht der grossen Zahl von Versuchen, mich derselben exakten Methoden zu bedienen, wie WOLLNY, der diese Bestimmungen nur an einem bzw. zwei Versuchen ausführte. Ich war gezwungen, auf die primitivere Art zurückzugreifen, die aber für die Beurteilung der Durchlaufgeschwindigkeiten genügende Resultate aufweisen dürfte. Der Boden wurde mit 3 L Wasser so begossen, dass eine 1 - 2 cm hohe Wasserschicht stets über dem Boden stand, und dann die Zeit ermittelt, die bis zum Einsickern des letzten überstehenden Wassers verstrich. Der Übersichtlichkeit wegen sind die Durchlaufzeiten in den Tabellen auf L in der Minute umgerechnet. Die Wasserdurchlässigkeit wurde am Tage der Ernte in den Versuchgefässen bestimmt. Wenn sie dabei starke Abweichungen (besonders bei den Hafer-Versuchen)

von den sonstigen Beobachtungen ergaben, so hat das seinen Grund in dem starken Wurzelwachstum der in den Töpfen mit Würmern weit besser entwickelten Pflanzen. Waren deren Wurzeln bereits durch das am Grunde der Versuchsgefäße angebrachte

3. Versuchsreihe. Senfversuch. Komposterde. 30 Pflanzen.

| Nr. | Zahl der W. | | Ernteertrag | | | Wasserkapazität | | Hygroskop | Wasser- Durchl. L in ' | Säure | Bemerk. z. Säure- Bestimmg. |
|--|-------------------------|------|-------------|--------|---------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|-------|--|
| | bei Versuchs- Anfang | Ende | Stroh | Körner | Total | im Ver- suchs- gefäß | im Me- tallzy- linder | | | | |
| 1 | - | - | - | - | 75,0 | 59,4 | 63,9 | 8,49 | 0,2 | 4 | 1-4 mit- telstarke Kahmsch. |
| 2 | - | - | - | - | 68,0 | 58,9 | 63,5 | 8,63 | 0,3 | 4 | |
| 3 | - | - | - | - | 82,1 | 60,3 | 66,8 | 8,45 | 0,2 | 4 | |
| 4 | - | - | - | - | 79,1 | 62,5 | 67,5 | 8,65 | 0,3 | 4 | |
| Mittel | - | - | - | - | 76,0 ±2,1 | 60,3 ±0,5 | 65,4 ±0,8 | 8,55 ±0,04 | 0,25 ±0,02 | 4 | |
| 5 | 100 | 10 | - | - | 81,0 | 53,0 | 55,1 | 8,94 | 0,3 | 4 | 5-8 mit- telstarke Kahm- schicht. |
| 6 | 100 | 6 | - | - | 83,2 | 53,5 | 54,7 | 8,84 | 0,4 | 4 | |
| 7 | 100 | 12 | - | - | 89,0 | 52,9 | 54,8 | 9,16 | 0,4 | 4 | |
| 8 | 100 | 19 | - | - | 119,3 | 54,4 | 57,3 | 9,04 | 0,3 | 4 | |
| Mittel | 100 | 11,9 | - | - | 93,1 ±6,4 | 53,4 ±0,2 | 55,5 ±0,4 | 8,99 ±0,05 | 0,35 ±0,02 | 4 | |
| Verlust od. Ge- winn inf.d. W. | - | - | - | - | +17,1 ±6,7 | -6,9 ±0,6 | -8,9 ±0,9 | +0,44 ±0,04 | 0,1 ±0,02 | - | |
| in % ohne W =100 | - | - | - | - | +22,5 | -11,5 | -15,2 | +5,1 | +40 | | |

Netz hindurchgewachsen, so behinderten sie dadurch den freien Wasserdurchlauf, insofern als dort eine am dichtesten gelagerte Schicht entstand, die für die Durchlaufgeschwindigkeit ausschlaggebend ist (15). Die bei diesen Bestimmungen gefundenen Resultate werden darum, überall von dem Wurzelwachstum beeinflusst, nicht einen Anhalt für die Grösse der Wasserdurchlässigkeit bieten können. Ich habe sie trotzdem angeführt, da sie beim 2. Hafer- und Erbsenversuch den niedrigen Pflanzenertrag einiger Versuche erklären und auch zum Teil die bessere Durchlaufgeschwindigkeit bei den Würmerversuchen noch erkennen lassen. Zu meinem Bedauern ist die Durchlässigkeit im Anfang der Versuche, als das Wurzelwachstum noch nicht so stark war, nicht bestimmt worden. Es wurden jedoch, um unabhängig von diesem zu sein, je 3 Parallelversuche mit je 100 bzw. ohne Würmer angesetzt und zwar mit Komposterde, wie bei Versuchsreihe 1 - 3. Die Versuche wurden wiederholt an mehreren Tagen ausgeführt, doch zeigte sich schon am 2. Tage ein Nachlassen der Durchlässigkeit an allen Töpfen, die nur auf ein Verschlämmen der im Boden entstandenen Hohlräume zurückzuführen sein kann. Ich gebe aus diesem Grunde nur die Ergebnisse wieder, die bei der ersten Bestimmung, 2 Wochen nach dem Einsetzen der Würmer in die Gefäße erzielt wurden

| | | | | |
|---------|--------|-------------------------------|---------------|--|
| Versuch | Würmer | Wasserdurchl. L pro Minute | | Das Verhältnis war also 6:1, während WOLLNY ein solches von 24:1 bei dem von ihm untersuchten Boden fand, doch dürfte diese ausserordentlich hohe Differenz auf schon vorher genannte Gründe zurückzuführen sein. Aus der gefundenen höheren Wasserdurchlässigkeit folgt, dass das Bodenvolum. durch die Würmer erheblich gesteigert wird. Je mehr Luft aber der Boden enthält, umso schneller können die Oxydationsvorgänge der Humussubstanzen vor |
| 1 | 100 | 2,4 | } 2,0 ± 0,13 | |
| 2 | 100 | 1,8 | | |
| 3 | 100 | 1,9 | | |
| 4 | - | 0,3 | } 0,33 ± 0,01 | |
| 5 | - | 0,4 | | |
| 6 | - | 0,3 | | |

4. Versuchsreihe, 2. Haferversuch. Gartenboden. 35 Pflanzen

| Nr. | Zahl d. Würmer b. Anfang | Würmer b. Ende | Ernteeertrag | Wasserkapazität im Vergefäss | Wasserkapazität im Met. zylinder | Hygroskopitität. | Wasserdurchl. L pro ' | Säure | Bemerkungen zur Säure-Bestimmung. |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------|---------------|------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------|-------|-----------------------------------|
| 1 | - | - | 11,7 | 30,8 | 31,4 | 6,04 | 0,06 | 4 | 1 - 4 dünne Kahmschicht. |
| 2 | - | - | 20,0 | 31,5 | 31,5 | 6,01 | 0,05 | 4 | |
| 3 | - | - | 13,9 | 32,2 | 32,2 | 6,04 | 0,07 | 4 | |
| 4 | - | - | 18,5 | 31,4 | 31,4 | 5,90 | 0,03 | 4 | |
| Mittel | - | - | 16,0 ±1,6 | 31,5 ±0,2 | 32,1 ±0,2 | 5,99 ±0,02 | 0,05 ±0,005 | 4 | |
| 5 | je 100 | - | 21,8 | 31,2 | 32,4 | 6,09 | 0,07 | 4 | 5-7 dünne Kahmschicht |
| 6 | tote | - | 21,7 | 33,4 | 33,5 | 5,99 | 0,05 | 4 | |
| 7 | Würmer | - | 12,5 | 31,2 | 30,4 | 5,99 | 0,03 | 4 | |
| Mittel | - | - | 18,7 ±2,4 | 31,9 ±0,6 | 32,1 ±0,6 | 6,02 ±0,02 | 0,05 ±0,005 | 4 | |
| Verlust oder Gewinn inf. d. tot. W. | - | - | +2,7 ±1,6 | +0,4 ±0,6 | ±0 | +0,03 ±0,02 | ±0 | | |
| in % ohne W.=100 | - | - | +16,8 | +1,2 | ±0 | ±0 | ±0 | | |
| 8 | 100 | - | 30,5 | 30,4 | 31,8 | 6,66 | 0,02 | 4 | 8-11 dünne Kahmschicht |
| 9 | 100 | - | 28,5 | 28,2 | 30,3 | 6,77 | 0,02 | 4 | |
| 10 | 100 | - | 32,4 | 28,5 | 28,9 | 6,56 | 0,02 | 4 | |
| 11 | 100 | - | 28,2 | 28,4 | 28,2 | 6,63 | 0,01 | 4 | |
| Mittel | 100 | - | 29,9 ±0,7 | 28,9 ±0,4 | 29,8 ±0,5 | 6,66 ±0,03 | 0,02 ±0 | 4 | |
| Verlust oder Gewinn inf. d. leb. W. | - | - | +13,9 ±1,8 | 2,6 ±0,5 | -2,3 ±0,2 | +0,67 ±0,03 | -0,03 ±0,005 | | |
| % ohne W.=100 | - | - | +86,6 | -8,3 | -7,2 | -11,1 | -60 | | |

sich gehen, deren Endprodukt die Kohlensäureentwicklung im Boden ist, eine Tatsache, die schon WOLLNY bei seinen Untersuchungen mit Würmerböden bestätigt fand

5. Versuchsreihe. 2. Erbsenversuch. Gartenboden. 18 Pflanzen.

| Nr. | Zahl d. Würmer b. Versuchs | | Ernteeertrag | Wasserkapazität | | Hygroskopizität | Wasserdurchl. in ' | Säure | Bemerk. zur Säure-Bestimmung. |
|-------------------------------|----------------------------|------|----------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|-------|-------------------------------|
| | Anfang | Ende | | Im Versuchsgef. | im Met.-zylinder | | | | |
| 1 | - | - | 11,5 | 33,2 | 33,5 | 6,29 | 0,06 | 4 | 1-4 starke Kahl-schicht |
| 2 | - | - | 13,2 | 33,1 | 34,9 | 6,04 | 0,07 | 4 | |
| 3 | - | - | 18,7 | 32,4 | 33,2 | 6,14 | 0,06 | 4 | |
| 4 | - | - | (7,0) ^{1/2} | (34,6) | (36,2) | (6,07) | (0,03) | 4 | |
| Mittel | - | - | 14,4 ±1,7 | 32,9 ±0,2 | 33,8 ±0,3 | 6,16 ±0,05 | 0,07 ±0,003 | 4 | |
| 5 | je 100 | - | 12,05 | 35,0 | 34,9 | 6,02 | 0,03 | 4 | 5-7 starke Kahl-schicht. |
| 6 | tote | - | (7,1) ^{1/2} | (40,3) | (38,4) | (5,99) | (0,01) | 4 | |
| 7 | W. | - | 17,9 | 38,2 | 36,1 | 6,14 | 0,02 | 4 | |
| Mittel | - | - | 14,9 ±2,5 | 36,7 ±1,3 | 35,5 ±0,5 | 6,07 ±0,64 | 0,025 ±0 | 4 | |
| Verl. oder Gew. i. d. toten W | - | - | +0,5 ±3,0 | -3,8 ±1,3 | -1,7 ±0,6 | -0,09 ±0,06 | -0,05 ±0,003 | | |
| in % ohne W=100 | - | - | +3,4 | -11,2 | -7,1 | -1,5 | -64,5 | | |
| 8 | 100 | 18 | 21,5 | 33,2 | 34,7 | 6,23 | 0,03 | 4 | 8-11 starke Kahl-schicht. |
| 9 | 100 | 31 | 27,5 | 32,8 | 32,9 | 6,49 | 0,05 | 4 | |
| 10 | 100 | 23 | 24,9 | 31,5 | 33,6 | 6,56 | 0,03 | 4 | |
| 11 | 100 | 20 | 22,1 | 33,1 | 32,4 | 6,81 | 0,08 | 4 | |
| Mittel | 100 | 23 | 24,0 ±1,1 | 32,6 ±0,3 | 33,0 ±0,4 | 6,59 ±0,06 | 0,05 ±0,01 | 4 | |
| Verl. oder Gew. i. d. leb. W. | - | - | +9,6 ±2,0 | -0,3 +0,3 | -0,2 ±0,5 | +0,23 ±0,07 | -0,02 ±0,01 | | |
| % ohne W=100 | - | - | +66,6 | -1,0 | -5,4 | +3,9 | -28,6 | | |

^{1/2} Versuche 4 & 6 wurden, da Endertrag ausserhalb des 4-fachen wahrsch. Fehlers liegt, nicht zur Mittelbildung verwendet.

Neben der besseren chemischen Zersetzung müssen aber noch andere Faktoren die Veranlassung für ein besseres Wachstum gewesen sein. Dieses war schon 14 Tage nach dem Keimen ein auffällig stärkeres, also schon zu einer Zeit, wo chemische Veränderungen noch nicht zu weit vorgeschritten sein dürften. Diese damals schon starken Wachstumsunterschiede führe ich besonders auf eine Ersparnis an Wachstumsenergie zurück, die die Pflanzen infolge der im Würmerboden bereits vorhandenen Hohlräume erzielten. Je mehr ein Boden sich in Einzelkornstruktur befindet,

G. Versuchsreihe. 3. Erbsenversuch. Moor & Sand. 18 Pflanzen.

| Nr. | Zahl d. Würmer bei Vers. | | Ernteertrag | Wasserkapazität | | Hygroskopizität | Wasserdurchl. L in 1' | Säure | Bemerk. |
|--------------------------|--------------------------|------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------|-------|---|
| | Anfang | Ende | | im Ver.-Gefäß | im Met.-zylinder | | | | |
| 1 | - | - | 19,9 | 51,8 | 32,6 | 3,24 | 0,1 | 0 | keine Kahnhaut 1/4Kahmh. keine K. |
| 2 | - | - | 15,0 | 30,9 | 32,9 | 3,23 | 0,2 | 0 | |
| 3 | - | - | 24,7 | 32,4 | 32,2 | 3,46 | 0,1 | 1 | |
| 4 | - | - | 20,9 | 32,2 | 32,7 | 3,38 | 0,1 | 0 | |
| Mittel. | - | -- | 20,1 ±1,3 | 51,8 ±0,3 | 32,3 ±0,1 | 3,33 ±0,04 | 0,11 ±0,01 | | |
| 5 | 100 | 15 | 34,6 | 31,6 | 34,3 | 3,88 | 0,2 | 0 | keine Kahnhaut 1/2 Kahmh. keine K. |
| 6 | 100 | 12 | 27,8 | 32,8 | 35,6 | 4,08 | 0,1 | 0 | |
| 7 | 100 | 12 | 28,2 | 33,2 | 37,5 | 3,95 | 0,2 | 2 | |
| 8 | 100 | 8 | 20,8 | 32,9 | 34,5 | 3,93 | 0,1 | 0 | |
| Mittel | 100 | 11,9 | 27,8 ±1,7 | 32,6 ±0,2 | 35,5 ±0,5 | 3,96 ±0,03 | 0,15 ±0,02 | - | |
| Verl. oder Gew. i. d. W. | - | - | +7,7 ±2,1 | +0,8 ±0,3 | +2,9 ±0,5 | +0,53 ±0,05 | +0,04 ±0,02 | | |
| %, ohne W. - 100 | - | - | +38,3 | +2,5 | +8,9 | +18,9 | +36,3 | | |

umso mehr Widerstand setzt er dem Längen- und Dickenwachstum der Wurzeln entgegen, aus welchem Grunde gerade unsere Sandböden für ein Pflanzenwachstum wenig infrage kommen. Sind den Wurzeln aber, wie bei vorliegenden Wurmerversuchen, ausreichend Hohlräume in Gestalt von Wurmröhren oder infolge der Krümelbildung zur Verfügung gestellt, so braucht die Pflanze weniger Arbeit aufzuwenden, insofern als sie in die vorhandenen Hohlräume hineinwächst oder als sie weniger Energie aufzuwenden hat, um die Kohäsion der einzelnen Bodenkrümel zu überwinden. Diese können so in die vorhandenen Hohlräume gedrückt werden, während bei einem Boden, der nur ein geringes Hohlraumvolumen hat, die Pflanzenwurzel die Bodenteilchen weniger leicht gegen einander verschieben kann (16). Dass in der Natur neben diesen Gründen, die sich hier nur auf die Bodenlagerung beziehen, noch andere günstige Wirkungen durch die Würmer hervorgerufen werden, darauf ist besonders von KEUP (10) hingewiesen worden, z.B. auf die Verhinderung der Wasserstagnation und damit Säurebildung im Boden,

KEUP l.c. hebt auch hervor, dass die Würmer in ihrem Darmtraktus 3 Paar

accessorische, MORREN'sche Drüsen besitzen, mit deren Hilfe sie kohlensauren Kalk absondern. Daraus müsste folgen, dass der mit Würmern besetzte Boden eine mehr alkalische Reaktion aufweisen muss und dadurch bei sauren Böden durch darin befindliche Würmer die Grundlage für ein besseres Wachstum geschaffen wird. Um darüber Feststellungen zu machen, wurde der Boden jedes Versuchesgefässes nach der neuesten von CHRISTENSEN (17) angegebenen Methode auf seinen Säuregehalt hin bestimmt. 5 gr Boden wurden mit 50 ccm einer Lösung von 0,2% Mannit und 0,02% einbasich phosphorsaurem Kalk übergossen und die überstehende Flüssigkeit mit Azotobacter geimpft. Während fünftägigen Stehens im Thermostaten bei einer Temperatur von 25 - 27 Grad kommen dann, sobald die Böden alkalisch oder neutral sind, die Azotobacter-Bakterien zur Entwicklung, es bildet sich an der Oberfläche der Flüssigkeit eine hautartige Schicht (Kahmschicht) aus Azotobacter-Kolonien, die nach den Angaben von CHRISTENSEN, je nach ihrem Ausmass der Entwicklung, als ein Kriterium für die mehr oder weniger alkalische Reaktion eines Bodens angesehen werden kann. Bei den angestellten Untersuchungen liess sich bei den Versuchsreihen 1 - 5 überall eine Kahmschicht feststellen, die nach der von CHRISTENSEN angegebenen Weise mit 4 bezeichnet werden muss, d.h. die Gesamtoberfläche der den Boden überstehenden Lösung war mit einer solchen Schicht bedeckt. Diese gestaltete sich jedoch bei den einzelnen Versuchsreihen verschieden stark. Am dicksten war sie beim 1. und 2. Erbsenversuch u. zwar bei allen Versuchen gleichmässig entwickelt, weniger dick schon beim 1. Hafer- und beim Senfversuch, am dünnsten beim 2. Haferversuch. Der 3. Erbsenversuch wies nur in 2 Fällen, bei einem Versuch mit und bei einem ohne Würmer, eine schwach alkalische Reaktion auf. Man ersieht aus diesen Ergebnissen, dass ein Boden, der an und für sich nicht sauer war, eine Erhöhung der Alkalität nicht aufwies, ebenso wenig wie ein sauer reagierender Boden durch die Würmer zu mehr neutraler Reaktion gebracht wurde. Wenn die Würmer auf die Bodenreaktion in der Natur doch einen Einfluss ausüben, so dürfte dieser nur ein indirekter sein, insofern als sie auch dicht gelagerte Erdschichten, über denen eine Wasserstagnation leicht stattfinden kann, mit ihren Röhren durchziehen, dadurch also ein Abfliessen des Wassers in tiefere Erdschichten herbeiführen. Andererseits unterbinden die Würmer durch Vergrösserung des Bodenvolums eine Fäulnis organischer Substanzen, die zur Bildung von Roh-Humus und Bodensäuren führen; gerade das Nicht-eintreten dieser Tatsache dürfte beim 3. Erbsenversuch die saure Bodenreaktion hervorgerufen haben.

Als Ergebnis vorstehender Untersuchungen mag folgendes festgestellt sein:

A. Bezüglich des Bodens:

1. Durch die Würmer wurde eine Vergrösserung der Gesamtoberfläche hervorgerufen, bedingt durch die höhere Hygroskopizität der Wurmexkreme.
2. Die Wasserkapazität stieg in einem Boden, der keine Kohäsionsfähigkeit besass, in den anderen Fällen fiel sie, infolge der Bodenkrümelung und der Wurmexkreme, jedoch bei den zur Untersuchung gelangten Böden nicht so stark, wie bei den von WOLLNY untersuchten.
3. Die Wasserdurchlässigkeit wurde bei den untersuchten Böden im Verhältnis 6 : 1 gesteigert.
4. Die Bodenreaktion wurde von den Würmern direkt, etwa durch Ausscheidungen, nicht beeinflusst.

B. Bezüglich der Pflanzen:

1. Der Pflanzenertrag stieg unter dem Einfluss der Regenwürmer bei allen drei Bodenarten und Versuchspflanzen.
2. Das Verhältnis von Stroh- und Körnerertrag bleibt das gleiche.
3. Die Pflanzenwurzeln bedienten sich nicht nur der Wurmröhren, um in den Boden vorzudringen.
4. In den mit Würmern besetzten Versuchen traten zuerst Krankheitserscheinungen auf.

Literatur-Verweise.

- (1) Darwin, Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Würmer. Stuttgart 1882. - (2) Hensen, Über die Fruchtbarkeit des Erdbodens in ihrer Abhängigkeit von den Leistungen der in der Erdrinde lebenden Würmer in Landw. Jahrb. XI (1882) p. 661 ff. - (3) Wollny, Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik XIII, p. 381 ff. - (4) Mehmed Djemil, Untersuchungen über den Einfluss der Regenwürmer auf die Entwicklung der Pflanzen. Dissertation Halle 1896. - (5) Mitscherlich, Bodenkunde, 3. Aufl., p. 342. - (6) Mitscherlich, l.c. p. 189. - (7) Mitscherlich, l.c. p. 51 ff. - (8) Flöss, Die Hygroskopizitätsbestimmung, ein Masstab für die Bonitierung des Ackerbodens. Dissertation Königsberg 1912. - (9) Mitscherlich, l.c. p. 72 ff. - (10) Keup, Die Ernährung und Lebensweise der Regenwürmer in ihrer Bedeutung für die Landwirtschaft in Mitt. D. L. G. 1913, nr. 39 - 41. - (11) Wache in Mitt. aus dem Laborat. d. Preuss. Geol. Landesanstalt 1921, Heft 2. - (12) Mitscherlich, l.c. p. 4 ff. - (13) Mitscherlich, l.c. p. 143. - (14) Wollny, Untersuchungen über die Wasserkapazität der Bodenarten in Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik VIII, p. 177 ff. - (15) Mitscherlich, l.c. p. 150. - (16) Mitscherlich, l.c. p. 49. - (17) Christensen und Larsen, Untersuchungen über Methoden zur Bestimmung des Kalkbedürfnisses des Bodens in Centralbl. Bakteriöl. XXIX (1911) p. 347.

Schluss des ersten Bandes.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1922

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Kahsnitz Hans Georg

Artikel/Article: [Untersuchungen über den Einfluss der Regenwürmer auf Boden und Pflanze..
315-331](#)