

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

ACTA
FORESTALIA FENNICA

44.

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN
GESELLSCHAFT
IN SUOMI

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY
IN SUOMI

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE SUOMI



HELSINKI 1937

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin yleensä käsittää useampia tutkimuksia.

SILVA FENNICA. Sisältää Suomen metsätaloutta käsitteleviä kirjoitelmia ja pienehköjä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin. Kukin kirjoitus muodostaa yleensä oman niteen.

COMMENTATIONES FORESTALES. Sisältää muiden maiden kuin Suomen metsätaloutta ja siihen liittyviä aihepiirejä käsitteleviä tutkimuksia ja muita kirjoituksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin. Kukin nide sisältää yleensä vain yhden tutkimuksen.

Finska Forstsamfundets publikationsserier:

ACTA FORESTALIA FENNICA. Innehåller vetenskapliga undersökningar rörande skogshushållningen i Finland och dess grunder. Banden, vilka icke utkomma periodiskt, omfatta i allmänhet flere avhandlingar.

SILVA FENNICA. Omfattar uppsatser och mindre undersökningar rörande skogshushållningen i Finland. Utkommer icke periodiskt; varje uppsats som skilt band.

COMMENTATIONES FORESTALES. Innehåller undersökningar och andra uppsatser rörande skogshushållningen och i samband med denna stående frågor utom Finland. Utkommer icke periodiskt. I allmänhet ingår i varje band endast en avhandling.

ACTA
FORESTALIA FENNICA

44.

ARBEITEN DER
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN
GESELLSCHAFT

IN SUOMI

PUBLICATIONS OF THE
SOCIETY OF FORESTRY

IN SUOMI

PUBLICATIONS DE LA
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE
DE SUOMI

Acta forestalia fennica 44.

	siv.
1. Svinhufvud, V. E.: Untersuchungen über die bodenmikrobiologischen Unterschiede der Cajander'schen Waldtypen	1—63
Selostus (Tutkimuksia metsätyyppien maamikrobiologisista eroavaisuuksista)	64—67
2. Kalela, Erkki K.: Tutkimuksia kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä	1—179
Referat (Untersuchungen über die Entwicklung der Fichten-Weisserlen-Mischbestände in Ostfinnland.)	180—198
3. Paasio, Ilmari: Suomen nevasoiden tyyppijärjestelmää koskevia tutkimuksia	1—112
Referat (Untersuchungen über das Typensystem der Weissmoore Finnlands)	113—129
4. Lappi-Seppälä, M.: Tutkimuksia männyn ja koivun runkokuodosta	1—61
Referat (Untersuchungen über die Stammform der Kiefer und Birke)	62—74

UNTERSUCHUNGEN
ÜBER
DIE BODENMIKROBIOLOGISCHEN
UNTERSCHIEDE DER
CAJANDER'SCHEN WALDTYPEN

VON
V. E. SVINHUFVUD

*(AUS DEM BOTANISCHEN INSTITUT DER K. UNG.
JOSEPH-UNIVERSITÄT FÜR DIE TECHNISCHEN UND
WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN. SOPRON, UNGARN)*

*TUTKIMUKSIA METSÄTYYPPIEN
MAAMIKROBIOLOGISISTA EROAVAISUUKSISTA*

SELOSTUS

HELSINKI 1937

Vorwort.

Für die Anregung zur Ausführung der vorliegenden Untersuchung erlaube ich mir Herrn Generaldirektor, Professor Dr. A. K. CAJANDER meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Während ich als Stipendiat der ungarischen Regierung Gelegenheit hatte, im Botanischen Institut der k. ung. Joseph-Universität für die technischen und Wirtschaftswissenschaften in Sopron zu studieren, hat mich der Leiter des Institutes, Herr Professor Dr. D. FEHÉR in ausserordentlich liebenswürdiger Weise empfangen. Sein Sachverständnis ist mir bei der Zusammenstellung der Arbeit immer zugute gekommen. Auch seine Mitarbeiter, die Herren Dr. L. VARGA und Dr. R. BOKOR und Fräulein M. FRANK haben mir während der Arbeit mit wertvollen Ratschlägen geholfen. Einige chemische Analysen sind von dem Laboranten des Institutes, Herrn K. DÖME sorgfältig ausgeführt worden. Es ist mir eine liebe Pflicht, allen Genannten für ihre Unterstützung hier herzlich zu danken.

Dankbar erwähne ich noch die Herren Professoren Dr. V. T. AALTONEN, ARTTURI I. VIRTANEN und ERKKI LAITAKARI, die mir mit Ratschlägen beim Abschliessen der Arbeit an die Hand gegangen sind.

Meiner Frau MAGGIE SVINHUFVUD danke ich herzlich für die Hilfe, die sie mir bei den Laboratoriumsarbeiten sowie bei der Übersetzung der Arbeit ins Deutsche geleistet hat.

Der Verfasser.

Inhalt.

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	5
Überblick über die wichtigste Literatur der quantitativen mikrobiologischen Boden- forschung	10
Untersuchungsmethodik	18
Entnahme der Bodenproben	21
Beschreibung der Versuchsflächen	22
Besprechung der Untersuchungsergebnisse	23
1. Das ökologische Verhalten der Bodenbakterien und Bodenpilze in den ver- schiedenen Waldtypen	23
2. Die Kohlensäureproduktion der Bodenproben	28
3. Die chemisch-physikalischen Untersuchungsergebnisse	29
4. Systematische Zusammenstellung der aus den Bodenproben reingezüchteten Mikrobenarten:	33
a) Die Bakterien	33
b) Die Pilze	39
5. Die Algen und Protozoen der untersuchten Bodenproben:	44
a) Die Algen	44
b) Die Protozoen	47
Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	52
Die waldbauliche Bedeutung der biologischen Bodenforschung	54
Literaturverzeichnis	57
Suomenkielinen selostus	64

Einleitung.

Es sind in der Forstwissenschaft, und in der forstlichen Praxis recht verschiedene Methoden für die Bonitierung der Standorte benutzt worden. Die verbreitetsten älteren Methoden sind dabei diejenigen Bonitierungsmassnahmen, die sich auf die Bestände stützen. Man hat weiter die Standorte nach gewissen auffälligen Eigenschaften derselben zu natürlichen Gruppen zusammengefasst. Man hoffte auch mit Hilfe der chemischen Bodenanalyse die Frage nach der Bonität lösen zu können, eine Hoffnung, die sich jedoch nicht hinreichend erfüllt hat.

Die Bestrebungen zur natürlichen Klassifizierung des Standorts sind besonders im Norden schon alt. So wurde z. B. bei uns in Finnland in der praktischen Forstbetriebseinrichtung folgende Einteilung der festen Waldböden sehr allgemein verwendet:

trockene Heide
frische »
niedrige »
bruchartiger Waldboden
reisermoorartiger Waldboden.

Solche Klassifizierungen können schon unter bestimmten Verhältnissen zu recht befriedigenden Resultaten führen. Für grössere Gebiete und besonders für wissenschaftliche Zwecke ist eine solche Klassifizierung jedoch nicht scharf genug, aber das Bestreben, natürliche Standortsklassen zu erhalten, ist doch richtig.

Auf die Untervegetation haben bereits HULT (1881), NORRLIN (1870, 1871), BLOMQUIST (1872) und WAINIO (1878) ihre Aufmerksamkeit gerichtet. Die eigentliche Waldtypenlehre geht jedoch auf die fundamentalen und ursächlichen Forschungen CAJANDER'S zurück. Er hat seine ersten Waldtypenuntersuchungen in den Jahren 1904 und 1905 in Deutschland angestellt. Die erste eingehendere Arbeit war die 1909 veröffentlichte

»Ueber Waldtypen«. Die in dieser Schrift entwickelten Ideen wurden später durch mehrere Arbeiten bestätigt und weiter entwickelt (1916, 1923, 1925, 1930).

Seit ihrer Entstehung wurde die Bedeutung dieser Lehre durch Untersuchungen mehrerer Forscher auf verschiedenen Gebiete der Forstwissenschaft in weitgehendem Masse festgestellt. Es wäre hier nicht zweckmässig, über die recht verschiedenen Waldtypenuntersuchungen in den verschiedenen Ländern näher zu berichten. Recht vollständige Besprechungen und Literaturverzeichnisse über diese verschiedenen Richtungen und Untersuchungen findet man z. B. in folgenden Arbeiten: ILVESSALO 1920 a, b, CAJANDER 1925, LÖNNROTH 1925, 1926, HEIMBURGER 1934, SCHOENICHEN 1933.

Die hervorragende Bedeutung der Waldtypenlehre für die finnische Forstwirtschaft zeigen besonders die taxatorischen Untersuchungen von ILVESSALO und LÖNNROTH. Schon seit dem Jahre 1913 sind die Waldtypen in der staatlichen Waldwirtschaft Finnlands in Anwendung gebracht worden, und dieselben haben sich bei der Auswahl der Holzart und bei den verschiedenen forstlichen Massnahmen sowie für die forstwirtschaftlichen Produktions- und Rentabilitätsberechnungen und schliesslich für die ganze Waldbetriebsregelung (LÖNNROTH 1927) als eine feste Basis erwiesen. Es ist hier zu bemerken, dass man natürliche Standortsbonitäten nur mit Hilfe der Waldtypen hat aufstellen können.

In der vorliegenden Untersuchung interessieren uns ganz besonders die Unterschiede der wichtigsten Bodeneigenschaften der finnischen Waldtypen. Es haben bereits VALMARI und AALTONEN solche Eigenschaften in chemisch-physikalischer Hinsicht erfolgreich untersucht. Zusammenfassungen über ihre wichtigsten Resultate sind schon früher erschienen (CAJANDER 1925, 1930 AALTONEN 1929). Da diese Resultate aber für die vorliegende Untersuchung von grosser Bedeutung und besonderem Interesse sind, dürfte es zweckmässig sein, sie hier nochmals wiederzugeben.

Um zu prüfen, welche Eigenschaften des Bodens bei den Waldtypen massgebend sind, wurden von VALMARI (1921) insgesamt etwa 600 Bodenproben analysiert, wobei der Glühverlust, der Gesamtelektrolytgehalt, der Stickstoffgehalt und der Gehalt an salzsäurelöslichem Phosphor, an Kali und Kalk bestimmt wurden. Die Resultate, Mittelwerte in kg für die 20 cm dicke oberste Bodenschicht, gehen aus folgenden Zahlen hervor:

	Pro ar		Pro ha			
	Glüh- verlust	Gesamt- elektrolyt- menge	N	P ₂ O ₂	K ₂ O	CaO
AT	1.894	578	4.500	284	840	4.012
OMaT	1.771	781	4.760	250	642	1.760
OMT	1.448	794	3.315	492	486	1.478
MT	1.237	497	2.428	910	446	1.257
VT	1.029	271	1.726	1.479	449	996
CT	1.085	488	1.547	1.080	429	680
CIT	601	220	860	1.471	531	464

Eine Korrelation mit der Typengüte ist also besonders in betreff des Stickstoff- und Kalkgehaltes zu konstatieren. Noch beleuchtender sind aber die von ILVESSALO (1923) für die Analysenresultate von VALMARI berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen dem normalen Zuwachs der Waldbestände und den Eigenschaften des Bodens. Diese waren folgende:

für den Glühverlust.....	$r = 0.435 \pm 0.078$
» » Gesamtelektrolytgehalt.....	$r = 0.407 \pm 0.081$
» » Stickstoffgehalt	$r = 0.736 \pm 0.056$
» » Kalkgehalt	$r = 0.612 \pm 0.069$
» » Kaligehalt	$r = 0.214 \pm 0.091$
» » Phosphorgehalt	keine Korrelation

Besonders die Faktoren Stickstoff- und Kalkgehalt zeigen also eine deutliche Korrelation, und die Ergiebigkeit, resp. Produktionsfähigkeit der Waldtypen scheint nach diesen Untersuchungen vor allem durch diese zwei Faktoren beeinflusst zu werden.

In biologischer Hinsicht sind die Untersuchungen von AALTONEN besonders interessant. Im Jahre 1925 hatte er die Wasserstoffionenkonzentration von etwa 800 Humusproben untersucht und folgende pH-Zahlen als Mittelwerte für die Südhälfte Finnlands erhalten:

OMaT	5.0 ¹
OMT	5.2
MT	4.8
VT	4.6
CT.....	4.2
CIT	3.6

¹ Material unzureichend, nur 5 Bodenproben.

Die pH-Werte sinken also charakteristisch mit der Typengüte, und wenn man die grosse Bedeutung der Reaktion des Bodens für die biologischen Prozesse berücksichtigt, wird man manche Erscheinungen im Boden auf dieser Grundlage erklären können. Hierauf werde ich weiter unten noch näher eingehen.

Später hat AALTONEN (1926) auch die Menge des mobilisierten Stickstoffs, also des Ammoniak- und Nitratstickstoffs in den Böden von verschiedenen Waldtypen ermittelt. Der Humus der verschiedenen Waldtypen enthält nach AALTONEN Gesamtstickstoff:

OMaT	OMT	MT	VT	CT
2.795 %	2.234 %	1.796 %	1.166 %	1.495 %

Der Ammoniak- und Nitratstickstoff wurden gleich nach der Entnahme der Bodenproben und nach 2-monatiger Aufbewahrung bestimmt. Der Anteil des mobilisierten Stickstoffs am Gesamtstickstoff war:

	OMaT	OMT	MT	VT	CT
Nach sofortiger Bestimmung	0.551 %	0.484 %	0.383 %	0.335 %	0.220 %
Nach 2-monatiger Aufbewahrung	4.425 »	2.868 »	1.819 »	1.207 »	1.074 »

In derselben Untersuchung hat AALTONEN auch den Glühverlust in der Humusschicht und im Mineralboden von verschiedenen Waldtypen bestimmt und dabei folgende Resultate erhalten:

	OMaT	OMT	MT	VT	CT
In der Humusschicht ..	26.16 %	45.85 %	63.72 %	68.11 %	67.36 %
Im Mineralboden	8.81 »	9.81 »	7.42 »	4.49 »	4.29 »

Eine nähere Besprechung der beiden letztgenannten Untersuchungsergebnisse (mobilisierter Stickstoff und Glühverlust) werde ich später noch geben.

* * *

Wie aus dem Obigen hervorgeht, sind also die finnischen Waldtypen durch eine ganze Reihe Untersuchungen charakterisiert und bestätigt worden. Die zuletzt erwähnten Untersuchungen von AALTONEN lassen auch

ahnen, dass im Boden der verschiedenen Typen im grossen und ganzen recht verschiedene biologische Prozesse stattfinden, die wohl durch mikrobiologische Unterschiede hervorgerufen werden.

Als ich in den Jahren 1934—35 in der Lage war, dank einem Stipendium des ungarischen Staates in dem Institut von Professor FEHÉR (Botanisches Institut der k. ung. Joseph-Universität für die technischen und Wirtschaftswissenschaften, Sopron) zu arbeiten, beschloss ich die ersten Untersuchungen über die bodenmikrobiologischen Unterschiede der wichtigsten Waldtypen in Südfinnland durchzuführen. Da besonders aus den Arbeiten FEHÉR's der periodische Charakter der bodenbiologischen Vorgänge im Waldboden deutlich wird, habe ich auch diese besondere dynamische Seite der Frage beachtet und darum die bakteriologischen Analysen in drei verschiedenen Jahreszeiten ausgeführt. Wegen der Kürze der Zeit und der recht umständlichen Transportverhältnisse war es jedoch vollkommen unmöglich, alle Vegetationsperioden zu verfolgen. Es ist also klar, dass meine Forschungen nur einen allgemeinen und orientierenden Charakter haben mussten. Nur die auffallend schönen und einheitlichen Resultate haben mich veranlasst, an die Öffentlichkeit zu treten. Dass ein weiterer Ausbau und eine Vertiefung der diesbezüglichen Forschungen von grosser Bedeutung ist, möchte ich schon jetzt ganz ausdrücklich betonen.

Überblick über die wichtigste Literatur der quantitativen mikrobiologischen Bodenforschung.

Es ist ja allgemein bekannt, welche wichtige Rolle die Mikroorganismen bei dem Ab- bzw. Aufbau der verwesenden pflanzlichen Stoffe bzw. bei der Herstellung des anorganischen Nährstoffgehalts des Bodens spielen. Sie sind die Träger des Kreislaufs des Kohlenstoffes, Stickstoffes, Phosphors und Kalis und sie ermöglichen es auch, dass durch die Verwesung die übrigen Elemente, die für das Pflanzenleben unbedingt nötig sind, ihren normalen Kreislauf aufrechterhalten.

Durch die grundlegenden Arbeiten von LOUIS PASTEUR und ROBERT KOCH gelang es, die Mikroben von ihren natürlichen Standorten abzutrennen und sie unter künstlichen Bedingungen zu kultivieren. Es ist im Laufe der Jahrzehnte viel Arbeit geleistet worden, die praktischen Ergebnisse für unsere Kenntnisse der Vorgänge im Boden sind aber noch immer gering. Die Mikrobiologie des Bodens ist, obwohl sie einen Mann wie PASTEUR zu ihren Begründern rechnet, gegenüber der pathologischen Bakteriologie weit zurückgeblieben. Die Verhältnisse liegen ja auch im Boden meistens ganz anders als in der medizinischen Bakteriologie. Hier treten bestimmte Bakterienarten, etwa der Diphtheriebazillus, im Körper schädigend auf. Die Isolierung und das Studium des Krankheitserregers bietet unmittelbare Aussicht, die Krankheitserscheinungen zu klären. Die Bodenmikrobiologie dagegen sieht sich einer Unzahl von dauernd sich verändernden und durch diese Veränderungen sich wieder beeinflussenden Unbekannten gegenüber. Trotz jahrzehntelanger Arbeit stecken wir noch in vielen Fällen im Anfangsstadium, und die Untersuchungen verschiedener Autoren zeigen grosse Widersprüche.

Seitdem man sich um das Schicksal der Mikroorganismen kümmert, ist der Boden etwas Lebendiges geworden. Die biologischen Eigenschaften des Bodens haben, im Gegensatz zu den anderen Eigenschaften, einen universelleren Charakter, sobald man aus den Ergebnissen biologischer Untersuchungen Schlüsse auf die Bodengüte ableitet; Untersuchungen über chemische oder physikalische Eigenschaften liefern immer nur Ergeb-

nisse, die einen einzelnen Wachstumsfaktor oder gar einen Teil eines Faktors betreffen.

Es ist ja allgemein bekannt, dass die Zahl der Mikroorganismen im Boden ausserordentlichen Schwankungen unterworfen ist, von wenigen 100,000 in Sandböden bis zu einigen 100 Millionen in fruchtbaren Ackerböden pro Gramm Erde. Die Schwankungen haben mehrere, besonders ältere Forscher veranlasst, dieselben als von irgendeinem Faktor abhängig zu erweisen. Dabei sind recht verschiedene Meinungen vertreten worden. Dass dabei nach einigen Forschern die Feuchtigkeit (ENGBERDING 1909), nach anderen die Temperatur (SCHÖNBRUNN 1922), nach wieder anderen die Korngrösse des Bodens, die Nahrungskonzentration und die Bodenkolloide (RAHN 1912, 1913, SÖHNGEN 1913) sich als ausschlaggebend herausgestellt haben, dürfte nach LÖHNIS (1910) nach dem »Gesetz des Minimums« zu erklären sein. CHRISTENSEN (1915) erklärt den mikrobiologischen Zustand des Bodens, worunter die qualitative und quantitative Zusammensetzung seiner Mikroflora und Mikrofauna zu verstehen ist, in der Regel als einen Gesamtausdruck seines augenblicklichen chemischen und physikalischen Zustandes. Derselben Ansicht ist auch WAKSMAN (1916 b): durch das Zusammentreten verschiedener Faktoren, wie des Gehalts an Feuchtigkeit, Humus und Kohlenstoff sowie der Azidität, ist das Bakterienleben im Boden sowohl qualitativ als auch quantitativ bestimmt. Die Menge der Bakterien wäre aber weder allein von dem Feuchtigkeitsgrad noch vom dem Gehalt an Stickstoff abhängig.

Die Verbreitung der Mikroorganismen im Boden ist zunächst vertikal bedingt; nach der Tiefe nimmt ihre Zahl bald ab. Das Maximum der Mikroorganismenzahl liegt meistens nicht in der allerobersten Bodenschicht, da diese am leichtesten abtrocknet, sondern erst bei 5—15 cm Tiefe. In dieser Beziehung stimmen die Resultate verschiedener Forscher überein (WAKSMAN, LÖHNIS, FEHÉR). Der Grund für die allmähliche Abnahme nach der Tiefe dürfte in erster Linie auf das Sinken der Durchlüftung, aber auch auf den abnehmenden Gehalt an organischen Stoffen zurückzuführen sein.

Dass in rohem, noch nicht in Kultur genommenem Lande, in nicht entwässertem Moor, in reinem Sande usw. nur relativ wenig Bakterien tätig sind, behauptet LÖHNIS (1910 S. 512), der mehrere einschlägige Arbeiten referiert. Der Bakteriengehalt fruchtbarer Böden wird von ihm auf 40—100 Millionen pro Gramm Erde geschätzt. Auch STOKLASA (1926) hat in fruchtbaren Böden in Böhmen 65 Mill. Bakterien pro Gramm gefunden.

Die Verhältnisse im Waldboden liegen nach MIGULA (1913) ganz anders und wesentlich ungünstiger für die Tätigkeit der Bakterien als im Ackerboden. Eine Untermischung der mineralischen Bestandteile mit der Hauptmenge der verwesenden organischen Stoffe findet nur in sehr geringem Umfang statt (durch Würmer u. dgl.); die Folge davon ist, dass bei der Zersetzung der Streudecke eine Menge Humussäuren und andere Säuren entstehen, die der Tätigkeit der Bakterien entgegenwirken. Auch WAKSMAN (1916 b) hat gefunden, dass Waldböden, obwohl reich an organischen Stoffen und Stickstoff, von allen Böden an Mikroben die ärmsten sind, wahrscheinlich infolge der grossen Azidität und des beträchtlichen Anteils an unzersetzter organischer Substanz.

Als Beispiel für die grossen Unterschiede des Bakteriengehalts eines Ackerbodens und eines Waldbodens seien hier folgende Zahlen von STOKLASA (1926) angeführt:

	C-Gehalt	CaO-Gehalt	pH	Anzahl der Bakterien pro gr Erde	Ausgeatmete CO ₂ -Menge
Ackerboden	2.38	0.26	7.09	91 000 000	75
Waldboden.....	3.52	0.29	4.8	3 800 000	18

Trotzdem der Waldboden reich an organischer Substanz war, war also die Anzahl der Bakterien verhältnismässig niedrig.

Der Einfluss der Bodenbeschaffenheit macht sich besonders im Moor stark geltend. Namentlich soweit rohes, saures Hochmoor in Frage kommt, scheint der Keimgehalt sehr gering zu sein. Es ist interessant, dass KISSLING und FLEISCHER schon im Jahre 1891 die Zersetzungsintensität des Moorbodens durch die Kohlensäureproduktion gemessen haben. Sie fanden, dass die Oxydation bei Besandung des Moorbodens stieg und im Niederungsmoor weit höher war als im Moostorf (Hochmoorboden). Dabei hielten sie den Temperatureinfluss für den wichtigsten Faktor. STÄHLSTRÖM (1898) hat quantitative Bakterienbestimmungen in finnischen Moorböden gemacht. Dabei kam er zu demselben Resultat wie KISSLING und FLEISCHER, dass die Hochmoore (*Sphagnum fuscum*-Moore) ärmer an Bakterien sind als die Niederungsmoore. Entwässerte, so auch gedüngte oder getonte Moore haben ein reicheres Bakterienleben. Zu demselben Schluss kam auch RITTER (1912). Auch FABRICIUS und v. FEILITZEN (1905) haben festgestellt, dass die Keimzahl der Moore durch Stallmist und Stoppelstürzen erhöht wurde.

Besondere Aufschlüsse über die Mikrobiologie der Moorböden bringen die Untersuchungen von WAKSMAN und PURVIS (1932). Während ältere Autoren die Moore schon in einer Tiefe von 50 cm für beinahe steril hielten, zeigen seine Untersuchungen, dass Bakterientätigkeit noch bis 2 Meter tief vorkommt. Wenn es auch möglich ist, dass es sich teilweise um mikroskopisch festgestellte, tote konservierte Bakterien handelt, zeigt ja schon die Tatsache, dass die Moore sich hauptsächlich in tieferen Schichten zersetzen, ein Vorkommen von wichtigen, mit den Kulturmethoden früher nicht festgestellten Mikroorganismen.

Auf mineralischen Böden ergeben sich gleichfalls nach mehreren Forschern bedeutende Differenzen (LÖHNIS 1910 S. 512). Als ein charakteristisches Beispiel gebe ich hier nur einige Zahlen von STOKLASA (1926), die deutlich die grossen Unterschiede verschiedener Bodenarten zeigen:

	Bakteriengehalt pro gr Boden	Ausgeatmete CO ₂ -Menge
Tonboden	10 400 000	18
Sandboden	15 680 000	29
Kalkboden	24 800 000	38
Torfboden	1 200 000	15
Saurer Wiesenboden ..	270 000	9
Guter Wiesenboden ...	32 000 000	42
Waldboden	2 100 000	15

Mehrere Forscher haben im Mikrobenleben des Bodens ausgesprochene deutliche jährliche Perioden festgestellt. Über deren Verlauf und Ursachen sind aber verschiedene Meinungen geäussert worden. Schon 1895 wies CARON auf den Einfluss der Jahreszeiten hin. Die Änderungen der Temperatur, der Bodenfeuchtigkeit, des Pflanzenwachstums und anderer Einflüsse werden eine Störung des Gleichgewichts der Mikroflora im Erdboden hervorrufen. So haben die Untersuchungen von HEINZE (1910) ergeben, dass die Höchstzahlen der Bodenbakterien im Sommer erreicht werden, dass den ganzen Herbst hindurch bis in den Winter hinein eine Abnahme der Bakterienzahlen stattfindet, welche erst im Frühling wieder in eine Zunahme umschlägt.

CONN (1910, 1911, 1915) beobachtete dagegen in amerikanischen Böden eine sehr deutliche Zunahme der Keimzahl im Winter, besonders in gefrorenem Boden. Beispielsweise hat er 7 Mill. Bakterien im November gegen 33 Mill. im Februar oder aus einer anderen Bodenprobe 8 Mill. im November

gegen 22 Mill. im Februar festgestellt. Die Bakterien hätten nach ihm jährlich ein Herbst- und ein Frühlingsmaximum und ein Sommer- und ein Winterminimum. Es würden nach ihm zwei verschiedene Bakteriengruppen vorhanden sein: die eine vermehrte sich bei warmem, die andere bei kaltem Wetter; die erste bedarf so grosser Mengen von Nahrungsstoffen, dass eine rasche Vermehrung nicht möglich ist. Herbst und Winter weisen die grösste Artenverschiedenheit auf. Die Ergebnisse von CONN werden durch Untersuchungen von BROWN und SMITH (1912) bestätigt. Auch diese Forscher behaupten, dass die Bodenbakterien in gefrorenem Boden eine grosse Aktivität haben und dass diese Erscheinung durch das Vorhandensein zweier verschiedenen Bakteriengruppen ihre Erklärung findet.

Bei dieser Erscheinung kann es sich jedoch offenbar nicht um eine grössere Aktivität in gefrorenem Boden handeln. Die Resultate sind vielleicht darauf zurückzuführen, dass durch das Gefrieren Bakterienkolonien im Boden zerteilt werden und so nachher beim Plattengliessen oder bei mikroskopischer Zählung anscheinend eine höhere Zahl ergeben. Überhaupt wird auf diese Untersuchung von CONN in Hand- und Lehrbüchern, wie z. B. LUNDEGÅRDH (1930), WAKSMAN (1931), viel Gewicht gelegt, wenn sich auch seine Resultate nur auf zwei einzige Bodenproben stützen und die Beobachtungen nur aus einem Jahre sind.

Ein ganz anderes Moment bringt die Erklärung von MÜNTZ und GAUDECHON (1912) über das Erwachen des Bodens im Frühling. Diese Forscher nehmen an, dass, ohne Rücksicht auf Temperatur, Feuchtigkeit und andere messbare Faktoren des Wachstums, die Bodenbakterien eine jährliche Periode in ihrer Entwicklung haben und dass ihre grösste Entwicklung in den Frühling fällt. Diese Periode fassen sie als eine Anpassung an den seit unvordenklichen Zeiten bestehenden Wechsel von Sommer und Winter, Frühling und Herbst, »le reveil de terre« auf. Diese Theorie wird von SCHÖNBRUNN (1922) ernstlich erschüttert. Nach ihm ist ein Einfluss der Jahreszeit, unabhängig von Temperatur und Witterungseinflüssen, unbedingt abzulehnen. Bei den jahreszeitlichen Schwankungen des Mikrobenlebens handelt es sich nur um durch äussere Faktoren, insbesondere die Temperatur bedingte, von inneren Ursachen aber ganz unabhängige Erscheinungen.

Nach manchen Autoren erfolgt im Sommer eine Depression der Bakterienzahl, die entweder durch Trockenheit oder durch Erschöpfung der zunächst verfügbaren organischen Substanz verursacht wird; daran schliesst sich ein zweites, geringeres Herbstmaximum an. Z. B. STOKLASA und DOEREL (1926) unterscheiden zwei Maxima und zwei Minima der bak-

teriellen Tätigkeit im Boden. Sie stützen sich hauptsächlich auf die damals noch nicht veröffentlichten Untersuchungen von KÁŠ, aus welchen hervorgeht, dass der periodische Wechsel von Maximum und Minimum nicht nur von der Temperatur abhängt, sondern auch von einer Anzahl anderer Faktoren, unter denen die physikalischen Bodeneigenschaften und Kolloide hervortreten.

Die Ansichten von LUNDEGÅRDH (1930) stimmen mit den vorhererwähnten überein: »Es ist eine alte Erfahrung, dass die Bodenaktivität zwei ausgesprochene Maxima, eins im Frühling und eins im Herbst, zeigt. Eine Korrelation mit der Temperaturkurve ist nicht vorhanden.«

Es ist möglich, dass Unterschiede in dem periodischen Verlauf des Bakterienlebens zwischen landwirtschaftlich bebauten Böden und Waldböden bestehen. Jedenfalls stösst die Anschauung über das Vorhandensein zweier jährlichen Maxima auf Widerspruch in einer ganzen Reihe Untersuchungen von FEHÉR (1929 b, 1930 b, c, 1931 b, 1933 b, c). Er hat das Bodenleben auf einigen Versuchsflächen mehrere Jahre lang ununterbrochen und systematisch erforscht. Nach ihm erreicht die Gesamtzahl der Bakterien ihren höchsten Punkt in den Sommermonaten, gewöhnlich mit der Kulmination der Temperaturkurve der Luft- und Bodentemperatur. Auf die Entwicklung des Mikrobenlebens im Waldboden übt die Sonnenenergie, welche ihren Ausdruck in erster Reihe in den Änderungen der Temperatur findet, den Haupteinfluss aus. Ganz besonders haben seine Untersuchungen die auffallend hohe Bedeutung des Wassergehalts des Bodens erwiesen. Die beiden biologischen Faktoren: Wassergehalt und Bodentemperatur beeinflussen sich korrelativ. Bei der Maximalentfaltung derselben in den Sommermonaten spielt der Wassergehalt des Bodens die Rolle des Limitingfaktors, und umgekehrt wird im Herbst und im Winter, wo der Wassergehalt des Bodens im Optimum ist, nun die Bodentemperatur dieselbe Wirkung ausüben. 1930 gelang es FEHÉR, auch jene Zusammenhänge aufzuklären, die sich bei den periodischen Änderungen des Stickstoffumsatzes im Waldboden abspielen. Seine späteren Untersuchungen (1934 b) zeigen, dass man auch bezüglich der Bodenatmung die Anzahl der Bodenbakterien als einen guten Massstab für die jeweilige Tätigkeit der Böden, namentlich der Waldböden, verwenden kann.

Die heutigen Untersuchungen des FEHÉR'schen Institutes befassen sich schon Jahre lang u. a. mit dem zeitlichen Verlauf des Mikrobenlebens landwirtschaftlicher Böden, und es werden also wahrscheinlich dabei die oben genannten Unterschiede zwischen Waldböden und Ackerböden festgestellt werden können.

Nach manchen Autoren (THORNTON und GRAY 1930) soll sogar unabhängig von äusseren Verhältnissen ein Rhythmus in der Zahl der Mikroorganismen bestehen, und zwar sogar täglich und stündlich, was aber weiterer Bestätigung bedarf. Es ist aber also auch mit dieser Möglichkeit zu rechnen. Besonders in den täglichen Schwankungen der Bodenatmung kann man einen deutlichen Rhythmus feststellen (PORKKA 1931). Die täglichen Schwankungen der Mikrobenzahl dürften jedoch von geringerer Bedeutung sein. Die Bodenproben werden ja vor der Untersuchung mehrere Stunden, oft sogar einige Tage aufbewahrt. Mit den heutigen Methoden lassen sich also über diese Erscheinung kaum zuverlässige Resultate erzielen.

Neben den Bodenbakterien spielen die Pilze, namentlich die Schimmelpilze, eine grosse Rolle im Leben des Bodens. Ich möchte hier ganz besonders auf die eminente Wichtigkeit der Bodenpilze unter unserem humiden Klima hinweisen. Wie schon früher erwähnt, wird das Bakterienleben im Waldboden durch entstehende Säuren gehindert; dagegen treten Pilze, die grössere Säuremengen ertragen können, in Menge auf. Namentlich in humusreichen Böden sind die Pilze sehr verbreitet, und weil die meisten Zellulosezerter sind, wird ihnen eine grosse Rolle bei der Zersetzung der Waldstreu zugewiesen. Nach Forschungen von WAKSMAN (1916 a) scheinen fruchtbare Böden mehr Pilze, sowohl der Gesamtzahl wie der Anzahl der Arten nach, zu enthalten als weniger fruchtbare Böden. Jeder Boden scheint eine mehr oder weniger charakteristische Flora zu besitzen, so z. B. hat Gartenerde Überfluss an *Mucor*, Waldboden an *Penicillien* und *Trichoderma*.

Die von manchen Pilzen veranlasste Säurebildung kann auch im Boden auf die Lösung von Phosphaten und anderen mineralischen Nährstoffen hinwirken.

Ich möchte hier noch die Untersuchungen von FEHÉR und BESENYIE (1933) nennen. Diese Forscher haben festgestellt, dass die Zahl der mikroskopischen Pilze im Verhältnis zur Anzahl der Bakterien nach Norden zunimmt. Die Grenzen der Vegetation der Pilzflora bezüglich Bodenazidität und Wassergehalt sind ziemlich weit gezogen und beweisen ihre grosse Anpassungsfähigkeit an wechselnde Bedingungen.

Einen gewissen Einblick in die jahreszeitlichen Schwankungen der Bodenpilze ergeben auch die FEHÉR'schen Untersuchungen. Die mikroskopische Pilzflora zeigt — wie die Bodenbakterien — jahreszeitliche Schwankungen. Die Zahl der Pilze erreicht ihre maximalen Werte zusammen mit der Bakterienzahl — in den Sommermonaten; die dominierende

Wirkung ist die Temperatur, die durch die Bodenfeuchtigkeit beeinflusst wird.

* * *

Es ist auch oft in der Literatur erörtert worden, ob die jeweiligen Bakterienzahlen eines Bodens für seine biologische Tätigkeit charakteristisch sind. Besonders LÖHNIS (1910, 1926) hat den Standpunkt vertreten, dass die Angabe der Bakterienzahlen eines Bodens bei der Beurteilung seiner sonstigen Tätigkeit und Güte in keiner Hinsicht massgebend sei. Dass diese Anschauung nicht ganz richtig ist, haben die Untersuchungen mehrerer Autoren deutlich gezeigt. Es haben ja sogar manche Untersuchungen (NELLER 1920, NOYES und CONNOR 1919, WAKSMAN 1922 b) erwiesen, dass sich zwischen der Anzahl der Bakterien in einem Boden und den Ernteerträgen desselben bestimmte Beziehungen herausstellen lassen.

Es wäre natürlich vollkommen unrichtig, auf Grund der rohen Bakterienzahlen ein endgültiges Urteil über den biologischen Zustand des Bodens auszusprechen. Werden aber ausserdem die wichtigsten biologischen und biochemischen Faktoren und das Zusammenwirken der physiologischen Bakteriengruppen vergleichend betrachtet, so wird man doch schliesslich eine gute Grundlage für die Beurteilung der Bodengüte bekommen.

Untersuchungsmethodik.

Ich möchte hier die Einzelheiten der Untersuchungsmethodik nicht näher besprechen, da dieselben in der Literatur bereits ausführlich dargestellt sind. Ich begnüge mich also damit, den Gang der Untersuchung unter dem Hinweis auf die umfangreiche Literatur nur kurz darzustellen.

Wie ich schon bei der Besprechung der früheren Untersuchungsergebnisse erwähnt habe, differieren die mit verschiedenen Methoden gewonnenen Resultate sehr und sind sogar oft nicht miteinander zu vergleichen. So zeigen z. B. einige quantitative Bakterienanalysen von KÜHLMORGEN-HILL (1928) mit verschiedenen Methoden teilweise gegensätzliche Resultate. Die Analysen sind also immer mit grösster Sorgfalt vorzunehmen. Es ist bekannt, dass bis jetzt noch keine Methode vorhanden ist, die den tatsächlichen mikrobiologischen Zustand des Bodens ermitteln kann. Dies hauptsächlich darum, weil sich vorläufig die Anwendung künstlicher Nährmedien nicht umgehen lässt. Es gibt zwar auch die sogenannte direkte mikroskopische Methode (CONN, CHOLODNY, WINOGRADSKY, FEHÉR), die durch Anwendung von Färbemitteln die Bodenbakterien in situ nachweist. Da aber hier die toten Bakterienkörper mit den lebenden zusammengezählt werden müssen, ist es klar, dass alle diese Methoden für das tatsächliche Leben kaum massgebend sind. Man kann durch sie auch die physiologischen Bakteriengruppen nicht genügend erfassen.

Mit der Plattenmethode kann man zwar nur diejenigen Mikrobenarten ermitteln, welche auf künstlichen Nährböden gedeihen. Es ist ja wahrscheinlich, dass auf diese Weise recht wichtige Bakterienarten ausbleiben. Daher haben (nach WAKSMAN 1930) verschiedene Forscher, in erster Linie LÖHNIS und WINOGRADSKY, den Wert dieser Methode bestritten. Wenn es sich um absolute Bakterienzahlen, z. B. bei der vertikalen Verteilung der Bodenbakterien, um die Feststellung, ob ein Boden bakteriologisch »steril« ist usw., handelte, dürfte man also mikroskopische Zählungen als Kontrolle nicht vermeiden.

Andererseits haben aber die Ergebnisse aus verschiedenen Laboratorien zu der Tatsache geführt, dass die Zahl der Mikroorganismen, die man durch

die Plattenmethode erhält, ein ganz gutes Bild von der gesamten bakteriellen, Actinomyces- und Pilzflora des Bodens gibt und dass sie als Massstab für die mikrobiologischen Verhältnisse im Boden gelten kann (WAKSMAN 1930).

Wenn die mikrobiologischen Unterschiede verschiedener Bodenarten, resp. verschiedener Bodengüte in Betracht gezogen werden, wie es bei der vorliegenden Untersuchung der Fall ist, und wenn man ausserdem noch durch Reinzüchtungen die wichtigsten Mikrobenarten erfassen will, kann man also mit vollem Recht an der Plattenmethode festhalten. Für die Bestimmung der physiologischen Bakteriengruppen wird im allgemeinen die Verdünnungsmethode von HILTNER und STÖRMER benutzt. Für meine ersten Untersuchungen habe ich daher, um meine Daten mit früheren Forschungsergebnissen, hauptsächlich denen des Institutes von FEHÉR vergleichen zu können, diese Methoden angewandt, die von diesem Institut und seinen Mitarbeitern seit langer Zeit erfolgreich benutzt werden. Die altbewährte Plattenmethode hat sich bei dieser Untersuchung als befriedigend erwiesen.

In der letzten Zeit hat FEHÉR die Gesamtzahl der Mikrobenbevölkerung mit den von ihr hervorgerufenen pH- und Leitfähigkeitsänderungen gemessen (FEHÉR 1933 a, 1934 c). Diese Methode bestimmt nur die tatsächlichen lebenden Keime, und ihre Erweiterung dürfte also auf diesem Gebiete einen wesentlichen Fortschritt bedeuten. Ich habe auf einer meiner Versuchsflächen probeweise auch diese Methode benutzt. Da man hier den Boden selbst als Nährmedium anwendet und dadurch die Zuhilfenahme von künstlichen Nährmedien gänzlich ausschaltet, ermöglicht sie eine bessere Erfassung der tatsächlichen mikrobiologischen Verhältnisse. Man bekommt durch sie natürlich auch viel grössere Mikrobenzahlen.

Ich habe in meiner Untersuchung folgende Faktoren bestimmt:

1. Den Gesamtbakteriengehalt des Bodens, getrennt nach aeroben und anaeroben Bakterien. Die Zahl der aeroben Bakterien wurde mit der Plattenmethode ermittelt, wobei die Resultate der Gelatine- und Bodenextraktagarplatten zusammengezählt wurden. Die Kultur der anaeroben Bakterien erfolgte in den bekannten Burri-Röhren in Zuckeragar.¹
2. Die physiologischen Bakteriengruppen mit der Verdünnungsmethode: die nitrifizierenden, denitrifizierenden, zellulosezersetzenden und die stickstoffbindenden Bakterien. Bei den zellulosezersetzenden und stickstoffbindenden Bakterien sind die aeroben und anaeroben getrennt bestimmt worden.¹
3. Die Zahl der mikroskopischen Pilze.¹

¹ pro g. feuchter Erde.

4. Den Humusgehalt nach dem Kaliumbichromatverfahren.
5. Den Wassergehalt.
6. Die Bodenazidität elektrometrisch mit einer Apparatur von FEHÉR.
7. Den Kalkgehalt mit dem Kalzimeter von PASSON.
8. Den Gesamtstickstoff- und den Nitratstickstoffgehalt.
9. Die Gesamtphosphorsäure und die in 1 %-iger Zitronensäure lösliche Phosphorsäuremenge.
10. Das Gesamtkalium in Salzsäureauszug nach VAN BEMMELEN-HISSINK, und das in 1 %-iger Zitronensäure lösliche Kalium.
11. Die Bodenatmung gr. pro Stunde und m². (Im Laboratorium, nur im März.)¹

Bezüglich der näheren Details der angewandten Untersuchungsmethoden verweise ich auf die Literatur. (FEHÉR 1933 c, 1934 d, e.)

¹ Die Untersuchung wurde folgenderweise durchgeführt. In gut ausgewaschenen Flaschen setzten wir je 1 kg Boden an. Auf der Untergrund der Flasche war eine Zuführungsöffnung und auf dem oberen Teile wurde dann die ausgeatmete Kohlensäure abgeführt. Die zugeführten Luftmengen wurden vorerst von ihrer Kohlensäure durch je einen Natronkalkturm befreit. Die abgeführte Kohlensäure passierte dann zunächst eine U-Röhre mit Schwefelsäure und eine mit Calciumchlorid um die Gase von ihrer Feuchtigkeit zu befreien. Hierauf wurde dann die Kohlensäure ebenfalls in U-Röhren mit Natronkalk aufgefangen. Die Luft wurde durch einen Aspirator in mässiger Geschwindigkeit durchgesogen. Die Menge der Kohlensäure wurde dann durch Abwägen der U-Röhre gravimetrisch bestimmt.

Entnahme der Bodenproben.

Bei einer derartig langwierigen Untersuchung, wie es die Bestimmung der Mikrobenezahlen und die Reinzüchtung der vorgekommenen Arten ist, muss man sich mit Resultaten von relativ wenigen Proben begnügen. Ich hatte mich daher für Durchschnittsproben entschieden. Die Entnahme der Bodenproben in Finnland erfolgte nach der üblichen, von FEHÉR (1933 c S. 5) beschriebenen Weise. Die Proben wurden aus der Mineralerde in der Tiefe der wirksamsten Bakterientätigkeit, d. h. zwischen 5—20 cm, entnommen. Auf den einzelnen Probeflächen wurden kleine Bodenmengen von etwa 10 Stellen gesammelt, gut durchgemischt und aus der so bereiteten Mischung Durchschnittsproben genommen. Diese wurden sofort in sterile Gläser gepackt und als Postpaket nach Sopron, Ungarn, ins Laboratorium geschickt.

Die Untersuchung erfolgte nach 6—7 Tagen. Wie bekannt, verändern sich die biologischen Eigenschaften der Bodenproben während der Aufbewahrung schon nach einigen Tagen recht stark, besonders bezüglich der Gesamtzahl der Mikrobenbevölkerung und des Verhältnisses zwischen den aeroben und anaeroben Bakterien. Eine sofortige Bearbeitung der Bodenproben ist also dringend notwendig.

Bei dieser Untersuchung, welche hauptsächlich die mikrobiologischen Unterschiede einiger auf gleiche Weise entnommenen und aufbewahrten Bodenproben behandelt, konnte man voraussetzen, dass diese Unterschiede sich nicht in einigen Tagen wesentlich verändert hätten. Wenn auch gewisse Veränderungen schon eingetreten waren, konnten doch nach meiner Ansicht die gewonnenen Resultate von zugeschickten Bodenproben für diese erste orientierende Untersuchung über die bodenbiologischen Unterschiede der wichtigsten Waldtypen benutzt werden.

Beschreibung der Versuchsflächen.

Bei biologischen Bodenuntersuchungen, wie überhaupt bei eingehenden Bodenanalysen, wo man sich wegen der langwierigen Untersuchungsmethodik mit Resultaten von relativ wenigen Analysen begnügen muss, ist es selbstverständlich ausserordentlich wichtig, dass die Versuchsflächen sorgfältig und von möglichst typischen Stellen ausgewählt werden. Für die Verkürzung des Transportes wurden die Probeflächen in dem Versuchsrevier der forstlichen Forschungsanstalt Ruotsinkylä in Südfinnland in der Nähe von Helsinki genommen. Die Probeflächen wurden vom Verfasser als möglichst typische Vertreter der verschiedenen Waldtypen in diesem Revier ausgesucht. Die ersten Bodenproben wurden vom Verfasser im September entnommen, die Winterproben hat dann ein Gehilfe genau an denselben Stellen und nach der gleichen Methode entnommen.

Die untersuchten Versuchsflächen sind die folgenden:

1. *Oxalis-Majanthemumtyp* (OMaT). Frischer, mullreicher Moränen-Lehmboden. Fichten-Birken-Mischwald 80 Jahre. Bestandesschluss 0.8.
2. *Oxalis-Myrtillustyp* (OMT). Frischer Moränen-Lehmboden. Dichter Fichtenwald 100 Jahre. Bestandesschluss 1.0.
3. *Myrtillustyp* (MT). Frischer Sandboden. Fichtenwald 100 Jahre. Bestandesschluss 0.8.
4. *Vacciniumtyp* (VT). Sandboden. Kiefernwald mit Unterwuchs von Fichten 80 Jahre. Bestandesschluss 0.7.
5. *Callunatyp* (CT). Trockener Sandboden. Kiefernwald 80 Jahre. Bestandesschluss 0.5—0.6. — (Dieser Waldtyp war nicht in dem Versuchsrevier charakteristisch vertreten und wurde daher nur auf die Gesamtzahl der Mikroorganismen und nur im September untersucht).

Besprechung der Untersuchungsergebnisse.

I. Das ökologische Verhalten der Bodenbakterien und Bodenpilze in den verschiedenen Waldtypen.

Ich habe schon vorher betont, dass es mir vollkommen unmöglich war, alle Vegetationsperioden methodisch zu erfassen. Um jedoch die Periodizität des Mikrobenlebens einigermaßen untersuchen zu können, habe ich die Untersuchungen nach Massgabe der Möglichkeit zu drei verschiedenen Zeitpunkten vorgenommen. Die Resultate habe ich in Abb. I und in Tabelle 1 zusammengestellt.

Diese Daten zeigen uns zunächst, dass das quantitative Verhalten der Bodenbakterien durch die Jahreszeiten stark beeinflusst wird. Das gleiche gilt auch für das Verhältnis der nitrifizierenden zu den denitrifizierenden Bakterien. Die Bakterienzahl erreicht ihren niedrigsten Stand unseren klimatischen Verhältnisse entsprechend im März. Die Anzahl der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien, resp. das Verhältnis N/DN ist jedoch gerade in diesem Monat am günstigsten. Die Ursachen, die diese Erscheinung hervorrufen, sind noch nicht aufgeklärt.

Die Anzahl der mikroskopischen Pilze zeigt keine so deutlichen jahreszeitlichen Unterschiede wie die der Bakterien. Es sei hier hervorgehoben, dass die qualitative Untersuchung der Pilzflora mittels des Plattenverfahrens nicht als völlig exakt bezeichnet werden kann. Bei der mechanischen Vorbereitung der Bodenproben werden die Myzelien grösstenteils zerstört, und da sich aus den Bruchstücken dieser Myzelien auf den Platten Kolonien entwickeln, beeinflusst auch dieser Umstand die Resultate. Mangels einer besseren Methode kann man aber doch mit der Plattenmethode einen gewissen Einblick in die quantitativen Verhältnisse des Vorkommens der Bodenpilze gewinnen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Zahl der mikroskopischen Pilze auf allen Versuchsflächen im Januar etwas grösser ist. Die Versuchsflächen 3. und 4. zeigen ein deutliches Minimum im März.

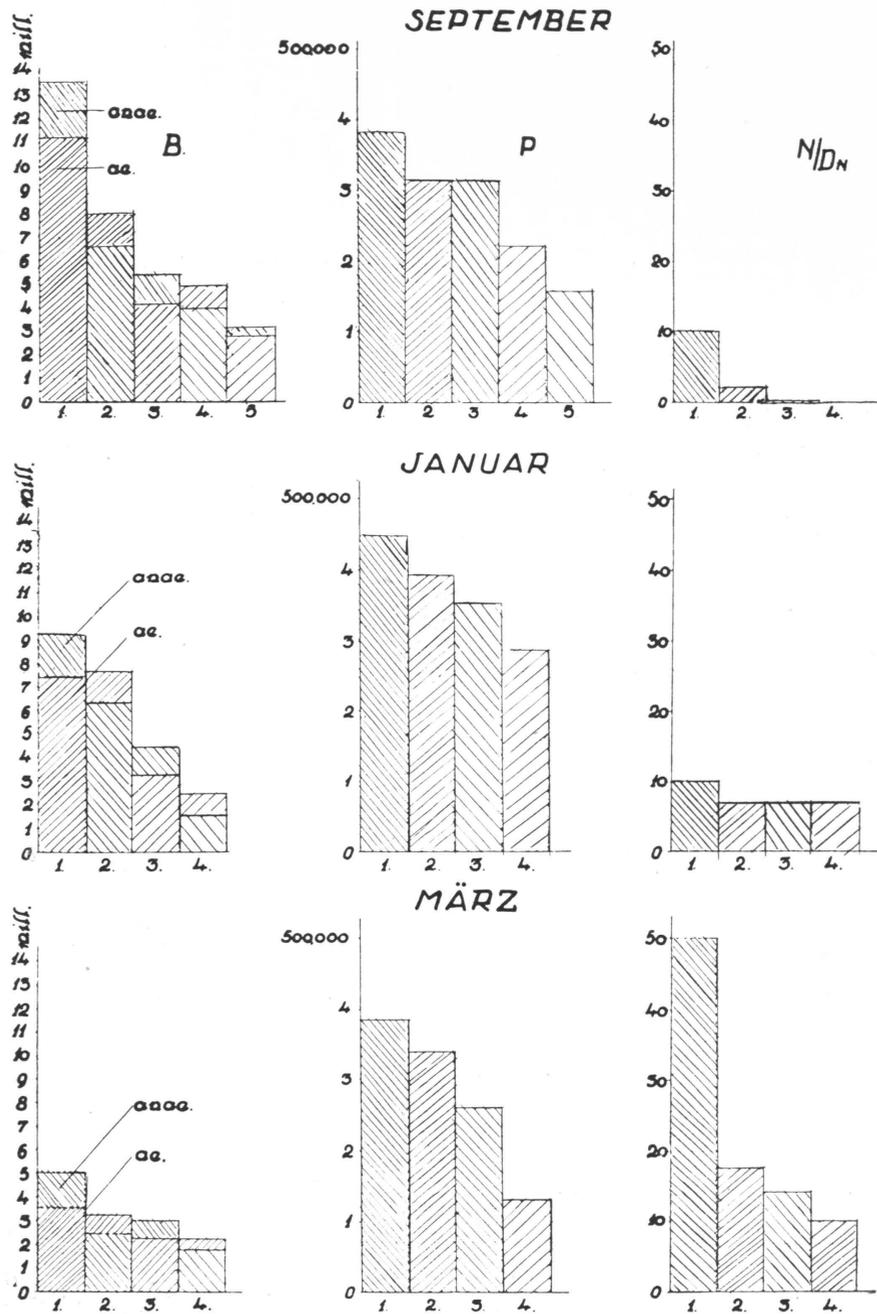


Abb. 1. Anzahl der Bakterien und Pilze pro gr Boden. B anae = anaerobe Bakterien, B ae = aerobe Bakterien, P = mikroskopische Pilze, N/DN = Verhältnis zwischen den nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien, — 1. = OMaT, 2. = OMT, 3. = MT, 4. = VT, 5. = CT.

Tabelle 1. Bakteriologische Untersuchungsergebnisse.

Versuchsflächen	Zeitpunkt der Probenahme	Mikroskopische Pilze	Gesamtzahl			pro Gramm				Bakterien				Verhältniszahl N/DN
			Aerob	Anaerob	Zusammen	Zellulosezersetzende		Stickstoffbindende		Nitrifizierende	Denitrifizierende	Physiologische Gruppen		
						Aerob	Anaerob	Aerob	Anaerob					
1. OMaT	24. Sept.	381 000	11 167 000	2 334 000	13 501 000	1 000	10 000	10 000	1 000	100 000	1 000 000	10		
	5. Jan.	447 000	7 451 000 ¹	1 760 000 ¹	9 211 000 ¹	1 000	1 000	1 000	1 000	250 000	2 500 000	10		
	1. März	385 000	3 540 000	1 500 000	5 040 000	100 000	10 000	—	—	500 000	1 000 000	50		
2. OMT	24. Sept.	315 000	6 585 000	1 340 000	7 926 000	100	100 000	1 000	1 000	50 000	2 500 000	2		
	5. Jan.	392 000	6 313 000	1 333 000	7 646 000	10 000	1 000	1 000	10 000	175 000	2 500 000	7		
	1. März	343 000	2 500 000	770 000	3 270 000	100 000	10 000	—	—	175 000	1 000 000	17,5		
3. MT	24. Sept.	314 000	4 137 000	1 200 000	5 337 000	0	100 000	100	500	1 000	1 000 000	0,1		
	5. Jan.	352 000	3 228 000	1 203 000	4 431 000	10 000	5 000	1 000	1 000	250 000	3 750 000	6,7		
	1. März	261 000	2 300 000	730 000	3 030 000	100 000	1 000	—	—	250 000	1 750 000	14,3		
4. VT	24. Sept.	223 000	3 959 000	912 000	4 871 000	0	1 000	0	10 000	1 000	5 000 000	0,02		
	5. Jan.	287 000	1 523 000	910 000	2 433 000	5 000	100	100	1 000	250 000	3 750 000	6,7		
	1. März	130 000	1 750 000	450 000	2 200 000	10 000	1 000	—	—	100 000	1 000 000	10		
5. CT	24. Sept.	158 000	2 795 000	300 000	3 095 000	—	—	—	—	—	—	—		

¹ Mit der pH-Methode habe ich folgende Zahlen erhalten: aerob = 14 300 000, anaerob = 2 500 000, zusammen = 16 800 000. Man erhält also mit dieser Methode bedeutend grössere Zahlen.

Ganz klar geben aber meine Forschungen zu erkennen, dass zwischen den Waldtypen ganz deutliche und auch jahreszeitlich nicht beeinflusste Unterschiede bestehen, die in Abbildung I deutlich zum Ausdruck kommen. Die Gesamtzahl der Bakterien und Pilze verläuft mit der Waldtypengüte vollkommen parallel. Man kann also mit vollem Fug und Recht auf Grund dieser Untersuchung feststellen, dass die einzelnen Waldtypen durch verschiedene bodenbiologische Charaktereigenschaften und durch recht verschiedenen Mikrobengehalt scharf und deutlich unterschieden werden können.

Was jetzt die Einzelheiten anbelangt, möchte ich zunächst darauf hinweisen, dass der verhältnismässige Anteil der anaeroben Bakterien im Winter viel höher ist als am Ende der Vegetationsperiode. Die Ursache dieser Erscheinung dürfte darin zu suchen sein, dass in den niederschlagsreicheren Wintermonaten und auch infolge der Kälte im Boden Bedingungen herrschen, welche die Anaeroben begünstigen.

Das Verhältnis der anaeroben Bakterien zu den aeroben ist im allgemeinen in den schlechteren Typen etwas ungünstiger. Das Bild ist aber nicht ganz klar, weil dieses Verhalten auch durch die Luftkapazität beeinflusst wird und infolgedessen in den leichten Sandböden der schlechten Waldtypen eine vergleichsweise günstige Entwicklung zeigt.

Betreffs der physiologischen Bakteriengruppen möchte ich gleich betonen, dass die bisherigen Untersuchungsergebnisse noch nicht gestatten, in Anbetracht der hier vorliegenden komplexen und komplizierten Erscheinungsformen und der relativ unvollkommenen Untersuchungsmethodik ein endgültiges und abschliessendes Urteil auszusprechen. Man kann im grossen und ganzen bei den aeroben und anaeroben Zellulosezersettern gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Waldtypen feststellen, die Zahl derselben ist in den zwei besseren grösser als in den zwei schlechteren. Das gleiche gilt auch für die aeroben und anaeroben stickstoffbindenden Bakterien. Besonders wichtig ist ja das Verhalten dieser Bakterien, also der Gruppe der Genera *Azotobacter* und *Clostridium*. Allein über das *Azotobacter* gibt es schon eine ganze Menge Literatur. Meines Wissens ist es früher nicht aus finnischen Waldböden (ausser FEHÉR 1933 c) gezüchtet worden, und sein häufiges Vorkommen auf allen untersuchten Probeflächen und überhaupt in unseren nördlichen und sauren Waldböden ist daher ein interessanter wissenschaftlicher Befund. Ausser dem gewöhnlichen *Azotobacter croococcum*, das reingezüchtet wurde, wurde auch eine andere Art, angeblich *A. agile*, mikroskopisch beobachtet.

Der anaerobe Stickstoffbinder *Clostridium pasteurianum* wurde auch

in allen Probeflächen beobachtet und die Art durch Reinkulturen festgestellt.

Gerade auch auf diesem Gebiete ist eine weitere Vertiefung der Forschungen ausserordentlich wichtig, weil man durch die Aufklärung der Tätigkeit dieser Mikroorganismen und durch ihre Beeinflussung den Stickstoffkreislauf der Waldböden verbessern kann.

Besonders interessant ist das Verhalten der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien in den untersuchten Bodenproben. Wie schon u. a. FEHÉR (1933 c) nachgewiesen hat, ist die Zahl der denitrifizierenden Bakterien im Waldboden im allgemeinen viel grösser als die Anzahl der nitrifizierenden. Die in der Tabelle und in der graphischen Darstellung erwähnte Verhältniszahl N/DN bedeutet also dasselbe Verhältnis mit 100 multipliziert. Charakteristisch ist nun für dieses Verhältnis, dass es mit der Standortsbonität vollkommen parallel verläuft.¹ Diese Parallelität gilt für die drei untersuchten Jahreszeiten und ist besonders scharf im März, wo dieses Verhältnis, wie schon erwähnt, am günstigsten ist. Das charakteristische Vorkommen des Verhältnisses N/DN wird ja dadurch hervorgerufen, dass die denitrifizierenden Bakterien in den meisten Fällen in der grössten Anzahl in den schlechtesten Waldtypen erscheinen.

Von Interesse ist es, meine Resultate mit den schon auf S. 8 erwähnten bodenchemischen Untersuchungen von AALTONEN zu vergleichen. Wie bemerkt, wurden der Ammoniakstickstoff und der Nitratstickstoff gleich nach der Entnahme der Bodenprobe und nach 2-monatiger Aufbewahrung bestimmt. Wie wir sehen, hat sich der Anteil des mobilisierten Stickstoffs während der Aufbewahrung vermehrt, und zwar um so mehr, je ergiebiger der Waldtyp ist. Hier ist also die Tätigkeit der nitrifizierenden Bakterien überwiegend gewesen.

In mehreren Bodenproben beobachtete aber AALTONEN, dass sich der mobilisierte Stickstoff im Gegenteil verminderte, und dies geschah in um so mehr Proben und in um so höherem Grade, je schlechter der Waldtyp war. Hier liegt also deutlich eine Tätigkeit denitrifizierender Bakterien vor. Die früheren Untersuchungen von AALTONEN bekräftigen also meine Resultate, dass die Zahl, resp. die Tätigkeit der denitrifizierenden Bakterien in den Böden der schlechteren Typen grösser ist.

¹ Wie wir später sehen werden, entspricht das Verhalten dieses Faktors einer weitgehenden Übereinstimmung der Änderungen des Nitratstickstoffes.

2. Die Kohlensäureproduktion der Bodenproben.

Die Kohlensäureproduktion des Bodens stellt bekanntlich einen guten Indikator für die Beurteilung des mikrobiologischen Zustands des Bodens dar, da diese Erscheinung, abgesehen von den ökologischen Faktoren, also von dem Wasser, dem Licht und dem Wärmefaktor, hauptsächlich durch die Tätigkeit der Bakterien und Pilze hervorgerufen und beeinflusst wird. Z.B. BEHRENS (1904 a, b) hat auf die Vorteile dieser Methoden bei der Beurteilung der Bodenaktivität hingewiesen. Schon KISSLING und FLEISCHER (1891) haben ja bereits mit ähnlichen Methoden gute Resultate erhalten. Nach v. SUCHTELEN (1910) wurde der erste exakte Versuch zur Bestimmung der Kohlensäureproduktion von PETERSEN (1870) gemacht. Auf eine nähere Beschreibung der vielen späteren Untersuchungen auf diesem Gebiet will ich mich hier nicht einlassen. Gerade für den Waldbau ist die Beurteilung dieser Erscheinung besonders wichtig. Eine gute Bodenatmung ist nämlich immer ein Zeichen für die gute Durchlüftung und für den guten Lufthaushalt des Bodens überhaupt. Nur dadurch können die aeroben Mikroorganismen in ihrer Tätigkeit gefördert werden, und nur dadurch kann eine gesunde Verarbeitung der Humusaufgabe stattfinden, welche schliesslich der ungesunden Versäuerung und der Bildung von schädlichen Rohhumusschichten entgegenarbeitet.

Ich habe vorläufig nur Laboratoriumsuntersuchungen mit der von FEHÉR (1933 c) S. 28 abgebildeten und beschriebenen Apparatur ausgeführt. Die absoluten Werte können selbstverständlich nicht massgebend für die natürlichen Verhältnisse sein. In dem Laboratoriumsversuch wird nämlich der Boden in seiner natürlichen Lagerung gestört, Luft- und Wasserhaushalt werden einseitig influert und das harmonische Zusammenwirken der Mikroorganismen durch künstliche Einflüsse gestört. Für die Gewinnung guter Vergleichswerte kann aber doch die Bodenatmungsmessung im Laboratorium benutzt werden.

Die Resultate des Versuches, der nur im März ausgeführt wurde, veranschauliche ich in Abbildung II.

Aus der graphischen Darstellung wird ersichtlich, dass zwischen den einzelnen Waldtypen ganz deutliche Unterschiede existieren. Die günstigste Bodenatmung ist bei dem besten und die ungünstigste bei dem schlechtesten von den untersuchten Waldtypen zu finden. Die Resultate beweisen, dass die Bodenatmung von dem gesamten Mikrobengehalt abhängig ist, da die höchste Bodenatmung bei der höchsten Bakterienzahl und bei dem grössten Wassergehalt der untersuchten Bodenproben konstatiert wurde.

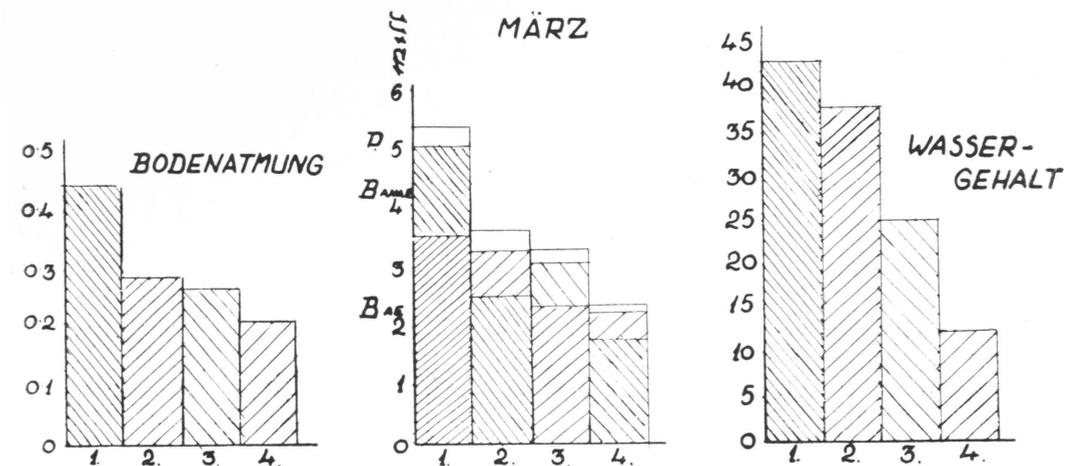


Abb. II. Vergleichende Darstellung der Bodenatmung, des Bakterien- und Pilzgehalts und des Wassergehalts der untersuchten Bodenproben. — 1. = OMaT, 2. = OMT, 3. = MT, 4. = VT.

Die Darstellung zeigt eine schöne und deutliche Parallele zwischen dem Wassergehalt und dem Mikrobengehalt der einzelnen Bodenproben und zwischen ihrer Atmungs- bzw. Zersetzungstätigkeit.

Die Bodenatmungsmessung im Laboratorium hat sich gut bewährt als Kontrollmethode der mit den Bakterienzählungen gewonnenen Resultate.

3. Die chemisch-physikalischen Untersuchungsergebnisse.

Ich habe in der Einleitung schon erwähnt, dass die Untersuchungen von VALMARI (1921), ILVESSALO (1923) und AALTONEN (1926) mehrere chemisch-physikalische Eigenschaften und deren Bedeutung in den verschiedenen Waldtypen erfolgreich aufgeklärt haben.¹ Aus diesem Grunde habe ich diesen Teil meiner Untersuchung nur zur Unterstützung meiner biologischen Forschungen durchgeführt.

Die Resultate sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

In Abbildung III habe ich neben dem Humusgehalt das Vorkommen der leichtlöslichen, also der von den Pflanzenwurzeln aufnehmbaren wichtigsten anorganischen Nährstoffaktoren neben dem quantitativen Verhalten der Mikrowelt dargestellt.

¹ Ich verweise hier auch auf die Arbeit von Aaltonen 1932.

Tabelle 2. Die chemisch-physikalischen Untersuchungsergebnisse.

Versuchsflächen	Zeitpunkt der Probenahme	pH	Humusgehalt %	Wassergehalt %	Bodenatmung	mg/100 gr					
						Gesamtstickstoff	Nitratstickstoff	Gesamt-Kalium	Zitronensäurelösliches Kalium	Gesamt-Phosphor	Zitronensäurelösliches Phosphor
1. OMaT	Jan.	5.16	2.75	31.6	—	67.20	5.04	—	2.42	—	0.8
	März	4.06	3.44	42.8	0.4410	95.20	5.25	59.29	3.22	59.94	1.6
2. OMT	Jan.	5.46	1.68	37.6	—	50.40	4.00	—	2.76	—	1.7
	März	4.85	2.53	38.0	0.2855	84.00	5.04	98.77	1.88	81.59	1.3
3. MT	Jan.	4.40	1.65	32.8	—	47.60	2.94	—	2.42	—	0.9
	März	4.18	1.54	25.0	0.2672	75.60	6.09	79.02	1.98	15.54	1.1
4. VT	Jan.	5.13	0.48	15.6	—	36.40	2.73	—	2.57	—	2.0
	März	4.62	0.59	12.4	0.2090	53.20	2.94	84.60	3.13	216.68	2.4

Was zuerst die in 1 %-iger Zitronensäure löslichen Phosphor- (Pc-) und Kali- (Kc-) Mengen betrifft, kommt ja den Daten dieser wenigen Analysen keine ausschlaggebende Bedeutung zu. Auffallend ist aber der geringe

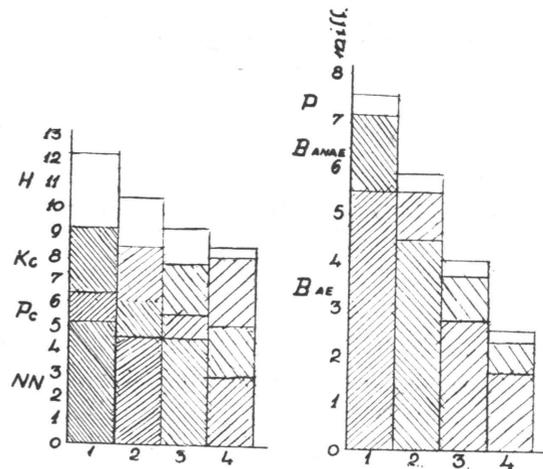


Abb. III. Die chemisch-physikalischen Untersuchungsergebnisse neben dem quantitativen Verhalten der Mikrowelt. (Die Daten sind Durchschnittswerte der Analysen von Januar und März.) — H = Humusgehalt, Kc = zitronensäurelösliches Kalium, Pc = zitronensäurelöslicher Phosphor, NN = Nitratstickstoff. — P = mikroskopische Pilze, B anae = anaerobe Bakterien, B ae = aerobe Bakterien. — 1. = OMaT, 2. = OMT, 3. = MT, 4. = VT.

¹ Bestimmt in Salzsäureauszug nach VAN BEMMELEN-HISSINK.

Pc-Gehalt überhaupt im Norden, wenn man die Resultate mit den Zahlen von FEHÉR (1933 d, 1934 d, e) für Mittel- und Nordeuropa vergleichend betrachtet. Diese Erscheinung wird man teilweise durch die im Norden verhältnismässig wenig intensive Mikrobentätigkeit sowie durch die niedrigen pH-Werte erklären können. Die Resultate zeigen keine Parallelität mit der Typengüte. Wie schon erwähnt, hat ja auch ILVESSALO (1923) zwischen dem Phosphorgehalt des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes der verschiedenen Waldtypen keine Korrelation festgestellt. Auch der Kc-Gehalt verhält sich nicht korrelativ mit der Typengüte, sondern ist wie auch der Pc-Gehalt in dem schlechtesten Typ etwas grösser. Eine Erklärung des Verhaltens dieser beiden Wachstumsfaktoren ist natürlich durch diese wenigen Analysen nicht möglich, dazu sind umfangreiche Untersuchungen notwendig. Man darf auch nicht vergessen, dass die Auswaschung der Pc- und Kc-Vorräte in die unteren Bodenschichten ebenfalls noch recht ungenügend aufgeklärt ist. Dieser Umstand dürfte aber dynamisch eine sehr wichtige Rolle spielen.

Der Nitratstickstoff-(NN-) Faktor, der ausgesprochen biologischer Natur ist, ist sehr charakteristisch für die einzelnen Versuchsflächen und zeigt eine Parallelität mit der Typengüte. Die Resultate finden eine Bestätigung in den schon erwähnten Untersuchungen von AALTONEN über die Unterschiede des mobilisierten Stickstoffs. Diese Erscheinung erhält also eine Erklärung durch den besseren Stickstoffhaushalt der besseren Böden.

Das Vorkommen des vierten in Abb. III dargestellten Faktors, des Humusgehalts (H), ist auch sehr beleuchtend. Der Humusgehalt wurde mit der von FEHÉR (1933 c) auf S. 30 beschriebenen Apparatur bestimmt. Es fällt ja sofort auf, dass im Boden des besten und des gleichzeitig auch im quantitativ besten mikrobiologischen Zustand befindlichen Waldtyps der grösste und auf der Gegenseite der kleinste Humusgehalt nachzuweisen ist. Diese Erscheinung ist leicht zu verstehen, weil es klar ist, dass in den besseren Böden der guten Waldtypen infolge der intensiven Mikrobentätigkeit von der Streudecke verhältnismässig mehr zersetzt wird und entsprechend die darunter liegenden Bodenschichten mehr mit Humusstoffen gesättigt werden.

Zu demselben Resultat kam auch AALTONEN in seiner schon auf S. 8 erwähnten Arbeit. Der Glühverlust war, wie wir aus seinen Daten sehen, in der Humusschicht auf den besseren Waldtypen kleiner als auf den schlechteren Typen, dort war also die Zersetzung intensiver gewesen. Gleichzeitig war der Glühverlust im Mineralboden der besseren Waldtypen grösser als bei den schlechteren Typen, dort war also der Mineralboden

infolge intensiverer Zersetzung der Streudecke mehr mit Humusstoffen gesättigt worden. Meine quantitativen bakteriologischen Analysen, die deutliche Unterschiede des Mikrobengehalts und der Mikrobentätigkeit im Boden der verschiedenen Waldtypen zeigen, finden also schon in früheren Bodenuntersuchungen eine Bestätigung.

Nebeneinander dargestellt wie in Abb. III zeigen die ebengenannten vier Faktoren NN, Kc, Pc und H eine weitgehende Parallelität mit dem Mikrobengehalt der verschiedenen Waldtypen. Diese wird von den beiden mikrobiologisch beeinflussten Faktoren Nitratstickstoff und Humusgehalt hervorgerufen. Die biologisch weniger beeinflussten Kali- und Phosphormengen zeigen allein für sich dagegen keine ähnliche Parallelität.

Über die anderen Faktoren noch ein paar Worte. Die mehrfach erwähnten Untersuchungen von AALTONEN (1925) zeigen, dass die Böden der verschiedenen Waldtypen auch recht scharfe Unterschiede bezüglich der mittleren pH-Zahlen aufweisen. Meine wenigen Analysen sind in dieser Hinsicht nicht besonders charakteristisch, wahrscheinlich hat der Transport auch eine störende Wirkung ausgeübt. Aus den Resultaten ist aber zu entnehmen, dass der quantitative bakteriologische Zustand jedenfalls nicht immer bedeutend von den gemessenen pH-Werten bedingt wird. Überhaupt bin ich der Ansicht, dass auch dieser Umstand bei künftigen bodenbiologischen Untersuchungen besondere Aufmerksamkeit fordert.

Eine dominierende Wirkung scheint der Wassergehalt zu haben, wie schon die Untersuchungen von FEHÉR zeigen. Besonders die zwei extremen Waldtypen unterscheiden sich in dieser Hinsicht scharf voneinander. Der differierende Mikrobengehalt der verschiedenen Bodenproben wird also neben den zwei wichtigen Faktoren Stickstoff- und Humusgehalt hauptsächlich von den Veränderungen des Wassergehalts hervorgerufen.

Der Gesamtstickstoff variiert ebenfalls weitgehend parallel mit der Güte der Waldtypen. Es zeigen ja schon die Untersuchungen von AALTONEN und VALMARI, dass die Güte der einzelnen Waldtypen vor allem durch den Stickstoffgehalt und den Stickstoffhaushalt beeinflusst und charakterisiert wird. Da die quantitative Menge des Gesamtstickstoffs durch die Stickstoffbindung aus der Luft und durch die übrigen mikrobiologischen Zersetzungs- und Abbauvorgänge primär beeinflusst wird, dürfte also die Regelung des Stickstoffhaushalts unserer Waldböden bei unseren künftigen waldbaulichen Massnahmen von ausserordentlicher Bedeutung sein. Es ist hier noch besonders zu bemerken, dass der Gesamtstickstoff nicht immer eine ausschlaggebende Rolle spielt, da ein grosser Teil davon in schwerlöslicher Form im Boden enthalten ist.

Was schliesslich die Gesamtkali- und Gesamtphosphormengen anbelangt, sind ja diese wenigen Analysen nicht von ausschlaggebendem Belang. Es ist hier nur zu bemerken, dass die Gesamtphosphormengen nach FEHÉR (1933 d, 1934 d, e) überhaupt in nördlichen Böden sehr gross sind. Diese Erscheinung wird man durch die niedrigen pH-Werte und mithin durch die Ausbildung von schwerlöslichen, sauren Phosphorverbindungen erklären können. Besonders auffallend ist der grosse Phosphorgehalt in dem schlechtesten Waldtyp.

Über den Kalkgehalt der untersuchten Bodenproben wurde mit der angewandten Methode nur festgestellt, dass er unter 0.1 % lag und dass die Böden also sehr kalkarm waren. Wie schon die oft erwähnten Untersuchungen von VALMARI zeigen, spielt der CaO-Gehalt des Bodens eine grosse Rolle bei den verschiedenen Waldtypen. Die Kalkfrage ist natürlich von grosser Bedeutung für unsere finnische Forstwirtschaft. In Zukunft muss auch auf dieses Problem besonderes Augenmerk gerichtet werden.

4. Systematische Zusammenstellung der aus den Bodenproben reingezüchteten Mikrobenarten.

a) Die Bakterien.

Die systematische Bestimmung der gesamten im Boden vorkommenden Bakterienarten kann selbstverständlich nur durch eingehende, vieljährige Untersuchungen durchgeführt werden. Es haben bereits die umfangreichen Untersuchungen von FEHÉR (1933 c) gezeigt, dass die meisten Bakterien ausgesprochen kosmopolitisch sind und dass bezüglich der Bakterienflora zwischen verschiedenen Waldböden kein deutlicher Unterschied nachzuweisen ist.

Welche Arten sich im Boden entwickeln, hängt von mehreren äusseren Umständen ab (WAKSMAN 1930). Die Jahreszeiten, Trockenheits- und Regenperioden und Änderungen der Bodentemperatur beeinflussen alle die Zusammensetzung der Bodenorganismenwelt. Ein charakteristisches Beispiel bietet hier die Mikrobiologie des Moorbodens, Torfmoore haben nur ganz an der Oberfläche eine bestimmte aerobe Flora; darunter ist die Flora ganz anaerob, und die Flora besteht oft aus einer einzigen oder nur einigen Arten. Die Zersetzung erfolgt also auf anaerobem Wege. Wird dagegen ein Torfmoor drainiert oder gekalkt, so tritt eine schnelle Entwicklung von mannigfachen verschiedenen aeroben Organismen ein. — Die Zufuhr organischer Stoffe und die Zugabe von anorganischen Düngemitt-

teln haben weitgehende verändernde Einflüsse auf die Kleinlebewelt. Schliesslich richten sich Art und Tätigkeit der Mikroorganismen oft recht scharf nach der Reaktion des Bodens. Während z. B. einige Bakterien, wie *Azotobacter* und *Spirochaeta cytophaga*, schon unter pH 6.0 ungünstig beeinflusst werden, kennt man eine Bakterienart (*Thiobacillus thiooxydans*), die noch bei einem pH unter 1.0 existieren kann. (RIPPEL 1930.)

Ich habe schon oben erwähnt, dass man mit der Plattenmethode nur einen Teil der im Boden vorkommenden Bakterien erfassen kann. Dies sind erstens viele Vertreter der physiologischen, also der nitrifizierenden, denitrifizierenden, stickstoffbindenden, harnstoffvergärenden, pektinzeretzenden, buttersäurebildenden u. a. Bakteriengruppen, welche nur mit speziellen Differentialnährböden oder durch Anhäufungskulturen gezüchtet werden können. Besonders gilt dies für die zellulosezersetzenden Bakterien, die oft schwer zertrennbare Begleitbakterien haben, deren Isolierung und Bestimmung also langwierige Arbeiten erheischt. Es sind thermophile Bakterien, die wieder spezielle Methoden fordern, weiter methanzeretzende, wasserstoffoxydierende, Schwefelbakterien, Eisenbakterien usw., von welchen man noch relativ wenig weiss, die aber alle ihre eigene Funktion im Boden haben.

Mit den bisher angewandten Methoden ist es unmöglich gewesen, ein abschliessendes Urteil über die relative, resp. prozentuale Anzahl der sämtlichen verschiedenen Mikroorganismenarten auszusprechen. In den gewöhnlich herangezogenen Bestimmungsbüchern (LEHMANN und NEUMANN (1927), BERGEY (1934)) werden schon eine ganze Menge Bakterien und deren Tätigkeit im Boden beschrieben, es gibt aber auch sehr zahlreiche solche, von deren Bedeutung und Tätigkeit noch nicht viel bekannt ist. Ausserdem werden noch immer durch weitere Untersuchungen neue Arten (n. sp.) festgestellt und näher charakterisiert. Schon die genauere Kennzeichnung und die Klärung der Ernährungsphysiologie einer solchen neuen Art geben Anlass zu wissenschaftlich wertvollen, umfangreichen Untersuchungen. Es ist hier auch noch zu erwähnen, dass die Isolierung und Züchtung der anaeroben Bakterien oft mit ziemlichen Schwierigkeiten verbunden ist.

In den meisten bisher erschienenen Arbeiten ist also immer nur ein kleiner Teil der gesamten Mikrobenflora erfasst worden. Unsere Kenntnis einiger Bakteriengruppen im Boden wurde erheblich erweitert durch Arbeiten z. B. von MEYER und seinen Mitarbeitern (FORD und LAWRENCE 1916), die gewisse relative Zahlen für die sporenbildenden und nicht sporenbildenden Bakterien, die sich auf der gewöhnlichen Gelatineplatte entwickeln, fest-

gestellt haben. HILTNER und STÖRMER (1903) fanden, dass 20—30 %, WAKSMAN (1930), dass sogar 40—60 % von allen Kolonien, die auf den üblichen Agar- und Gelatineplatten zur Entwicklung kommen, aus *Actinomyces* bestehen. Die Kenntnis dieser Gruppe von Mikroorganismen ist noch unzulänglich, sie werden von den Bakteriologen zu den Bakterien und von den Botanikern zu den Pilzen gerechnet. Die hohe Zahl besagt aber, dass auch diese Organismen bei den Vorgängen im Boden mit an erster Stelle stehen.

Neuerdings haben die Untersuchungen von FEHÉR (1933 c) auch die jahreszeitlichen Änderungen der Artzusammensetzung einigermaßen aufgeklärt. Das Maximum der Gesamtbakterienzahl im Sommer wird nach ihm vorwiegend durch die Vermehrung von sporenbildenden Bakterien hervorgerufen. In den übrigen Jahreszeiten wird dann der Anteil der nicht sporenbildenden Bakterien beträchtlicher.

* * *

Die in der vorliegenden Untersuchung reingezüchteten Bakterienarten habe ich in Tabelle 3 zusammengestellt. Die Tabelle enthält die aus den Agarplatten sowie einige aus den Burry-Röhren isolierte und bestimmte Arten. Von den physiologischen Bakterien habe ich vorläufig nur die stickstoffbindenden *Azotobacter croococcum* und *Clostridium pasteurianum* differenziert und bestimmt. Zwei nitrifizierende Bakterien, *Nitrosomonas europaeus* und *Nitrobacter Winogradskii*, wurden schon früher von FEHÉR auch in finnischen Böden beobachtet. Die denitrifizierenden Bakterien braucht man nicht besonders zu isolieren, da die meisten Arten derselben auch in den übrigen Kulturen reingezüchtet und bestimmt werden können. Zellulosezersetzende Bakterien habe ich vorläufig noch nicht isoliert, es wurde nur in allen Bodenproben sowohl aerobe wie anaerobe Zersetzung konstatiert.

Als Grundlage der Artbestimmung habe ich das System von BERGEY befolgt. Es hätte noch keinen Zweck, auf diese wenigen Analysen hin das quantitative Vorkommen der aus den Agarplatten reingezüchteten verschiedenen Bakterienarten in sogenannten »Verhältniszahlen« auszudrücken. Es ist hier zu bemerken, dass solche Zahlen doch in keiner Hinsicht für die Verhältnisse im Boden massgebend wären, bevor man eine Methode ausarbeitet, wodurch man sämtliche Mikroorganismen auf einmal erfassen und bestimmen kann.

Tabelle 3. Systematische Zusammenstellung der aus den Bodenproben reingezüchteten Bakterienarten.

Nr.	Name	Versuchsflächen							
		1. OMaT		2. OMT		3. MT		4. VT	
		Zeitpunkt der Untersuchung							
Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	Jan.		
1	<i>Azotobacter chroococcum</i>	+	+	+	+	+	+	+	
2	<i>Micrococcus freudenreichii</i>	.	.	.	.	.	+	.
3	» <i>candidus</i>	.	+	.	.	.	.	.
4	» <i>sphaeroides</i>	.	.	+	.	.	+	.	
5	<i>Flavobacterium diffusum</i>	.	.	.	.	.	.	+
6	» <i>aurantiacum</i>	.	+	.	.	.	.	.
7	<i>Chromobacterium janthinum</i>	.	.	.	.	.	.	+
8	» <i>amethystinum</i>	.	+	.	.	.	.	.
9	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	.	.	+	.	.	.	.
10	<i>Cellulomonas biazotea</i>	+	.	.	.	.	.	.
11	» <i>rossica</i>	.	.	.	.	+	.	+
12	» <i>bibula</i>	.	.	.	.	.	.	+
13	» <i>ferruginea</i>	.	.	.	.	.	.	+
14	» <i>perlurida</i>	.	.	.	.	+	.	.
15	» <i>minuscula</i>	.	.	.	.	.	+	.
16	» <i>subcreta</i>	.	+	.	.	.	.	.
17	» <i>liquata</i>	.	+	.	.	.	.	.
18	» <i>lucrosa</i>	.	.	.	.	.	.	+
19	<i>Achromobacter nitrificans</i>	.	.	.	.	.	.	+
20	» <i>agile</i>	.	.	.	.	.	+	.
21	» <i>hartlebii</i>	.	.	.	.	.	.	+
22	» <i>contropunctatum</i>	.	.	.	.	.	+	+
23	» <i>guttatum</i>	.	.	.	.	.	+	.
24	» <i>ravenelii</i>	.	+	.	.	.	.	.
25	» <i>geniculatum</i>	.	.	.	.	.	.	+
26	» <i>punctatum</i>	.	.	.	.	+	.	.
27	» <i>candicans</i>	.	+	.	.	.	.	.
28	» <i>fermentationes</i>	.	+	.	.	.	.	.
29	<i>Bacillus cytaseus</i>	.	+	+	+	.	+	+	
30	» <i>cereus</i>	.	+	+	+	.	.	.	
31	» <i>mycoides</i>	+	+	+	+	.	.	.	
32	» <i>prausnitzii</i>	+	.	.	.	+	.	.	
33	» <i>graveolens</i>	.	.	.	+	+	.	.	
34	» <i>petasites</i>	.	.	.	+	.	.	.	
35	» <i>cohaerens</i>	.	+	.	.	.	.	.
36	» <i>ruminatus</i>	.	.	.	.	.	+	.
37	» <i>danicus</i>	.	+	.	+	.	+	.	
38	» <i>silvaticus</i>	.	.	+	.	+	.	.	

Tabelle 3. (Fortsetzung.)

Nr.	Name	Versuchsflächen							
		1. OMaT		2. OMT		3. MT		4. VT	
		Zeitpunkt der Untersuchung							
Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	Jan.		
39	<i>Bacillus fusiformis</i>	.	.	.	.	.	.	+	.
40	» <i>sphaericus</i>	.	+	.	.	.	+	.	.
41	» <i>pseudotanicus</i>	.	+	.	+	.	.	.	.
42	» <i>circulans</i>	.	+	.	+	.	.	.	.
43	» <i>robustus</i>	.	.	.	.	.	+	.	.
44	» n. sp. ?	.	+	.	+	.	+	.	.
45	» <i>tumescens</i>	.	+	+	.	+	.	.	+
46	» <i>laterosporus</i>	.	+	.	.	.	.	.	+
47	» <i>globigii</i>	.	+	.	.	.	.	.	+
48	<i>Clostridium butyricum</i> ¹	+	+	+	+	+	+	+	+
49	» <i>aerofoetidum</i>	.	.	.	.	.	+	.	.
50	» <i>bijermentans</i>	.	.	.	.	.	+	.	.
51	» <i>multijermentans</i>	.	.	.	.	.	.	+	.
52	» <i>sporogenes</i>	.	.	.	.	+	.	.	.
53	» <i>cochlearum</i>	.	+	+	+	+	.	+	+
54	» <i>spermoides</i>	+	.	+	+	+	.	+	.
55	» <i>hyalinum Fehér</i>	.	+	.	.	.	.	.	+
56	<i>Actinomyces citreus</i>	+	.	.	.	.	.	.	.
57	» <i>cellulosae</i>	+	.	.	.	.	.	.	.
58	» <i>griseoflavus</i>	.	.	+	+	.	.	+	.
59	» <i>diastatochromogenus</i>	.	.	+	.	+	.	.	.
60	» <i>flavochromogenus</i>	.	.	.	+	.	.	.	.
61	» <i>purpeochromogenus</i>	.	.	+	.	.	.	.	.

Es wurden also insgesamt 61 Arten reingezüchtet. Diese verhielten sich auf den verschiedenen Versuchsflächen wie folgt: OMaT = 28 Arten, OMT = 22 Arten, MT = 24 Arten, VT = 25 Arten. In der Artenzahl kann man somit durch diese orientierende Untersuchung noch keine deutlichen Unterschiede feststellen. Aus den Bodenproben im September wurden 37 Arten gegen 64 Arten im Januar bestimmt. Die Artenzahl war also im Winter viel grösser.

Über das Verhalten der verschiedenen Genera in den einzelnen Waldtypen habe ich eine Zusammenstellung in Tabelle 4 gemacht. In dieser Tabelle ist das prozentuale Vorkommen aller von den Agarplatten reingezüchteten Arten berechnet.

¹ = *Cl. pasteurianum*.

Tabelle 4. Prozentuales Vorkommen der verschiedenen Genera in den untersuchten Waldtypen.

Nr.	Name	Versuchsflächen			
		1	2	3	4
		in Prozenten			
1	Gattung: <i>Micrococcus</i>	2	3	—	8
2	» <i>Flavobacterium</i>	2	—	—	2
3	» <i>Chromobacterium</i>	2	—	—	2
4	» <i>Pseudomonas</i>	—	3	—	—
5	» <i>Cellulomonas</i>	8	—	8	18
6	» <i>Achromobacter</i>	5	3	15	18
	Nicht sporenbildende, zusammen	19	9	23	48
7	» <i>Bacillus</i>	49	55	55	18
8	» <i>Clostridium</i>	16	20	18	30
	Sporenbildende, zusammen	65	75	73	48
9	» <i>Actinomyces</i>	16	16	4	4
		100	100	100	100

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, dass das prozentuale Vorkommen der sporenbildenden Bakterien auf den drei besseren Waldtypen keine grossen Unterschiede aufweist. In dem vierten Waldtyp verhält sich aber die Artzusammensetzung ganz anders, und zwar so, dass der Anteil dieser Bakterien viel kleiner, resp. der Anteil der nicht sporenbildenden viel grösser ist. Gleichfalls kamen in den zwei schlechteren Waldtypen viel weniger *Actinomyceten* vor als in den zwei besseren.

Man darf hier selbstverständlich nicht den orientierenden Charakter dieser Untersuchung vergessen, die Resultate müssen noch durch weitere umfangreiche Forschungen bestätigt und weitergeführt werden. Die bisherigen Resultate deuten aber darauf hin, dass im grossen und ganzen gewisse Unterschiede auch in der Artzusammensetzung der Bodenbakterien verschiedener Böden existieren. Mit anderen Worten: genau wie die oberirdischen Pflanzenassoziationen der Waldböden ihre Artzusammensetzung ändern, ändert auch die unterirdische Bakterienflora nach ihren eigenen Gesetzen ebenfalls ihre prozentuale Artzusammensetzung.

b) Die Pilze.

Wenn wir von den makroskopischen, darunter auch von den Mykorrhizapilzen absehen, bleibt im Boden noch immer eine grosse Anzahl von mikroskopischen Pilzen verschiedener Arten. Nach Mc LENNAN (1928) kommt die normale Pilzflora des Bodens hauptsächlich in Form von Myzel vor. Diese Flora setzt sich nach WAKSMAN (1916 a) aus verschiedenen Typen zusammen. Der Einfluss der Menge der organischen Bodensubstanz, der Reaktion und des Feuchtigkeitsgehalts des Bodens sowie eine Anzahl von anderen Faktoren spielen bei der Art und Häufigkeit der Pilzflora — wie auch der Bakterienflora — eine beträchtliche Rolle. So können z. B. die Böden in kälterem Klima reicher an *Mucor*- und *Penicillium*-Arten sein, während die Böden in wärmerem Klima eine grössere Anzahl von *Aspergilli* enthalten können.

Ich habe schon auf die wichtige Rolle der mikroskopischen Pilze bei den biologischen Lebensprozessen des Waldbodens hingewiesen. Namentlich die Zellulosezersetzung ist die Funktion, die in erster Linie in Betracht kommt, besonders in unseren nördlichen sauren Böden, wo die Gesamtzahl und die Anzahl der zellulosezersetzenden Bakterienarten gering ist.

Unsere Kenntnis über die Verbreitung und Bedeutung der verschiedenen Pilzarten im Boden würde erheblich erweitert z. B. durch die Arbeiten von HAGEM (1908, 1910), TRAAEN (1914), WAKSMAN (1916 a, 1922), NELDER (1920), CONN (1922), Mc LENNAN (1928), JANKE und HOLZER (1929) und FEHÉR (1933 c). Es ist hier auch zu nennen die verdienstvolle Arbeit von VARTIOVAARA (1935), der neulich die bodenkundlich wichtigsten Züge des Stoffwechsels zweier aus finnischen Böden isolierten Schimmelpilzarten untersucht hat.

Die in der vorliegenden Untersuchung bestimmten Pilzarten enthält die Tabelle 5. Bei der Bestimmung der Arten wurde das Bestimmungsbuch von LINDAU (1922) benutzt. In zweifelhaften Fällen wurde ausserdem die »Kryptogamenflora« von RABENHORST (1887—1910) zu Rate gezogen. Für manche Arten, die keine Fruchtkörper auf der Plattenkultur entwickelten, wurde auch die Reinzüchtung durchgeführt. Eine häufige zu den *Phycomyceten* gehörende Art, in der Tabelle »unbekannte weisse Art« genannt, konnte vorläufig auch nicht von Prof. J. WESTERDIJK, Holland, bestimmt werden.

Wie wir aus der Zusammenstellung sehen, wurden also aus den Bodenproben insgesamt 60 verschiedene Arten bestimmt. Da die Bestimmung der meisten Pilzarten schon direkt aus der Plattenkultur möglich war und man also langwierige Reinzüchtungen und mannigfache Differentialnähr-

Tabelle 5. Systematische Zusammenstellung der aus den Bodenproben bestimmten Pilzarten.

Nr.	Name	Versuchsflächen															
		1. OMaT				2. OMT				3. MT				4. VT			
		Zeitpunkt der Untersuchung															
Sept.	Jan.	März	Sept.	Jan.	März	Sept.	Jan.	März	Sept.	Jan.	März						
1	<i>Mucor Mucedo</i>	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
2	» <i>Ramannianus</i>	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.
3	» <i>racemosus</i>	.	+	+	.	+	+	+					
4	» <i>spinosus</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
5	» <i>circinelloides</i>	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
6	<i>Rhizopus nigricans</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+
7	<i>Thamnidium elegans</i>	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
8	<i>Mortierella Rostafinskii</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9	» <i>candelabrum</i>	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
10	<i>Syncephalis cordata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
11	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
12	» <i>mycoderma</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
13	<i>Chaetomium globosum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
14	<i>Monilia candida</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
15	» <i>acremonium</i>	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.
16	» <i>aurea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
17	» <i>geophila</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.
18	» <i>Koningi</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
19	<i>Trichoderma lignorum</i>	+	+	.	.	+	.	+	.	+	.	.					
20	» <i>Koningi</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
21	» <i>album</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
22	<i>Corethrospis paradoxa</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23	<i>Aspergillus glaucus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
24	» <i>fumigatus</i>	.	+	.	+	+	.	+	+	+	+	+					
25	» <i>flavus</i>	.	+	+	.	.	.	+					
26	» <i>clavatus</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
27	» <i>niger</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
28	» <i>candidus</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
29	<i>Citromyces Pfefferianus</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
30	» <i>glaber</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
31	<i>Penicillium crustaceum</i>	.	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.					
32	» <i>luteum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
33	» <i>geophilum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.
34	» <i>humicola</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+
35	» <i>candidum</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
36	» <i>silvaticum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
37	» <i>brevicaule</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
38	<i>Gliocladium penicilloides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tab. 5. (Forts.)

Nr.	Name	Versuchsfläche															
		1. OMaT				2. OMT				3. MT				4. VT			
		Zeitpunkt der Untersuchung															
Sept.	Jan.	März	Sept.	Jan.	März	Sept.	Jan.	März	Sept.	Jan.	März						
39	<i>Briarea elegans</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
40	<i>Sporotrichum polysporum</i>	.	.	+	.	+	+					
41	» <i>flavissimum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
42	» <i>griseum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
43	» <i>sporulosum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
44	<i>Rhinotrichum repens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
45	<i>Haplaria pallida</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
46	<i>Botrytis reptans</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
47	» <i>fulva</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
48	» <i>geophila</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
49	» <i>cinerea</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
50	<i>Tolypomyria prasina</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
51	<i>Acrocyndrium granulosum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
52	<i>Acrostalagmus albus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
53	<i>Spicaria decumbens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
54	<i>Torula pulveracea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
55	<i>Periconia pulla</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
56	<i>Trichosporium umbrinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
57	<i>Haplographium chlorocephalum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
58	<i>Cladosporium herbarum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
59	<i>Coremium glaucum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
60	»unbekannte weisse Art»	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.

böden vermeiden konnte, habe ich die systematische Bestimmung der Pilze auch im März durchführen können, was bei den Bakterien wegen der Kürze der Zeit nicht möglich war.

Die Zahl der in den drei Jahreszeiten bestimmten Arten verhielt sich folgendermassen: Im September 22, im Januar 74 und im März 35 Arten. Es ist also auffallend, dass die Zahl der festgestellten Arten im Winter viel grösser war. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Böden im Winter mehr Pilze in Sporenform enthalten, wodurch mit der Plattenmethode mehr Arten zum Vorschein kommen. Noch interessanter sind aber die Resultate, wenn man die Zahl der verschiedenen vorgekommenen Arten auf den einzelnen Versuchsflächen vergleicht. Diese Zahlen sind folgende: OMaT = 32, OMT = 32, MT = 20 und VT = 24 Arten. Diese

Resultate deuten darauf hin, dass die Artenzahl der mikroskopischen Pilze — wie auch die Gesamtzahl derselben — auf den besseren Waldtypen viel grösser als auf den schlechteren ist.

Aus Tabelle 5 kann man noch nicht feststellen, welche Arten für die einzelnen Waldtypen charakteristisch sind. Hier werden wahrscheinlich erst spätere Untersuchungen die näheren Einzelheiten aufklären. Um jedoch auch diesen Teil der Untersuchung einigermaßen behandeln zu können, habe ich für alle angetroffenen Pilzgenera das prozentuale Vorkommen berechnet. Diese Zahl wurde so gebildet, dass bei der Untersuchung immer sämtliche Pilzkolonien auf den Platten bestimmt und daraus das prozentuale Vorkommen der verschiedenen Arten auf den einzelnen Versuchsflächen ermittelt wurde. Aus diesen Zahlen habe ich schliesslich einen prozentualen Mittelwert für die einzelnen Genera berechnet. Diese Zahlen enthält die Tabelle 6.

In dieser Tabelle ist erstens auffallend die grosse Zahl für die Gattung *Mucor* in dem besten Waldtyp — 33 % von allen untersuchten Kolonien. Auch die Anzahl der *Trichoderma*-Arten ist in demselben Typ überraschend gross. Ausserdem sehen wir, dass es manche Gattungen gibt, die nur oder jedenfalls bedeutend mehr in den zwei besseren Waldtypen vertreten sind. Ich zähle diese Arten nochmals auf: *Mucor*, *Thamnidium*, *Mortierella*, *Saccharomyces*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Corethrospis*, *Gliocladium*, *Briarea*, *Haplaria*. Andererseits ist zu bemerken, dass es manche Gattungen gibt, die nur oder jedenfalls häufiger in den zwei schlechteren Waldtypen vorkommen. Solche sind die folgenden: *Rhizopus*, *Monilia*, *Aspergillus*, *Citromyces*, *Rhinotrichum*, *Acrocylindrium*, *Torula*, *Trichosporium*, *Cladosporium*, *Coremium* und die vorläufig unbekannte Art. Über das Verhalten der übrigen Gattungen gewinnt man vorderhand durch diese erste Untersuchung kein klares Bild. Auch die bisherigen Resultate deuten aber darauf hin, dass im Boden der einzelnen Waldtypen gewisse Zusammenhänge innerhalb der mikroskopischen Pilzflora bestehen. Man könnte sich also denken, dass auch diese Flora auf verschiedenen Standorten gewisse Assoziationen bilde, von deren Zusammentreten die Aktivität des Bodens zum grossen Teil abhängig ist.

Solche Zahlen, die die Häufigkeit einzelner Pilzarten zeigen wollen, sind natürlich mit Vorsicht zu betrachten und können teilweise nur einen relativen Wert haben. Manche Autoren haben, wie auch VARTIOVAARA (1935) bemerkt hat, grosses Gewicht auf solche »Verhältniszahlen« gelegt. Hierbei ist zu bemerken, dass manche Arten sehr schnell Sporangien bilden

Tabelle 6. Prozentuales Vorkommen der einzelnen Pilzgenera auf den untersuchten Versuchsflächen.

Nr.	Name	Versuchsflächen			
		1	2	3	4
		in Prozenten			
1	Gattung: <i>Mucor</i>	33	12	12	2
2	» <i>Rhizopus</i>	—	—	3	7
3	» <i>Thamnidium</i>	1	10	—	—
4	» <i>Mortierella</i>	3	2	—	—
5	» <i>Syncephalis</i>	—	4	—	2
6	» <i>Saccharomyces</i>	4	—	—	—
7	» <i>Chaetomium</i>	2	1	—	—
8	» <i>Monilia</i>	4	1	—	7
9	» <i>Trichoderma</i>	15	5	7	7
10	» <i>Corethrospis</i>	2	—	—	—
11	» <i>Aspergillus</i>	7	14	28	17
12	» <i>Citromyces</i>	2	1	4	7
13	» <i>Penicillium</i>	9	16	14	9
14	» <i>Gliocladium</i>	—	1	—	—
15	» <i>Briarea</i>	—	4	—	—
16	» <i>Sporotrichum</i>	6	7	2	—
17	» <i>Rhinotrichum</i>	—	—	4	2
18	» <i>Haplaria</i>	1	—	—	—
19	» <i>Botrytis</i>	2	4	18	—
20	» <i>Tolypomyria</i>	—	2	—	—
21	» <i>Acrocylindrium</i>	—	—	—	2
22	» <i>Acrostalagmus</i>	1	1	4	—
23	» <i>Spicaria</i>	—	1	—	—
24	» <i>Torula</i>	—	—	—	2
25	» <i>Periconia</i>	—	2	—	—
26	» <i>Trichosporium</i>	—	—	—	4
27	» <i>Haplographium</i>	2	—	—	2
28	» <i>Cladosporium</i>	—	—	—	2
29	» <i>Coremium</i>	—	—	—	1
30	» »unbekannte Art«	6	12	4	27
		100	100	100	100

und dass sich aus ihrem Myzelium Kolonien entwickeln, während andere Arten, die vielleicht eine noch grössere Rolle im Boden spielen, nur schwer auf den Platten zur Entwicklung kommen. Bei einer endgültigen Durchforschung der Mikroflora des Bodens müssen also auch sämtliche gefundenen Pilzarten auf ihre physiologischen Eigenschaften geprüft werden. Es

sind auch diejenigen Arten nicht zu vergessen, welche nicht mit den gewöhnlich angewandten Methoden zu erfassen sind, die aber eine wichtige Funktion haben können. Die Züchtung und Untersuchung jener Arten sowie auch der makroskopischen Pilzflora, darunter auch der Mykorrhizapilze, muss auch schliesslich berücksichtigt werden. Erst durch eine derartig umfangreiche Arbeit wird man sich ein abschliessendes Urteil über die gesamte Pilzflora des Bodens bilden können.

5. Die Algen und Protozoen der untersuchten Bodenproben.

a) Die Algen.

Die meisten bodenbiologischen Forscher haben sich nur mit den Bakterien und Pilzen befasst. Die biologische Rolle, die den Bodenalgen in den edaphischen Lebensorganen zukommt, ist uns also noch ziemlich unbekannt.

STOKLASA (1883) war der erste, der auf die Bedeutung der Algen im Boden aufmerksam machte. Überall auf dem Erdboden leben Vertreter dieser Organismenarten, denen verschiedene Bedeutung zugewiesen ist. KOSSOWITSCH hat schon 1894 auf eine Analogie in der Bakteriensymbiose der Algen und Leguminosen hingewiesen. Auch STOKLASA (1899, 1900) hat feststellen können, dass die Algen sowohl auf die Zahl wie auf die Leistung der Bakterien entschieden fördernd einwirken können. Eine sehr wichtige Rolle scheinen sie also besonders darin zu haben, dass sie in Synergie mit den Bakterien leben. Diese Tatsache wurde später durch 15-jährige Versuche von STOKLASA (1926) bestätigt.

Durch die Verwesung ihrer abgestorbenen Körper bereichern die Algen mit ihrem organischen Substanzgehalt den organischen Stoffgehalt des Bodens recht bedeutend. Ihre Anzahl ist oft recht beträchtlich, z. B. FEHÉR (1933 c) hat sogar über 700 000 Algen pro Gramm Boden festgestellt. Dieser Umstand darf also bei der Beurteilung ihrer Bedeutung nicht ausser acht gelassen werden. So würden nach einer Berechnung des letztgenannten Autors (S. 174) etwa 75 000 Algen- und 10 000 000 Bakterienkörper ungefähr das gleiche Gewicht haben.

Den Algen wird auch eine grosse Bedeutung für den Stickstoffhaushalt im Boden zugeschrieben, besonders weil sie als Symbionten von *Azotobacter* angesehen werden. So konnte z. B. von SCHROEDER (nach Angaben von RIPPEL 1933) eine bedeutende durch Zusammenleben der Algen mit stickstoffbindenden Bakterien erfolgte Bindung von elementarem Luftstickstoff aufgezeigt werden. Die vielfach von den Algen behauptete N-Bindung dürfte teilweise auf methodische Fehler oder auf Verunreinigung mit Bak-

terien zurückzuführen sein und müsste also noch durch weitere Untersuchungen bestätigt werden.

In neuester Zeit geben allerdings nach RIPPEL (1933) ELLISON-MORRIS an, dass sie mit absoluten Reinkulturen von Algen hohe Stickstoffgewinne bestätigt haben.

Die meisten Algen kommen in den obersten Bodenschichten vor, und als autotrophe Organismen versorgen sie durch ihre Assimilationstätigkeit wenigstens teilweise den Boden mit Sauerstoff. Das Vorkommen von Algen auch in tieferen Bodenschichten, fast stets bis zu 1 m Tiefe, wurde von ESMARCH (1914) sowie von MOORE und KARRER (1919) festgestellt. In der letzten Zeit hat FEHÉR (bei noch nicht publizierten Untersuchungen) Bodenalgen sogar noch in 2 m Tiefe angetroffen.¹ Über die Tätigkeit der Algen in tieferen Bodenschichten liegen noch keine einwandfreien Untersuchungen vor; nach der Anschauung von WAKSMAN (1930) sollen sie unter solchen Bedingungen heterotroph wachsen, wobei sie organische Verbindungen als Energiequelle benutzen würden.

Auch äussere Einflüsse können auf die Algenflora einwirken. So würde z. B. nach PETERSEN (1915) die Bodenreaktion einen deutlichen Einfluss auf die verschiedenen Algentypen haben, einige Arten sollen vorwiegend in sauren Böden vorkommen, andere werden zahlreicher in neutralen Böden angetroffen. In der letzten Zeit haben die Untersuchungen von FEHÉR (1933 c) die vertikale Verbreitung der Bodenalgen aufgeklärt. Er hat erstens festgestellt, dass die drei Algengruppen *Schizophyta*, *Zygophyta* und *Chlorophyceae* sich in verschiedenen Böden recht verschieden verhalten können. Die meisten Arten sind jedoch bezüglich ihrer Verbreitung ausgesprochen kosmopolitisch. Sie zeigen — wie auch die Bakterien und Protozoen — gegenüber Bodenreaktion, Temperatur, Wassergehalt und anderen Faktoren eine grosse Anpassungsfähigkeit. Ihre Anzahl ist jedoch in Mitteleuropa meistens höher als in Nordeuropa, hier spielen die höhere Bodentemperatur und die besseren Durchlüftungsverhältnisse eine wichtige Rolle, ausserdem sind auch die Lichtverhältnisse in ersterem günstiger. Auch jahreszeitliche Schwankungen der Algenzahl hat FEHÉR wahrgenommen und im allgemeinen im Spätherbst höhere Zahlen als im Sommer erhalten.

* * *

Aus dem Obigen ersehen wir, dass man auch die biologische Rolle der Algenflora des Bodens nicht ausser acht lassen darf. Um eine endgültige

¹ Als die vorliegende Untersuchung schon im Druck war erschien aus seinem Institut eine neue Arbeit über die Bodenalgen (FEHÉR und FRANK 1936).

Kenntnis über sämtliche biologische Vorgänge im Boden zu bekommen, muss man auch diesen Organismen grössere Aufmerksamkeit widmen. Es ist zu bemerken, dass die Botaniker sich meistens nur mit den Wasseralgeln beschäftigen, die freilich leichter zu studieren sind und systematisch interessanter sein können, die aber keine solche praktische Rolle wie die Bodenalgeln (im Leben des Bodens) spielen.

Um einen gewissen Einblick auch in das quantitative Vorkommen der Algeln in den untersuchten Bodenproben zu gewinnen, habe ich diesbezügliche Analysen an den September- und Januarproben gemacht. Die Kultivierung erfolgte nach der von FEHÉR (1933 c) S. 22 beschriebenen Methode, und die Resultate habe ich in Tabelle 7 zusammengestellt. Da die Menge der Algeln anscheinend auch von anderen Faktoren als der Bodengüte abhängig ist, habe ich in dieser Tabelle nochmals eine kurze Beschreibung der Versuchsflächen gegeben.

Tabelle 7. Quantitatives Vorkommen der Bodenalgeln in den untersuchten Bodenproben.

Versuchsflächen	Zeitpunkt der Untersuchung	Zahl der Algeln ¹
1. OMaT. Bestandesschluss 0.8. Frischer Moränen-Lehmboden. Fi.-Bi.-Mischwald 80 J.	September	80 000
	Januar	80 000
2. OMT. Bestandesschluss 1.0. Frischer Moränen-Lehmboden. Fi. 100 J.	September	20 000
	Januar	20 000
3. MT. Bestandesschluss 0.8. Frischer Sandboden. Fi. 100 J.	September	40 000
	Januar	40 000
4. VT. Bestandesschluss 0.7. Leichter Sandboden. Ki., Unterwuchs von Fi. 80 J.	September	40 000
	Januar	80 000
5. CT. Bestandesschluss 0.6—0.5. Trockener Sandboden. Ki. 80 J.	September	160 000

Aus diesen Daten sehen wir erstens, dass die Zahlen für die zwei untersuchten Jahreszeiten fast die gleichen sind. Nur in der Bodenprobe Nr. 4 sehen wir eine Vermehrung im Winter. In den einzelnen Waldtypen nahmen die Algenzahlen nicht mit der Typengüte ab, wie es bei den Bakterien und Pilzen der Fall war, sondern wurden anscheinend aus anderen Ursachen beeinflusst. Wenn wir die Beschreibungen der Versuchsflächen miteinander vergleichen, finden wir, dass die kleinste Zahl unter dem dichtesten Bestand auf der Versuchsfläche Nr. 2 zu beobachten ist. Die Bestände

¹ pro gr. feuchter Erde.

der Versuchsflächen Nr. 3, 4 und 1 waren schon etwas lichter und zeigen dementsprechend grössere Algenmengen. Die grösste Algenzahl weist schliesslich die Versuchsfläche Nr. 5 auf, deren Bestand sehr licht und lückig war.

Es ist klar, dass auch andere Faktoren, vor allem die Bodengüte, welche die Nährstoffe der Algeln liefert, keine unerhebliche Rolle spielen. Wahrscheinlich kann auch der leichte Sandboden der schlechteren Waldtypen für die Algeln günstigere Bedingungen schaffen. Da aber diese Organismen überhaupt sehr vom Licht abhängig sind, scheint ihre Wirkung auch für die Algenmenge drinnen im Boden dominierend zu sein.

Die festgestellten Arten, die ich unter Leitung von Herrn Professor FEHÉR bestimmt habe, habe ich in Tabelle 8 zusammengestellt.

Wenn wir jetzt die Zahl der verschiedenen Algenarten auf den einzelnen Versuchsflächen vergleichend betrachten, erhalten wir folgende Zahlen: OMaT = 26, OMT = 18, MT = 8, VT = 6 und CT = nur 5 Arten. Diese Zahlen zeigen also wieder eine schöne Parallelität mit der Typengüte. Mit anderen Worten: Die unterirdische Algenflora verhält sich zu der Standortsgüte genau wie die oberirdische Bodenflora, indem die Zahl der verschiedenen Arten parallel mit der Ergiebigkeit des Standorts fällt. Die Resultate deuten also darauf hin, dass die einzelnen Waldtypen auch in bezug auf die Häufigkeit der vorkommenden mikroskopischen Algenarten scharfe Unterschiede zeigen können. Zur Aufklärung der gesamten Algenflora des Waldbodens sind selbstverständlich noch eingehende Untersuchungen notwendig.

b) Die Protozoen.

Neben den Bakterien, Pilzen und Algeln kommen im Boden häufig auch Protozoen vor. Über deren Vorkommen und Tätigkeit haben mehrere Arbeiten allerhand Wissenswertes mitgeteilt; die Ansichten über ihre Bedeutung gehen aber noch immer recht weit auseinander. Die erste Arbeit über Bodenprotozoen erschien schon im Jahre 1837 von EHRENBURG. Man hat schon in diesem Jahrhundert auch ihre Bedeutung erklären wollen. So haben z. B. MÜLLER (1887) und später BRÉAL (1896) auf ihre Wichtigkeit für die Umsetzung der organischen Substanzen im Boden besonders hingewiesen. Nach dem letzteren sollen namentlich *Colpidium*-Arten an der Zersetzung feuchter Pflanzenstoffe beteiligt sein und sollen auch organische Stickstoffverbindungen in Ammoniak überführen. Dass jedenfalls mit einer zahl- und artenreichen Protozoenfauna zu rechnen ist und dass ihr biologisches Verhalten im Boden volle Aufmerksamkeit verdient, zeigen

Tabelle 8. Systematische Zusammenstellung der bestimmten Algenarten.

Nr.	Name	Versuchsflächen									
		1. OMaT		2. OMT		3. MT		4. VT		5. CT	
		Zeitpunkt der Untersuchung									
		Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	Jan.	Sept.	
<i>Schizophyta</i>											
1	<i>Aphanothece stagnina</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
2	<i>Calothrix fusca</i> .....	.	+	.	.	.	.	.	.	.
3	<i>Chroococcus limneticus</i> .....	.	+	.	.	.	+	.	.	.
4	» <i>varius</i> .....	.	.	.	+	.	.	.	.	.
5	<i>Coelosphaerium Kützingianum</i> ..	+	.	.	.	.	.	.	.	.
6	<i>Gloecapsa magna</i> .....	.	.	.	.	.	+	.	.	.
7	» <i>polydermatica</i> .....	.	.	.	.	+	.	.	.	.
8	» <i>rupicola</i> .....	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9	» <i>sabulosa</i> .....	.	+	.	.	.	.	.	.	.
10	<i>Gloeothece rupestris</i> .....	.	.	+	.	.	.	.	.	.
11	<i>Mycrocystis pulverea</i>	+	.	+	.	+	.	.	.	+	
12	» <i>stagnalis</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
13	<i>Pleurocapsa cuprea</i> .....	.	+	.	+	.	.	.	.	.
14	» <i>minor</i> .....	.	.	.	+	.	.	.	.	.
15	<i>Schizothrix tinctoria</i> .....	.	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chlorophyceae</i>											
16	<i>Botrydiopsis arrhiza</i> .....	+	.	+	.	.	.	.	.	.
17	» <i>minor</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
18	<i>Botryococcus Braunii</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
19	<i>Bumilleriopsis brevis</i> .....	.	.	+	.	.	.	.	.	.
20	<i>Chlorobotrys polychloris</i> .....	.	.	+	.	.	.	.	.	.
21	<i>Chlorocloster terrestris</i>	+	.	+	.	+	.	+	.	.	
22	<i>Chlorococcum humicolum</i>	+	+	+	.	.	.	+	.	+	
23	<i>Chlorosarcina minor</i> .....	+	+	.	.	.	.	.	.	.
24	<i>Chlorella sacharophylla</i> .....	.	.	.	.	+	.	.	.	.
25	<i>Coccomyxa dispar</i> .....	.	.	.	.	.	.	+	.	.
26	<i>Cystococcus humicola</i> .....	.	.	.	.	.	.	.	.	+
27	<i>Gloeococcus botryoides</i> .....	.	.	.	.	.	.	.	.	+
28	» <i>Schröteri</i> .....	.	.	+	.	.	.	.	.	.
29	<i>Gloeocystis vesiculosa</i> .....	.	.	.	.	.	+	.	.	.
30	<i>Gloeotilia protogenita</i> .....	+	.	.	.	+	.	.	.	.
31	<i>Hormidium flaccidium</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
32	<i>Oocystis elliptica</i> .....	+	.	.	+	.	.	.	.	.
33	» <i>gloeocystiformis</i> .....	.	.	.	.	.	.	.	+	.
34	» <i>natans</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
35	» <i>parva</i> .....	.	.	+	.	.	.	.	.	.
36	<i>Planophila assymetria</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
37	<i>Pleurococcus vulgaris</i> .....	+	.	+	.	.	.	.	.	.
38	<i>Schizochlamys gelatinosa</i> .....	.	.	+	+	.	.	.	.	.
39	<i>Stichococcus bacillaris</i>	+	.	+	.	+	.	+	.	+	
40	<i>Tetraspora lubrica</i> .....	.	+	.	.	.	.	.	.	.
41	<i>Tribonema monochloron</i> .....	.	.	+	.	.	.	.	.	.
42	<i>Trochiscia aspera</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.
43	<i>Westella botryoides</i> .....	+	.	.	.	.	.	.	.	.

z. B. die Untersuchungen von CELLI und FIOCCA (1894), BEIJERINCK (1896) HUNTEMÜLLER (1905), CASAGRANDE und BARBOGLIO (1897), FROSCHE (1897), und HILTNER (1907). Auch WOLFF (1908) hat schon ihre Lebensfunktion einigermaßen zu erklären versucht. Nach ihm sind sie befähigt: 1. Krankheitserreger zu transportieren, 2. Algen, Pilze und Bakterien aufzunehmen und abzutöten, 3. aus der Bodenfeuchtigkeit wertvolle Stoffe aufzunehmen und durch Einführung in ihren Stoffwechsel vor dem Versinken in tiefere Erdschichten zu bewahren, 4. jederzeit zum Leben zu erwachen und sich zu betätigen, sofern der Boden nur genügend Feuchtigkeit besitzt und nicht gefroren ist.

Besondere Aufmerksamkeit hat man aber den Bodenprotozoen erst nach dem Erscheinen der bekannten »Protozoentheorie« von RUSSEL und HUTCHINSON (1909) zugewandt. Diese Forscher haben nach einer ganzen Reihe von Versuchen festgestellt, dass die Protozoen auf die Entwicklung der im Boden nützlichen Bakterien störend einwirken. Z. B. die allbekannte Erscheinung der Bodenmüdigkeit haben sie durch das quantitative Überhandnehmen der Bodenprotozoen erklärt. Es ist klar, dass diese theoretisch und praktisch wichtig scheinende Untersuchung Anlass zu weitgehenden und zahlreichen Untersuchungen gegeben hat.

Trotzdem seit dem Jahre 1909 mehrere hundert Arbeiten über die Bodenprotozoen erschienen sind, kann uns schon eine flüchtige Durchsicht der einschlägigen Literatur davon überzeugen, dass über ihre bodenbiologische Rolle noch keine einheitliche Auffassung besteht. Auch die Ansichten über das korrelative Verhältnis zwischen den Bakterien und Protozoen sind immer noch geteilt. Die meisten amerikanischen Bodenbiologen sind der Meinung, dass die Protozoen im Boden vorwiegend im enzystierten Zustand vorhanden sind und infolgedessen keine aktive Lebenstätigkeit entfalten. Ganz entgegengesetzte Anschauungen vertreten die meisten englischen und russischen Forscher. Sie sind der Ansicht, dass im Boden auch unter normalen Verhältnissen immer eine ansehnliche Menge von aktiven Protozoen vorhanden ist, und da diese sich vorwiegend von Bakterien ernähren, können sie die Menge der letzteren empfindlich verringern.

Während den Bodenprotozoen durch manche Untersuchungen eine recht schädliche biologische Rolle zugewiesen wird (sie werden z. B. für die Verminderung des Nitratstickstoffs verantwortlich gemacht), zeigen die von KOFFMAN (1931) mit direkten Methoden durchgeführten Untersuchungen, dass sie bei den mikrobiologischen Prozessen eine recht unbedeutende Rolle spielen. Die Angaben über eine zahl- und artenreiche Protozoenfauna in normalem Boden, ihre Unabhängigkeit von der Reaktion

des Bodens usw. würden nach ihm durch die Anwendung indirekter Methoden zu erklären sein.

Ich möchte hier noch kurz auf die Untersuchungen von VARGA (1929, 1933) hinweisen. Die Hauptrolle kommt nach ihm den aktiven Protozoen zu, die enzystierten sind nur im Zustand latenten Lebens. Ihre Hauptnahrung bilden Bodenbakterien und verwesende organische Stoffe, sie tragen auch mit zur Bodenatmung bei. Im Gegensatz zu der bekannten Auffassung der amerikanischen Bodenbiologen behauptet also VARGA, dass die Protozoen wohl eine bestimmte Wirkung auf die Lebensverhältnisse der Bodenbakterien ausüben. Auch jahreszeitliche Schwankungen der Protozoenzahl hat er beobachtet. Ihre Anzahl weist zwei Maxima auf, und zwar ein kleineres im Sommer und ein charakteristisches und stark entwickeltes im Spätherbst. Das letztere wird durch die Fülle der organischen Stoffe im Herbst verursacht; sonst sind die Protozoen von der Gegenwart einer gewissen Menge von Kapillarwasser im Boden abhängig, sie können aus ihrem Zystenzustand dann rasch zum aktiven Leben übergehen. Die Protozoenzahl des Waldbodens ist gewöhnlich kleiner als die der Garten-, Acker- oder Wiesenböden. Durch ihre Tätigkeit wird die Bodenatmung erhöht, sie erleichtern die Verarbeitung der organischen Stoffe, und die Verwesung der abgestorbenen Protozoenkörper hat sicher einen nicht zu unterschätzenden Anteil an der Bereicherung des N-Gehalts des Waldbodens. Obwohl also der Tätigkeit der Protozoen des Waldbodens eine bedeutende Rolle zukommt, bleibt doch die Bedeutung derselben weit hinter der überwiegenden Bedeutung der Bodenbakterien zurück.

* * *

Wie wir aus dem Obigen ersehen, darf also auch die Protozoenfauna bei der mikrobiologischen Durchforschung des Bodens nicht unberücksichtigt gelassen werden. Da aber meine Bodenproben wegen des Transports ins Laboratorium einige Tage aufbewahrt werden mussten und da eben diese Organismen sich während der Aufbewahrung sehr leicht verändern, habe ich diesen Teil meiner Untersuchung nur orientierend durchgeführt. Wegen der umständlichen Untersuchungsmethodik habe ich die Zahl der Protozoen mit der Methodik von VARGA (1933 S. 182) nur im Januar ermittelt. Dabei wurden 10 000 Protozoen pro 1 gr Erde in allen untersuchten Probeflächen festgestellt; weitere Verdünnungen wurden wegen Zeitmangels nicht untersucht.

Auch die Artzusammensetzung wurde vorläufig nicht systematisch und gleichmässig auf den verschiedenen Versuchsflächen studiert. Ich zähle daher nur die angetroffenen Arten ohne Rücksicht auf die Versuchsflächen auf. Die Bestimmungen habe ich unter Leitung von Herrn Professor VARGA gemacht.

Die in den untersuchten Bodenproben angetroffenen Protozoenarten waren die folgenden: 1. *Rhizopoda*: *Amoeba froshi*, *A. gorgonia*, *A. limax*, *A. terricola*, *Nuclearia simplex*. 2. *Mastigophora*: *Bodo celer*, *B. ludibundus*, *Cercobodo grandis*, *C. vibrans*, *Cercomonas longicauda*, *Monas arhabdomonas*, *M. oicomonas*, *Oicomonas termo*. 3. *Ciliata*: *Colpidium colpoda*, *Glaucoma scintillans*.

Die angetroffenen 15 Arten sind ja noch nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Ich möchte hier nur nochmals auf die Wichtigkeit systematischer und eingehender Durchforschung der Protozoenfauna des Bodens hinweisen. Auch auf diesem Gebiete der bodenbiologischen Forschung sind sicher noch theoretisch interessante und wichtige Resultate zu erreichen, die einmal auch für die Praxis von durchgreifendem Nutzen sein können.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.

Wenn wir die Resultate dieser Untersuchung zusammenfassend betrachten, finden wir folgendes:

- 1) Das quantitative Vorkommen der Bodenmikroben, sowohl aerober und anaerober Bakterien wie mikroskopischer Pilze, zeigt grosse Unterschiede im Boden von verschiedenen Waldtypen, und zwar so, dass die Zahl der Mikroben parallel mit der Typengüte fällt. Dieses Verhalten besteht auch in verschiedenen Jahreszeiten.
- 2) Nicht nur die Gesamtzahl der Bakterien, sondern auch das quantitative Vorkommen der physiologischen Bakteriengruppen, also der nitrifizierenden, denitrifizierenden, zellulosezersetzenden und stickstoffbindenden Mikroorganismen zeigt in grossen Zügen Unterschiede bei verschiedener Bodengüte.
- 3) Besonders charakteristisch ist das Verhältnis der nitrifizierenden Bakterien zu den denitrifizierenden, welches mit der Typengüte parallel verläuft.
- 4) Dementsprechend finden wir auch den Nitratstickstoff- und den Gesamtstickstoffgehalt mit der Typengüte parallel gestaltet. Die Ergiebigkeit der Waldtypen wird also in erster Linie durch den mikrobiologisch sehr stark beeinflussten und bedingten Stickstofffaktor bestimmt, was schon aus früheren bodenchemischen Untersuchungen hervorgeht.
- 5) Nebeneinander dargestellt zeigen auch die Biofaktoren Humusgehalt, Nitratstickstoffgehalt und lösliche Kali- und Phosphormengen der untersuchten Waldtypen eine Parallelität mit den Mikrobenzahlen.
- 6) Die Messung der Bodenatmung im Laboratorium liefert einen guten Indikator für die Beurteilung der Bodenaktivität. Die erhaltenen Ergebnisse sind dazu geeignet, die bei Bakterienzählungen gewonnenen Resultate zu stützen und zu kontrollieren und lassen in der vorliegenden Untersuchung eine weitgehende Übereinstimmung mit jenen erkennen.
- 7) Die differierenden Mikrobenzahlen im Boden der verschiedenen Waldtypen werden anscheinend hauptsächlich von den Faktoren Humus-

gehalt und Wassergehalt hervorgerufen. Diese Annahme wird auch durch frühere bodenbakteriologische Untersuchungen gestützt.

8) Für den Zusammenhang zwischen den Waldtypen und deren Algenflora und Protozoenfauna im Boden konnte auf Grund dieser orientierenden Untersuchung noch keine bestimmte Regelmässigkeit gefunden werden. Hier sind noch spezielle eingehende Untersuchungen notwendig. Die Zahl der Algenarten zeigt eine Parallelität mit der Typengüte.

9) Auf Grund dieser Untersuchung ist es wieder gelungen, der CAJANDER'schen Waldtypenlehre in der Erkenntnis der inneren dynamischen Struktur des Waldbodens und ihrer biologischen Erscheinungsformen eine neue Bestätigung zu geben.

Die waldbauliche Bedeutung der biologischen Bodenforschung.

Jede Forschungsrichtung der Forstwissenschaft kann ihre dauerndere Existenzberechtigung nur dann erwirken, wenn sie fähig ist, ihre Untersuchungen und ihre Resultate in den Dienst des praktischen Lebens zu stellen. Je jünger eine Wissenschaft ist, desto umstrittener ist im allgemeinen ihre Bedeutung. Teils wird sie überschätzt, teils findet sie nicht die verdiente Beachtung.

Man darf selbstverständlich nicht die Notwendigkeit einer wissenschaftlichen Behandlung der Vorgänge im Boden unterschätzen. Der Hauptwert einer mikrobiologischen Bodenanalyse besteht ja in ihrer grundlegenden Bedeutung für die Wissenschaft. Sie verhilft uns nicht nur dazu, zu erforschen, was im Boden enthalten ist, sondern auch, was in ihm vorgeht. Durch die bodenbiologische Forschung werden wir alle organischen und anorganischen Vorgänge des Bodens aufklären können, welche schliesslich durch ihr Zusammenspiel auf die Ergiebigkeit des Bodens einwirken.

Zu biologischen Untersuchungen ist der Waldboden ganz hervorragend geeignet, da er, möglichst geschont vor künstlichen Eingriffen und biologischen Störungen, seine Originalität bewahren kann. Während wir in der Landwirtschaft auf die Hebung der Bodengüte durch Düngung und Bodenbearbeitung einwirken können, haben wir in der Praxis der Forstwirtschaft vorläufig keine grossen Möglichkeiten dazu. In der Forstwissenschaft sind Leistungsprüfungen des Bodens, Prüfungen der Bodengüte viel schwieriger als in der Landwirtschaft. Hier ist gerade die biologische Untersuchung des Bodens von besonderer Bedeutung, um ein genaues Urteil über die Bodengüte und über die Aktivität des Bodens zu gewinnen. Die physiologischen Vorgänge im Waldboden stehen ja letzten Endes in innigster Berührung mit der Mikrobiologie des Bodens. Die »Mobilisation« der Nährstoffe ist nur dort ermöglicht, wo die Mikroflora des Bodens günstige Lebensbedingungen vorfindet.

Was uns in der forstlichen Mikrobiologie in erster Linie besonders interessiert, ist die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz als

Ganzes. Wir wissen, dass, wenn die Mikroorganismen infolge ungünstiger Lebensbedingungen ihre Aufgaben nicht erfüllen können, sich Auflagehumus ansammelt, der nicht nur eine unproduktive Festlegung von wertvollen Nährstoffen darstellt, sondern auch einen höchst ungünstigen Einfluss auf den Bodenzustand ausübt. Als erste Aufgabe unserer künftigen mikrobiologischen Bodenuntersuchungen dürfte es demnach anzusehen sein, sich mit den Stoffumsatz betreffenden Fragen zu beschäftigen. Wenn auf den meisten Waldböden die Umsetzungsstärke nicht ausreicht, um die Streu zu mineralisieren, dann haben wir die selbstverständliche Aufgabe, die Umsetzungen zu beschleunigen. Die Ausbildung der Rohhumusdecke, die schlechte Durchlüftung und die daraufhin auftretende Versäuerung des Bodens sind ja sämtlich Erscheinungen, die im Grund genommen mit der Mikrobentätigkeit im Zusammenhang stehen und nur durch bewusste Beeinflussung derselben ausgeschaltet oder wenigstens verbessert werden können.

Eine besondere Entwicklung dürften unserer Moorforschung die biologischen Forschungsmethoden darbieten. Die Zersetzung des Moortorfes, die Mobilisierung der Nährstoffe, die Entwicklung und Aktivität der Mikroflora in entwässerten und nicht entwässerten Mooren sind einige Aufgaben dieser künftigen Forschung. Da die Mikroflora und -fauna des Bodens recht scharf auf äussere Einflüsse reagieren, dürfte eben dieses Forschungsgebiet den Schlüssel zum Verständnis unserer Massnahmen abgeben können.

Wir sind auch über die Einflüsse eines sauren Bodens auf die verschiedenen Bakterienarten noch unzureichend unterrichtet. Wenn auch die Tätigkeit gewisser Bakterien- und Pilzarten in Reinkulturen auf künstlichen Nährböden unter verschiedenen Bedingungen vielfach erforscht worden ist, eröffnet sich auf dem Gebiete der bodenbiologischen Forschung noch ein fast unübersehbar grosses und weites Feld unter unseren klimatisch und geologisch eigenartigen Verhältnissen. Die Zersetzung des Bestandesabfalls, die mikrobiologischen Prozesse in unseren oft sehr sauren Waldböden und die Ausbildung und Umwandlung verschiedener Humustypen sind einige für uns auch praktisch wichtige Fragen, deren Lösung den Weg zu anderen naheliegenden Problemen weisen wird. Es sind auch zu nennen die Einwirkung der Holzart und besonders des Mischwaldes und der Einfluss verschiedener forstlicher Massnahmen auf den biologischen Zustand des Bodens, Probleme, die (abgesehen von einigen kleineren Untersuchungen von z. B. WITTICH (1930, 1931, 1933), FEHÉR (1931 a) und ROMELL (1932)) noch fast völlig ungelöst sind. Eine besondere

Aufmerksamkeit sollte in biologischer Hinsicht der Kalkung des Waldbodens gewidmet werden. Dass die Untersuchung des biologischen Bodenzustandes auch bei der Verjüngung der Wälder, besonders bei den schwer verjüngbaren trockenen Heideböden, eine eminente Rolle spielen kann, möchte ich hier auch betonen.

Schliesslich will ich noch besonders hervorheben, dass es in einer jungen, werdenden Wissenschaft, wie die Bodenbiologie heute noch eine ist, bei den grundlegenden Untersuchungen oft unmöglich ist, gleich am Anfang auch praktisch wichtige Resultate zu erreichen. Es bleiben noch immer innere Gesetzmässigkeiten ungeklärt und festgestellt werden müssen, welche dann später die exakte Grundlage für weitere praktisch wichtige Forschungen abgeben können. Die Ergebnisse der heutigen Bodenmikrobiologie gewähren schon eine feste Grundlage und ermahnen zu einheitlichen, unseren Verhältnissen besonders angepassten biologischen Bodenuntersuchungen.

Literaturverzeichnis.

- AALTONEN, V. T. 1925. Über den Aziditätsgrad (pH) des Waldbodens. (Comm. ex Inst. quaest. forest. Finl. ed. 9. Helsinki.)
 —»— 1926. Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden. (Ibid. 10.)
 —»— 1929. Über die Möglichkeit einer Bonitierung der Waldstandorte mit Hilfe von Bodenuntersuchungen. (Acta Forest. Fenn., 34. Helsinki.)
 —»— 1932. Über den Einfluss der Holzart auf den Boden. (Comm. ex. Inst. quaest. forest. Finl. ed. 17. Helsinki.)
 BARBOGLIO, P. 1897. Siehe CASAGRANDI, O. 1897.
 BEHRENS, J. 1904 a. Neuere Fortschritte der Bodenbakteriologie. (Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, 26. Berlin.)
 —»— 1904 b. Mykologie des Bodens. (F. LAFAR: Handbuch der technischen Mykologie, 3. Jena.)
 BEIJERINCK, M. W. 1896. Kulturversuche mit Amöben auf festem Substrate. (Centralbl. f. Bakt. Abt. I, 19. Jena.)
 BERGEY, DAVID H. 1934. Manual of Determinative Bacteriology. Baltimore.
 BESENYEI, Z. 1933. Siehe FEHÉR und BESENYEI 1933.
 BLOMQUIST, A. G. 1872. Tabeller framställande utvecklingen af jennåriga och slutna skogsbestånd af tall, gran och björk. Helsingfors.
 BOKOR, R. 1926. Untersuchungen über die Mikroflora der Waldböden. (Erdész. Kisérlet. 28. Sopron.)
 —»— 1930. Mycoccus cytophagus n. sp. 1929. (Arch. f. Mikrobiol. 1. Berlin.)
 BRÉAL, E. 1896. Décomposition des matières végétales en présence de l'eau et de la terre. (Ann. agron. 22. Paris.)
 BROWN, P. E. and SMITH, R. E. 1912. Bacterial Activities in Frozen Soils. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 34. Jena.)
 CAJANDER, A. K. 1909. Ueber Waldtypen. (Acta Forest. Fenn. 1. Helsinki.)
 —»— 1916. Metsänhoidon perusteet. I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen pääpiirteet. Porvoo.
 —»— 1923. Was wird mit den Waldtypen bezweckt? (Acta Forest. Fenn. 25. Helsinki.)
 —»— 1925. Metsätyypiteoria. (Ibid. 29.)
 —»— 1926. The Theory of Forest Types. (Ibid. 29.)
 —»— 1930. Wesen und Bedeutung der Waldtypen. (Silva Fennica 15. Helsinki.)
 CARON, A. 1895. Landwirtschaftlich-bakteriologische Probleme. (Die landwirtschaftlichen Versuchstationen Bd. 45. Berlin.)
 CASAGRANDI, O. und BARBOGLIO, P. 1897. Ueber die Kultur von Amöben. (Centralbl. f. Bakt. Abt. I, 21. Jena.)

- CELLI, A. und FIOCCA, R. 1894. Beiträge zur Amoebenforschung. Zweite vorläufige Mitteilung. Über die Klassifikation der Amoeben und einige gezüchtete Species. (Ibid. 16.)
- CHRISTENSEN, HARALD R. 1915. Studien über den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf das Bakterienleben und den Stoffumsatz im Erdboden. (Ibid. Abt. II, 43.)
- CONN, H. J. 1910. Bakteria in Frozen Soil. (Ibid. 28.)
- 1911. Bakteria of frozen Soil. (Ibid. 32.)
- 1915. Bakteria of frozen Soil. (Ibid. 42.)
- 1922. A microscopic method for demonstrating fungi and actinomycetes in soil. (Soil. Sci. 14. New Jersey.)
- CONNOR, S. D. 1919. Siehe NOYES, H. A. 1919.
- DOERELL, ERNST GUSTAV. 1926. Siehe STOKLASA und DOERELL 1926.
- EHRENBERG, C. G. 1837. Die fossilen Infusorien und die lebendige Dammerde. Berlin.
- ENGBERDING, DIEDRICH. 1909. Vergleichende Untersuchungen über die Bakterienzahl im Ackerboden in ihrer Abhängigkeit von äusseren Einflüssen. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 23. Jena.)
- ESMARCH, F. 1914. Untersuchungen über die Verbreitung der Cyanophyceen auf und in verschiedenen Böden. Kiel.
- FABRICIUS, OTTO und v. FEILITZEN, HJALMAR. 1905. Ueber den Gehalt an Bakterien in jungfräulichem und kultiviertem Hochmoorboden auf dem Versuchsfelde des Schwedischen Moorkulturvereins bei Flahult. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 14. Jena.)
- FEHÉR, D. 1929 a. Die Biologie des Waldbodens und ihre physiologische Bedeutung im Leben des Waldes. (Acta Forest. Fenn. 34. Helsinki.)
- 1929 b. Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Bodenatmung und der Mikrobentätigkeit des Waldbodens. (Biochem. Zeitschr. 206. Berlin.)
- 1930 a. Mikrobiologische Untersuchungen über den Stickstoffkreislauf des Waldbodens. (Arch. f. Mikrobiol. 1. Berlin.)
- 1930 b. Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Mikrobentätigkeit im Waldboden. (Ibid.)
- 1930 c. Untersuchungen über die zeitlichen Änderungen der Azidität und des Humusgehaltes des Waldbodens. (Wissensch. Arch. f. Landwirtsch. Abt. A: Pflanzenbau. Bd. 4. Berlin.)
- 1931 a. Über den Einfluss des Kahlschlages auf den Verlauf der biologischen und biochemischen Prozesse im Waldboden. (Forstl. Wochenschr. Silva. Tübingen.)
- 1931 b. Die zeitlichen Veränderungen des Humusgehaltes des Waldbodens. (Ibid.)
- 1932 a. Eine neue Methode zur Züchtung und quantitativen Erfassung der Lebenstätigkeit der Bodenbakterien. (Arch. f. Mikrobiol. 3. Berlin.)
- 1932 b. Experimentelle Untersuchungen über die mikrobiologischen Grundlagen der Schwankungen der Bodenazidität. (Ibid.)
- 1932 c. Untersuchungen über die zeitlichen Änderungen der Bodenazidität. (Wissensch. Arch. f. Landwirtsch. Abt. A: Pflanzenbau. 9. Berlin.)
- 1933 a. Die Verwendung der elektrometrischen pH-Messung zur quantitativen Ermittlung der Keimzahl der Böden. (Arch. f. Mikrobiol. 4. Berlin.)
- 1933 b. Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss von Temperatur und

- Wassergehalt des Bodens auf die Lebenserscheinungen der Bodenbakterien. (Ibid.)
- FEHÉR, D. 1933 c. Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. Mit Beiträgen von R. BOKOR und L. VARGA. Berlin.
- 1933 d. Einiges über den Phosphorgehalt der Waldböden. (Forstl. Wochenschr. Silva. Tübingen.)
- 1934 a. Experimentelle Untersuchungen über die mikrobiologischen Grundlagen der Schwankungen der Bodenazidität. II. (Arch. f. Mikrobiol. 5. Berlin.)
- 1934 b. Untersuchungen über die Schwankungen der Bodenatmung. (Ibid.)
- 1934 c. Die Verwendung der elektrometrischen pH-Messung bei der Ermittlung der Keimzahl der Böden. II. (Ibid.)
- 1934 d. Regionale Untersuchungen über den Kaligehalt der Waldböden. (Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde. 5/6. Berlin.)
- 1934 e. Untersuchungen über den periodischen Kreislauf des Phosphors in den Waldböden. (Die Phosphorsäure. 8/9. Berlin.)
- 1935. Vergleichende Untersuchungen über den Kali- und Phosphorgehalt der Sandböden auf der ungarischen Tiefebene mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fruchtbarmachung. (Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde. Berlin.)
- FEHÉR, D. und BESENYEI, Z. 1933. Untersuchungen über die Pilzflora der Waldböden. (Erdész. Kisértlet. Sopron.)
- FEHÉR, D. und FRANK, M. 1936. Untersuchungen über die Lichtökologie der Bodenalgae. (Arch. f. Mikrobiol. 7. Berlin.)
- FEHÉR, D. und VARGA, L. 1929. Untersuchungen über die Protozoenfauna des Waldbodens. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 77. Berlin.)
- v. FEILITZEN, HJALMAR. 1905. Siehe FABRICIUS, OTTO. 1905.
- FIOCCA, R. 1894. Siehe CELLI, A. 1894.
- FLEISCHER, M. 1891. Siehe KISSLING, R. 1891.
- FORD, W. W. and LAWRENCE, J. S. 1916. Studies on aerobic sporebearing non-pathogenic bacteria. (Journ. of. Bakt. 1. Baltimore.)
- FRANK, M. 1936. Siehe FEHÉR und FRANK. 1936.
- FROSCH, P. 1897. Zur Frage der Reinzüchtung der Amöben. (Centralbl. f. Bakt. Abt. I, 21. Jena.)
- GAUDECHON, H. 1912. Siehe MÜNTZ, A. 1912.
- GRAY, P. H. H. 1930. Siehe THORNTON, H. G. 1930.
- HAGEM, OSCAR. 1908. Untersuchungen über Norwegische Mucorineen. I. (Videnskaps-Selskaps Skrifter I. Math. Naturv. Klasse. 7. Kristiania.)
- 1910. Untersuchungen über norwegische Mucorineen. II. (Ibid. 4.)
- HEIMBURGER, CARL C. 1934. Forest-Type Studies in the Adirondack-Region. (Cornell University Agricultural Experiment Station. Ithaca.)
- HEINZE, B. 1910. Bodenbakteriologische Untersuchungen. (Landwirtschaftl. Jahrbücher. 39 Bd. Ergänzungsband III. Berlin.)
- HILTNER, L. 1907. Über neuere Ergebnisse und Probleme auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Bakteriologie. (Jahresbericht der Verein. f. angew. Botanik. 5. Berlin.)
- HILTNER, L. und STÖRMER, K. 1903. Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens mit einer Behandlung mit

- Schwefelkohlenstoff und nach Brache. (Biol. Abt.f. Land- und Forstwirtschaft am Kais. Gesundheitsamte. 3. Berlin.)
- HOLZER, HANS. 1929. Siehe JANKE, ALEXANDER. 1929.
- HULT, R. 1881. Försök till analytisk behandling av växtformationerna. (Medd. av soc. pro fauna et flora fenn. 8. Helsingfors.)
- HUNTEMÜLLER, OTTO. 1905. Vernichtung der Bakterien im Wasser durch Protozoen. (Arch. f. Hygiene. 54. München und Berlin.)
- HUTCHINSON, H. B. 1909. Siehe RUSSEL, E. J. 1909.
- ILVESSALO, YRJÖ. 1920 a. Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen, hauptsächlich auf den Arbeiten für die Aufstellung der neuen Ertrags tafeln Finnlands fussend. (Acta Forest. Fenn. 15. Helsinki.)
- 1920 b. Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. (Ibid.)
- 1922. Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen. (Ibid. 20.)
- 1923. Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes. (Ibid. 25.)
- JANKE, ALEXANDER und HOLZER, HANS. 1929. Über die Schimmelpilzflora des Erdbodens. (Zentralbl. f. Bakt. Abt. II, 79. Jena.)
- KARRER, J. L. 1919. Siehe MOORE, G. T. 1919.
- KISSLING, R. und FLEISCHER, M. 1891. Die Bodenluft in besandeten und nicht besandeten Hochmoor- und Niederungsmoorböden. (Landwirtschaftl. Jahrbücher. 20. Berlin.)
- KOFFMAN, M. 1931. De egentliga jordprotozoerna. Deras ställning till andra jordmikro-organismen och deras roll vid de mikrobiologiska processerna i jorden. (Meddelande Nr 391 från Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet. Bakteriologiska avdelningen Nr 55. Stockholm.)
- KOSSOWITSCH, P. 1894. Untersuchungen über die Frage, ob die Algen freien Stickstoff fixieren. (Botan. Zeitung. Abt. I. 52. Leipzig.)
- KÜHLMORGEN-HILL, G. 1928. Vergleichende Prüfung der Methoden zur Ermittlung der Keimzahl im Boden. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 74. Jena.)
- LAWRENCE, J. S. 1916. Siehe FORD, W. W. 1916.
- LEHMANN, K. B. und NEUMANN, R. O. 1927. Bakteriologie insbesondere bakteriologische Diagnostik. München.
- LINDAU, GUSTAV. 1914—1916. Kryptogamenflora für Anfänger. Bd. IV, 1, 2 und 3. Die Algen. Berlin.
- 1922. Kryptogamenflora für Anfänger. Die mikroskopischen Pilze. Berlin.
- LÖHNIS, F. 1910. Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie. Berlin.
- 1920. Landwirtschaftlich-bakteriologisches Praktikum. Berlin.
- 1926. Vorlesungen über landwirtschaftliche Bakteriologie. Berlin.
- LÖNNROTH, ERIK. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände, basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. (Acta Forest. Fenn. 30. Helsinki.)
- 1926. Die Waldtypen und die innere Bestandesentwicklung. (Deutsche Dendrologische Gesellschaft.)
- 1927. Zur Frage der Waldbetriebsregelung mit besonderer Berücksichtigung der Waldverhältnisse Finnlands. (Acta Forest. Fenn. 32. Helsinki.)

- LUNDEGÄRDH, HENRIK. 1930. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena.
- MC LENNAN, E. 1928. The growth of fungi in soil. (Ann. of Appl. Biology. 15. Cambridge.)
- MIGULA, W. 1913. Über die Tätigkeit der Bakterien im Waldboden. (Forstwiss. Centralbl. Berlin.)
- MOORE, G. T. and KARRER, J. L. 1919. A subterranean algal flora. (Ann. Missouri Bot. Garden 6.)
- MÜLLER, P. E. 1887. Studium über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin.
- MÜNTZ, A. et GAUDECHON, H. 1912. Le reveil de la terre. (Compt. rend de l'Académie des Sciences. 154. Paris.)
- NELLER, J. R. 1920. The oxidizing power of soil from limed and unlimed plots and its relation to other factors. (Soil Sci. 10. New Jersey.)
- NEUMANN, R. O. 1927. Siehe LEHMANN, K. B. 1927.
- NORRLIN, J. P. 1870. Beiträge zur Flora des südöstlichen Tavastlands. (Acta Forest. Fenn. 23. 1923. Helsinki.)
- 1871. Flora Kareliae onegensis I. Über die Vegetation von Onega-Karelien und die naturhistorische Grenze Finnlands sowie Skandinaviens im Osten. (Ibid.)
- NOYES, H. A. and CONNOR, S. D. 1919. Nitrates, nitrification and bacterial contents of five typical soils as affected by lime, fertilizer, crops and moisture. (Journ. of Agric. Res. 16. Washington.)
- PETERSEN, JOHANNES BOYE. 1915. Studier over danske aërofile Alger. (Det Kong. Danske Videnskabernes Selsk. Skrift. Naturv.- og Math. Afd. København.)
- PETERSEN, PAUL. 1870. Einfluss des Mergels auf die Bildung von Kohlensäure und Salpeter im Ackerboden. (Die landwirtschaftlichen Versuchstationen. Bd. 13. Berlin.)
- PORKKA, OSMO. 1931. Orientierende Versuche über den täglichen Gang der Bodenatmung. (Annales soc. zool.-bot. fenn. Vanamo. 15. Helsinki.)
- PURVIS, E. R. 1932. Siehe WAKSMAN, SELMAN A. and PURVIS, E. R. 1932.
- RABENHORST, L. 1887, 1896, 1907—1910. Kryptogamen-Flora. Leipzig.
- RAHN, OTTO. 1912. Die Bakterientätigkeit im Boden als Funktion von Korngrösse und Wassergehalt. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 35. Jena.)
- 1913. Die Bakterientätigkeit im Boden als Funktion der Nahrungskonzentration und der unlöslichen organischen Substanz. (Ibid. 38.)
- RIPPEL, AUGUST. 1933. Vorlesungen über Bodenmikrobiologie. Berlin.
- RITTER, G. A. 1912. Beiträge zur Kenntnis der niederen pflanzlichen Organismen, besonders der Bakterien, von Hoch- und Niederungsmooren, in floristischer, morphologischer und physiologischer Beziehung. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 34. Jena.)
- ROMELL, L. G. 1932. Über den Einfluss des Kahlschlages auf den Verlauf der biologischen Prozesse im Waldboden. (Forstl. Wochenschr. Silva. Tübingen.)
- RUSSEL, E. J. and HUTCHINSON, H. B. 1909. The effect of partial sterilization of soil on the production of plant food. (Journ. of Agric. Sci. 3. London.)
- SCHOENICHEN, WALTHER. 1933. Deutsche Waldbäume und Waldtypen. Jena.
- SCHÖNBRUNN, BRUNO. 1922. Über den zeitlichen Verlauf der Nitrifikation, unter beson-

- derer Berücksichtigung der Frage nach dem periodischen Einfluss der Jahreszeiten. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 56. Jena.)
- SMITH, R. E. 1912. Siehe BROWN, P. E. 1912.
- SÖHNGEN, N. L. 1913. Einfluss von Kolloiden auf mikrobiologische Prozesse. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 38. Jena.)
- STOKLASA, JULIUS. 1883. Pedologische Studien. Prag.
- »— 1899, 1900. Assimilieren die Alimitbakterien den Luftstickstoff? (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 5 u. 6. Jena.)
- STOKLASA, JULIUS und DOERELL, ERNST GUSTAV. 1926. Handbuch der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens. Berlin.
- STÄHLSTRÖM, AXEL. 1898. Saveamisen merkityksestä. (Suomen Suovijely-yhd. vuosik. Helsinki.)
- VAN SUCHTELEN, F. H. H. 1910. Über die Messung der Lebenstätigkeit der aërobiotischen Bakterien im Boden durch die Kohlensäureproduktion. (Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 28. Jena.)
- THORNTON, H. G. and GRAY, P. H. H. 1930. The fluctuations of bacterial numbers and nitrate content of field soils. (Proceeding of the Royal Society. B. Vol. 106. London.)
- TRAAEN, A. E. 1914. Untersuchungen über Bodenpilze aus Norwegen. (Nyt Magazin for Naturvidenskaberne. 52. Kristiania.)
- VALMARI, J. 1921. Beiträge zur chemischen Bodenanalyse. (Acta Forest. Fenn. 20. Helsinki.)
- VARGA, L. 1929. Siehe FEHÉR und VARGA 1929.
- »— 1933. Siehe FEHÉR 1933 c.
- VARTIOVAARA, UNTO. 1935. Maaperän sienten aineenvaihduntaa koskevia tutkimuksia. (Summ: Studies of the metabolism of soil fungi.) (Acta Agralia Fennica 32. Helsinki.)
- WAINIO, EDWARD. 1878. Kasvistosuhteista Pohjoissuomen ja Venäjänkarjalan raja-seuduilla. (Med. af. soc. pro F. et Fl. Fenn. 4. Helsingfors.)
- WAKSMAN, SELMAN A. 1916 a. Soil fungi and their activities. (Soil Sci. New Jersey.)
- »— 1916 b. Bakterial numbers in soils, at different depths and in different seasons of the year. (Ibid.)
- »— 1922 a. Microbiological analysis of soil as an index of soil fertility: II. Methods of study of numbers of microorganisms in the soil. (Ibid.)
- »— 1922 b. Microbiological analysis of soil as an index of soil fertility: III. Influence of fertilization upon numbers of microorganisms in the soil. (Ibid.)
- »— 1927. Methoden der mikrobiologischen Bodenforschung. (ANDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden XI. 3. Berlin und Wien.)
- »— 1930. Der gegenwärtige Stand der Bodenmikrobiologie und ihre Anwendung auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum. (Ibid. 10.)
- »— 1931. Principles of soil mikrobiology. London.
- WAKSMAN, SELMAN A. and PURVIS, E. R. 1932. The microbiological population of peat. (Soil Sci. 34. New Jersey.)
- WITTICH. 1930. Untersuchungen über den Einfluss des Kahlschlages auf den Bodenzustand. (Mitteil. Forstwirtschaft. u. Forstwiss. Berlin.)
- »— 1931. Wie wirken Durchforstung und Bodenentblössung auf die biologischen Vorgänge im Boden. (Deutsche Forstzeitung. Berlin.)

- WITTICH. 1933. Untersuchungen in Nordwestdeutschland über den Einfluss der Holzart auf den biologischen Zustand des Bodens. (Mitteil. Forstwirtschaft. u. Forstwiss. Berlin.)
- WOLFF, M. 1908. Der Einfluss der Bewässerung auf die Fauna der Ackerkrume mit besonderer Berücksichtigung der Bodenprotozoen. (Mitteil. des K. Wilhelm Inst. f. Landwirtschaft. in Bromberg. 1. — Ref. Centralbl. f. Bakt. Abt. II, 24. 1909.)

Tutkimuksia metsätyyppien maamikrobiologisista eroavaisuuksista.

Selostus.

Professori CAJANDERIN luoman metsätyyppiopin käytännöllisen ja teoreettisen merkityksen metsätaloudellemme ja metsätieteellemme ovat lukuisat kotimaassa ja ulkomailla suoritetut tutkimukset selvästi todistaneet. Tässä mainitsen erikoisesti vain Y. ILVESSALON ja LÖNNROTHIN tutkimukset, jotka ovat osoittaneet metsätyyppien soveltuvaisuuden taksatoorisia tarkoituksia varten. Eri metsätyyppien maaperän ominaisuuksia taas ovat tutkineet VALMARI ja AALTONEN. Vaikka samaltakin metsätyypiltä otetut maanäytteet eroavat kemiallisilta ominaisuuksiltaan sängen paljon, voidaan kemiallisen maa-analyysinkin avulla todeta määrättyjä eroavaisuuksia eri metsätyyppien välillä. Varsinkin AALTOSEN tutkimukset osoittavat, että eri metsätyyppien maassa tapahtuu suurin piirtein erilaisia biologisia prosesseja, jotka saattaisivat johtua mikrobiologisista eroavaisuuksista.

Unkarin valtionstipendiaattina vv. 1934—35 sain tilaisuuden tutkia muutamia tällaisia ominaisuuksia Suomesta otetuista maanäytteistä. Maanäytteitä otettiin Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen Ruotsinkylän kokeilualueesta viideltä metsätyypiltä ja kolmeen eri vuodenaikaan, nimittäin syys-, tammi- ja maaliskuussa. (Kanervatyyppejä edustavaa koealaa ei pidetty riittävän tyypillisenä ja tutkittiin se vain syyskuussa.) Näytteet lähetettiin postitse Unkariin, jossa tutkimukset suoritettiin professori FEHÉRIN johdolla Sopronin yliopiston kasvitieteellisellä laitoksella. Vaikka käsillä oleva tutkimus osaksi onkin orientoiva, ovat yhtenäiset tulokset antaneet aihetta niiden julkaisemiseen. Samalla korostettakoon jo tässä vastaisten laajempien tutkimusten tärkeyttä tällä meidän metsätieteellemme uudella ja toistaiseksi verraten vähän tunnetulla alalla.

Maabakteerien ja -sienten lukumääriä tutkituissa maanäytteissä osoittavat taulukko 1 ja kuva I. Kuten ensinnäkin huomataan, on bakteerimäärä tammikuussa pienempi kuin syyskuussa ja maaliskuussa vielä pienempi. Sienten (P) lukumäärässä ei huomata yhtä selvää periodia, mikä ainakin osaksi johtuu metodisesta vaikeudesta eksaktisesti määrätä sienien lukumäärä. Anaerobisia bakteereita näyttää talvella olevan suhteellisesti enemmän verrattuna aerobibakteerien määrään, talvella on siis maassa näitten toiminnalle edullisemmat olosuhteet. Eri metsätyyppien välillä voitiin todeta selviä mikrobiologisista eroja siten, että parempien metsätyyppien maaperässä on enemmän bakteereita ja sieniä kuin huonompien maassa.

Varsin mielenkiintoinen on myöskin nitrifisoivien ja denitrifisoivien bakteerien esiintyminen eri metsätyyppien maaperässä. Taulukosta 1 huomaamme ensinnäkin, että denitrifisoivien, siis nitraatteja pelkistävien bakteerien lukumäärä metsämaassa on monin verroin suurempi kuin nitrifisoivien, siis nitraatteja muodostavien bakteerien määrä. Näiden bakteerimäärien suhde (N/DN) kerrottuna sadalla on esitetty myös graafisesti kuvassa I. Ensinnäkin näemme, että tämä suhde on huomattavasti edulli-

sempi talvella kuin syksyllä ja edullisin maaliskuussa, jolloin kokonaisbakteerimäärä on pienin. Eri metsätyyppien välillä on hyvin selviä eroja siten, että tämä suhde on huomattavasti edullisempi paremmilla kuin huonommilla tyypeillä. Täten saanee ainakin osaksi selityksensä huonompien metsämaiden epäedullisempi typpitalous.

Mitä muihin n.s. fysiologisiin ryhmiin kuuluviin bakteereihin tulee, huomataan myöskin selluloosaa hajoittavia ja tyypeä sitovia bakteereita olevan enemmän kahden paremman metsätyypin maassa kuin kahden huonomman. Viimeksimainituista on mielenkiintoinen toteamus *Azotobacter croococcumin* esiintyminen kaikissa tutkituissa maanäytteissä.

Kuten tunnettua, voidaan maanhengitystä pitää hyvänä vertauskohtana arvosteltaessa maan mikrobiologista toimintaa. Maaperän mikroobien hengittämiä hiilidioksidimääriä on tietenkin ennen kaikkea tutkittava suoraan luonnossa, mutta hyvän vertauskohdan voivat myöskin laboratoriokokeet antaa. Tätä koskevat tutkimukset tehtiin maaliskuun maanäytteistä. Tulokset on esitetty kuvassa II, josta näemme, että mikroobien hengittämä hiilidioksidimäärä, maan mikroobipitoisuus ja maan vesipitoisuus ovat täysin paralelleja. Eri metsätyyppien välillä huomataan tässäkin hyvin selvät erot, maanhengityskoe on siis ollut omiaan tukemaan edellä esitettyjä väitteitä maan mikroobipitoisuuden eroavaisuuksista eri metsätyypeillä.

Viime aikoina on yhä enemmän huomattu, että maan fysikaalis-kemialliset ominaisuudet ovat yhtämittaisten vaihteluiden alaisia ja että näiden vaihteluiden aiheuttajina useimmiten on maabiologia ilmiöitä. Biologisten analyysien tukemiseksi määrättiin myöskin muutamia tällaisia tekijöitä, josta tulokset on esitetty taulukossa 2. Kuvassa III näemme rinnakkain esitettyinä toiselta puolen mineraalimaan humuspitoisuuden ja helpoliukoiset tärkeimmät ravintoainefaktorit ja toiselta puolen maan mikroobipitoisuuden. Näemme ensinnäkin, että humuspitoisuus on sitä suurempi, mitä parempi metsätyyppi on. Nitraattityppimäärät näyttävät vaihtelevan samaan suuntaan, vaikka erot eivät ole yhtä jyrkät. Sen sijaan eivät sitruunahappoon liukenevat kali- ja fosforimäärät näytä seuraavan samoja lakeja, päinvastoin näyttää valoisimmalla tyyppillä olevan näitä molempia eniten. Rinnakkain esitettyinä maan mikroobipitoisuuden kanssa antavat edellämainitut neljä tekijää valaisevan kuvan metsätyyppien maaperän ominaisuuksien eroavaisuuksista ja mikroobipitoisuuden merkityksestä tässä suhteessa. Todetut, varsin suuresti eroavat mikroobimäärät eri metsätyypeillä, näyttävät jälleen antavan uuden vahvistuksen CAJANDERIN metsätyyppiteorialle.

Taulukosta 3 näemme tutkituista maanäytteistä eristetyt bakteerilajit. Lajien lukumäärä eri tyypeillä oli seuraava: OMaT = 28, OMT = 22, MT = 24 ja VT = 25 lajia. Lajien lukumäärässä ei siis voitu todeta huomattavampaa eroa eri tyyppien välillä. Eri bakteerisukujen esiintymistä eri metsätyypeillä esittää taulukko 4. Tällöin laskettiin kaikkien agar-maljoista eristettyjen bakteerisukujen esiintymisrunsaus prosentteissa. Näyttää siis siltä, että erilaisissa maassa saattaa olla määrättyjä eroavaisuuksia myöskin niissä esiintyvien bakteerilajien suhteen.

Tutkituista maanäytteistä määrättyjä homesienilajeja esittää taulukko 5. Lajien lukumäärä eri metsätyypeillä oli seuraava: OMaT = 32, OMT = 32, MT = 20 ja VT = 24 lajia. Voimme siis todeta, että kaksi parempaa metsätyyppeä on huomattavasti lajirikkaampaa kuin kaksi huonompaa. Samoin toteamme taulukosta 6, että toisia sienisukuja esiintyy yksinomaan tai huomattavasti enemmän paremmissa, toisia taas huonommissa maassa. Joskin käsillä oleva tutkimus osaksi on orientoivaa laatua, näyttää siltä, että, samoin kuin metsämaiden maanpäälliset kasviyh-

dyskunnat muuttuvat kasvilajikokoomukseltaan, samoin muuttuu maanalainen kasvisto omien lakiensa mukaan suhteelliselta lajikokoomukseltaan.

Tässä on samalla kuitenkin korostettava, että nykyisten käytännössä olevien kasvatusten menetelmien avulla ei vielä voida käsitellä läheskään kaikkia bakteeri- ja sienilajeja. Kun siis kiinnitetään huomiota vain asianomaisilla menetelmillä todettuihin lajeihin, saattaa meiltä toiselta puolen jäädä tutkimatta luonnossa ehkä hyvinkin tärkeitä lajeja, jotka eivät menesty keinollisilla ravintoainella. Vasta kehitettyämme menetelmiämme niin pitkälle, että y h d e l l ä k e r t a a saamme käsityksen k a i k i s t a maassa esiintyvistä mikroobeista, voimme esittää luotettavia lukuja eri mikroobilajien suhteellisesta runsaudesta.

Mikroskooppisten levien lukumäärää tutkituissa maanäytteissä esittää taulukko 7. Niiden runsauteen vaikuttavat todennäköisesti myöskin muut seikat kuin maanlaatu, joista seikoista valolla näyttää olevan tärkeä merkitys. Tiheimmän metsän alla on maalevien lukumäärä pienin ja verrattain aukealla CT:n kankaalla taas suurin. Varsin mielenkiintoinen on levälajien runsaus eri metsätyyppien maassa. Tutkituissa maanäytteissä todettiin tämä seuraavaksi: OMaT = 26, OMT = 18, MT = 8, VT = 6 ja CT = vain 5 lajia. Tulokset näyttävät siis, että eri metsätyyppien maissa saattaa olla huomattavia eroavaisuuksia myöskin niissä esiintyvien mikroskooppisten levien lajirunsauden suhteen.

Mitä lopuksi tulee n.s. alkueläimiin eli protozoeihin, suoritettiin niiden esiintymisestä vain alustavia tutkimuksia. Näiden mikro-organismien merkityksestä maassa eivät vielä eri tiedemiehet ole yksimielisiä; toisten pitäessä niitä hyvinkin tärkeinä tekijöinä maan biologiassa kieltävät toiset tiedemiehet kokonaan niiden merkityksen. Tutkituissa maanäytteissä todettiin alkueläimiä esiintyneen ainakin 10 000 kpl grammaa kohti maata kaikissa kokeissa; tarkempia analyysejä ei ajan puutteen vuoksi voitu suorittaa. 15 eri alkueläinlajia voitiin tutkimusten yhteydessä määrätä.

Laajakantoiset, kuuluisain tiedemiesten suorittamat tutkimukset maabiologian eri aloilla osoittavat, että myöskin levillä ja protozoeilla saattaa olla hyvinkin huomattava merkitys metsämaan biologiassa ja yleensä aineen kiertokulussa. Näidenkin eliöiden lähempi tutkiminen ja systemaattinen selvittely on siis oleva vastaisten tutkimusten päämääränä.

Mikrobiologisen maa-analysin tärkeys ilmenee ennen kaikkea sen perustavassa merkityksessä tieteelle. Sehän ei ilmaise meille ainoastaan mitä maassa on, vaan myöskin mitä siinä tapahtuu. Biologiin tutkimuksiin soveltuu metsämaa erikoisen hyvin. Kun maataloudessa voimme pienillä koeruuduilla työskennellen ja olosuhteita mielin määrin muuttamalla lyhyessä ajassa päästä selville edullisimmista satomahdollisuuksista, on metsätaloudessa maan hyvyyden arvostelu paljon vaikeampaa. Ennenkaikkea kiinnostavat meitä orgaanisten jätteiden hajoamiseen liittyvät kysymykset. Tiedämmehän, että elleivät maan mikro-organismit niille epäsuotuisten olosuhteiden takia pysty suorittamaan tehtäviään, muodostuu raakahumusta, jolla, samalla kuin sen kautta sitoutuu tuottamattomiksi arvokkaita ravintoaineita, muutenkin monella tavoin on haitallinen vaikutus metsämaan ominaisuuksiin. Monet metsän käsittelytavoista johtuvat muutokset metsämaassa voidaan selittää maabiologisina ilmiöinä. Aiheita arvokkaisiin tutkimuksiin tuntuu olevan miltei loppumattomiin. Sellaisia ovat muutamia esimerkkejä vain mainitakseni monet soistumisilmiöt samoin kuin ojituksen aiheuttamat muutokset ja kaikki humuskerroksen laatuun ja sen hajaantumisnopeuteen liittyvät kysymykset.

Korostettakoon tässä lopuksi, että tämän toistaiseksi vielä nuoren tieteenhaaran ei välttämättä heti tarvitse johtaa suoraan käytännössä sovellettaviin tuloksiin. Luonnossahan esiintyy vielä lukuisasti kysymyksiä, joiden suhteen ensiksi on selviteltävä puhtaasti teoreettisia näkökohtia. Voidaksemme kerran parantaa metsämaan epäedullisia ominaisuuksia on meidän syytä perehtyä tarkemmin maassa tapahtuviin monimutkaisiin prosesseihin. Nykyaikaisen maamikrobiologian saavutukset tarjoavat jo vankan pohjan kotimaisille, erikoisiin olosuhteisiimme sovelletuille biologisille maatutkimuksille.