

DIE BIOLOGIE
DES WALDBODENS UND IHRE
PHYSIOLOGISCHE BEDEUTUNG
IM LEBEN DES WALDES

VON

PROF. DR. D. FEHÉR

BOT. INST. DER KÖN. UNG. HOCHSCHULE FÜR BERG-
UND FORSTINGENIEURE IN SOPRON, UNGARN

EINLEITUNG.

Das Problem der forstwissenschaftlichen Mehrproduktion, die Frage der wissentlichen und bewussten Regelung des Forstbetriebes gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die klugen Worte, die HARTIG schon im Jahre 1878 in dem Vorworte seines berühmten Buches »Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen« mit weitblickendem Scharfsinn ausgesprochen hat, kommen immer mehr zur Geltung. Es gelten heute noch mehr, wie je zuvor, seine Grundsätze:

»Grundlage und Stütze des rationellen Betriebes aller produzierenden Gewerbe ist die Bekanntschaft mit den Bedingungen des Lebens und des Gedeihens, mit den Vorgängen des Entstehens und der Fortpflanzung, der Ernährung und des Wachstums, der Reproduktion und der Krankheitserscheinungen, ist die physiologische Erkenntnis der Lebenserscheinungen, besonders derjenigen lebenden Wesen, die Gegenstand der Pflanzen- und der Tierzucht sind.»

»Die für den Waldbau zur Zeit bestehenden Lehrsätze sind grösstenteils Ergebnis der Praxis des Forstwirtschaftsbetriebes; sie lehren uns, wie wir säen und pflanzen, wie wir das Erzogene beschützen und benutzen müssen, um erfahrungsmässig einen guten Erfolg gewärtig sein zu dürfen. Allein diese Erfahrungssätze, aus denen der heutige Forstwirtschaftsbetrieb sich aufgebaut hat, haften an der Scholle, von der sie erhoben wurden, sie lassen uns im Stich unter anderen, noch nicht erprobten Standorts-, Bestandes- und Verbrauchsverhältnissen, sie gewähren nie die Sicherheit, dass eine Betriebsbehandlung unbedingt die Beste ist, dass dem erfahrungsmässig guten Erfolge nicht ein noch unbekannter besserer oder bester Erfolg zur Seite steht. Grössere Sicherheit bester Erfolge forstwirtschaftlicher Handlungsweise kann allein entspringen der Bekanntschaft mit den Lebenserscheinungen unserer Zöglinge (Biologie), die ihrerseits sich gründet auf die Bekanntschaft mit dem Bestande (Chemie) und mit dem Baue (Anatomie, Histologie) der Werkstätten, in und durch welche die Lebenstätigkeit sich vollzieht, wie die Werkstätigkeit einer Uhr nur erkannt werden kann aus Bestand und Bau ihres Räder-, Feder- und Kettenwerkes.»

Zur Lösung dieser Fragen gehört aber in erster Linie die exakt chemisch-physikalische Erforschung der physiologischen Gesetzmässigkeiten des Lebens der Waldbäume in ihrer Wechselwirkung mit der chemischen Zusammensetzung und mit den biologischen und physikalischen Eigenschaften des Waldbodens.

Die sichere und einwandfreie Erforschung der physiologischen Gesetzmässigkeiten des Waldbodens kann aber erst dann in Angriff genommen werden, wenn das Problem der biochemischen Lebensvorgänge des Waldbodens restlos und befriedigend gelöst wird.

Jene wichtigen Problemkomplexe, deren Kenntnis und einwandfreie Untersuchung bei der Lösung dieser überaus wichtigen theoretischen und forstwirtschaftlichen Fragen nach dem neuen Stande der physiologischen Forschung in erster Linie in Betracht kommen, sind die folgenden: 1. Die Kohlenstoffernährung des Waldes und der Kreislauf der Kohlensäure in dem Waldleben. 2. Die biologische Rolle des Lichtes bei den physiologischen Vorgängen des Waldlebens. 3. Die Biologie des Waldbodens, die Mikroflora und -fauna des Waldbodens, und die Rolle derselben bei der Humusbildung und bei der Entstehung der Nährstoffe des Bodens. 4. Die biologische Rolle der Bodenazidität im Leben des Waldes und die Ermittlung der Wirkung der chemischen Zusammensetzung des Waldbodens. 5. Die Rolle der klimatischen Wachstumsfaktoren. 6. Der Zusammenhang der oben angeführten Faktoren. 7. Der kausale Zusammenhang der praktischen waldbaulichen Massnahmen mit den biologischen Faktoren des Waldlebens und dessen Ausnützung zur Steigerung des Wachstums der Bäume.

Entsprechend dieser Fragestellung wurden nun in unserem Institute seit 1923 zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die zum grössten Teil noch heute im Gange sind.

Im Laufe dieser Untersuchungen waren wir bemüht, unsere Probleme in ihrem allseitigen Zusammenhange und ihrer kausalen Abhängigkeit möglichst im Laufe von längeren Beobachtungsperioden zu untersuchen. Die Detailuntersuchungen können nämlich kein zusammenhängendes Bild zeigen und keine allgemein gültigen Gesetz-

mässigkeiten ergeben. Nur die zusammenfassende Untersuchung aller wichtigen Lebensfaktoren in ihren wechselseitigen Beziehungen durch lange Beobachtungsperioden kann hier Aufklärung und intensiven Einblick in die komplizierten Lebensvorgänge des Waldbodens geben.

Dass hier Massenuntersuchungen notwendig sind, liegt klar auf der Hand und es hat eine geraume Zeit gedauert, bis es uns gelungen ist, unser Institut derart auszugestalten, dass es heute der Lösung dieser mannigfaltigen Aufgaben wirklich gewachsen ist.

Unsere bisherigen Untersuchungen wurden in drei Richtungen durchgeführt:

- I. Die Untersuchung der Mikroflora und Mikrofauna des Waldbodens.
- II. Die Erforschung der Kohlenstoffernährung des Waldes in ihrem Zusammenhange mit der Mikrobentätigkeit des Waldbodens einerseits und den beeinflussenden Standortsfaktoren anderseits.
- III. Die Untersuchung des N-Stoffwechsels des Waldbodens.

I. DIE MIKROFLORA DES WALDBODENS.

Die ersten diesbezüglichen Untersuchungen wurden von dem früheren Assistenten, derzeitigen Adjunkten am Institut, Forstingenieur R. BOKOR durchgeführt (I), der für diese Massenuntersuchungen eine recht brauchbare Methode ausgearbeitet hat, die das elektive Verfahren und die Verdünnungsmethoden zweckentsprechend vereinigt.

Dabei wurden bestimmt:

1. Die Gesamtzahl der Bodenbakterien, wobei die Resultate der Gelatine- und Agarplatten, bei den letzteren die aeroben und anaeroben getrennt, zusammengezählt wurden.
2. Die wichtigsten physiologischen Gruppen der Bodenbakterien nach dem kombinierten elektiven und Verdünnungsverfahren.
3. Einige wichtige biochemische Eigenschaften des Bodens:

TABELLE 1. Ergebnisse der Keimzahlen pro Gramm

Bezeichnung der Versuchsflächen		I.	I. a.	II.	III.
1	Reaktion des Bodens	sauer	sauer	sauer	mässig sauer
2	Austauschazidität in ph....	4.8	4.8	4.8	5.6
3	Aktive Azidität in ph. ...	6.0	6.0	4.2	6.6
4	Wassergehalt in % der feuchten Erde	13.5	12.5	19.5	9.0
5	Humusgehalt in %	4.0	3.1	2.2	2.8
6	Gehalt an kohlensaurem Kalk in %	0	0	0	0
7	Porosität in Volum % ...	49.8	—	47.0	51.3
8	Abs. Wasserkapazität in Volum %	28.8	—	33.3	33.2
9	Abs. Luftkapazität in Volum %	21.0	—	13.7	17.1
10	Auf Agarplatte wachsend	4 500 000	1 500 000	3 100 000	2 100 000
11	Auf Gelatinepl. gedeihend	1 200 000	400 000	500 000	950 000
12	Anaerob in Zuckeragar hoher Schicht gedeihend .	1 000 000	1 300 000	200 000	400 000
13	Aerobe stickstoffbindende Bakterien	0.1	0.1	0	10
14	Anaerobe stickstoffbindende Bakterien	10 000	10 000	0	10 000
15	Nitrifizierende Bakterien .	1 000	10 000	100	1
16	Denitrifizierende Bakterien	10 000	10 000	10 000	1 000
17	Anaerobe Zellulosevergärer	10	1 000	10	1 000
18	Aerobe Zellulosevergärer .	1 000	1 000	6 000	100
19	Eiweisszersetzer	120 000	10 000	100 000	10 000
20	Aerobe Pektinvergärer ...	100	100 000	1 000	10 000
21	Anaerobe Pektinvergärer .	1 000	100 000	10 000	1 000
22	Harnstoffvergärer	100 000	100 000	10 000	10 000
23	Anaerobe Buttersäurebazillen	100 000	10 000	20 000	10 000

- a) die ph-Werte, bestimmt mit dem Kolorimeter von Michaelis, (I).
 b) der Wassergehalt, (I).
 c) der Humusgehalt, (I).
 d) der CaCO₃-Gehalt, (I).

bakteriologischen Untersuchung feuchter Erde.

IV.	V.	VI.	VIII.	X.	XV.	XVI.	XVIII.
mässig sauer	sauer	alkalisch	sauer	neutral	sauer	sauer	sauer
5.6	4.2	7.5	4.3	6.8	4.9	4.8	4.4
6.6	6.2	7.0	6.4	6.8	6.4	6.2	6.8
10.2	15.8	13.6	10.5	13.8	11.5	20.8	24.0
—	0.9	6.5	2.3	11.3	1.8	0	—
0	0	15.5	0	0.7	0	0	0
44.6	42.0	43.0	46.9	42.2	61.6	—	48.9
35.3	30.0	36.1	29.2	36.1	30.7	—	20.3
9.3	12.0	6.9	17.7	6.1	30.9	—	28.6
3 150 000	300 000	800 000	600 000	2 500 000	350 000	1 000 000	38 0000
1 000 000	50 000	150 000	500 000	2 000 000	200 000	600 000	6 0000
1 540 000	200 000	10 000	200 000	900 000	90 000	600 000	35 000
10	0	100	0	10	0.1	0	0
100 000	0	0	0	10 000	1 000	10 000	0
10 000	100	1 000	1 000	100	1 000	100	0
10 000	1 000	1 000	100	0	10 000	1 000	0
100 000	1 000	50	100	10 000	1 000	1 000	100
100	1 000	3 000	4 000	5 000	14 000	1 000	0
100 000	10 000	10 000	25 000	1 000	100	10 000	10 000
1 000	1 000	10 000	50 000	0	10 000	10 000	10
100 000	10 000	10 000	10 000	100 000	5 000	10 000	100
190 000	50 000	100 000	10 000	100 000	100 000	200 000	0
200 000	10 000	10 000	1 000	200 000	10 000	10 000	1 000

- e) die Porosität, (I).
 f) die abs. Wasserkapazität (I). und aus diesen Werten wurde
 g) die Luftkapazität bestimmt.

Die Resultate zeigt Tabelle I.

TABELLE 2.
Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung des I/a Bodenprofils.
Keimzahlen pro Gramm feuchter Erde.

Nr.	Spaltpilzgruppen	Tiefe				
		2-5 cm	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm
1	Reaktion des Bodens	sauer	sauer	sauer	sauer	sauer
2	Austauschazidität in ph	4.8	4.6	4.8	4.9	5.0
3	Humusgehalt %	3.1	1.0	0.4	0	0
4	Auf Agarplatte wachsend	2 500 000	1 500 000	800 000	500 000	60 000
5	Auf Gelatineplatte gedeihend	1 000 000	900 000	650 000	90 000	40 000
6	Zuckeragar hoher Schicht gedeihend	1 300 000	1 800 000	2 000 000	900 000	100 000
7	Aerob stickstoffbindende Bakterien	0	0	0	0	0
8	Anaerob stickstoffbindende Bakterien	10 000	1 000	1 000	100	0
9	Nitrifizierende Bakterien	10 000	1 000	1 000	0	0
10	Denitrifizierende Bakterien	10 000	10 000	10 000	100	0.1
11	Anaerob Zellulosevergärer	1 000	1 000	1 000	100 000	0.5
12	Aerob Zellulosevergärer	1 000	1 000	100	0	0
13	Eiweisszersetzer	10 000	1 000	0	0	0
14	Aerob Pektinvergärer	100 000	10 000	10 000	0	0
15	Anaerob Pektinvergärer	100 000	10 000	100 000	100 000	1 000
16	Harnstoffvergärer	100 000	10 000	1 000	100	0
17	Anaerob Buttersäurebazillen	10 000	100 000	1 000 000	100 000	10 000

Es wurde ausserdem auf der Versuchsfläche I a auch die Tiefenverteilung der Bakterien bestimmt. Tabelle II.

Die wichtigsten Resultate dieser Arbeit sind die folgenden:

1. Die Bakterienflora des Waldbodens bleibt rein zahlenmässig hinter dem Bakteriengehalt der gedüngten landwirtschaftlich benutzten Böden bedeutend zurück. Es macht sich jedoch dieser Unterschied bei den einzelnen Bakterienarten nicht so deutlich bemerkbar.

2. Die Gesamtzahl der Bodenbakterien hängt hauptsächlich von der Reaktion, bezw. von dem ph der Böden ab. Bei gleichen ph-Werten wächst die Bakterienzahl proportionell dem Gehalt an organischem Material, bezw. dem Humusgehalt und der Luftkapazität.

3. Die den freien Luftstickstoff bindenden Bakterien vertragen in den Waldböden grössere Azidität, bezw. viel niedrigere ph-Werte, als in den landwirtschaftlich bebauten Böden.

4. Nach der Zusammensetzung der Waldbestände zeigt die Anzahl der Bakterien folgende steigende Reihe:

Reine Nadelholzwälder < reine Laubholzwälder < mit Laubbölkern vermischte Nadelholzwälder.

Dieser Umstand ist nach unseren Beobachtungen wahrscheinlich auf den gleichfalls steigenden Humusgehalt und auf die steigende Luftkapazität der genannten Waldtypen zurückzuführen.

5. Die Böden der vollkommen geschlossenen Bestände zeigen die niedrigsten Werte von ph, bezw. die höchste Bodenazidität und die kleinste Bakterienzahl. Die Lichtung des Kronendaches bis zum Bestandesschluss von 0.8 übt einen guten Einfluss auf die Entwicklung der Bakterienflora aus. Schwacher Bestandesschluss 0.7—0.4 und die damit zusammenhängende hohe Lichtintensität vermindert die Bakterienzahl, wenn durch die gut entwickelte Pflanzendecke des Bodens, die ja bei grösseren Lichtmengen üppiger gedeiht, dieser schädliche Einfluss des Lichtes nicht paralysiert wird.

6. Unter gleichen physiologischen Verhältnissen wird die Gesamtzahl der Bakterien von dem prozentuellen Anteil der Bodenpartikeln von 0.01 mm Durchmesser abwärts mittelbar beeinflusst. Beim Anwachsen der Zahl derselben sinkt die Anzahl der Bakterien und

ausserdem begünstigt ihr Überwiegen das Wachstum der anaeroben Bakterien und somit indirekt die Erhöhung der Azidität des Waldbodens.

7. Die Zahl der anaeroben pektin- und zellulosezersetzenden Bakterien steht im umgekehrten Verhältnis zu der absoluten Luftkapazität des Bodens.

8. Die Anzahl der nitrifizierenden Bakterien im Waldboden ist wahrscheinlich infolge der sauren Bodenreaktion meist sehr gering und wird von der Menge der denitrifizierenden Bakterien gewöhnlich weit aus übertroffen.

9. Im Waldboden geht bis zu einer Tiefe von 50—60 cm ein sehr intensives Bakterienleben vor sich, es sollten daher bei künftigen bodenbakteriologischen Untersuchungen die in der fraglichen Tiefe liegenden Bodenschichten möglichst berücksichtigt werden.

I a.) DIE MIKROFAUNA DES WALDBODENS.

Zu diesem Behufe wurde zuerst von uns die generelle Untersuchung der Protozoen-Fauna des Waldbodens in Angriff genommen. Ich habe diese Untersuchungen in Gemeinschaft mit Herrn Prof. L. WARGA auf unseren ständigen mikrobiologischen Versuchsflächen durchgeführt. Die Versuchsflächen dieser Untersuchungen waren die folgenden:

1) FICHTENWALD IM BOTANISCHEN GARTEN DER HOCHSCHULE.

Versuchsfläche I.

Alter 50 Jahre, Lehmboden, mit reichlichen Bodenpflanzen.

Bodenpflanzen: *Ligustrum vulgare* L., *Sambucus nigra* L., *Berberis vulgaris* L. zerstreut, dann *Hedera helix* L., *Rubus idaeus* L., *Galeopsis pubescens* Bess., *Viola silvestris* Lam., *Lysimachia nummularia* L., *Brachypodium sylvaticum* (Huds) R. et Sch., *Ajuga reptans* L., *Fragaria vesca* L., *Epilobium montanum* L., *Convallaria majalis* L., *Mnium undulatum* (L) Neck., *Fissidens taxifolius*.

Kurze Beschreibung der untersuchten Versuchsflächen.

Nummer der Versuchsfläche	Holzart und Bestandesform	Alter und Bestandesabschluss	Boden, Geologische Schicht, Exposition, Neigung, Meereshöhe	Unterwuchs Streudecke
I. und I a.	Fichte 0.5, Lärche 0.1, Schwarzkiefer 0.1 Gruppenweise Laubhölzer 0.3 Hochwald	22 jährig geschlossen	Tiefer Tonboden auf Schotter SW, 20° 360—400 m	Unberührte Streudecke ohne Vegetation
II.	Fichte 0.4 Tanne 0.3 Weissbuche 0.3 Früher Sprosswald	4 jährig mit Stockaus schlägen	Frischer, mit Sand gemischter Tonboden. Nördlich: Schotter, Südlich: Gneis, Schiefer NO 30° 360 m	Üppige Grasdecke und Bodenpflanzen
III.	Weissbuche 0.9 Birke 0.1 Einige Pappeln Sprosswald	50 jährig geschlossen bis 0.8	Frischer, mit Sand gemischter Tonboden, Schotter W 10° 360-380 m	Unberührte Streudecke ohne Vegetation
IV.	Fichte 0.6 Lärche 0.2 Weissbuche 0.2 Hochwald	25 jährig geschlossen	Tiefer, sandiger, humöser Tonboden. Schotter W. 10° 320-340m	Ohne Streudecke und Vegetation
V.	Fichte 1.0 zerstreut einige Eschen u. Ahorn	48 jährig 0.7	Tiefer sandiger Tonboden NW. 0° 150 m	Wenig Streudecke und üppige Bodenvegetation
VI.	Akazie Weidewald	20 jährig 0.3	Tiefer, schotteriger Ton auf Kalkgestein	Graswuchs
VIII.	Zerreiche 0.4 Traubeneiche 0.2 Weissbuche 0.4 Sprosswald	30 jährig 0.8	Trockener, sandiger Ton auf Kalkgestein. NO 10° 300 m	Reichlich Bodenpflanzen und Graswuchs
X.	Fichte 0.7 Lärche 0.3 Hochwald	47 jährig geschlossen	Tiefer Tonboden Gneis 00° 250 m	Dicke Streudecke ohne Vegetation
XV.	Weissbuche Sprosswald	50 jährig 0.9	Frischer, tiefersandiger Tonboden. Gneis. 0 15 260 m	Streudecke mit wenig Gras und Bodenpflanzen
XVI.	Weissbuche 0.6 Buche 0.4 Sprosswald	42 jährig 0.9	Tiefer Sandboden auf Sandstein	Lockere Streudecke, spärlicher Graswuchs
XVIII.	Kiefer mit kümmerlichem Wuchs	10 jährig 0.2	Schotter über Sericit. NW 45° 200 m	Calluna-Vegetation

2) FICHTENWALD BEI SOPRON AM VARIS.

Versuchsfläche II.

Alter 49 Jahre. Lehmboden auf Gneis. Höhe 250—260 m ü.d.M. Besteht aus 0.7 Fichte (*Picea excelsa*) Lam et Dc (Lk), 0.3 Lärche (*Larix decidua* Mill.). In der Nähe unseres Arbeitsplatzes haben wir folgende Moose gefunden: *Scleropodium purum* (L) Limbr., *Mnium undulatum* (L) Neck., *Mnium punctatum* (L) Reich.

Bei dieser Versuchsparzelle haben wir wegen Zeitmangel nur die Bodenprotozoen und die wichtigsten Klimafaktoren gemessen.

3) FICHTENWALD IN ÁGFALVA, FORSTVERWALTUNG DER HOCHSCHULE.

Versuchsfläche V.

Betriebsklasse J. Glied I. Waldparzelle 12. Standortsklasse II. Höhe 400 m. ü.d.M. Frischer, sandiger Lehmboden auf Schotter. Alter 24 Jahre. Bestandesschluss 1.0. Besteht aus 0.5 Fichte (*Picea excelsa*) Lam et Dc (Lk), 0.1 Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arn.), 0.1 Lärche (*Larix decidua* Mill.), 0.3 Weissbuche (*Carpinus betulus* L.) und Pappel (*Populus tremula* L.).

Bodenpflanzen: *Corylus avellana* L., *Cyclamen europaeum* L., *Brachypodium vaticum* (Huds) R. et Sch., *Viola silvestris* Lam., *Convallaria majalis* L. und Moose.

4. UNTERBAUTER NIEDERWALD BEI ÁGFALVA, FORSTVERWALTUNG DER HOCHSCHULE.

Versuchsfläche VII.

Betriebsklasse H. Glied II. Waldparzelle 22. Standortsklasse II. Fläche 1 kat. Joch. Alter 7 Jahre. Alter 360 m.ü.d.M. Frischer, sandiger Lehmboden, Untergrund im nördlichen Teil Schotter, im südlichen Teil Schiefer und Gneis. Besteht aus 0.5 Fichte (*Picea excelsa*) Lam et Dc (Lk), 0.3 Tanne (*Abies alba* Mill.) und Lärche (*Larix decidua* Mill.). Den Niederwald bilden 0.2 Sprossen von *Carpinus betulus*, zerstreut einige *Castanea sativa* Mill. und *Fagus sylvatica* L.

Bodenpflanzen: *Corylus avellana* L., *Genista germanica* L., *Genista pilosa* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Luzula nemorosa* (Pohl) E. Mey., *Festuca ovina* L., *Calamagrostis epigeios* (L) Roh, *Convallaria majalis* L., *Galium silvaticum* L., *Fragaria vesca* L., *Campanula persicifolia* L., *Campanula glomerata* L., *Melampyrum pratense* L., *Melampyrum nemorosum* L., *Peltigera canina*.

Bei der Untersuchung der Bodenfauna haben wir folgende Faktoren beachtet:

1. *Die Bodenprotozoen*, deren Untersuchung bekanntlich noch mit ziemlich bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft ist. Sie leben ja eng verbunden mit den Bodenteilchen. Es ist daher äusserst schwierig, sie auf den Beobachtungstisch des Mikroskopes zu bringen. Bei der direkten Beobachtung nämlich bietet meistens der Umstand die grösste Schwierigkeit, dass die geringsten physikalischen und chemischen Änderungen, die ja bei der direkten Beobachtung sich nicht vermeiden lassen, sehr rasch ihr Absterben herbeiführen. Und falls sie nicht absterben, so vollziehen sie sehr rasch den bekannten Encystierungsprozess, wodurch sie und ihre Lebensvorgänge der direkten Beobachtung wieder ziemlich rasch entzogen werden.

Wir haben nach kritischer und praktischer Prüfung der Frage die Verdünnungsmethode als unserem Zwecke am besten entsprechendes Verfahren gewählt. Dieses Verfahren, welches namentlich von CUTLER sehr gut ausgearbeitet wurde, ist in der Literatur allgemein bekannt (II) (III).

Zwecks Entnahme der Protozoen haben wir im Walde nach Entfernung der Bodendecke die Erdproben aus verschiedenen Teilen gesammelt, vorsichtig durchgemischt und in sterilen Gläsern in das Laboratorium gebracht. Von dieser Erde haben wir ein bestimmtes Quantum in sterilem destilliertem Wasser sukzessive der Verdünnung unterworfen, nachdem die Probe mit einem 3 mm — Siebe erst vorsichtig durchgeseiht war. Dass hier vorsichtig und steril gearbeitet wurde, braucht vielleicht nicht besonders erwähnt werden.

Von der so behandelten Probe haben wir 10 Gramm unmittelbar der Verdünnung unterworfen, ein anderes Quantum von der gleichen Gewichtsmenge hatten wir eine Nacht lang mit 2 %-iger Salzsäure behandelt. Die erste Probe gibt bekanntlich die Gesamtzahl der Bodenprotozoen, die zweite die Zahl der Cysten. Der Unterschied der beiden Resultate ergibt die Anzahl der aktiven Protozoen.

Die Reinzucht erfolgte in Petri-Schalen auf Nähragar, die 21 Tage lang in Thermostaten durch elektrische Heizung und Regulation auf 22° C gehalten wurden. Die Ablesungen erfolgten alle 7, 14 und 21 Tage und zwar direkt unter Mikroskop bei 1,000-facher Vergrösserung.

Natürlich sind wir uns vollkommen bewusst, dass das Verfahren von CUTLER keinen Anspruch auf Vollkommenheit erheben kann, da es viele Mängel hat. So ist zum Beispiel der verwendete Nährboden sicherlich nicht für alle Arten gleichmäßig günstig und ausserdem ist es ja auch nicht sicher, dass alle Cysten gegen die 2 %-ige HCL unbedingt resistent sind. Aber trotz dieser mehrfachen Bedenken haben wir mangels einer besseren Methode diese gewählt, da sie dem Zwecke unserer Massenuntersuchungen doch am besten entsprochen hat. Wir wollten auch die bereits begonnenen Untersuchungen nicht durch Übergang zu einer anderen Methode komplizieren, um möglichst in den gleichen Fehlergrenzen bleiben zu können.

Bei den weiteren Untersuchungen, die wir noch auszuführen beabsichtigen, werden wir wahrscheinlich diese Methode etwas abändern oder mindestens ergänzen. Unsere bisherigen Resultate sind aber ausnahmslos nach dieser Methode ermittelt worden.

Die in den Tabellen mitgeteilten Protozoen-Zahlen beziehen sich daher ohne Unterschied auf ein Gramm feuchter Erde.

Weiter haben wir noch folgende organische und unorganische Faktoren quantitativ gemessen:

2. Die Gesamtzahl der Bodenbakterien, wobei die Resultate der Gelatine- und Agarplatten, bei der letzteren die aeroben und anaeroben getrennt, zusammengezählt wurden (I).

3. Die Bodenpilze wurden nach der Methode von WAKSMAN bestimmt (IV).

4. Die ph-Werte wurden elektrometrisch nach der Methode und mit der Apparatur von MISLOWITZER ermittelt (V).

5. Die Lufttemperatur und Bodentemperatur an der Oberfläche.

6. Der Barometerdruck und

7. Die Luftfeuchtigkeit wurden mit geeichten Registrierapparaten gemessen.

8. Die Lichtintensität wurde mit einem Photometer nach EDER-HECHT gemessen und die Prozente der Lichtintensität im Walde nach BUNSEN-ROSCOE-Einheiten berechnet. Die Lichtintensität im Freien

TABELLE 3.
Übersichtstabelle der Protozoenuntersuchungen.

Nr.		Fichtenwald am Váris	Fichtenwald an d. Hochschule	Fichtenwald bei Ágfalva	Niederwald bei Ágfalva	
	Beobachtungszeit	1. XI. 1927-30. X. 1928	1. XI. 1927-30. X. 1928	1. XI. 1927-30. X. 1928	1. XI. 1927-30. X. 1928	
1	Protozoen	Zusammen	6 250	7 275	9 042	5 372
2		Cysten	2 438	4 000	3 885	3 041
3		Aktiv	4 357	3 930	5 227	3 525
4	Bakterien	Aerob	—	4 825 000	4 971 666	5 786 710
5		Anaerob	—	877 000	1 072 727	870 000
6		Zusammen	—	5 687 300	6 178 363	6 654 375
7		Zahl der Pilze	—	261 530	260 000	169 166
8		Lufttemperatur	12.18	12.18	12.18	12.18
9		Bodentemperatur	9.22	9.22	9.22	9.22
10		Ph.	—	6.24	6.12	5.73
11		Humusgehalt	—	1.67	2.81	2.68
12		Niederschläge	47.3	47.3	47.3	47.3
13		Lichtintensität im Freien	52.4	52.4	52.4	52.4
14		Lichtintensität im Walde	17.82	17.82	17.82	—
15		Lichtintensität im Walde in % des Freilandlichtes	15.30	15.30	15.30	—
16		Rel. Feuchtigkeit	75.22	75.22	75.22	75.22

und im Walde wurde einfach mit den Skalenteilen des Photometers registriert, wobei die Beobachtungszeit grundsätzlich immer eine Minute war. Aus diesen Daten konnte die Lichtintensität nach den Abbildungen jederzeit ebenfalls in BUNSEN-ROSCOE-Einheiten berechnet und ausgedrückt werden (VI).

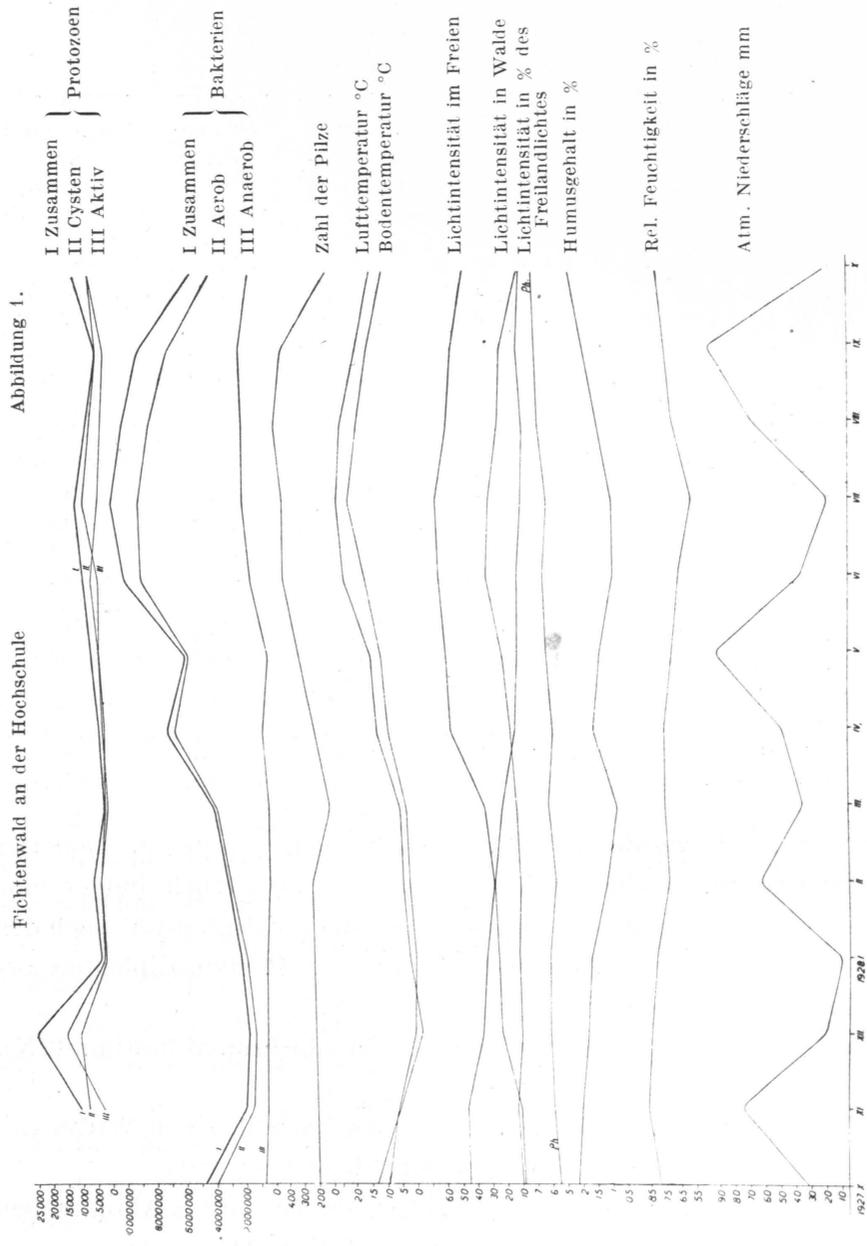
9. Der Humusgehalt wurde mit Kaliumbichromat bestimmt (X).

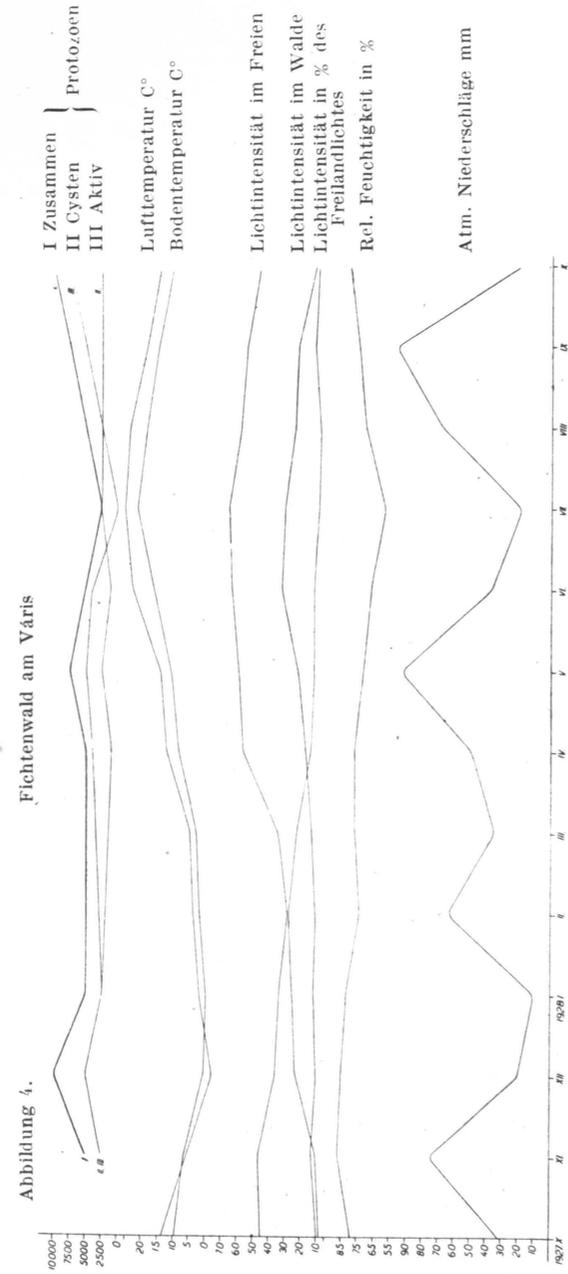
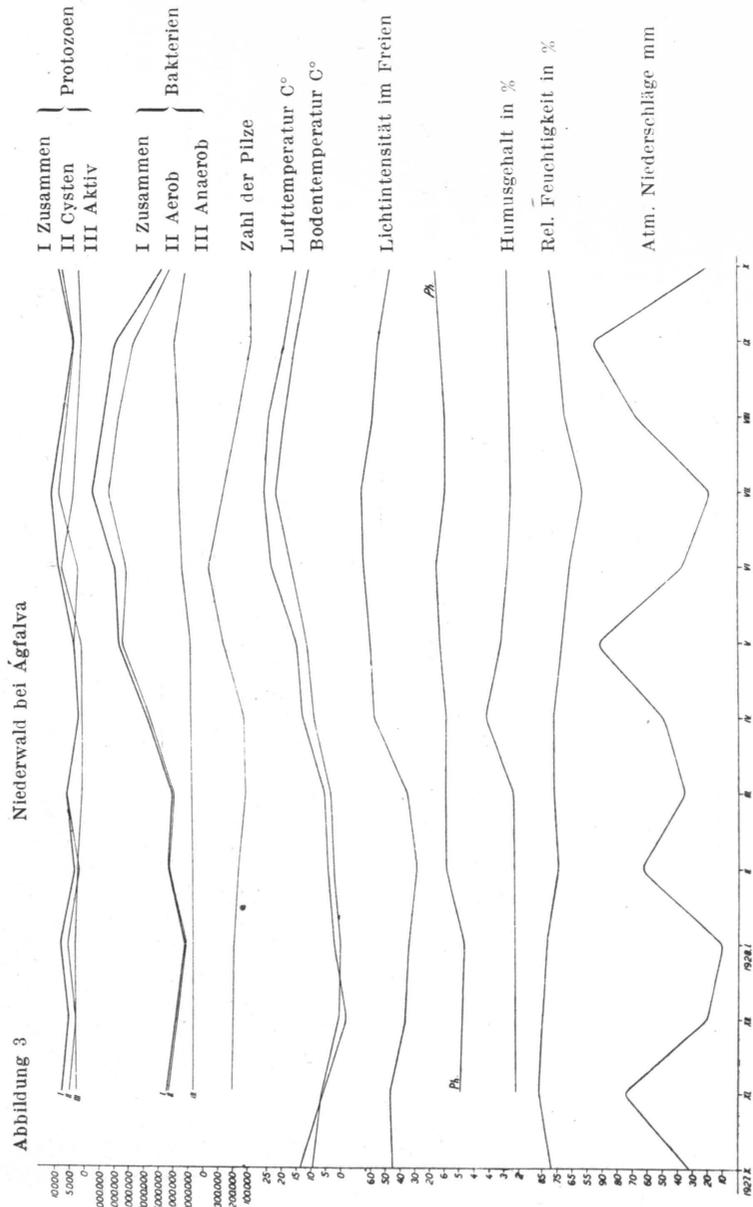
10. Die Wasserkapazität und

11. Die Porosität der Böden wurden nach den von WIESMANN empfohlenen Methoden bestimmt und berechnet (VII).

Die Untersuchungsergebnisse zeigen die folgenden Abbildungen Nr. 1, 2, 3, und 4 und die Übersichtstabelle III.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind die folgenden:





1. Im Waldboden leben Protozoen in ziemlich grosser Anzahl, welche letztere jedoch im Verhältnis zur Protozoen-Fauna der landwirtschaftlich bebauten Böden geringer ist.

2. Den grössten Teil der Protozoen-Fauna des Waldbodens bilden die Rhizopoden und zwischen diesen die Amöben.

3. Die Protozoen des Waldbodens erreichen jährlich zwei Wachstums-Optima, das eine im Spätherbst (Nov. Dez.), das andere am Anfang der Sommermonate. Das letztere ist jedoch von geringerem Umfang als das erstere.

4. In der Entwicklung der Protozoen-Fauna des Waldbodens spielt die Bodenfeuchtigkeit die wichtigste Rolle. Die anderen Umweltfaktoren (Bodentemperatur, Lufttemperatur, Humusgehalt, pH, Luftfeuchtigkeit) spielen eine untergeordnetere Rolle. Nur die ganz niedrigen Temperaturen im Winter wirken ausgesprochen hemmend.

5. Im Waldboden befindet sich der grösste Teil der Protozoen in encystiertem Zustande.

6. Im Waldboden spielen die Bodenbakterien für die Ernährung des Waldes eine viel grössere und wichtigere Rolle als die Protozoen.

7. Zwischen den Bodenbakterien und Bodenprotozoen konnte kein unmittelbarer Zusammenhang nachgewiesen werden.

8. Den grössten Teil der Bodenprotozoen kann man das ganze Jahr hindurch finden und beobachten. Es gibt aber auch Arten, die nur sporadisch oder nur in gewissen Jahreszeiten vorkommen.

9. Bezüglich der Protozoen-Fauna konnten wir vorläufig keinen ausgeprägten Unterschied zwischen Nadelwäldern und Laubwäldern finden.

10. Der Boden der Kahlschläge zeigt jedoch einen deutlichen Unterschied bezüglich der Lebenstätigkeit der Bodenprotozoen. Infolge des mangelnden Schutzes durch den Bestandesschluss wirkt der Kahlschlag ungünstig.

11. Die Protozoen-Fauna des Waldbodens ist auch in der Anzahl der Arten ärmer als die der landwirtschaftlich bebauten Böden.

II. DIE CO₂-ERNÄHRUNG DES WALDES.

Gleichzeitig mit den obigen Untersuchungen haben wir auch Untersuchungen über die Kohlenstoffernährung des Waldes eingeleitet. Dieser physiologische Vorgang ist ja einer der wichtigsten Prozesse in der Ernährung der Waldbäume. Die Grundsubstanz des Holzkörpers, der Endeffekt der forstwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung ist die Zellulose $n(C_6H_{10}O_5)$. Sie enthält als ihren auch nach der Masse wichtigsten Bestandteil das Carbon.

Ihre Zusammensetzung ist die folgende:

	Reine Zellulose %	Verholzte Zellulose %
C	44.4	50.0
H	66.2	6.5
O	49.4	42.0
N	—	0.5—1.0
Aschenbestandteile	—	1.0

Die Pflanze baut diese Verbindung auf dem Wege der Assimilation aus dem CO₂ der Luft und dem H₂O des Bodens auf. Es haben nun unsere Untersuchungen in den letzten Jahren ganz einwandfrei gezeigt, dass der Kohlensäureproduktion des Waldbodens und dem damit zusammenhängenden CO₂-Gehalt der Waldluft im Leben des Waldes eine sehr bedeutende biologische Rolle zukommt.

Bei den heutigen extensiven Verhältnissen der Forstwirtschaft sind der Zersetzungsprozess der organischen Substanz und die CO₂-Produktion des Waldbodens die wichtigsten ernährungsphysiologischen Faktoren.

Abgesehen von den übrigen mineralischen Nährstoffen des Bodens werden die wichtigsten anorganischen Nahrungstoffe vermittlels der organischen durch biologische Vorgänge induzierten Zersetzungsprozesse im Waldboden erzeugt. Die für die Assimilation erforderlichen Mengen von CO₂ werden grösstenteils durch die Bodenatmung geliefert.

Die Mikrobentätigkeit des Waldbodens, die ja hauptsächlich den biochemischen Zersetzungsprozess des Waldbodens herbeiführt, pro-

duziert infolge seines intensiven Energieumsatzes ununterbrochen Kohlensäure, die sodann aufwärts diffundiert und schliesslich im Laufe der Assimilation grösstenteils verbraucht wird. Der unverbrauchte Teil geht in das Luftmeer über und vermehrt den CO₂-Gehalt desselben.

Es ist nun einleuchtend, dass wenn die CO₂-Assimilation der Wald-bäume durch die Erhöhung des CO₂-Gehaltes der Waldluft gesteigert werden könnte, dadurch auch der Massenzuwachs der Waldbestände erhöht werden könnte. Will man daher die Kohlenstoffernährung des Waldes vollkommen aufklären, so müssen zuerst die allgemeinen Grundlagen dieses wichtigen biochemischen Prozesses erforscht werden.

Meine Untersuchungen über dieses Problem habe ich in Gemeinschaft mit Prof. VAGI im Jahre 1924 begonnen. Diese Untersuchungen haben jedoch keine allgemein gültigen Gesetzmässigkeiten und Zusammenhänge geliefert, obwohl in vieler Hinsicht bereits recht schöne und interessante Resultate ermittelt werden sind. Bei der Messung des CO₂-Gehaltes der Waldluft und der Bodenatmung haben wir noch nach ziemlich umständlichen und zeitraubenden Methoden gearbeitet, und ich war mir vollkommen bewusst, dass zur Erzielung befriedigender Resultate die Untersuchungsmethodik unbedingt weitgehend geändert werden müsse (I).

Gerade zu dieser Zeit kamen die besonders sinnreich gebauten Apparate von LUNDEGÄRDH in Gebrauch. Als ich mich eben entschlossen hatte, diese Apparate für unsere Untersuchungen anzuschaffen und einzuführen, wurde mir von der ROCKEFELLER-Stiftung eine 6 monatliche Studienreise nach Nord-Europa ermöglicht. Die erste Hälfte dieser Studienreise verwandte ich dazu die Apparate und die originelle Untersuchungsmethodik von LUNDEGÄRDH auf seiner ökologischen Station in Hallands-Väderö an Ort und Stelle kennen zu lernen.

Infolge dieser günstigen Umstände kam ich nun in die angenehme Lage, gleich nach meiner Ankunft in drei verschiedenen Waldtypen der Insel meine Untersuchungen beginnen zu können. *Ich habe aber bei der Lösung meiner Aufgaben sofort meine eigene Methodik angewendet und ausser den Klimafaktoren auch die Untersuchung der bodenbiologischen Verhältnisse auf meinen schwe-*

dischen Versuchsflächen in Angriff genommen. Ich war schon damals der festen Überzeugung, dass man nur dann den nötigen Einblick in die überaus komplizierten Lebensverhältnisse des Waldbodens gewinnen kann, wenn bei der Lösung dieser Probleme alle wichtigen organischen und unorganischen Umweltfaktoren gleichzeitig in längeren Beobachtungsperioden systematisch untersucht werden.¹

Dementsprechend habe ich im Laufe meiner Untersuchungen folgende biologischen Faktoren untersucht:

1. Kohlensäuregehalt der Waldluft. Die Entnahme der Proben erfolgte durch eine, an einer tragbaren Stange montierte Glasrohrleitung in drei Glockenapparaten nach LUNDEGÄRDH. Die Proben wurden in 0.3, 3 und 9 m Höhe entnommen. Die höchste Mündung der Rohrleitung lag gewöhnlich im Niveau der unteren Hälfte der Baumkronen. Zur Absorption wurde etwa $\frac{n}{50}$ Barytlauge verwendet, die dann mit $\frac{n}{40}$ HCl und Phenolphthalein titriert wurde.

Die Absorptionszeit war in der Regel ca. 2 Stunden (IX).

2. Kohlensäureproduktion des Waldbodens. Die Bestimmung erfolgte mit den Bodenatmungsglocken und dem volumetrischen Apparat von LUNDEGÄRDH. Ich habe die Luft gewöhnlich in zwei Bodenatmungsglocken gleichzeitig gesammelt und meist zwei Parallelbestimmungen vorgenommen (IX).

3. Bodentemperatur, gemessen mit dem Thermometer in der obersten Bodenschicht.

4. Lufttemperatur, gemessen mit dem Thermograph.

5. Luftfeuchtigkeit, gemessen mit dem Hygrograph.

6. Lichtintensität, ermittelt mit dem Graphoskop von LANGER.

7. Windstärke, gemessen mit einem Anemometer.

¹ Da mangels entsprechender Einrichtungen auf der Station die bodenbiologischen Untersuchungen nicht durchgeführt werden konnten, so habe ich die Bodenproben nach Ungarn in mein Institut gesendet, wo dieselben von Herrn BOKOR sogleich untersucht wurden (VIII).

8. Bakteriengehalt nach physiologischen Gruppen. Ermittelt nach der Methode von BOKOR, die das elektive und Verdünnungsverfahren vereinigt (I).

9. Azidität in drei Tiefen, und zwar in der Bodenoberfläche, in 20—30 cm und 30—50 cm Tiefe, gemessen nach der kolorimetrischen Methode von MICHAELIS.

10. Humusgehalt des Bodens. Bestimmt durch Oxydation mit $C_2Cr_2O_4$ (X).

11. Wassergehalt des Bodens, bezogen aus ständigem Gewicht des Bodens.

Die Messungen unter 1—7 habe ich täglich 8—9 Uhr früh, 12—1 Uhr mittags und 5—6 Uhr nachm. vorgenommen. Die Kurven sind auf Grund der Tagesmittel berechnet.

BESCHREIBUNG DER WALDTYPEN.

A. ERLLENWALD.

Steht an der Südwestseite des Waldkomplexes von Hallands-Väderö auf sumpfigem, humusreichem, bereits in Vertorfung begriffenem Sumpfboden (Kapellhamns-Sumpf). In der ersten Woche der Beobachtung kam das Grundwasser noch überall zum Vorschein. Unter der eigentlichen sauren Torfschicht des Sumpfes liegt der abwechselnd aus Sand und Lehm bestehende Boden, dem als Unterlage das Urgestein des Hallands-Ås (Gneis) dient.

In der Umgebung meiner Arbeitsstelle kamen hauptsächlich folgende Pflanzen vor: *Caltha palustris*, *Dryopteris austriaca*, *Dryopteris spinulosa*, *Iris pseudacorus*, *Oxalis acetosella*, *Viola silvestris*, *Lysimachia vulgaris*, *Rubus plicatus*, *Rubus Thunbergii*, *Melandryum dioicum*, *Deschampsia flexuosa*, *Leucobryum glaucum*, sowie *Dicranum*- und *Hypnum*-Arten.

Der Waldbestand besteht nach dem Mischungsverhältnis in der Umgebung meiner Arbeitsstätte schätzungsweise aus folgenden Baumarten:

- 0.9 *Alnus glutinosa*
- 0.08 *Sorbus aucuparia*
- 0.02 *Quercus pedunculata*
- Bestandesschluss ca 0.7—0.8.

Das Alter der Bäume dürfte nach meiner Schätzung ca 60 bis 80 Jahre betragen.

Die Entwicklung der Bakterienflora in ihrem Zusammenhange mit der Kohlensäureproduktion des Bodens zeigt recht interessante Tatsachen.

Der Boden des Erlenwaldes weist nämlich im Verhältnis zum Kiefernwald eine relativ hohe Bakterienzahl und verhältnismässig geringe Kohlensäureproduktion auf. Die Erklärung dafür gibt der hohe Wassergehalt, der ja die gute Durchlüftung verhindert und dadurch das Gedeihen der anaeroben Bakterien fördert. Das Resultat ist der hohe Gehalt an saurem Humus. In diesem Fall wird daher durch den hohen Wassergehalt des Sumpfbodens die intensive Arbeit der Bakterien verhindert. Die absolute Anzahl der Bakterien ist daher für die Beurteilung ihrer Tätigkeit nicht immer charakteristisch. Es müssen auch die physiologischen Gruppen der Bakterien und die biochemischen Eigenschaften des Bodens in ihrer Wechselwirkung erwogen werden. Die Azidität des Bodens ist, wie zu erwarten war, recht gross.

B. BUCHENWALD.

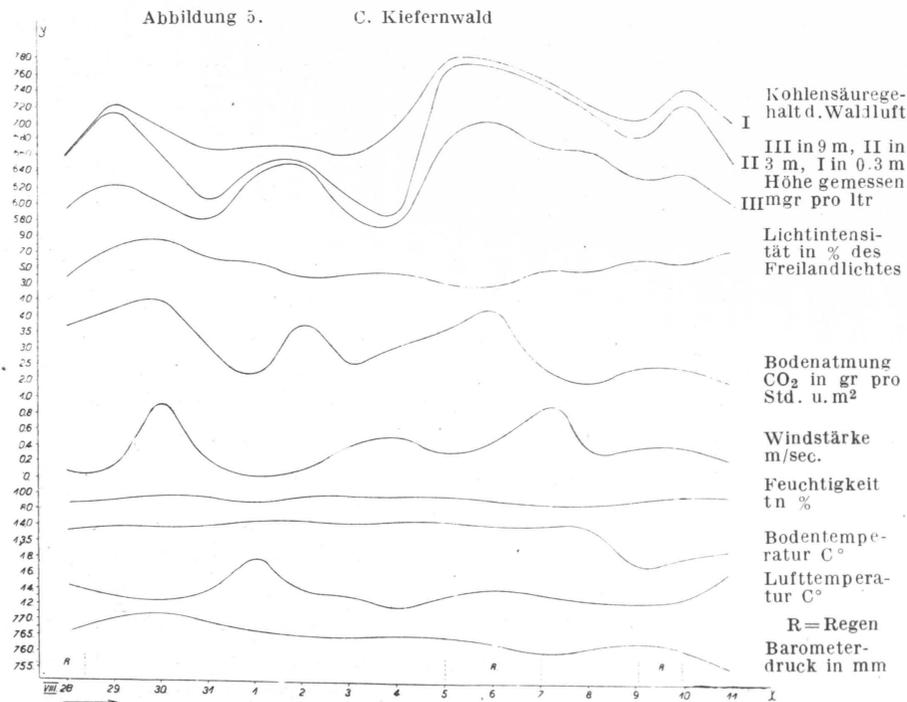
Liegt in der Nähe der Sandhamnbucht am nordöstlichen Teile der Insel. Die Humusdecke ist unberührt und infolge des guten Bestandesschlusses nur ganz sporadisch mit Bodenpflanzen bedeckt. In der Nähe meines Arbeitsplatzes fand ich folgende Arten: *Anemone nemorosa*, *Trientalis europaea*, *Oxalis acetosella*, *Majanthemum bifolium*, an nassen Niederungen *Aspidium*-Arten.

Schon die Untersuchung der Humusdecke zeigt, dass der Verwesungsprozess sich hier recht intensiv gestaltet hat. Trotz der Unberührtheit der Waldstreu bleibt die Humusdecke relativ dünn. Ihre Dicke variiert von 6—10 cm; ungefähr 20 cm unter derselben erreicht man die Sandschicht, die in 60—80 cm Tiefe auf dem Urgestein liegt.

Der Bestand ist rein und besteht vorwiegend aus *Fagus silvatica*. Das Alter der Bäume dürfte nach meiner Schätzung um 100 Jahre variieren. Der Bestandesschluss ist ca. 0.9. Der Boden ist nur mässig sauer und hat eine recht üppige Bakterienflora, die intensive Tätigkeit entwickelt, da die Durchlüftung des Bodens leicht vonstatten geht.

C. KIEFERNWALD.

Liegt westlich am Wege nach Sandhamn, ungefähr in der Höhe des Buchenwaldes und in unmittelbarer Nähe desselben. Reiner Bestand von *Pinus silvestris* auf Sandboden. Der Bestandesschluss ist im Durchschnitt ca. 0.7—0.8, Alter schätzungsweise 70^l—80 Jahre. Der Boden wird stellenweise von *Vaccinium*, *Oxalis* und *Melampyrum*-Arten, vorwiegend aber mit einer Grasflur und an vielen Stellen mit Moosen bedeckt (*Polytrichum* usw.). Trotz der relativ niedrigen Bakterienzahl findet man dort einen auffallend intensiven

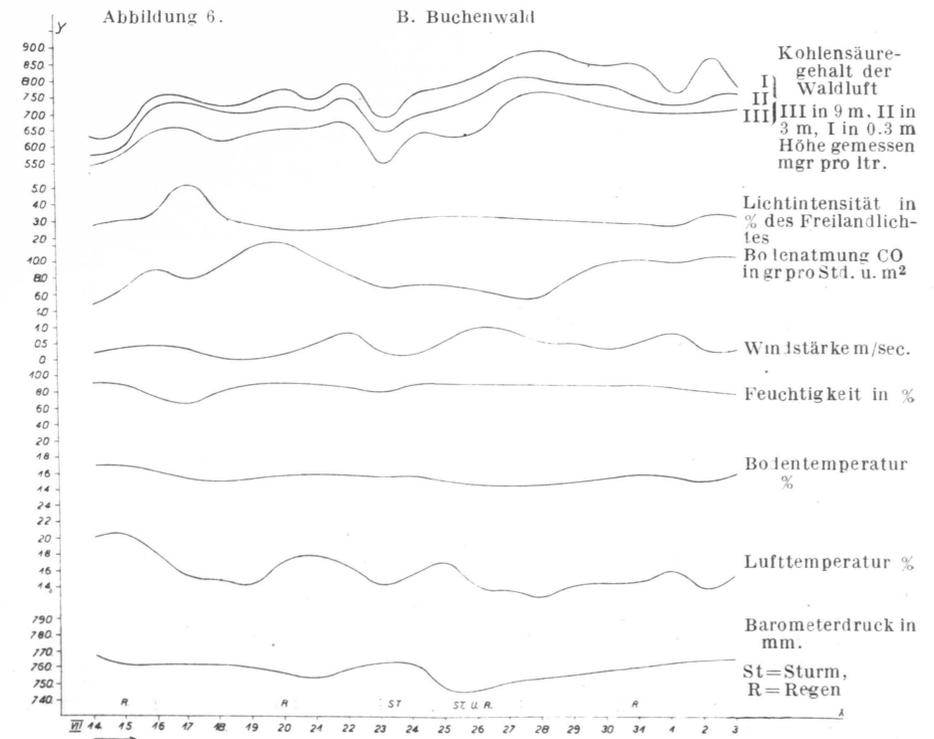


Verwesungsprozess, der sich infolge der guten Durchlüftung des Bodens einstellt. Entsprechend diesem Umstände ist der Humusgehalt des Bodens recht niedrig, weil die Pflanzenreste durch den intensiven Verwesungsprozess rasch verbraucht werden.

Die Resultate meiner Untersuchungen habe ich in Kurven zusammengestellt, von welchen ich 2 Gruppen (Abb. 5. und Abb. 6.) herausgreife und zwar diejenigen, welche meine Untersuchungsergebnisse in dem Buchen- und in dem Kiefernwald darstellen. (Siehe auch Tabelle IV).

Diese Untersuchungen gestatten uns bereits einen ziemlich tiefen Einblick in die Biologie des Waldbodens. Sie haben nämlich in allgemeinen die Ableitung der folgenden biologischen Zusammenhänge bereits möglich gemacht:

1. Zwischen Bodenatmung und Kohlensäuregehalt besteht, wie zu erwarten war, ein fester Zusammenhang. Der Kohlensäuregehalt der Waldluft wird durch die jeweilige Bodenatmung bedingt.



2. Der Kohlensäuregehalt der übereinanderliegenden Luftschichten steht ebenfalls in ursächlichem Zusammenhang und zwar derart, dass die Konzentration von unten nach oben ständig abnimmt. Das Diffusionsgefälle war bei den untersuchten Waldtypen annähernd gleichmässig.

3. Die Bodenatmung und der damit eng zusammenhängende Kohlensäuregehalt der Waldluft wird von der Azidität des Waldbodens entscheidend beeinflusst. Mit der Erhöhung der Azidität und mit der Erniedrigung der ph-Werte nimmt die Intensität der Bodenatmung und damit der Kohlensäuregehalt der Waldluft ständig ab.

4. Die Wirkung der Azidität ist aller Wahrscheinlichkeit nach durch ihren Einfluss auf das Mikrobenleben des Waldbodens bedingt.

5. Der Kohlensäuregehalt der Waldluft erreicht trotz der beträchtlichen Bodenatmung auch bei den optimalen Werten derselben, namentlich in

TABELLE 4.

Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchung.
Drei Bodenproben von Hallands-Väderö (Schweden)
Keimzahlen pro Gramm feuchter Erde.

Biogene Eigenschaften der Bodenbakteriengruppen		Buchenwald (Humusboden)	Erlenwald (Humusboden)	Kiefernwald (Sandboden)
	Reaktion des Bodens	mässig-sauer	sauer	sauer
1	Bodenoberfläche	5.2	4.0—4.1	4.2
2	Austauschazidität 20—30 cm Bodenoberfläche ph. = 30—50 »	5.2	4.3—4.4	4.3
		4.8	4.4—4.6	4.4
3	Aktive Azidität ph. = 20—30 cm 30—50 »	6.2	4.3	5.2
		6.5	4—4	5.6
	Wassergehalt in Gewicht %	34 %	56 %	2.1 %
	Humusgehalt in Gewicht %	4.2 %	8.6 %	0.5 %
6	Auf Agarplatte gedeihend	5 500 000	3 200 000	1 650 000
7	Auf Gelatineplatte gedeihend ...	6 000 000	2 500 000	1 300 000
8	Anaerob Zuckerager hoher Schicht	3 000 000	5 000 000	500 000
9	Aerob stickstoffbindende Bakterien	10	—	—
10	Anaerobstickstoffbind. Bakterien	10 000	1 000	100
11	Nitrifizierende Bakterien	10	10	—
12	Denitrifizierende Bakterien	10 000	10 000	10 000
13	Anaerobe Zellulosevergärerbakter.	10 000	1 000	1 000
14	Aerobe Zellulosevergärerbakterien	1 000	100	1 000
15	Aerobe Eiweisszersetzerbakterien .	100 000	10 000	10 000
16	Aerobe Pektinvergärerbakterien .	100 000	10 000	10 000
17	Anaerobe Pektinvergärerbakterien	1 000 000	100 000	10 000
18	Harnstoffvergärer	1 000 000	100 000	10 000
19	Anaerobe Bittersäurebazillen.....	1 000 000	100 000	10 000
20	CO ₂ -Produktion pro Stunde und m ² in Gramm	8.7	2.37	2.98

den Höhen von 3 und 9 m, nur relativ geringe Werte, so dass der Wert des CO₂-Faktors sich recht niedrig gestaltet.

6. Ich muss daher in Übereinstimmung mit meinen früheren Untersuchungen feststellen, dass die Erhöhung des Kohlensäuregehaltes bei Waldböden, die sich in relativ gutem Zustande der Kohlensäureproduktion befinden, mit normalen waldbaulichen Massnahmen sehr schwer möglich sein wird.

7. Bei stark sauren Waldböden kann jedoch die Besserung des Bodenzustandes auch in der Kohlenstoffernährung des Bestandes günstigere Bedingungen schaffen. Man muss daher bei der Beurteilung dieser Frage zwischen guten und schlechten Waldböden scharf unterscheiden.

8. Die Besserung des Bodenzustandes und der damit zusammenhängenden Bodenatmung dürfte besonders bei der Anwendung der natürlichen Verjüngungsmethoden in der praktischen Forstwirtschaft namentlich bei der Kohlenstoffernährung der jungen Bestände, die ja im Genuss der relativ kohlenstoffreichen unteren Luftschichten stehen, eine recht wichtige Rolle spielen.

9. Von den klimatischen Faktoren konnte ich besonders den Einfluss von regnerischen Perioden auf die Kohlensäureverhältnisse des Waldes nachweisen. Die Optima der Bodenatmung und des CO₂-Gehaltes fallen gewöhnlich in die Regenperioden.

10. Es konnte auch im grossen und ganzen der steigernde Einfluss der Lufttemperatur und des Windes nachgewiesen werden.

11. Die Bodentemperatur ist in der Sommerzeit verhältnismässig sehr geringen Schwankungen unterworfen und bleibt gewöhnlich ohne stark ausgeprägten Einfluss. Die Wirkung der einzelnen klimatischen Faktoren muss jedoch recht vorsichtig beurteilt werden, weil diese sich gegenseitig stark beeinflussen und dadurch die wechselseitige Korrelation äusserst kompliziert gestalten.

12. Die grösste Intensität der CO₂-Produktion wird bei der grössten Bakterienzahl erreicht, wenn zwischen diesen die aeroben Bakterien vorherrschen.

13. Es ist unbedingt notwendig, dass auch bei hoher Bakterienzahl der Boden gut durchgelüftet wird und O in genügender Menge erhält. Der sumpfige Erlenwald zeigt zwar hohe Bakterienzahl, aber der Wert der CO₂-Produktion bleibt ungenügend, weil infolge des relativ hohen Wassergehaltes (56 %) die anaeroben Bakterien vorherrschen.

14. Die Anzahl der aeroben zellulosezersetzenden Bakterien ist proportional der CO₂-Produktion des Bodens.

15. Für die CO₂-Produktion des Waldbodens ist es daher im Interesse der Produktionserhöhung der Wälder von grosser Bedeutung, bei der

Anwendung der praktischen wirtschaftlichen Massnahmen die gute Durchlüftung der Böden zu berücksichtigen und dieselbe möglichst durch entsprechende Bodenbearbeitung zu steigern. (XIV).

Nach dem Abschluss dieser Untersuchungen in Schweden habe ich meine Forschungen in den ungarischen Wäldern fortgesetzt. Um die bereits ermittelten Gesetzmässigkeiten auf eine breitere Basis stellen zu können, hat es sich nämlich als notwendig erwiesen, die obigen Untersuchungen, die grösstenteils in der südlichen Hälfte von Schweden durchgeführt wurden, auch in den mitteleuropäischen Wäldern, namentlich in den Wäldern des heutigen Ungarns, fortzusetzen. Sollten sich nämlich die Resultate der unter so verschiedenen standortlichen Verhältnissen durchgeführten Untersuchungen gegenseitig bestätigen, so wird man wohl die allgemeine Gültigkeit der ermittelten Gesetzmässigkeiten aussprechen können.

Durch diese Untersuchungen wurde auch die CO₂-Ernährung des Waldes in ihrem allseitigen Zusammenhang erfasst, und es wurden daher sämtliche biologische Faktoren, die bei der Lösung dieses Problems eine ausschlagende Rolle spielen, der Untersuchung unterworfen.

Im Laufe dieser Arbeiten haben wir auch die Untersuchung des N-Umsatzes des Waldes begonnen.

Auf Grund meiner schwedischen Untersuchungen habe ich meine Untersuchungsmethodik bzgl. der Bodenatmung weiter vervollkommen. Ich habe nämlich in Hallands-Väderö die Werte der Bodenatmung mit dem Absortionsapparat von LUNDEGÅRDH gemessen. Dieser Apparat ist jedoch ziemlich schwer zu handhaben, enthält ausserdem viele und empfindliche Glasbestandteile, welche sehr leicht infolge des scharfen Temperaturwechsels springen und zerbrechen. Diese Misstände, die namentlich bei Massenuntersuchungen in entlegenen Waldgebieten, wo der Apparat wiederholt hin und her transportiert werden muss, häufig vorkommen, haben den Gebrauch dieses Apparates als recht unpraktisch erwiesen. Ich habe mich nun entschlossen, durch ein passendes, von mir ausgearbeitetes Verfahren den

volumetrischen Apparat von LUNDEGÅRDH für die Messung der Bodenatmung zu benützen. Dieses Verfahren ist folgendes:

Die entweichende Atmungsluft wird in inwendig paraffinierten Zinkglocken gesammelt und in den volumetrischen Apparat eingesaugt.

Wenn nun

X = CO₂-Produktion des Bodens in Gramm per Quadratmeter und Stunde,

H = das Volumen der Bodenglocke in Kubikzentimetern,

h₁ = die Volumenverminderung, welche durch das Eindrücken der Bodenglocke entsteht, in Kubikzentimetern,

h₂ = das Volumen der Glasleitung, welche die Glocke mit dem Apparat verbindet in Kubikzentimetern,

h₃ = das Luftvolumen, welches in den Apparat eingesaugt wird,

t₀ = der Titer der Ba(OH)₂-Lösung mit $\frac{n}{x}$ HCl (Blindtiter),

t₁ = der Titer der Ba(OH)₂-Lösung nach der Absorption,

g = der Kohlensäuregehalt der Luft in $\frac{\text{Gramm}}{\text{Kubikzentimeter}}$

T = die Grundfläche der Bodenglocke in Quadratcentimetern,

t = die Expositionszeit der Glocke, d.h. der Zeitintervall zwischen dem Schliessen und Öffnen der Glocke in Minuten,

f = der Faktor der $\frac{n}{x}$ HCl-Lösung, welcher angibt, wieviel Gramm CO₂

einem Kubikzentimeter der betreffenden HCl-Lösung entsprechen, so lautet die Formel folgendermassen:

$$X = \left[\frac{H - h_1 + h_2}{h_3} (t_0 - t_1) f - (H - h_1 + h_2) g \right] \frac{60}{t} \cdot \frac{10\,000}{T}$$

Da bei entsprechender Arbeitseinrichtung die Werte von H, h₁, h₂, h₃, t, T konstant gehalten werden können, so können wir schreiben:

$$\frac{H - h_1 + h_2}{h_3} = a, \quad \frac{10\,000}{T} = c,$$

$$H - h_1 + h_2 = b \quad \text{und} \quad \frac{60}{t} = d$$

Die Gleichung nimmt daher für das praktische Arbeiten die folgende einfache Form an:

$$X = [a(t_0 - t_1) \cdot f - b \cdot g] \cdot c \cdot d$$

Der Kohlensäuregehalt der Waldluft wurde ebenfalls mit den volumetrischen Apparaten von LUNDEGÅRDH, gewöhnlich in drei verschiedenen Höhen, gemessen.

Im Laufe dieser Untersuchungen habe ich noch folgende organische und unorganische Umweltfaktoren gemessen:

- a) Die Lufttemperatur und die Bodentemperatur in drei Tiefen, Oberfläche, 0.5 m und 1.0 m Tiefe,
- b) den Barometerdruck und
- c) die Luftfeuchtigkeit wurden mit geeichtem Registrierapparate gemessen.
- d) Die Windstärke massen wir mit einem geeichten Anemometer.

e) Die Lichtintensität wurde mit einem Photometer nach EDER-HECHT gemessen und die Prozente der Lichtintensität nach BUNSEN-ROSCOE-Einheiten berechnet. Die Lichtintensität im Freien und im Walde wurde hier ebenfalls einfach nach den Skalenteilen des Photometers registriert, wobei die Beobachtungszeit grundsätzlich immer eine Minute war. Aus diesen Daten kann die Lichtintensität nach den Kurven jederzeit ebenfalls in BUNSEN-ROSCOE-Einheiten berechnet und ausgedrückt werden (VI).

f) Der Humusgehalt wurde mit Kaliumbichromat bestimmt (XI).

g) Der Wassergehalt wurde mit Trocknen auf 100—100° bis konstantem Gewicht gemessen.

h) Die Porosität und

i) die Wasserkapazität (VII.) wurden nach den von WIESMANN empfohlenen Methoden bestimmt und berechnet.

j) Die Luftkapazität wurde aus den Daten der Porosität und Wasserkapazität berechnet.

k) Die Mikroflora des Waldbodens wurde nach folgenden Gesichtspunkten ermittelt:

1) Die Gesamtzahl der Bodenbakterien, wobei die Resultate der Gelatine- und Agarplatten, bei den letzteren die aeroben und anaeroben getrennt, zusammengezählt wurden (I).

2) Die physiologischen Gruppen der Bodenbakterien nach einer

besonderen Methode, die das elektive und Verdünnungsverfahren vereinigt (I).

3) Die Bodenpilze wurden nach einer Methode von WAKSMAN bestimmt (II).

4) Die Anzahl der Protozoen wurde nach dem Verfahren von GUTLER ermittelt, wobei die aktiven Formen von den Cysten getrennt wurden (III).

l) Der Gesamt-N-Gehalt wurde nach dem Verfahren von GUNNING-ATTERBERG ermittelt (XII).

m) Der Nitrat-N wurde nach dem Verfahren von WITHING-RICHMOND und SCHOONOWER festgestellt. Die Differenz der beiden letzteren ergab den Gehalt an Nitritnitrogen und Ammoniaknitrogen (XIII).

o) Die ph-Werte wurden elektrometrisch nach der Methode und mit der Apparatur von MISLOWITZER ermittelt (V). Ausserdem haben wir noch eine eigene einfache Apparatur zusammengestellt, welche ebenfalls mit der Chinhydronelektrode arbeitet. Als Nullinstrument diente ein WESTONSches Galvanometer, und die Kompensation wurde mit einer WHEATSTONE-KIRCHHOFF'schen Brücke bewirkt. Um das Galvanometer möglichst schonen zu können, haben wir für die grobe Einstellung ein Milliampermeter vorgeschaltet, dass dann für die feine Einstellung mit einem einfachen Stromwechsel nach Bedarf auf das Galvanometer umgeschaltet werden konnte. (Siehe Abbildung 7.)

Die Charakteristik der Versuchsflächen ist die folgende:

- a) Eichenwald der Forstverwaltung Kiskomárom des Esztergomer Domkapitels.

Versuchsfläche XVII.

Betriebsklasse: Alsóerdő. Glied V. Waldparzelle 39. Standortsklasse V. Holzart Stieleiche (*Quercus robur* L.). Alter 41 Jahre. Frischer, mit Lehm vermischter Sandboden. Bestandesschluss 0.7. Zerstreut findet man noch im Walde kleinere Gruppen von *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L. und *Alnus glutinosa* (L.) Gärtn. Höhe über dem Meeresspiegel etwa 80 m.

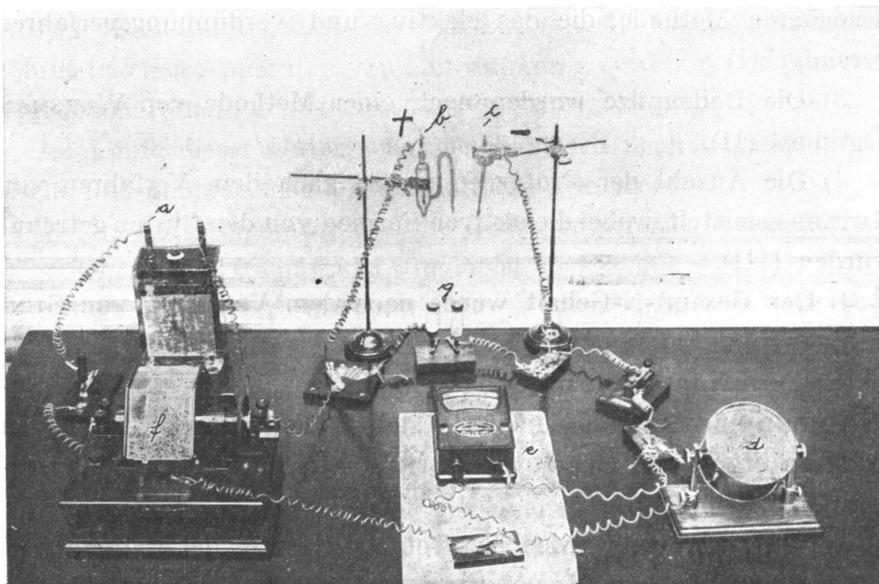


Abbildung 7.

Elektrometrischer Apparat zur Messung der pH-Werte. a: Accumulator, b: Chynhidronelektrode (+), c: (-) Elektrode, d: Milliamperemeter, e: Zeigergalvanometer, f: Messbrücke, g: Cadmiumelement.

Bodenpflanzen: *Frangula alnus* Mill., *Crataegus oxyacantha* L., *Rosa canina* L., *Rubus caesius* L., *Viburnum lantana* L., *Stenactis annua* (L), Nees. *Galium silvaticum* L., *Eupatorium cannabinum* L., *Galeobdolon luteum* (Huds) Krock., *Sonchus oleraceus* L., *Lamium purpureum* L., *Aspidium filix mas* (L) Rich., *Pteridium aquilinum* (L. Kuhn.), *Leucobryum glaucum* (L) Schimp., *Polytrichum commune* L. und ausserdem einige *Boletus*- und *Agaricus*-Pilze.

b) Kiefernwald der Forstverwaltung Kiskomárom des Esztergomer Domkapitels.

Versuchsfläche XVIII.

Betriebsklasse Alsóerdő. Glied I. Waldparzelle 6. Standortsklasse V. Fläche 1. kat. Joch. Besteht aus 0.7 *Pinus silvestris* L., 0.1 *Alnus glutinosa* (L) Gärt. und 0.2 *Quercus robur* L. Bestandesschluss 0.8 Alter 17 Jahre. Durchforstet im Jahre 1925. Frischer, mit Lehm vermischter Sandboden. Höhe ü.d.M. etwa 80 m.

Bodenpflanzen: *Rubus caesius* L., *Frangula alnus* Mill., *Fragaria vesca* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Pteridium aquilinum* (L) Kuhn., *Polytrichum commune* (L).

c) Fichtenwald in Ágfalva, Forstverwaltung der Hochschule.

Versuchsfläche V.

(Beschreibung siehe Seite 12.)

d) Unterbauter Niederwald in Ágfalva, Forstverwaltung der Hochschule.

Versuchsfläche VII.

(Beschreibung siehe Seite 12.)

e) Fichtenwald bei Sopron am Varis, Forstverwaltung der Stadt Sopron.

Versuchsfläche II.

(Beschreibung siehe Seite 12.)

f) Fichtenwald im botanischen Garten der Hochschule.

Versuchsfläche I.

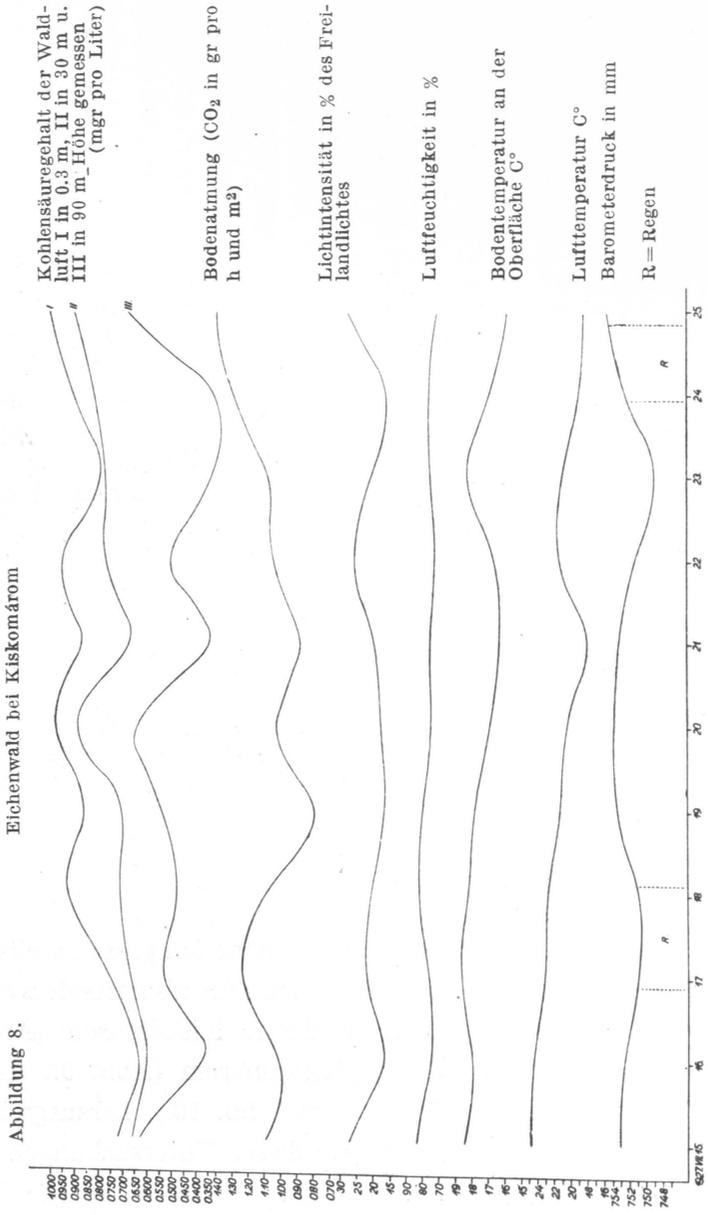
(Beschreibung siehe Seite 10.)

Die Resultate dieser Untersuchungen habe ich grösstenteils durch Kurven dargestellt. Aus diesen möchte ich nun, als besonders charakteristisch die Kurven des Eichenwaldes in Kiskomárom (Abb. 8.), die Kurven des Kiefernwaldes in Kiskomárom (Abb. 9.) und die Kurven des Fichtenwaldes in Ágfalva (Abb. 10.), herausgreifen.

Ausserdem habe ich die Resultate dieser Untersuchungen in der Tabelle V zusammengefasst.

Diese Untersuchungen haben ausserdem besonders deutlich erwiesen, dass der Bakteriengehalt des Waldbodens sehr eng mit der Temperatur der Luft und des Bodens zusammenhängt. Die Wirkung der Temperatur tritt besonders in jener Periode scharf

Eichenwald bei Kiskomárom



Kiefernwald bei Kiskomárom

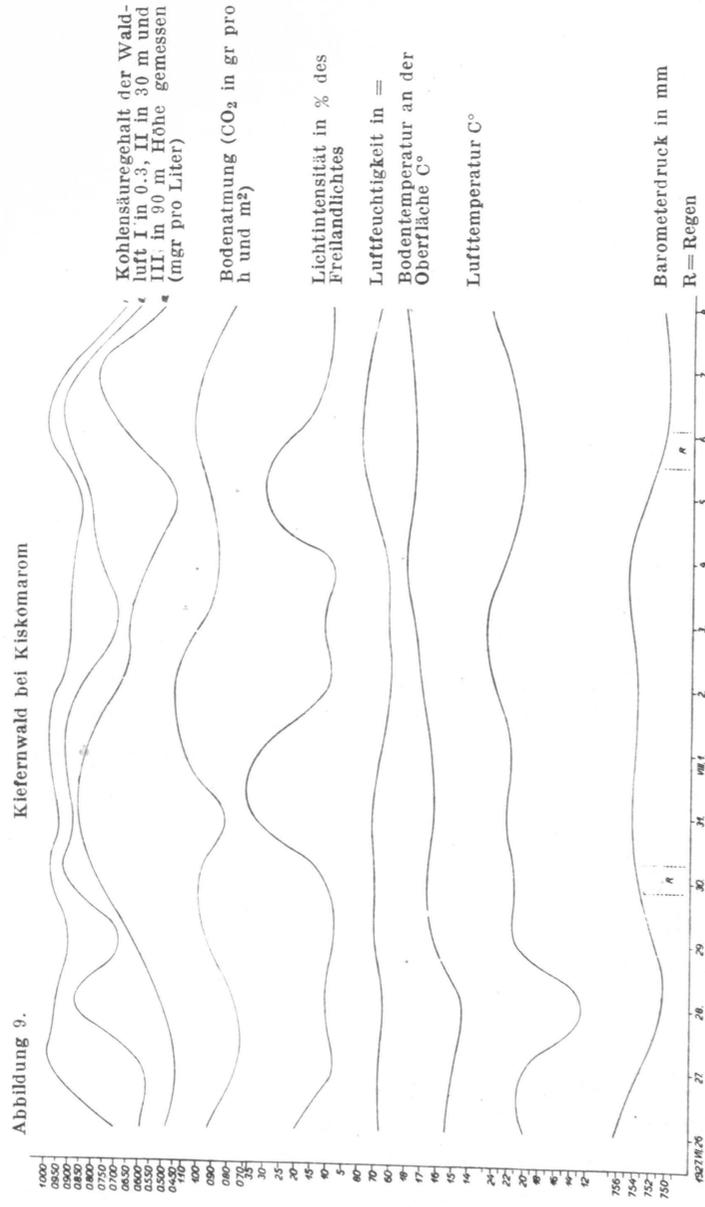
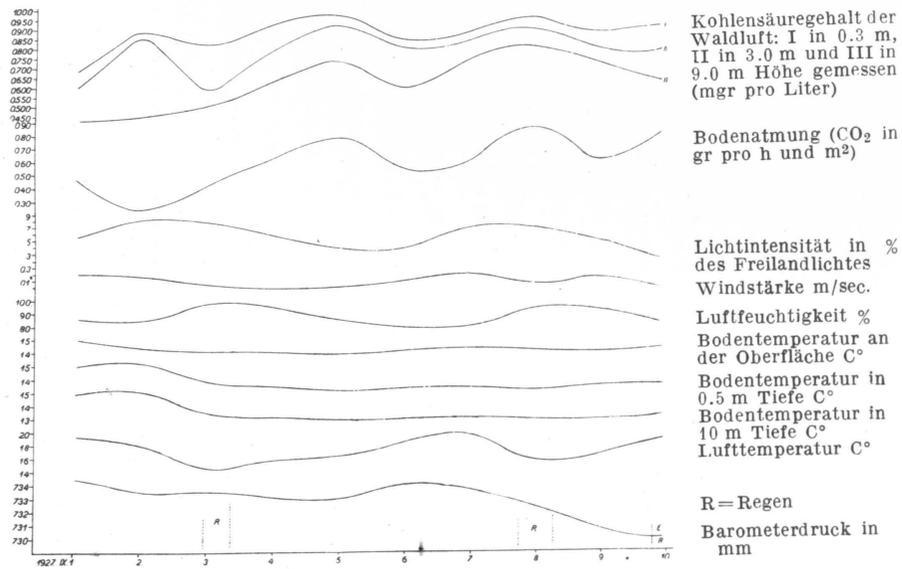


Abbildung 10.

Fichtenwald bei Ágfalva



zutage, wo die Werte derselben sich allmählich dem Nullgrad nähern. Das Minimum der Bodenatmung fällt mit dem Minimum der Bakterienzahl in den Wintermonaten jener Periode zusammen, wo die Bodentemperatur unter 0° sinkt und ihr Minimum erreicht. Die unteren Bodenschichten, welche höhere Temperaturen zeigen, produzieren natürlich noch immer geringe Mengen von CO₂. Wenn aber das Wasser der Bodenkapillaren in den oberen kälteren Bodenschichten gefriert, so wird die Diffusion der CO₂ beinahe gänzlich unmöglich, und infolgedessen wird auch die CO₂-Produktion praktisch ihren Stillstand erreichen. (Siehe Tabelle 7)

Wir können daher im allgemeinen den Grundsatz aufstellen, dass das Minimum der CO₂-Produktion des Waldbodens bei Bodentemperaturen unter 0° C erreicht wird.

Die Anzahl der Bakterien nimmt mit der Temperatur gewöhnlich sehr rasch ab. So war zum Beispiel Anfang November 1927 der Bakteriengehalt 1.990.000. Diese Zahl ist Ende Dezember auf 160,000 gesunken.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben im allgemein meine

früheren Resultate bestätigt und eine ausgeprägte Übereinstimmung mit der Ergebnissen den schwedischen Untersuchungen ergeben, so dass meine dortigen Resultate durch diese Untersuchungsergebnisse in mancher Hinsicht allgemeinere Gültigkeit erlangten. Die hauptsächlichsten Resultate sind die folgenden:

1) Die CO₂-Produktion des Waldbodens beeinflusst unmittelbar den CO₂-Gehalt der Waldluft. Zwischen diesen beiden biologischen Faktoren besteht ein unmittelbarer und kausaler Zusammenhang.

2) Der Kohlendioxidgehalt der Waldluft wird, nach oben gerechnet, infolge des Verbrauchs durch die Assimilation und infolge der ständigen Diffusion sukzessiv geringer.

3) Die Bodenatmung bzw. die CO₂-Produktion des Waldbodens ist das Produkt des Mikrogenlebens im Waldboden und wird im wesentlichen von der Tätigkeit der Bodenbakterien, Protozoen und Pilze beeinflusst.

4) Wenn zwischen den Bakterien die aeroben vorherrschen, so wird gewöhnlich mit der Erhöhung der Bakterienzahl auch die CO₂-Produktion des Waldbodens entsprechend grösser.

5) Infolge dieses Umstandes muss daher der Erhaltung des guten Bodenzustandes, namentlich der entsprechenden Durchlüftung des Waldbodens ein besonderes Augenmerk gewidmet werden.

6) Die Bodentemperatur ist in der Sommerperiode nur geringeren Schwankungen unterworfen; sie beeinflusst daher nur unmerklich die Bodenatmung. Im Herbst und Winter jedoch, wo auch die Bodentemperatur bedeutende Veränderungen erleidet, kommt ihre Wirkung immer mehr zum Vorschein. Es konnte nun vollkommen einwandfrei erwiesen werden, dass, wenn die Werte der Bodentemperatur 0°C erreichen oder unter dieses Niveau sinken, die Bodenatmung und das Mikrogenleben ihren fast vollkommenen Stillstand erreichen.

7) Die Verminderung der CO₂-Produktion wird hauptsächlich durch die schnelle Abnahme der Bakterienzahl verursacht, welche letztere ihr Minimum gewöhnlich in den Monaten Dezember und Januar erreicht.

8) Die Lufttemperatur beeinflusst unmittelbar die Bodenatmung.

TABELLE
Vergleichstabelle der bakteriologischen und

Nr.	Bezeichnung der Waldparzelle	Gesamt Bakterien ~ ¹		
		Aerob	Anaerob	Zusammen
1	Eichenwald bei Kiskomárom ...	36 000 000	8 800 000	44 800 000
2	Kiefernwald bei Kiskomárom.	9 000 000	2 000 000	11 000 000
3	Fichtenwald bei Agfalva	3 200 000	2 000 000	5 200 000
4	Niederwald bei Agfalva	3 600 000	200 000	3 800 000
5	Fichtenwald am Wáris	4 500 000	900 000	5 400 000
6	Fichtenwald an der Hochschule (: Oktober:)	4 000 000	750 000	4 750 000
7	Fichtenwald an der Hochschule (: November:)	1 490 000	500 000	1 990 000
8	Fichtenwald an der Hochschule (: Dezember:)	1 255 000	450 000	1 705 000
9	Erlenwald auf Hallands-Väderö	5 700 000	5 000 000	10 700 000
10	Buchenwald auf Hallands-Väderö	11 500 000	3 000 000	14 500 000
11	Kiefernwald auf Hallands-Väderö	2 950 000	500 000	3 450 000

Sie kann aber auch die Bodenatmung dadurch mittelbar beeinflussen, dass die Diffusion der CO₂ beschleunigt und das Diffusionsgefälle vergrößert, wodurch die Strömung der CO₂ und die Produktion der CO₂ beschleunigt und erhöht wird. Von den übrigen biologischen Faktoren konnte ganz besonders die steigernde Wirkung der Niederschläge nachgewiesen werden.

9) Der in den Beständen stark abgeschwächte Wind hat gewöhnlich keinen merklichen Einfluss.

10) Die Assimilation in dem Niveau der Baumkronen beeinflusst unmittelbar den CO₂-Gehalt der Waldluft. Bei erhöhten Temperaturen und grösseren Lichtmengen im Sommer wird der CO₂-Verbrauch grösser. Dadurch sinkt der CO₂-Spiegel der Waldluft. Man findet daher im Sommer auch bei intensiver Bodenatmung verhältnismässig geringeren CO₂-Gehalt der Waldluft als im Herbst.

¹ } gr pro gr feuchter Erde.
² }

5.
Bodenatmungsuntersuchungen.

Physiolog. Bakteriengruppen. ²				Ph.	Humus- gehalt %	Wasser- gehalt %	Wasserkapazität %	Gesamt N- gehalt ³	Nitrat N- gehalt ⁴	Bodenatm. pro gm u. std.	Bodentem- peratur C°	Lufttempe- ratur C°
Aerob N. bindende	Nitrifizierende	Aerob Cellulose zersetz.	Sonstige									
100	10 000	50 000	1 415 000	5.2	0.73	10.34	18.8	0.0165	0.00207	1.057	17.4	21.4
10	10 000	10 000	510 000	5.4	0.81	4.97	18.5	0.00973	0.00182	0.878	16.8	21.3
100	10 000	20 000	171 100	5.2	4.0	5.37	28.8	0.0153	0.00229	0.562	14.3	17.3
100	10 000	100 000	1 261 000	4.9	2.2	8.47	33.3	0.01662	0.00224	0.555	13.7	15.2
10	100	5 000	421 000	6.8	11.3	13.8	36.1	—	—	0.583	9.4	13.1
100	1 000	10 000	321 000	5.5	2.15	14.7	37.2	0.0151	0.0013	0.597	9.4	13.3
—	—	—	—	5.9	—	18.3	36.4	—	—	0.518	6.0	5.7
—	—	—	—	6.1	—	19.5	36.0	—	—	0.372	0.3	-2.2
—	10	100	332 000	4.0-4.1	8.6	56.0	—	—	—	0.237	—	18.1
10	10	1 000	3 130 000	5.2	4.2	34.0	—	—	—	0.870	15.5	—
—	—	1 000	61 100	4.2	0.5	2.1	—	—	—	0.298	13.9	13.8

11) Im Winter, wo die Bodenatmung ihren Stillstand erreicht, sinkt der CO₂-Gehalt auf das Niveau des freien Luftmeeres.

12) Übereinstimmend mit den früheren Resultaten können wir nun feststellen, dass die Steigerung des CO₂-Gehaltes der Waldluft und damit die Erreichung besserer Wachstumsverhältnisse der Waldbestände bei Wäldern, wo der Boden sich ohnehin in relativ gutem Zustande befindet, nur mit kostspieligen Massnahmen erreicht werden könnte, welche ausserhalb der Rentabilitätsgrenze der heutigen Forstwirtschaft fallen würden. Dagegen wird die Besserung des Bodenzustandes bei Wäldern, deren Boden sich in schlechtem Zustande befindet, eine wichtige physiologische und forstwirtschaftliche Rolle spielen.

13) Namentlich bei der natürlichen Verjüngung wird die ausgiebige CO₂-Produktion des Waldbodens eine ganz besonders wich-

³ gr pro 5 gr } feuchter Erde.
⁴ gr pro 100 gr }

tige Rolle spielen, da hier die jungen Pflanzen unter dem Schutze des Hauptbestandes längere Zeit in den CO₂-reichen unteren Luftschichten liegen, wo bei den herrschenden niederen Lichtintensitäten der erhöhte CO₂-Gehalt das Wachstum wesentlich beeinflusst.

14) Wir dürfen daher die natürliche Verjüngung auch für die CO₂-Ernährung des Waldes als eine recht gute und zweckmässige Wirtschaftsform bezeichnen.

15) Die ph-Werte beeinflussen die Entwicklung der Bakterienflora nur dann, wenn ihre Werte unter ph-5 sinken. In diesem Falle verringert die Bodenazidität, die Anzahl der Bakterien und deren Tätigkeit recht wesentlich.

Im Laufe meiner Untersuchungen bin ich aber immer mehr zu der Überzeugung gelangt, dass die Wirkung der wichtigsten Umweltfaktoren erst dann befriedigend geklärt werden kann, wenn wir den zeitlichen Verlauf der biologischen Tätigkeit und die Änderungen, welche im Waldboden durch diese Faktoren hervorgerufen werden, auf breiterer Basis und lange, möglichst ein ganzes Jahr umfassende Beobachtungsperioden hindurch untersuchen. Ich habe nämlich im Laufe meiner bisherigen Untersuchungen meistens nur mit verhältnismässig kurzen Beobachtungsperioden gearbeitet. Die auf diese Art und Weise gewonnenen Resultate haben jedoch nicht in jeder Hinsicht befriedigende Aufklärungen geliefert. Infolgedessen habe ich mich nun entschlossen, die fraglichen biologischen Erscheinungen und ihre wichtigsten Umweltfaktoren auf mehreren Versuchsflächen ein ganzes Jahr lang systematisch zu untersuchen.

Zu diesem Behufe habe ich drei Versuchsflächen ausgewählt und zwar: Versuchsfläche Nr I. den Fichtenwald im botanischen Garten der Hochschule, Versuchsfläche Nr V. den Fichtenwald in Ágfalva, Forstverwaltung der Hochschule und Versuchsfläche Nr VII. den Niederwald in Ágfalva, Forstverwaltung der Hochschule.

Mit Rücksicht auf die recht umständlichen Arbeitsmethoden, welche bei der quantitativen Untersuchung der Bodenatmung und des CO₂-Gehaltes der Waldluft heutzutage angewendet werden, deren

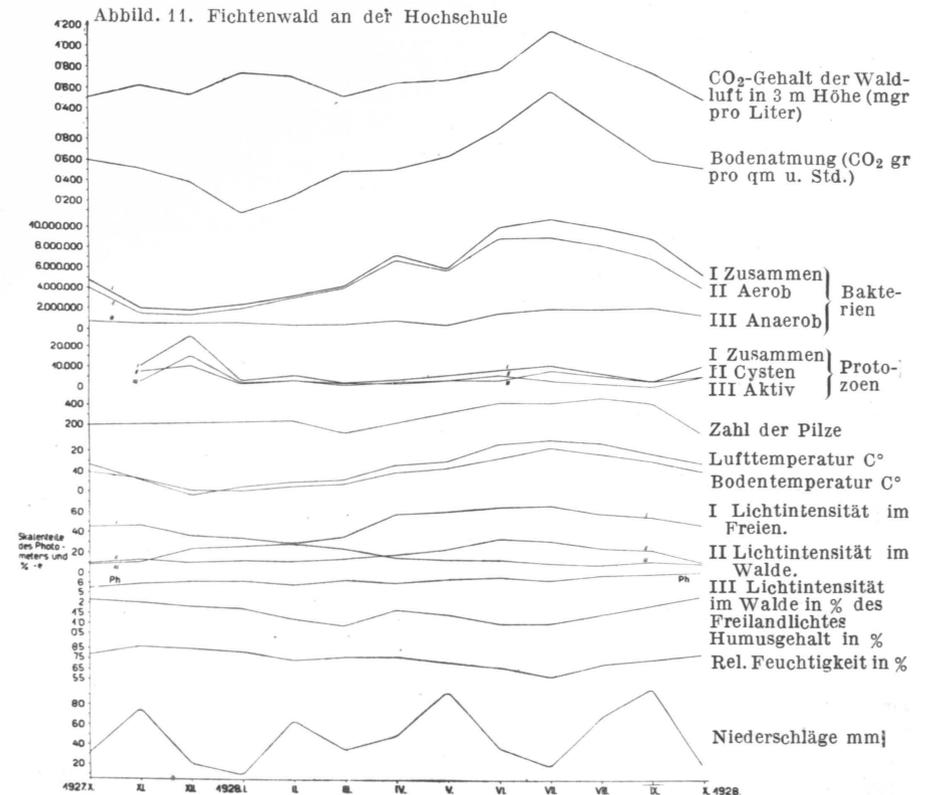


Abbildung 12. Bodenatmung in Wochenmitteln in den Monaten! Dezember, Januar, Februar.

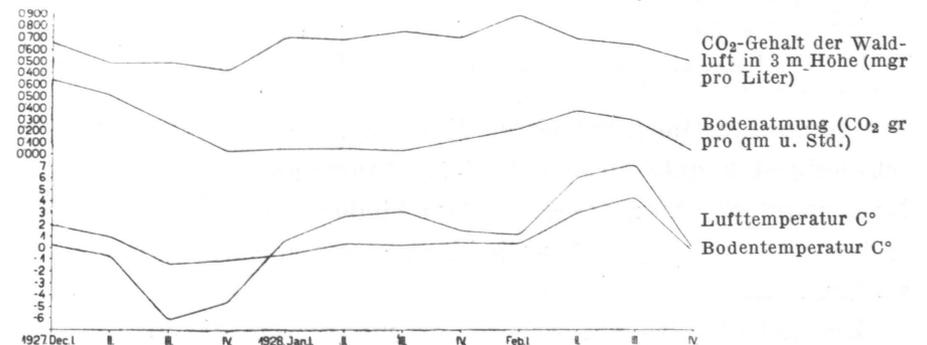
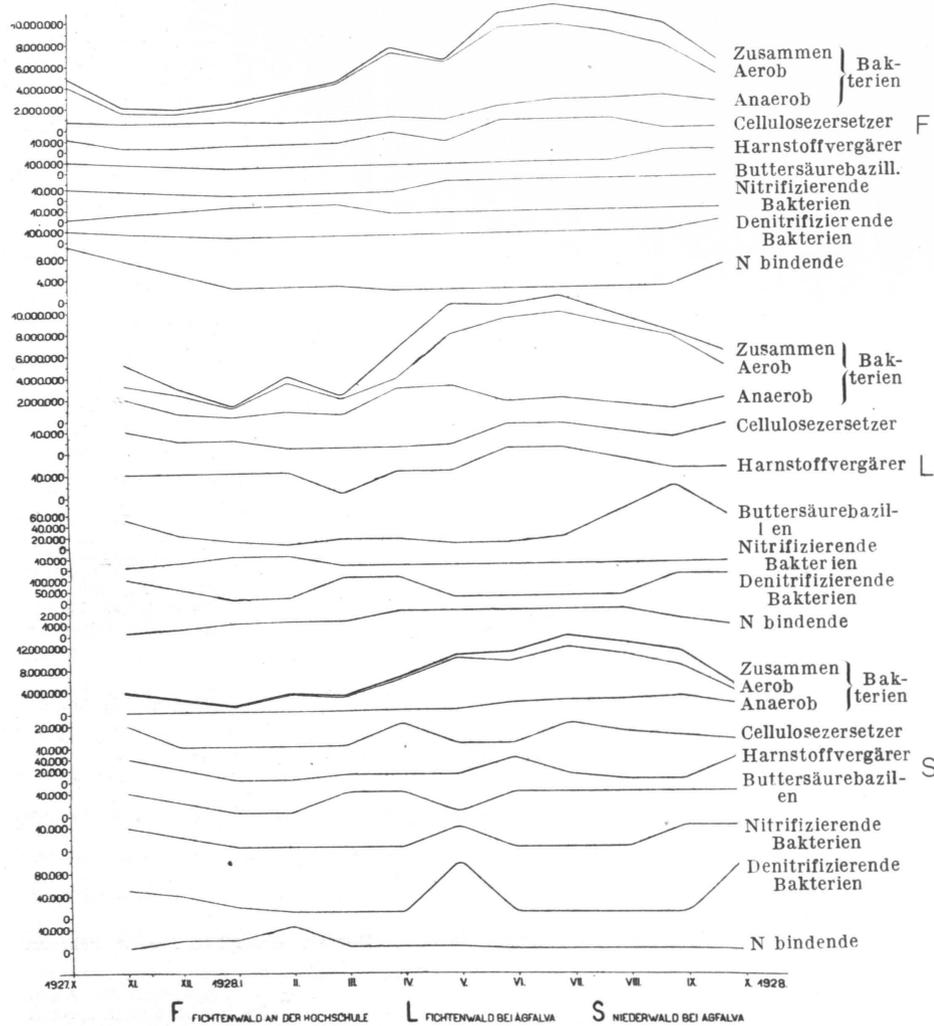


Abbildung 13. Zeitlicher Verlauf der Änderungen der physiologischen Bakteriengruppen.



Durchführung, namentlich in den Wintermonaten auch physisch recht schwierig ist, konnte ich diese beiden Faktoren nur auf Versuchsfeld Nr I. ununterbrochen das ganze Jahr hindurch messen, während die anderen Faktoren nur auf den beiden anderen Versuchsfeldern untersucht wurden.

Die Arbeitsmethodik war die gleiche, die ich bei meinen früheren Untersuchungen bereits angewendet habe. Die Resultate die-

ser Untersuchungen enthält Abbildung Nr 11, 12 u. 13. Bezüglich der anderen Versuchsfelder verweise ich auf die Abbildungen Nr 2, 3, u. 4, die die Änderungen der Mikrobentätigkeit detailliert enthalten. Ausserdem habe ich die wichtigsten Resultate in der Tabelle VI, VII und VIII zusammengefasst.

Bei diesen Untersuchungen war die Bestimmung der Bodenatmung und des Kohlensäuregehaltes der Waldluft, namentlich im Winter, bei Temperaturen unter 0° mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden. Wir mussten die Glasbestandteile des Apparates, welche mit der kalten Aussenluft in Berührung kamen, mit einem zweckentsprechenden Warmwasser-Mantel umhüllen.

Was nun die Details der Untersuchungen anbelangt, möchte ich noch kurz folgendes bemerken:

Es wurden täglich gemessen: die Bodenatmung, die Bodentemperatur in drei verschiedenen Tiefen: an der Oberfläche, in 0.5 m und 1.0 m Tiefe, die Lufttemperatur, die Windstärke und die Lichtintensität, bezw. die Lufttemperatur und die Feuchtigkeit wurden mit Registrierapparaten fortlaufend gemessen.

Die Anzahl der Bakterien, Pilze und Protozoen konnte ich mit Rücksicht auf die, mit der Untersuchung derselben verbundenen Massenuntersuchungen nur monatlich einmal bestimmen. In den kritischen Monaten aber, im Dezember, Januar und Februar, haben wir jedoch die Gesamtzahl der Bakterien in jeder zweiten Woche bestimmt.

Die Versuchsfelder wurden bereits auf Seite 10 und 12 ausführlich beschrieben.

Die wichtigsten Resultate dieser Untersuchungen möchte ich im folgenden kurz zusammenfassen:

1) Die Untersuchungen haben in Übereinstimmung mit den Ergebnissen meiner früheren Arbeiten ganz klar erwiesen, dass zwischen dem Bakteriengehalt des Bodens und den durch ihre Tätigkeit produzierten Kohlensäuremengen ein unmittelbarer und kausaler Zusammenhang besteht, dessen Kriterien die folgenden sind:

a) Die biologische Tätigkeit der Bakterien steht in engem Zusammenhang mit der Sonnenenergie, die in der Boden- und Lufttemperatur sowie in der Lichtintensität ihren messbaren Ausdruck findet.

TABELLE 6. Fichtenwald an der

Monat	Aerob	Anaerob	Zusammen	Pilze	N Bindende (aerob u. anaerob.)	Nitrifizierende	Denitrifizierende	Cellulosezerersetzer (aerob u. anaerob)
1927								
X.	4 000 000	750 000	4 750 000	200 000	10 100	1 000	100 000	11 000
XI.	1 490 000	500 000	1 990 000	205 000	7 400	5 000	70 000	2 000
XII.	1 255 000	450 000	1 705 000	210 000	4 700	7 000	40 000	1 000
1928								
I.	1 750 000	400 000	2 150 000	214 000	2 000	10 000	10 000	2 000
II.	2 790 000	200 000	2 990 000	220 000	2 000	10 000	10 000	2 000
III.	3 670 000	200 000	3 870 000	100 000	2 000	10 000	10 000	2 000
IV.	6 460 000	500 000	6 960 000	200 000	1 100	1 000	10 000	11 000
V.	5 450 000	200 000	5 650 000	300 000	1 100	1 000	10 000	2 000
VI.	8 600 000	1 300 000	9 900 000	400 000	1 100	1 000	10 000	20 000
VII.	8 770 000	1 800 000	10 570 000	400 000	1 100	1 000	10 000	20 000
VIII.	8 000 000	1 800 000	9 800 000	450 000	1 100	1 000	10 000	20 000
IX.	6 700 000	2 000 000	8 700 000	400 000	1 100	1 000	10 000	10 000
X.	3 800 000	1 300 000	5 100 000	100 000	5 000	1 000	100 000	10 000
	4 825 000	877 000	5 687 000	261 530	3 061	3 846	30 770	8 690

Porosität 49.2

Wasserkapazität 37.2

b) Die Änderungen des Bakteriengehaltes des Bodens vollziehen sich nach klar erkennbaren Gesetzmässigkeiten, die in dem kurvenmässigen Verlauf der Änderungen der Gesamtbakterienzahl deutlich ihren Ausdruck finden. Die Werte der Boden- und Lufttemperatur und der Lichtintensität erreichen zusammen mit dem Bakteriengehalt ihr Minimum in den Wintermonaten. Nach Ablauf des Winters steigen sie allmählich an und erreichen ihr vollständiges Maximum in den Monaten Juni und Juli. Während dieser Entwicklung kann man bei dem Bakteriengehalt des Bodens im Frühling noch ein zweites Maximum beobachten, welches aber gewöhnlich viel geringer ist als das Sommermaximum.

c) Die Bodenatmung wird durch die Temperatur unter 0° gewöhnlich fast vollkommen stillgelegt trotz des Umstandes, dass der Waldboden

Hochschule. Versuchsfläche I.

Peklinvergärer (aerob u. anaerob)	Aerob Harnstoff- vergärer	Anaerob Butter- säurebazillen	Protozoen			Ph	Humusgehalt %	Bodenatmung gr. pro Stunde u. m ²	CO ₂ Gehalt der Waldluft in 3 m Höhe (mg pro lit.)	Bodentemperatur an der Oberfläche in C°	Lufttemperatur in C°
			Zusammen	Cysten	Aktiv						
1.100	100 000	10 000	—	—	—	5.5	2.15	0.597	0.509	9.53	13.56
—	70 000	7 000	10 000	7 500	2 500	5.9	2.00	0.518	0.627	6.23	5.87
—	40 000	4 000	25 000	10 000	15 000	6.1	1.80	0.372	0.518	0.39	—2.24
—	10 000	1 000	2 500	1 000	1 500	6.08	1.70	0.066	0.721	—0.05	1.81
2.000	10 000	1 000	5 000	2 500	2 500	5.74	1.20	0.229	0.657	1.8	3.85
200	10 000	1 000	1 000	1 000	—	6.2	0.87	0.472	0.498	2.85	4.96
2.000	10 000	1 000	2.500	1 000	1 500	5.94	1.63	0.495	0.637	8.49	12.27
—	10 000	10 000	5 000	2 500	2 500	6.31	1.40	0.613	0.663	10.72	14.29
—	10 000	10 000	7 500	2 500	5 000	6.52	0.96	0.884	0.758	15.95	22.75
—	10 000	10 000	10 000	7 500	2 500	6.23	0.97	1.256	1.134	21.27	25.16
—	10 000	10 000	6 300	5 000	1 300	6.74	1.90	0.924	0.935	18.20	23.76
—	100 000	10 000	2 500	2 500	—	6.90	2.35	0.590	0.738	14.67	18.39
—	100 000	10 000	10 000	5 000	5 000	7.04	2.83	0.516	0.476	10.00	14.01
—	37 692	6 538	7 275	4 000	4 183	6.24	1.67	0.580	0.684	9.22	12.18

Luftkapazität 12.0

1—12 gr. pro gr. feuch er Erde.

auch bei niedrigen Wintertemperaturen einen ziemlich beträchtlichen Bakteriengehalt aufweist. Dieser Stillstand entsteht auch dann, wenn die unteren Bodenschichten höhere Temperaturgrade aufweisen. Die Ursache dieser Erscheinung ist darin zu suchen, dass durch die niedrige Temperatur in den Bodenkapillaren das Wasser gefriert und dadurch die Diffusion der gebildeten CO₂ unmöglich macht.

d) Die durch die Bodenatmung erzeugten CO₂-Mengen werden hauptsächlich durch die Tätigkeit des Gesamtbakteriengehaltes des Bodens beeinflusst und zwar derart, dass die Intensität der Bodenatmung sich parallel zu der Zunahme der Anzahl der aeroben Bakterien erhöht. Die Anzahl der anaeroben Bakterien beeinflusst die Bodenatmung negativ. Die höchsten Werte erreicht die Bodenatmung erst dann, wenn in dem Gesamtbakteriengehalt des Bodens die aeroben Bakte-

TABELLE 7.

Bodenatmungswerte im Fichtenwald an der Hochschule an einigen kritischen Tagen im Januar 1928.

Datum	Boden- temperatur	Lufttemperatur		Bodenatmung pro gr St. u. m ²
		Max.	Min.	
2	— 1.8	— 3.0	— 10.8	0.0063
3	— 2.6	— 3.0	— 13.5	0
10	1.9	9.6	— 3.5	0.0779
11	0	7.8	— 3.5	0.0588
13	0.8	7.8	— 3.5	0.1783
16	0.2	2.2	— 1.0	0.0622
17	0.1	5.0	— 0.5	0
18	0.8	5.5	— 1.0	0
19	0.2	6	— 0.6	0.1046
20	0.9	7	— 1.0	0.1769
21	0	5	— 1.5	0
23	0	7.5	0	0
24	0.3	4	— 0.5	0
27	0.2	0	— 2.3	0

rien überwiegen. Die anaeroben Bakterien zeigen zwar ebenfalls ein Winterminimum und ein Sommer- bzw. Frühlingmaximum, aber die Änderungen ihrer Anzahl bewegen sich zwischen verhältnismässig engen Grenzen. Ihr relatives Minimum fällt mit dem Sommermaximum des Gesamtbakteriengehaltes zusammen und ihr relatives Maximum mit dem Minimum des Gesamtbakteriengehaltes.

e) Die Anzahl und Tätigkeit der Bodenprotozoen übt keinen namhaften Einfluss auf den Gang der Bodenatmung aus.

f) Der CO₂-Gehalt der Waldluft wird ausser durch die Bodenatmung auch durch die Intensität der Assimilation, bzw. die Grösse des CO₂-Verbrauches der assimilierenden Baumkronen unmittelbar beeinflusst. Namentlich im Herbst, so lange trotz der sinkenden Bodenatmung die Baumkronen noch ziemlich viel CO₂ verbrauchen, nimmt auch der CO₂-Gehalt der Luft ab. Später aber, im Laufe des Winters, wo die Assimilation infolge der niedrigen Temperaturen vollkommen

aufhört, sinkt der CO₂-Gehalt der Luft nicht vollkommen auf das CO₂-Niveau des freien Luftmeeres, sondern zeigt vorübergehend steigende Tendenz infolge der bestehenden Bodenatmung und des fehlenden Verbrauches durch die Assimilation. Im Frühjahr, bei Beginn der Assimilationstätigkeit der Bäume, sinkt er vorübergehend, aber später mit der Erhöhung der Intensität der Bodenatmung steigt er wieder parallel zur Bodenatmungskurve.

g) Die Entwicklung der Pilze verläuft ungefähr parallel zur Kurve der Gesamtbakterienzahl, nur mit der geringen Abweichung, dass ihr Maximum im Juli und im August durch die Trockenperiode meistens ungünstig beeinflusst wird.

2) Die zu den physiologischen Gruppen gehörenden Bakterien haben in ihrem Verhalten folgende Gesetzmässigkeiten gezeigt:

a) Die Gesamtzahl der zellulosezersetzenden Bakterien (aerob und anaerob) zeigt ungefähr das gleiche Verhalten wie die Gesamtbakterienkurve.

b) Die Buttersäure- und Harnstoffbakterien zeigen im grossen und ganzen ungefähr das gleiche Verhalten.

c) Die nitrifizierenden Bakterien erreichen in den mittelalten, geschlossenen Waldtypen ein Maximum und zwar im Laufe des Winters und des Vorfrühlings. Dagegen zeigen sie in dem auf der Kahl-schlagsfläche entstandenen unterbauten Niederwalde ein Frühjahrs- und ein Wintermaximum.

d) Die denitrifizierenden Bakterien weisen entsprechend den Feuchtigkeits- und Niederschlagsverhältnissen ein Herbstmaximum auf und zeigen ausserdem an zwei Versuchsflächen noch ein Frühjahrsmaximum.

3) Die N-bindenden Bakterien zeigen kein gleichmässiges Verhalten. Auf der einen Versuchsfläche hatten wir ein Wintermaximum, auf der anderen ein Sommermaximum und ein Frühjahrsmaximum und auf der dritten ein Herbstmaximum. Dieses abweichende Verhalten hat mich veranlasst, meine Untersuchungen in dieser Richtung zur Klärung dieser Frage fortzusetzen.

TABELLE 8. Vergleichstabelle über die Bodenat-

Versuchsfläche	Bakterien pro gr feuchter Erde			CO ₂ -Produktion pro Stunde u. m ² in Gramm
	Aerob	Anaerob	Zusammen	
Kiskomárom, Eichenwald ...	36 000 000	8 800 000	44 800 000	1.057
Kiskomárom, Kiefernwald ...	9 000 000	2 000 000	11 000 000	0.878
Fichtenwald bei Ágfalva ...	4 971 000	1 208 330	6 171 660	0.562
Niederwald bei Ágfalva	5 786 710	870 000	6 654 375	0.555
Fichtenwald am Váris	4 500 000	900 000	5 400 000	0.583
Fichtenwald an der Hochsch. .	4 825 000	877 000	5 687 000	0.597
Hallands-Väderö, Buchenwald	11 500 000	3 000 000	14 500 000	0.87
Hallands-Väderö, Kiefernwald	2 950 000	500 000	3 450 000	0.298
Hallands-Väderö, Erlenwald .	5 700 000	5 000 000	10 700 000	0.237

4) Zwischen den Änderungen der ph-Werte und des Humusgehaltes einerseits und den Änderungen des Bakteriengehaltes andererseits konnte innerhalb der einzelnen Waldtypen kein unmittelbarer Zusammenhang nachgewiesen werden (XV).

III. DER N-STOFFWECHSEL DER WALDBÖDEN.

Über diesen Gegenstand, wie ja überhaupt über den N-Umsatz der landwirtschaftlichen Böden, sind bereits recht zahlreiche Untersuchungen vorhanden (XVI). Da es uns im Laufe der hier in Frage stehenden Untersuchungen grösstenteils gelungen ist, die biologischen Vorgänge bei der Kohlenstoffumsetzung im Waldboden aufzuklären, so haben wir entsprechend dem uns gesteckten Ziele dieses Problem einer eingehenden Bearbeitung unterworfen.

Ausserdem habe ich danach getrachtet diesen Fragenkomplex in seinem allseitigen Zusammenhange zu erfassen. Dabei habe ich den N-Stoffwechsel des Waldbodens mit seinen beeinflussenden Faktoren untersucht.

mung nach Jahresdurchschnittswerten.

CO ₂ -Gehalt der Waldluft mg litr.			Humus- gehalt	Ph	Beobachtungszeit
0.3 m	3 m	9 m			
0.843	0.732	0.478	0.73	5.2	15. VII. 1927—25. VII. 1927
0.901	0.717	0.628	0.81	5.4	26. VII. 1926—8. VIII. 1926
0.876	0.788	0.646	2.81	6.12	1. IX. 1927—10. IX. 1927
In 2 m. Höhe					
	0.940		2.68	5.73	11. IX. 1927—13. IX. 1927
0.775	0.762	0.700	11.3	6.8	13. XI. 1927—16. IX. 1927
In 2 m. Höhe					
	0.582		1.67	6.24	24. X. 1927—2. XI. 1927
0.779	0.748	0.669	4.2	5.2	14. VII. 1926—3. VIII. 1926
0.707	0.677	0.627	0.5	4.2	28. VIII. 1926—11. IX. 1926
0.641	0.578	0.537	8.6	4.1	9. VI. 1926—7. VII. 1926

Die untersuchten Detailfragen waren hierbei die folgenden:

a) Der Gesamt-N-Gehalt wurde nach dem allgemein bekannten Verfahren von GUNNING-ATTERBERG ermittelt (XII).

b) Der Nitrat-N wurde nach dem Verfahren von WITHING-RICHMOND und SCHOONOWER ermittelt (XIII).

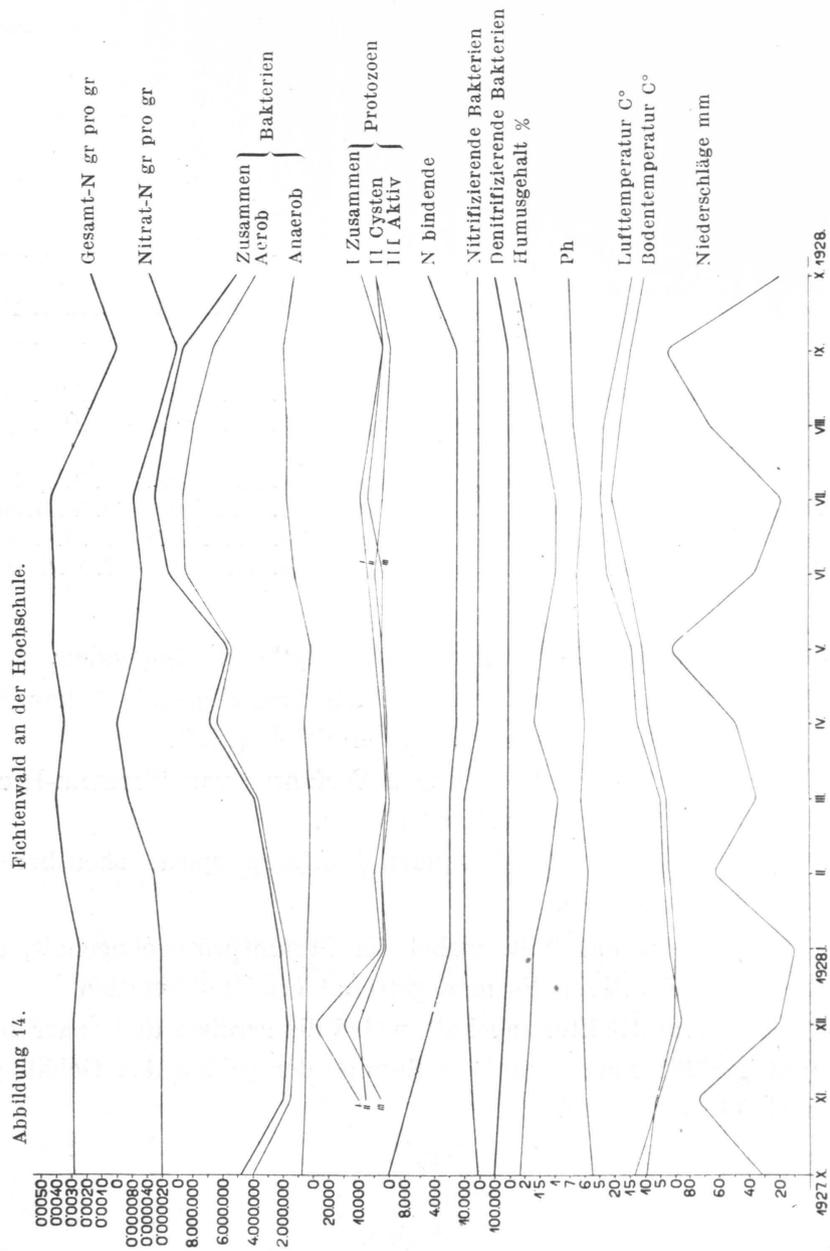
Die Untersuchung der folgenden Faktoren wurde oben bereits ausführlich beschrieben.

c) Der Protozoengehalt, wobei der Gesamtprotozoengehalt, die Cysten und die aktiven Formen getrennt ermittelt wurden.

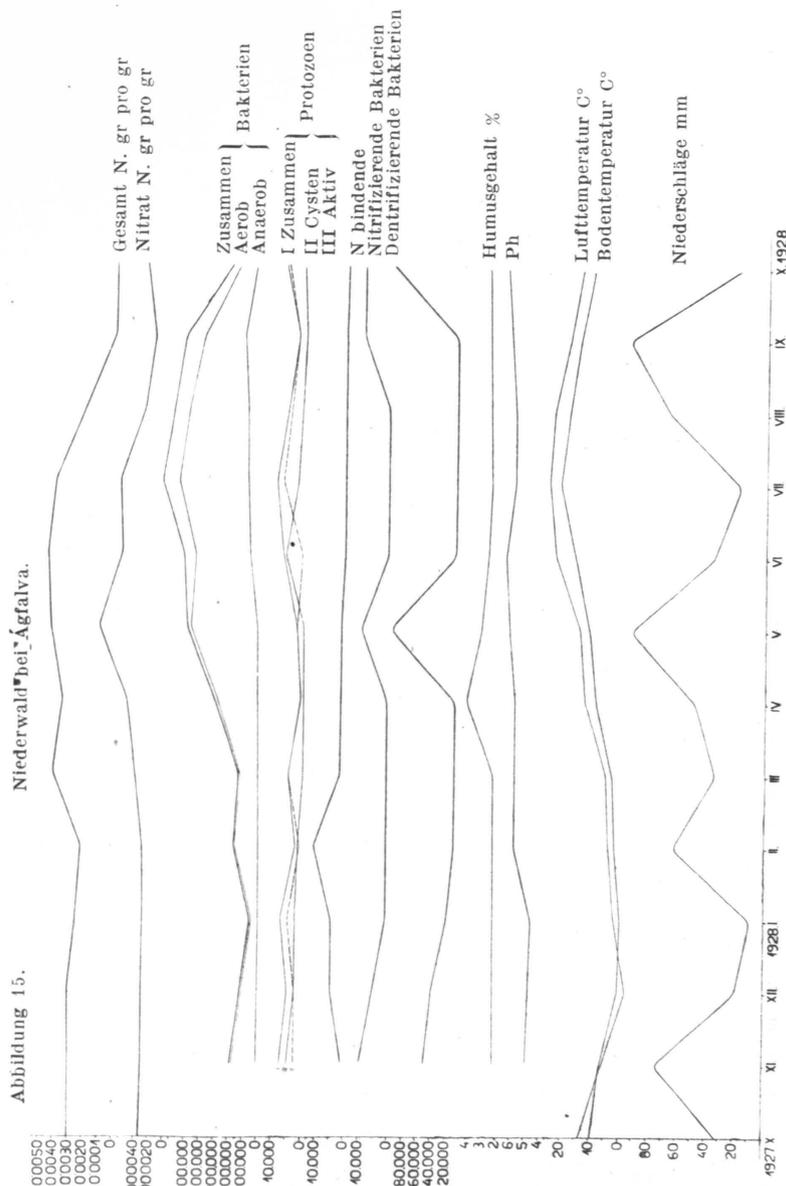
d) Der Gesamtbakteriengehalt, wobei die aeroben und anaeroben getrennt gezählt wurden und die Summe der beiden den Gehalt an Gesamtbakterien ergibt.

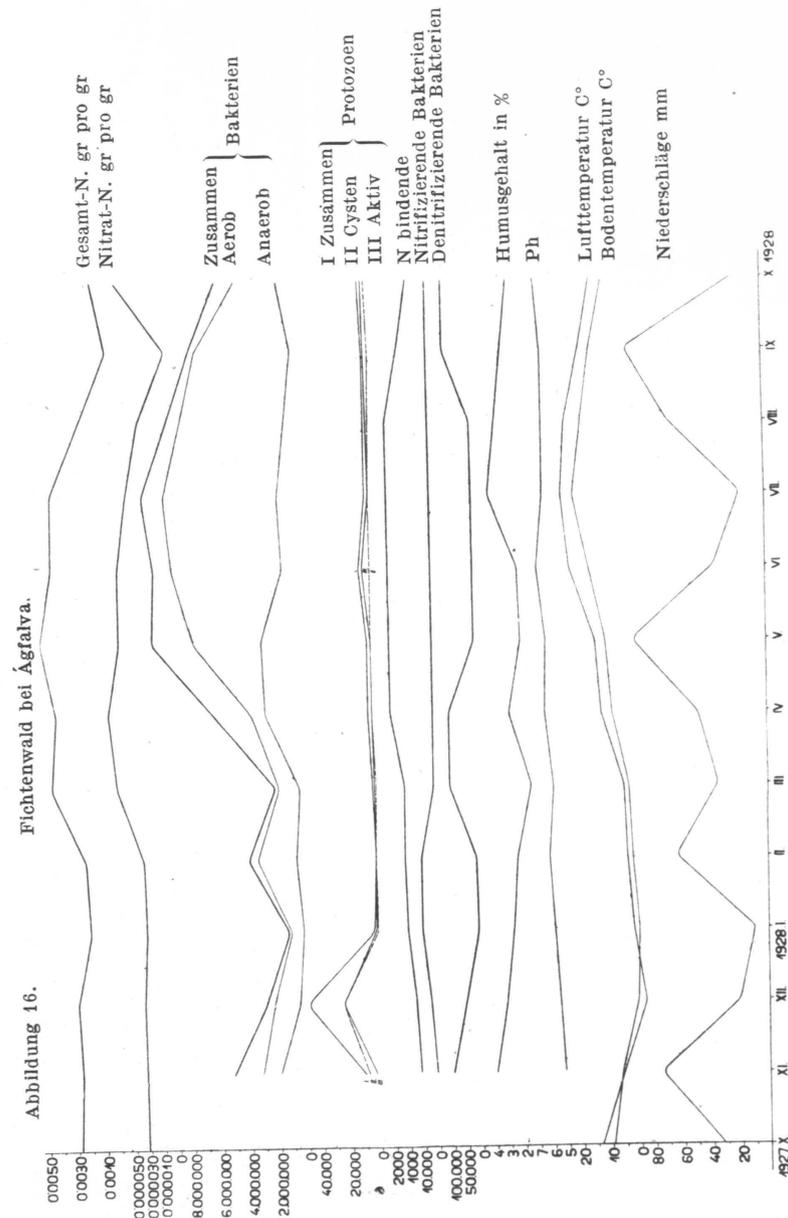
- e) Die N-bindenden Bakterien,
- f) die nitrifizierenden Bakterien,
- g) die denitrifizierenden Bakterien,
- h) der Humusgehalt,
- i) die ph-Werte,

Fichtenwald an der Hochschule.



Niederwald bei Ägfalva.





- j) die Lufttemperatur,
- k) die Bodentemperatur und
- l) die Niederschlagsmenge.

Die Untersuchungen habe ich auf drei Versuchsflächen durchgeführt und zwar auf der Versuchsfläche Nr I. Fichtenwald im botanischen Garten der Hochschule, Versuchsfläche Nr V. Fichtenwald bei Ágfalva und Versuchsfläche Nr VII. Unterbauter Niederwald in Ágfalva. Die Beschreibung dieser Versuchsflächen habe ich auf Seite 10 und 12 ebenfalls ausführlich gegeben.

Wenn wir auf Grund der Abbildungen 14, 15 und 16 und der Übersichtstabelle IX. die Ergebnisse dieser Untersuchungen näher betrachten, so ergeben sich die folgenden biologischen Zusammenhänge:

1) *Der N-Stoffwechsel des Waldbodens hat auch einen ausgeprägten zeitlichen Verlauf. Der Gesamt-N-Gehalt des Waldbodens erreicht seine maximalen Werte in den Sommermonaten Juni und Juli. Im Laufe des Herbstes tritt eine rapide Abnahme ein und das Minimum resultiert bei allen drei Waldtypen im Laufe des Monats September. Von September bis Oktober zeigt die Gesamt-N-Kurve eine starke Steigerung, im Laufe des Spätherbstes und des Winters bleibt sie ungefähr auf dem gleichen Niveau, steigt aber in den Frühlingsmonaten wieder merklich an, um ihr Maximum im Hochsommer zu erreichen.*

Der Nitrat-N-Gehalt zeigt ungefähr das gleiche Bild mit dem Unterschied jedoch, dass das Maximum des Nitrat-N-Gehaltes im Frühling und zwar in den Monaten April und Mai zu konstatieren ist.

2) *Zwischen dem Gesamt-N-Gehalt und dem Nitrat-N-Gehalt einerseits und dem Gesamtbakteriengehalt andererseits besteht insofern ein Zusammenhang, als alle insgesamt ihr Maximum in den Sommermonaten erreichen.*

3) *Viel prägnanter und deutlicher ist der Zusammenhang zwischen der Boden- und Lufttemperatur und dem Verlauf der beiden N-Kurven. Da nach dem Vorstehenden zwischen der Lichtintensitäts- und der Temperaturkurve ein deutlicher Parallelismus besteht, so kann man ganz*

TABELLE 9. Vergleichende Zusammenstellung

Monate	Fichtenwald an der Hochschule				
	Gesamt N. gr pro gr feucht. Erde	Nitrat N. gr pro gr feucht. Erde	Nitrifi- zierende	Denitrifi- zierende	N. Bin- dende
1927					
Oktober	0.0028	0.000020	1 000	100 000	10 000
November	0.0028	0.000020	5 000	70 000	7 400
Dezember	0.0028	0.000020	7 000	40 000	4 700
Januar	0.0024	0.000021	10 000	10 000	2 000
Februar	0.0034	0.000030	10 000	10 000	2 000
März	0.0040	0.000065	10 000	10 000	2 000
April	0.0036	0.000082	1 000	10 000	1 100
Mai	0.0044	0.000060	1 000	10 000	1 100
Juni	0.0043	0.000050	1 000	10 000	1 100
Juli	0.0044	0.000060	1 000	10 000	1 100
August	0.0022	0.000030	1 000	10 000	1 100
September	0.00037	0.000009	1 000	10 000	1 100
Oktober	0.0019	0.000040	1 000	100 000	5 000
Jahresdurchschnitt	0.0036	0.000038	3 846	30 770	3 061

deutlich einen Zusammenhang zwischen dem Gesamt-N und Nitrat-N-Gehalt und diesen beiden Umweltfaktoren konstatieren.

4) Bei den beiden Versuchsflächen I. und V., welche gut geschlossene und mittelalterige Bestände sind, zeigen die nitrifizierenden Bakterien ein Maximum im Winter bzw. im Vorfrühling. Bei Versuchsfläche Nr V, weisen die denitrifizierenden Bakterien ein Frühjahrs- und Herbstmaximum und bei der Versuchsfläche Nr I. nur ein Herbstmaximum auf. Versuchsfläche Nr VII. zeigt ein etwas abweichendes Verhalten, da hier die nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien ein Frühjahrs- und ein Herbstmaximum zeigen. Bei dieser letzten Versuchsfläche entspricht nun dem Frühjahrsmaximum der nitrifizierenden Bakterien auch ein Frühjahrsmaximum des Nitrat-N-Gehaltes.

Die N-bindenden Bakterien geben kein einheitliches Bild. Aus dem Gesagten geht auch hervor, dass zwischen der Anzahl dieser Bakterien und den N-Gehalt kein unmittelbarer Zusammenhang

der Ergebnisse der Nitrogenuntersuchungen.

Fichtenwald bei Agfalva					Niederwald bei Agfalva				
Gesamt N. gr pro gr feucht. Erde	Nitrat N. gr pro gr feucht. Erde	Nitrifi- zierende	Denitrifi- zierende	N. Bin- dende	Gesamt N. gr pro gr feucht. Erde	Nitrat N. gr pro gr feucht. Erde	Nitrifi- zierende	Denitrifi- zierende	N. Bin- dende
0.0028	0.000033	—	—	—	0.0030	0.000033	—	—	—
0.0026	0.000034	1 000	100 000	200	0.0030	0.000030	10 000	50 000	1 100
0.0028	0.000034	5 000	50 000	500	0.0030	0.000029	5 000	40 000	5 000
0.0018	0.000029	10 000	5 000	1 000	0.0025	0.000028	1 000	20 000	5 000
0.0020	0.000031	10 000	10 000	1 100	0.0022	0.000030	1 000	10 000	11 000
0.0042	0.000065	1 000	100 000	1 100	0.0042	0.000041	1 000	10 000	2 000
0.0038	0.000075	1 000	100 000	2 000	0.0035	0.000052	1 000	10 000	2 000
0.0048	0.000059	1 000	10 000	2 000	0.0043	0.000090	10 000	100 000	2 000
0.0040	0.000060	1 000	10 000	2 000	0.0045	0.000059	1 000	10 000	1 100
0.0040	0.000047	1 000	10 000	2 000	0.0040	0.000063	1 000	10 000	1 100
0.0020	0.000030	1 000	10 000	2 000	0.0020	0.000030	1 000	10 000	1 100
0.00031	0.000007	1 000	100 000	1 100	0.00058	0.000017	10 000	10 000	1 100
0.0011	0.000060	1 000	100 000	400	0.00035	0.000030	10 000	100 000	1 000
0.0028	0.000043	2 830	50 420	1 280	0.0028	0.000041	4 330	31 660	2 790

nachgewiesen werden kann. In diesem Falle bekommen wir daher ein ganz anderes Bild, als bei der Kohlensäureproduktion des Waldbodens. Dieser Faktor steht nämlich in ganz deutlichem und kausalem Zusammenhange mit der Anzahl der Gesamtbakterien. Bei der N-Bindung im Waldboden kann jedoch auf Grund meiner Untersuchungsergebnisse nun ohne weiteres festgestellt werden, dass innerhalb eines Waldtyps die zahlenmässigen Änderungen der erwähnten drei Bakterienarten für alle Gestaltungen der beiden N-kurven wirkungslos ist. Bezüglich des N-Stoffwechsels des Waldbodens spielt also die durch die Temperaturänderungen indizierte Intensität der Mikrobentätigkeit jene ausschlaggebende Rolle, welche den Verlauf des N-Umsatzes des Waldbodens unmittelbar beeinflusst.

5) Desgleichen sind auch innerhalb der gleichen Waldtypen der Humusgehalt und die ph-Werte fast vollkommen wirkungslos.

6) Der allgemeine Verlauf der beiden N-Kurven kann nach meiner Ansicht folgenderweise erklärt werden:

Die Hauptquelle des N-Gehaltes des Waldbodens ist ja bekanntlich der alljährlich eintretende Laubfall. Da der Laubfall im Herbst erfolgt, so kann das derart gewonnene Material infolge der niedrigen Temperatur im Spätherbst und im Winter durch die Bakterien nicht genügend verarbeitet werden. In diesem Falle wird daher in erster Linie nicht die Anzahl, sondern die Intensität der N-Bakterien durch die Temperatur beeinflusst, da im Herbst die nitrifizierenden Bakterien infolge der günstigen Feuchtigkeitsverhältnisse ihr Maximum erreichen.

Infolge der steigenden Temperatur im Frühjahr und im Sommer tritt nun eine erhöhte Intensität der Bakterien ein. Parallel mit dieser Erscheinung beginnt aber auch die Lebenstätigkeit der Waldbäume, wodurch natürlich hauptsächlich die Nitrat-N-Mengen verbraucht werden. Die Menge des Nitrat-N wird jedoch durch die nitrifizierenden Bakterien aus dem Reservevorrat des Gesamt-N ergänzt. Im Laufe des Spätsommers und des Frühherbstes wird aber auch dieser Vorrat allmählich erschöpft und es zeigen nun alle drei Waldtypen vollkommen übereinstimmend, dass der Vorrat an Gesamt-N und Nitrat-N seine Minimalwerte im Monat September erreicht.

Im Oktober erfolgt wieder der Laubfall, wodurch den N-Bakterien reichliche Nahrung geboten wird. Und da im Monat Oktober die Temperatur noch verhältnismässig hoch bleibt, so wird der N-Vorrat des Bodens durch die N-Bakterien wieder ergänzt. Dieser Vorrat bleibt jedoch im Laufe des Winters ungefähr auf dem gleichen quantitativen Niveau und erst im Frühjahr beginnt dann wieder der bereits geschilderte Verlauf des Gesamt-N-Gehaltes und Nitrat-N-Gehaltes des Waldbodens.

DIE BEDEUTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE FÜR DEN PRAKTISCHEN WALDBAU.

Diese Untersuchungen, welche auf derart verschiedenen Versuchsflächen in Nord- und Südeuropa durchgeführt wurden, gestatten nun einen tiefen Einblick in die biologischen Verhältnisse des Waldbodens.

Wir müssen den Waldboden in seiner Gesamtheit mit seinen Mikroorganismen als einen lebenden Organismus auffassen, der lebt und während seines Lebens ununterbrochen einen wichtigen energetischen Prozess vollzieht, der in der Bodenatmung seinen Ausdruck findet. Der Waldboden bietet dem auf ihm lebenden Waldbestand nicht nur die gelösten anorganischen Nährstoffe, sondern erzeugt auch den überwiegenden Teil jener Kohlensäure, welche durch die Waldbäume während der Assimilation verbraucht und zum Aufbau des Holzkörpers verwendet wird. Die Erhaltung des guten Bodenzustandes ist daher nicht nur für die Aufnahme der gelösten anorganischen Nährstoffe wichtig, sondern sie spielt auch eine ausschlaggebende Rolle bei der CO₂-Ernährung des Waldes.

So lange daher infolge wirtschaftlicher und finanzieller Gründe in der Forstwirtschaft keine intensive Bodenbearbeitung bzw. Düngung Platz greifen kann, wird eine der hervorragendsten Aufgaben des Waldbaues sein, den Waldboden in gutem biologischem und chemisch-physikalischem Zustande zu erhalten.

Wir müssen daher bei der Auswahl der waldbaulichen Massnahmen immer die Erhaltung des guten Bodenzustandes berücksichtigen und auch danach trachten, unsere Wirtschaftsmassnahmen derart durchführen, dass dieselben den Kreislauf des Nährstoffwechsels des Waldbodens und des Waldlebens nicht empfindlich stören.

Ich bin auf Grund meiner Untersuchungen zu der Überzeugung gekommen, dass diesem Zwecke am besten die Wirtschaftsmassnahmen der natürlichen Verjüngung entsprechen.

Bei der Durchführung der natürlichen Verjüngung müssen wir jedoch die lokalen Anforderungen des Standortes immer sorgfältig berücksichtigen. Ich denke hier in erster Linie an die Gefahr der Bodenversäuerung, die ja heute die Produktivität der Forstwirtschaft in dem ariden Klima von Nordeuropa gefährdet. Bei diesen Böden müssen wir immer von Zeit zu Zeit den Bestandesschluss entsprechend lockern, ja wenn es notwendig sein

sollte, auch den Kahlschlag anwenden, wenn die Durchlüftung des Bodens diese Massnahme erfordert.

Die erste und wichtigste Forderung ist daher, dass wir bei der natürlichen Verjüngung das Schematisieren vermeiden und unseren Wirtschaftsmassnahmen den lokalen Standortverhältnissen anpassen.

Auf Grund dieser Untersuchungen können wir bereits ausdrücklich feststellen, dass bei der rationell durchgeführten natürlichen Verjüngung die biologischen und biochemischen Prozesse des Waldbodens am wenigstens gestört werden. Wir wissen, dass eine der wichtigsten Hauptbedingungen der normalen Lebenstätigkeit der Mikroflora die entsprechende Temperatur und Bodenfeuchtigkeit ist. Auf den Kahlschlägen sind diese Bedingungen nicht im Optimum vorhanden. Da der junge Bestand den Boden nicht genügend beschirmen kann, werden diese Flächen der Windwirkung, die ein rasches Austrocknen des Bodens herbeiführt, in erhöhtem Masse ausgesetzt. Ausserdem wirken die übermässige Erwärmung in den Sommermonaten einerseits und die nächtliche starke Abkühlung in den Herbst- und Frühlingsmonaten andererseits recht ungünstig auf die Entwicklung und Tätigkeit der Mikroflora des Waldbodens.

Es kommen ausserdem, da das Sonnenlicht durch die Baumkronen nicht genügend filtriert werden kann, auch die ultravioletten, für das Mikrobenleben ausserordentlich schädlichen Strahlen der Sonne zur Geltung.

Alle diesen schädlichen Einflüsse können bei der natürlichen Verjüngung fast vollkommen ausgeschaltet werden. Andererseits aber, wenn bei den sauren Waldböden die ph-Werte sich $ph = 4$ nähern, wird die Tätigkeit der Mikroflora des Waldbodens durch diese Säuregrade ebenfalls ungünstig beeinflusst. *Die anaeroben Bakterien werden sich hier auf Kosten der aeroben vermehren, wodurch, wie meine Untersuchungen klar und einwandfrei gezeigt haben, die CO_2 -Produktion des Waldbodens ganz erheblich herabgesetzt wird und das physiologische Gleichgewicht zwischen der Mikrobentätigkeit des Waldbodens und der Ernährung der Waldbestände empfindlich gestört wird.*

Da die Versäuerung des Waldbodens die Entwicklung der anaeroben Bakterien besonders begünstigt, so vermehren sich auch die denitrifizierenden Bakterien bedeutend intensiver als die nitrifizierenden. Wie unsere orientierenden Untersuchungen gezeigt haben, ist die Zahl der denitrifizierenden Bakterien in allgemeinen immer grösser als die Anzahl der nitrifizierenden. Unter normalen Verhältnissen erreicht jedoch der N-Stoffwechsel des Waldbodens auch hier einen Gleichgewichtszustand, welcher die N-Versorgung der Waldbäume unter den gegebenen Umständen in ausreichendem Masse ermöglicht. Durch die Versäuerung des Waldbodens wird jedoch auch dieser Gleichgewichtszustand ziemlich gestört, wodurch das Leben der Waldbestände und die Ernährung derselben ebenfalls recht ungünstig beeinflusst wird.

Der Säuregrad der Waldböden ist daher immer ein guter Wegweiser bei der Beurteilung des Bodenzustandes bezüglich der Kohlenstoffernährung und des N-Stoffwechsels der Waldbestände. Wir müssen daher bei der natürlichen Verjüngung den Säuregrad des Waldbodens immer aufmerksam verfolgen und bei der Regelung des Bestandesschlusses und bei der Vornahme eventueller Kahlschläge diesen Umstand immer entsprechend berücksichtigen.

Bei stark wasserhaltigen Böden, wo der Kahlschlag die Heilung nicht mehr herbeiführen kann, muss natürlich auch die künstliche Entwässerung benutzt werden.

Dieser Gedankengang zeigt ganz klar und deutlich, dass bei den Wirtschaftsmassnahmen der modernen Forstwirtschaft keine festen Regeln angewendet werden können. Nur dann, wenn wir die örtlichen Verhältnisse des Waldbodens berücksichtigen und die physiologischen Verhältnisse der Waldbestände aufmerksam beobachten, können wir die entsprechende Wirtschaftsverfahren ausfindig machen.

Zum Schlusse möchte ich nochmals betonen, dass bei Waldböden, die sich in optimalem Bodenzustande befinden, durch jene Massnahmen, welche im Rahmen der Rentabilität der heutigen Forstwirtschaft angewendet werden können, die Kohlensäureproduktion des Waldbodens wesentlich nicht mehr erhöht werden kann. Ganz anders ist es bei

den schlechten Waldböden, wo die entsprechende Bodenbearbeitung eine recht günstige Wendung herbeiführen kann. Die natürliche Verjüngung bietet auch für die Kohlenstoffernährung der Waldbäume schon deshalb ausserordentlich günstige Bedingungen, weil hier der junge Bestand im Schutze des älteren Bestandes aufwächst und dadurch den erhöhten Kohlensäuregehalt der unteren Luftschichten fast restlos ausnützen kann. In grossen zusammenhängenden Waldbeständen wird nämlich der Wind gerade in der Hauptvegetationszeit derart abgeschwächt, dass wir im Laufe unserer Untersuchungen keinen direkten Einfluss auf den Kohlensäuregehalt der Waldluft nachweisen konnten.

Ganz anderst ist es bei den Kahlschlägen, wo die Windwirkung in erhöhten Maasse zur Geltung kommt und dadurch der Kohlensäuregehalt der Waldluft erheblich vermindert und die Kohlensäure, welche durch die Bodenatmung gebildet wurde, bevor noch die jungen Pflanzen dieselbe ausnützen könnten, fortträgt.

Ich möchte noch betonen, dass der Unterbau von Laubhölzern, wie meine Untersuchungen bestätigen, die biologischen Vorgänge im Waldboden begünstigt. Die Ursache dieser Erscheinung kann ich noch nicht vollkommen exakt erklären, ich halte es aber für sehr wahrscheinlich, dass die Laubhölzer durch den reichlicheren Laubfall besser ein Edaphon geben können. Die exakte Lösung dieser Frage können erst besondere Untersuchungen herbeiführen. Auf Grund der bisherigen Resultate fühle ich mich noch nicht berechtigt, eine bestimmte Meinung auszusprechen.

LITERATUR.

- I. BOKOR: Untersuchungen über die Mikroflora des Waldbodens. (Forstliche Versuche, Sopron. 1926.) (Siehe auch die Literatur und die Details der Arbeitsmethodik).
- FEHÉR und VÁGI: Biochemische und biophysikalische Untersuchungen über die Einwirkung der wichtigsten biologischen Faktoren auf das Leben und Wachstum der Waldbestände. (Ebenda).

- II. FEHÉR und VARGA: Untersuchungen über die Protozoenfauna des Waldbodens. (Vorgelegt in ung. Sprache der III. Cl. der kön. ung. Akademie der Wissenschaften in der Sitzung am 12. November 1928).
- III. CUTLER: Journal of Agricultural Science 10. 135—143. 1927.
- IV. WAKSMAN: Principles of Soil Microbiology. Baltimore 1927.
- V. MISLOVITZER: Die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration von Flüssigkeiten. 1928. S. 245.
- VI. EDER: Abderhaldens Handbuch der biolog. Arbeitsmethoden. Abt. II. T. I. 1924.
- VII. WEISSMAN: Agriculturchemisches Praktikum. Berlin 1926. S 227—233.
- VIII. BOKOR: Biochemische Zeitschrift 181 S. 302. 1927.
- IX. LUNDEGÅRDH: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Jena 1924.
- X. VÁGI: Bodenkunde. Sopron, 1928.
- XI. FEHÉR: Über den Gebrauch des volumetrischen Apparates für die Messung der CO₂-Produktion des Waldbodens. (Biochemische Zeitschrift 1927. B. H. 3—4).
- XII. WAHNSCHAFFE: Wissenschaftliche Bodenuntersuchung.
- XIII. WHITING-RICHMOND und SCHOONOWER: Journ. Ind. and Eng. chem. 12. 982—984. 1920.
- XIV. Dr FEHÉR and SOMMER: Researches about the carbonic-acid nourishment of the forest. (Forest Researches 1927. 1—2.) Sopron.
Dr FEHÉR: Untersuchungen über die Kohlenstoffernährung des Waldes. (Flora, Allg. Bot. Zeitung (Bd. 121. S. 316—333. 1927).
Dr FEHÉR: Untersuchungen über die Kohlensäureernährung des Waldes. Vorläufige Mitteilung. (Biochemische Zeitschrift, 1927. Bd. 180. H. 1—2).
Dr FEHÉR: Some remarks to my publications about the CO₂ nourishment of the forests. (Forest Researches, 1927. 3—4.) Sopron.
Dr FEHÉR: Untersuchungen über die Kohlestoffernährung des Waldes (Sitzungsberichte der ung. Akademie der Wissenschaften, Budapest 1927. B. XLIV).
- XV. Dr FEHÉR: A new method of the measurement of the soils respiration of CO₂. (Forest Researches, 1927. 3—4.) Sopron.
- XV. Dr FEHÉR and G. SOMMER: Researches about the carbon-nourishment of the forest. (Forest Researches, 1928. Bd. XXX.) Sopron.
Dr FEHÉR and G. SOMMER: Untersuchungen über die Kohlenstoffernährung des Waldes II. (Biochemische Zeitschrift, B. 199. H. 4—6, 1928).

- Dr FEHÉR: Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf des Mikrobenlebens des Waldbodens. (Vorgelegt in ung. Sprache der III. Cl. der kön. ung. Akademie der Wissenschaften in der Sitzung am 11. Dezember).
- XVI. WAKSMAN, TENNEY und STEVENS: The role of microorganisms in the transformation of organic matter in forest soils. (Ecology, Vol. IX. No. 2.)
- AALTONEN, V. T.: Über die Umsetzung der Stickstoffverbindung im Waldboden. (Communicationes ex instituto quaestionum forestalium Finlandiae editae 10.) Helsinki 1926.
- NEMEC, A und KVAPIL, K.: Der Einfluss der Bestände auf die Bildung von Stickstoffverbindungen im Waldboden. (Les. práce, S. 231.)
- HESSELMAN, HENRIK: Die Bedeutung der Stickstoffmobilisierung in der Rohhumusdecke für die erste Entwicklung der Kiefern und Fichtenpflanzen. (Mitteilungen aus der schwedischen forstl. Versuchsanstalt, 1927. H. 23).

A. Fehér