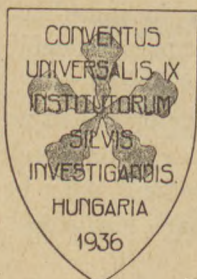


69.151

IXth Congress
of the International Union
of Forest Research Institutes



IX^e Congrès de l'Union
Internationale des Instituts
de Recherches Forestières

IX. Kongreß des Internationalen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten.
Hungary. Hongrie. Ungarn. 1936.

Die biologischen Lebensvorgänge des Waldbodens in ihrem kausalen Zusammenhange mit den Klimafaktoren.

Von: D. Fehér.

(Aus dem Botanischen Institut der kön. ung. Palatin Josef Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften, Sopron.)

I. Einleitung.

Auf dem VII Kongreß in Stockholm habe ich bereits über jene Untersuchungsergebnisse berichtet, die ich auf Grund meiner ersten Forschungen abgeleitet habe. (1.) Es versteht sich von selbst, daß die Bearbeitung derart umfangreicher Probleme längere Zeitperioden beansprucht, da die kausalen Zusammenhänge erst durch längere Beobachtungsperioden bemerkbar gemacht werden können. Wir dürfen auch nicht vergessen, daß die Ermittlung der Einwirkung der Klimafaktoren auf das Bodenleben nur dann mit Erfolg vor sich gehen kann, wenn man extreme Fälle beobachtet.

Es ist ohne weiteres klar, daß der Gesamtverlauf der biologischen Lebensvorgänge des Bodenlebens nicht nur aus theoretischem, sondern auch aus dem praktischen Gesichtspunkte von großer Bedeutung ist. Der Wald ist ja ein Lebensraum, in dem alle biologischen und biochemischen Vorgänge ungestört verlaufen können. Aber gerade diese Ungestörtheit sichert das harmonische Zusammenwirken der Biofaktoren des Waldbodens. Will man daher den Wald, als Lebensgemeinschaft, im Dienste der Produktion wissentlich und zielbewußt regeln, so wird es

notwendig sein, alle höheren kausalen Zusammenhänge, die den Waldboden in seiner Gesamtheit beeinflussen, kennen zu lernen, um dadurch ihre Regulierbarkeit und die Möglichkeit ihrer Beeinflussung klar und sicher erkennen zu können. Nur auf Grund dieser Erkenntnis wird es dann möglich sein, das Waldleben und die Produktion desselben so zu beeinflussen, daß in dem Forstbetriebe die denkbar höchsten Erträge erzielt werden können.

Aber anderseits, auch aus theoretischem Standpunkte ist ja die Kenntnis der biologischen Lebensvorgänge des Waldbodens von ausschlaggebender Bedeutung. Der Wald stellt nämlich einen Biotop, oder besser gesagt, einen Lebensraum dar, in dem die Naturkräfte sich voll und frei entfalten können und infolgedessen werden auch alle Gesetzmäßigkeiten, die man hier ableitet, von grundlegender Bedeutung sein.

Alle diese Überlegungen haben mich und meine Mitarbeiter veranlaßt, unsere Untersuchungen auf möglichst breiter Grundlagen aufzubauen, und im Laufe dieser Forschungen alle wichtigen biologischen Lebensvorgänge des Waldbodens in ihrem kausalen Zusammenhange mit den Klimafaktoren und mit ihrer gegenseitigen Beeinflussung zu erforschen.

II. Die Beschreibung der Versuchsflächen.

Um auch den Einfluß der verschiedenen klimatischen Faktoren in seinem Zusammenhang mit der geographischen Lage untersuchen zu können, haben wir eine große Reihe von Versuchsflächen angelegt, die von der ungarischen Tiefebene bis zum 70. Breitengrad sich erstreckt haben.

Die kurze Beschreibung der Versuchsflächen enthält Tabelle I.

Außerdem wurde eine Reihe von Versuchsflächen auch in den übrigen Weltteilen außer Europa bearbeitet, um die regionale Vertretung der Bodenbakterien, der Bodenpilze und der Bodenalgen erfassen zu können. (Siehe Abb. 1 u. 2.)

III. Untersuchungsmethodik.

Wir haben folgende Biofaktoren regelmäßig untersucht:

1. Den Gesamtstickstoffgehalt,
2. den Nitratstickstoffgehalt,

Die Verteilung der Versuchsflächen des Institutes.

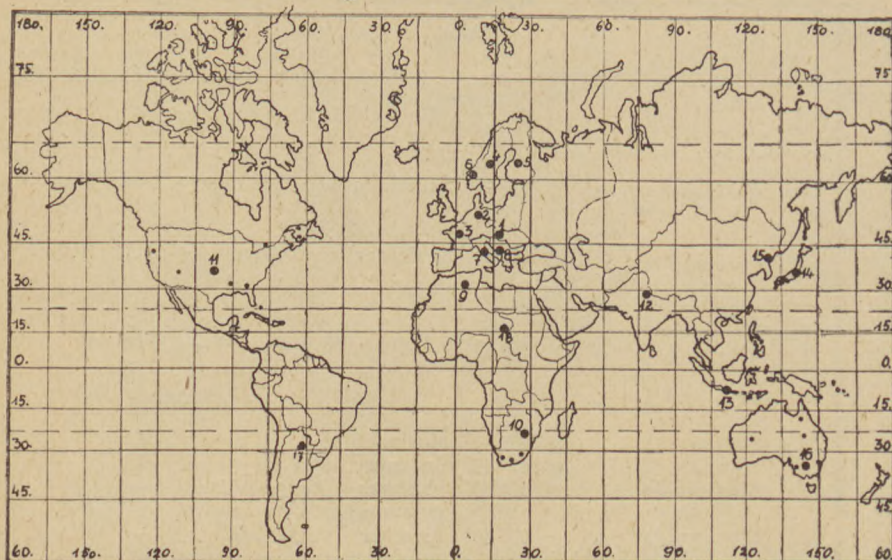


Abb. 1.

1. Ungarn, 2. Deutschland, 3. France, 4. Sverige, 5. Suomi, 6. Norge,
7. Italia, 8. Balkan, 9. N.-Afrika, 10. S.-Afrika, 11. U. S. A., 12. India,
23. Java, 14. Japan, 15. Korea.



Abb. 2.

Die Verteilung der Versuchsflächen in Europa.

Tabelle I.

Beschreibung der

Nr.	Ort der Versuchsfläche		Geol. Untergrund	Höhe über dem	Exposition
				Meeresspiegel Meter	
11.	Sopron	47° 47'	Schichten von Brennberg	300	SW
14.	Sopron	47° 47'	Schichten von Brennberg	350	SW
15.	Sopron	47° 47'	Schichten von Brennberg	339	W
20b)	Sopron	47° 47'	Muskovitgneis	320	—
24.	Sopron	47° 47'	Badener Tegel	216	—
31.	Eberswalde	52° 40'	Frischer tiefgründiger, gelbbrauner Diluvialsand	—	—
	Deutschland			—	NW
32.	Eberswalde	52° 40'	Frischer tiefgründiger, gelbbrauner Diluvialsand	—	NO
	Deutschland			—	—
37.	Rajvola	60° 17'	Frischer Moränen-Lehm- boden	—	SW
	Finnland				
38.	Rajvola	60° 17'	Frischer Moränen-Lehm- boden	—	SW
40.	Kivalo	66° 50'	Frischer Moränen-Lehm- boden	280	N
	Finnland				
41.	Kivalo	66° 50'	Frischer Moränen-Lehm- boden	270	NW
42.	Kivalo	66° 50'	Sandiger Moränenboden	220	—
43.	Kivalo	66° 50'	Diluviale Sandheide	220	—
44.	Petsamo	69° 20'	Diluviale Sandheide	75	—
	Finnland				
45.	Petsamo	69° 20'	Lehmsandiger Moränen- boden	75	—
46.	Petsamo	69° 20'	Glazialer Lehm Boden	70	—
47.	Elvenes bei Kirkenes	69° 30'	Moräne aus Gneisarten	—	—
	Norwegen				

OMT = Oxalis Myrtillus-Typ.
HMT = Hylocomium Myrtillus-Typ.
GT = Geranium-Typ.
VT = Vaccinium-Typ.

Versuchsflächen.

Bodentyps	Baumart — Mischungsverhältnisse	Alter	Bestandes- schluß
Braunerde- Lehmboden	Carpinus betulus 0'9	30	0'6
	Quercus sessiliflora } 0'1	—	—
	Betula verrucosa } 0'1	—	—
	Pinus silvestris } 0'1	—	—
"	Picea excelsa 0'8	30-40	1'0
	Pinus silvestris } 0'2	—	—
	Carpinus betulus } 0'2	—	—
	Larix decidua } 0'2	—	—
"	Picea excelsa 0'5	26	1'0
	Carpinus betulus 0'3	—	—
	Pinus nigra 0'1	—	—
	Larix decidua 0'1	—	—
"	Quercus robur 1'0	45	0'9
"	Brache —	—	—
Braunerde	Fagus silvatica 1'0	119	0'8
Schwacher Podsol	Pinus silvestris 0'9	—	—
	Betula alba } 0'1	—	—
	Fagus silvatica } 0'1	—	—
Podsol OMT	Picea excelsa 0'5	110	0'9
	Pinus silvestris 0'4	—	—
	Betula odorata 0'1	—	—
Schwacher Podsol Farntyp	Picea excelsa 0'5	40	0'7
	Betula odorata 0'5	—	—
Podsol HMT	Picea excelsa 0'9	200	0'7
	Betula odorata 0'1	—	—
	Urwald —	—	—
Schwacher Podsol GT	Picea excelsa 0'6	200	0'7
	Betula odorata 0'4	—	—
Schwacher Podsol VT	Pinus silvestris 1'0	80	0'7
Schwacher Podsol CT	Pinus silvestris 1'0	80	0'8
Schwacher Podsol VCIT	Betula odorata 0'9	—	0'8
	Pinus silvestris 0'1	—	bis
	Urwald —	—	1'0
Podsol CoMT	Betula odorata 1'0	—	0'6
	Urwald —	—	—
Schwacher Podsol GT	Betula odorata 1'0	100	0'6
	Alnus incana } —	—	—
	Juniperus communis } —	—	—
	Sorbus aucuparius } —	—	—
Schwacher Podsol GT	Betula odorata 1'0	75	0'6
	— —	—	bis
	— —	—	0'8

CT = Calluna-Typ.
VCIT = Vaccinium Cladonia-Typ.
CoMT = Cornus Myrtillus-Typ.

3. den zitronensäurelöslichen Phosphorgehalt,
4. den zitronensäurelöslichen Kaligehalt,
5. die Gesamtbakterienzahl, getrennt nach aeroben und anaeroben Bakterien,
6. die Zahl der mikroskopischen Bodenpilze,
7. die Zahl der nitrifizierenden,
8. die Zahl der denitrifizierenden,
9. die Zahl der stickstoffbindenden Bakterien (aerob und anaerob),
10. die Zahl der cellulosezersetzenden Mikroorganismen (aerob und anaerob),
11. den Humusgehalt,
12. die pH-Werte,
13. den CaCO_3 -Gehalt,
14. die elektrische Leitfähigkeit,
15. die Luft- und Bodentemperatur,
16. die Bodenfeuchtigkeit,
17. die Bodenatmung und
18. die Bodenalgen.

Bezüglich der angewendeten Methoden verweise ich auf unsere früheren Arbeiten. Besonders auf die Angaben meines Buches, wo die Untersuchungsmethodik detailliert beschrieben ist. (2.)

Ich möchte hier ergänzend noch bemerken, daß der zitronensäurelösliche Phosphorgehalt in 1%-igem Zitronensäureauszug kolorimetrisch nach *Zinzadze* bestimmt wurde. Zum Kolorimetrieren haben wir die Photozellen-Methode mit Selen-Photoelement verwendet, und dadurch die Nachteile der subjektiven Kolorimetrie ausgeschaltet. (3.)

Der zitronensäurelösliche Kaligehalt wurde nach der Methode von *König-Lemmermann* in einem 1%igen Zitronensäureauszug gravimetrisch bestimmt. Das Kalium wurde hierbei einheitlich als perchlorsaures Kalium erfaßt.

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte steril immer von einer Bodentiefe von 25—30 cm, wo bekannterweise die intensivste Mikrobentätigkeit stattfindet. Zu diesem Behufe haben wir Bodenproben mit einem sterilen Gerät von 15—20 cm Tiefe gesammelt, gut durchgemischt und aus diesem Gemisch die sterilen Aufbewahrungsgefäße gefüllt. Die Einhaltung der genauen Bo-

dentiefen und der Gewinnung von guten Durchschnittsproben ist besonders wichtig, wenn man den biologischen Kreislauf der verschiedenen Nährstoffe des Bodens zeitlich untersuchen will. Jene Bodenproben, die der Umgebung von Sopron entstammen, wurden innerhalb von 24 Stunden nach der Entnahme behandelt. Dies konnte natürlich bei den übrigen Bodenproben, deren Zusendung gewöhnlich mehrere Tage beansprucht hat, nicht eingehalten werden. Es ist daher klar, daß die Ergebnisse dieser Untersuchungen nur in relativer Hinsicht ausgewertet werden konnten. Zur Orientierung wurde eine Versuchsfläche auch nach der Tiefe mikrobiologisch analysiert.

Bei der Bestimmung der Bakterienzahl haben wir vorläufig an der Plattenmethode festgehalten. Obwohl ich durch die Anwendung der pH-Methode für die bodenbiologischen Untersuchungen ein neues Verfahren eingeführt habe, (5.) mußten wir an der ursprünglichen Plattenmethode schon aus dem Grunde festhalten, um die verschiedenen Untersuchungsergebnisse dieser langen Beobachtungsperioden miteinander vergleichen zu können.

Ich möchte noch hiezu bemerken, daß ich bestrebt bin, in der späteren Folge meiner Forschungen an Stelle der bisher üblichen Bakterienzahlen den Ausdruck des sogenannten Aktivitätsgrades des Bodens einzuführen. Unter Aktivitätsgrad verstehe ich das bioenergetische Vermögen der Mikroorganismen, die pH-Werte des Bodens umzuändern. Bestimmt wird der Aktivitätsgrad durch jene Grade der jeweiligen Bodensuspensionen, welche geeignet sind eine merkliche Änderung der pH-Werte hervorzurufen.

Die sogenannten direkten Methoden mußten wir vorläufig verwerfen, weil sie für unsere Zwecke quantitativ nicht zu gebrauchen waren. An allen direkten Methoden haftet nämlich der Nachteil, daß mit ihrer Hilfe die toten Bakterien und Pilze von den lebenden nicht getrennt werden können und außerdem sind sie vorläufig unfähig exakt quantitatives über die physiologischen Bakteriengruppen auszusagen. Es steht außer Zweifel, daß die Anwendung der Plattenmethode viele Fehler mit sich bringt. Aber nach meiner Ansicht ist sie in quantitativer Hinsicht noch immer besser und mit größerem Erfolg zu verwenden, als die direkten Methoden, die erst noch weiter entsprechend ausgebaut werden müßten. Eine größere Sicherheit verspricht aber die

Anwendung der pH-Methode, welche die Lebenstätigkeit und die Aktivität der gesamten Mikropopulationen des Bodenlebens erfaßt.

IV. Besprechung der Untersuchungsergebnisse.

Die Untersuchungsergebnisse haben wir im allgemeinen bildlich dargestellt. Um jedoch auch über die einzelnen Größenordnungen einen Begriff haben zu können, teile ich über eine Versuchsfläche die Untersuchungsergebnisse tabellarisch mit und zwar die Resultate der Versuchsfläche 15, die seit 9 Jahren regelmäßig bearbeitet wurde. (Siehe Tabelle 2.) Auch die übrigen Versuchsflächen sind während längeren Zeitperioden bearbeitet worden.

Ich möchte jetzt in den folgenden die bisherigen Forschungsergebnisse nach den einzelnen Fragenkomplexen systematisch besprechen. Diese Fragenkomplexe sind die folgenden:

1. Der allgemeine dynamische Verlauf des Mikrobenlebens.
2. Der Stickstoffkreislauf.
3. Der Verlauf des Phosphor- und Kaliumkreislaufes.
4. Die periodischen Änderungen des Humusgehaltes.
5. Die Bodenatmung.
6. Die Pilz- und Algenflora.

1. Der allgemeine dynamische Verlauf des Bodenlebens.

Hier und in den folgenden Abschnitten werde ich die ungarischen Versuchsflächen von den ausländischen immer getrennt besprechen. Dies ist schon aus dem Grunde notwendig, weil die Resultate der ersteren, infolge der kleineren Entfernung, viel exakter bearbeitet werden konnten, als die weiter liegenden nordeuropäischen Versuchsflächen. Wie die Abbildungen 3—5 und die Tabelle 2 zeigen, ist es uns gelungen, jenen allgemeinen Zusammenhang, die wir schon auf Grund der ersten Untersuchungen festgestellt haben, auch an der Hand dieser langjährigen Beobachtungen restlos zu begründen. Es ist uns sogar gelungen, wie es später gezeigt wird, auch weitgehende quantitativen Zusammenhänge zwischen den Klimafaktoren und zwischen dem Mikrobenleben mathematisch zu ergründen. Ein Blick auf die mitgeteilten Abbildungen 3—5 und auf die zugehörige Tabelle II wird uns gleich überzeugen, daß das Mikro-

benleben des Bodens und alle Faktoren, die mit dieser Erscheinung zusammenhängen, steten Änderungen unterworfen sind. Diese Änderungen verlaufen aber gewöhnlich regelmäßig nach klar erkennbaren Gesetzmäßigkeiten. Das Mikrobenleben des Waldbodens wird hauptsächlich und in der ersten Reihe durch zwei regulierenden Faktoren beeinflusst. Diese sind die Bodentemperatur, welche den thermodynamischen Regulator

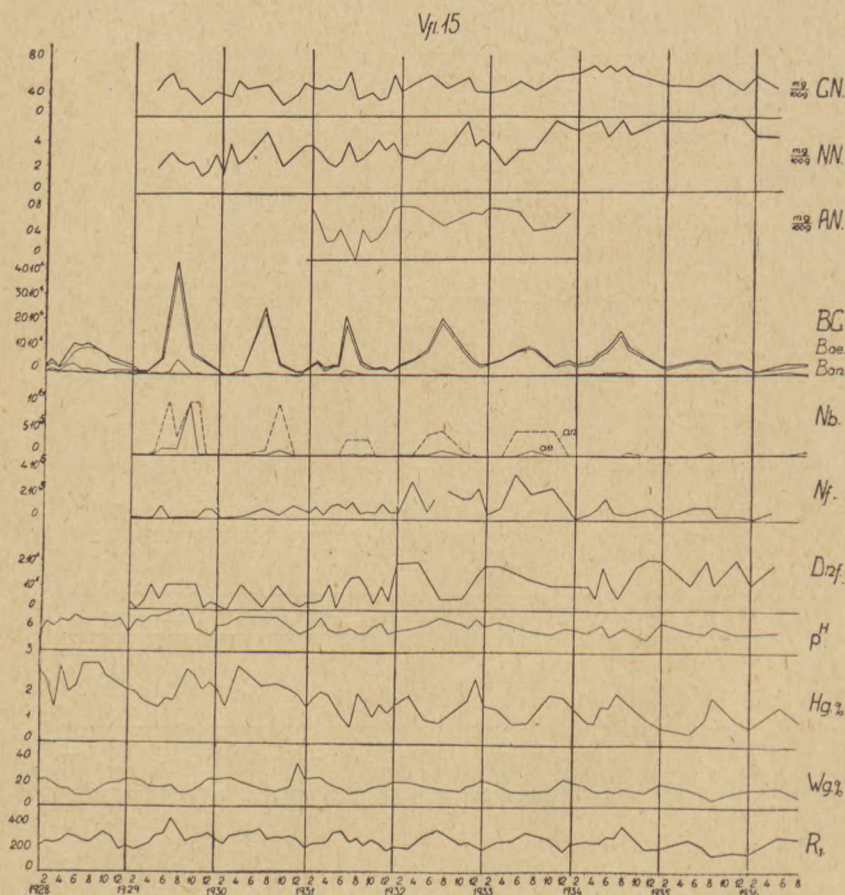


Abb. 3.

Die neunjährigen Untersuchungsergebnisse der Versuchsfläche 15.
Fichtenwald bei Sopron.

GN = Gesamt-Stickstoffgehalt, NN = Nitrat-Stickstoffgehalt, AN = Ammonium-Stickstoffgehalt, BG = Bakteriengehalt gesamt, Bae = aerobe Bakterien, Ban = anaerobe Bakterien, Nb = stickstoffbindende Bakterien, Nf = nitrifizierende Bakterien, Dnf = denitrifizierende Bakterien, Hg = Humusgehalt, Wg = Wassergehalt, R = Bodenfeuchtigkeit \times Bodentemperatur.

darstellt und die Bodenfeuchtigkeit, die das wichtigste Lebens-
element für die Lebensverhältnisse der Mikrowelt des Wald-
bodens ergibt.

Die Bodentemperatur ist eigentlich selbst ein resultierender

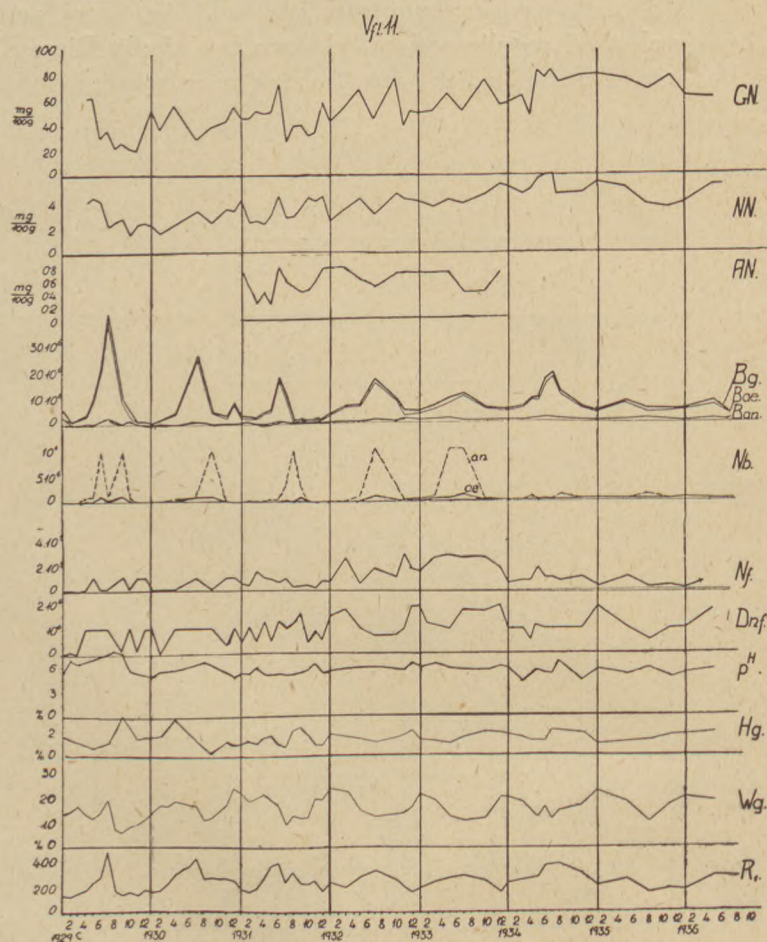


Abb. 4.

Die Untersuchungsergebnisse der Versuchsfläche 11.
Weißbuchenwald bei Sopron. (Legende wie bei Abb. 3.)

Faktor, der aus dem Zusammenspiel der jeweiligen Bodenfeuch-
tigkeit und aus der dem Boden zugeführten Wärme entsteht.
Die jeweiligen Verdunstungsverhältnisse des Bodens beein-
flussen nämlich klar und deutlich seine Temperatur.

Im Laufe unserer Untersuchungen ist es uns immer mehr

und mehr klar geworden, daß man bei der Untersuchung des Bodenlebens eigentlich die übrigen Klimafaktoren so ziemlich außer acht lassen kann, wenn man diese beiden regulierenden

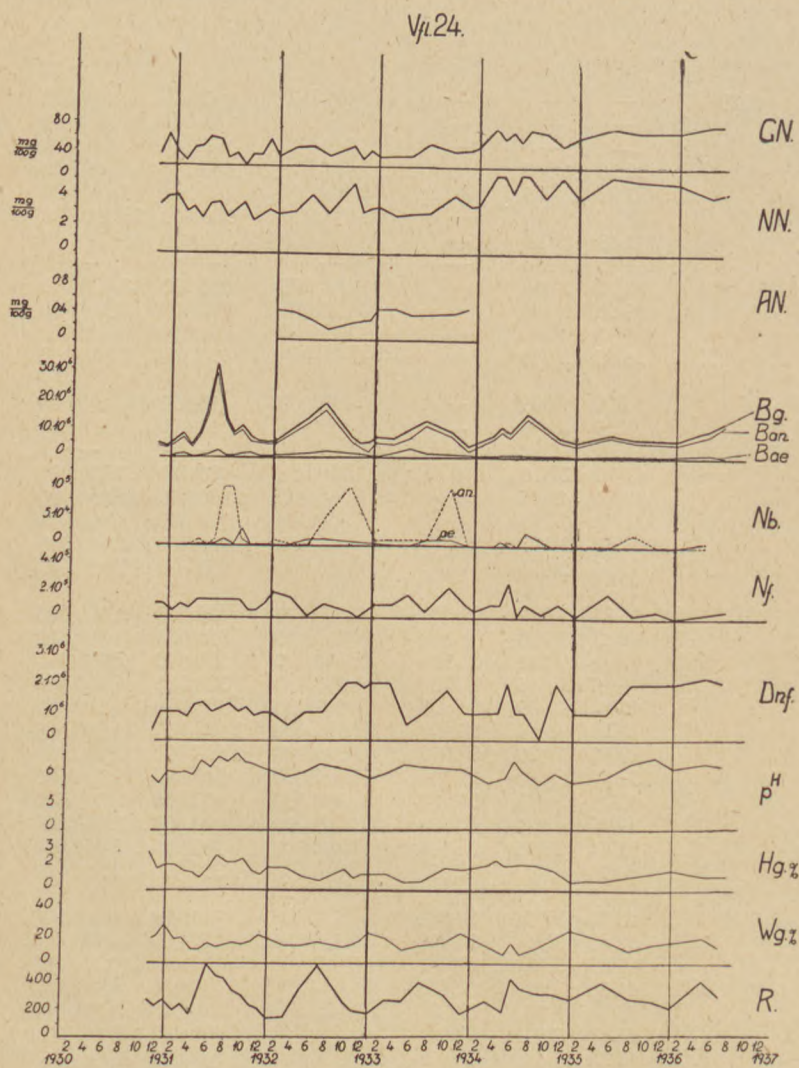


Abb. 5.

Die Untersuchungsergebnisse der Versuchsfläche 24.
Kontrollfläche bei Sopron. (Legende wie bei Abb. 3.)

Faktoren, nämlich Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit quantitativ berücksichtigt. Es war allerdings hier schwer zu ermitteln, wie diese beiden Faktoren im komplexen Sinne das Bo-

Tabelle II.

Zeitpunkt der Probe- nahme	Gesamt Nitrat Ammonium			Bakteriengehalt *)		
	Stickstoff			Aerob	Anaerob	Gesamt
	mg/100 g					
1929. I.	—	—	—	2,000.000	900.000	2,900.000
II.	—	—	—	400.000	130.000	530.000
III.	—	—	—	7,800.000	160.000	940.000
IV.	39'36	1'918	—	3,080.000	400.000	3,480.000
V.	57'21	2'645	—	5,400.000	240.000	5,640.000
VI.	67'32	3'189	—	23,000.000	900.000	23,900.000
VII.	44'63	2'495	—	38,000.000	5,700.000	43,700.000
VIII.	44'45	2'186	—	—	—	—
IX.	32'42	2'450	—	7,800.000	600.000	8,400.000
X.	19'99	1'396	—	2,270.000	700.000	2,970.000
XI.	24'00	1'806	—	4,900.000	70.000	4,970.000
XII.	36'65	3'040	—	2,700.000	70.000	2,770.000
1930. I.	34'39	1'699	—	400.000	10.000	410.000
II.	30'89	3'960	—	455.000	10.000	465.000
III.	54'30	2'352	—	—	—	—
IV.	41'20	2'810	—	2,100.000	80.000	2,180.000
VII.	49'64	4'864	—	25,350.000	1,100.000	26,450.000
IX.	18'48	2'247	—	4,300.000	500.000	4,800.000
XI.	33'88	3'297	—	1,700.000	100.000	1,800.000
XII.	52'36	3'906	—	2,350.000	330.000	2,680.000
1931. I.	46'24	3'927	0'8680	3,200.000	400.000	3,600.000
II.	44'80	3'360	0'6230	5,300.000	550.000	5,850.000
III.	49'56	2'561	0'3390	2,400.000	570.000	2,970.000
IV.	46'20	2'226	0'3735	3,850.000	300.000	4,150.000
V.	45'36	2'709	0'5000	3,950.000	400.000	4,350.000
VI.	70'28	4'284	0'2190	22,800.000	2,100.000	24,900.000
VII.	29'50	2'720	0'0392	11,300.000	1,600.000	12,900.000
VIII.	37'80	3'066	0'5040	4,800.000	840.000	5,640.000
IX.	40'25	3'652	0'3080	3,200.000	600.000	3,800.000
X.	29'12	4'494	0'3528	3,200.000	120.000	3,320.000
XI.	37'24	3'696	0'5796	3,250.000	400.000	3,650.000
XII.	64'96	4'200	0'8092	2,000.000	250.000	2,250.000
1932. I.	42'90	3'19	0'8680	4,100.000	450.000	4,550.000
III.	57'69	3'01	0'840	6,750.000	150.000	6,900.000
V.	67'80	3'78	0'728	9,900.000	320.000	10,220.000
VII.	41'50	3'51	0'560	21,600.000	1,040.000	22,640.000
X.	63'50	5'88	0'728	8,939.000	800.000	9,700.000
XI.	42'60	3'94	0'794	5,940.000	900.000	6,840.000
XII.	43'20	4'41	0'700	3,900.000	1,260.000	5,160.000
1933. I.	40'60	3'98	0'812	4,500.000	700.000	5,200.000
III.	46'65	2'37	0'806	6,133.000	1,300.000	7,433.000
V.	57'45	3'67	0'756	9,400.000	1,050.000	10,450.000
VII.	43'20	3'57	0'476	11,010.000	1,130.000	12,140.000
X.	64'75	5'87	0'504	3,930.000	1,380.000	5,310.000
XII.	70'00	5'15	0'729	4,750.000	900.000	5,850.000

*) pro Gramm feuchter Erde.

Tabelle II.

N-bindende		Nitri- fizierende N	Denitri- fizierende Du	N/Dn	ph	H ‰	C N	Wg ‰	R
Aerob	Anaerob								
0	0	10.000	340.000	2'93	5'14	2'01	—	20'5	199'0
0	0	10.000	70.000	14'4	6'34	1'93	—	20'8	176'8
0	0	0	340.000	—	6'11	1'61	—	18'6	194'0
2.000	5.000	10.000	1.000.000	1'0	6'64	1'44	21'2	15'4	213'3
10.000	40.000	100.000	400.000	25'0	6'80	1'39	14'0	14'3	285'0
10.000	100.000	7.000	1.000.000	0'7	7'09	1'74	15'1	14'5	290'0
10.000	33.000	10.000	1.000.000	1'0	7'44	2'14	27'8	16'3	416'0
—	—	—	—	—	7'77	—	—	10'8	322'0
100.000	100.000	10.000	1.000.000	1'0	7'35	3'48	67'5	10'2	245'8
0	100.000	10.000	1.000.000	1'0	5'33	2'52	73'3	13'6	267'8
0	0	70.000	100.000	70'0	5'11	2'01	48'6	17'5	271'3
0	0	70.000	300.000	23'3	4'54	2'28	36'1	20'6	295'0
0	0	7.000	10.000	70'0	5'73	1'98	33'4	20'8	238'0
0	0	10.000	0	—	5'75	1'39	26'1	21'4	412'0
—	—	—	—	—	6'35	—	—	22'2	275'0
0	100	10.000	1.000.000	1'0	6'67	2'88	40'6	18'1	284'3
1.000	10.000	75.000	100.000	75'0	6'23	2'16	25'2	13'6	332'9
10.000	100.000	25.000	1.000.000	2'5	6'24	2'23	70'0	11'8	267'5
0	1.000	100.000	300.000	33'3	5'42	2'02	34'5	16'8	267'3
0	0	75.000	140.000	53'7	4'89	1'79	19'8	33'6	250'1
0	0	50.000	300.000	16'7	5'26	1'31	16'4	21'4	194'8
0	0	100.000	300.000	33'3	5'52	1'65	21'3	22'8	212'0
100	1.000	36.000	400.000	9'0	5'76	1'98	23'1	22'9	218'0
100	1.000	100.000	1.000.000	10'0	5'32	1'78	22'4	18'2	232'9
100	1.000	120.000	130.000	90'3	5'02	1'30	16'6	15'1	304'0
1.000	30.000	91.000	910.000	10'0	5'27	0'82	1'5	13'6	320'0
3.000	30.000	130.000	1.300.000	10'0	5'43	0'55	10'8	9'6	242'2
300	30.000	41.000	1.300.000	3'2	4'93	1'93	29'5	10'6	260'0
3.000	30.000	60.000	950.000	6'3	5'04	1'48	21'3	10'9	202'0
100	1.000	50.000	250.000	20'0	5'67	0'94	15'2	14'2	250'0
100	1.000	12.000	1.000.000	1'2	6'11	1'47	22'8	15'8	219'0
0	0	60.000	400.000	15'0	4'98	1'17	10'4	16'3	163'0
0	3.000	50.000	2.500.000	2'0	5'22	1'41	19'1	18'9	191
1	1.000	500.000	2.500.000	20'0	5'48	1'77	17'8	18'6	184
300	40.000	50.000	1.750.000	2'9	5'94	0'81	6'9	14'9	285
10.000	50.000	250.000	500.000	50'0	6'62	0'70	9'8	13'1	332
100	10.000	175.000	500.000	35'0	5'92	1'45	13'3	11'3	220
10	5.000	175.000	50.000	35'0	5'47	1'57	2'14	15'5	241
0	0	250.000	1.374.000	18'2	6'54	2'40	32'4	17'9	209
100	0	50.000	2.500.000	5'0	5'64	1'41	20'9	20'2	180
100	1.000	100.000	2.500.000	4'0	6'24	1'33	16'6	17'3	234
1.000	500.000	375.000	1.000.000	37'4	5'73	0'72	7'3	11'5	244
10.000	100.000	200.000	1.750.000	11'4	5'26	0'74	9'9	11'2	304
1.000	100.000	250.000	1.000.000	25'0	4'92	1'81	16'3	12'4	262
0	0	100.000	1.000.000	10'0	5'48	1'71	14'0	21'3	168

Tabelle II.

Zeitpunkt der Probe- nahme	Gesamt		Pilze- zahl	Bakteriengehalt		
	Stickstoff			Aerob	Anerob	Gesamt
	mg/100 g					
1934. I.	80'0	5'00	366.000	3,700.000	900.000	4,600.000
III.	90'4	6'72	278.000	4,200.000	1,000.000	5,200.000
IV.	78'2	5'88	540.000	7,500.000	640.000	8,140.000
V.	94'8	3'36	260.000	8,600.000	1,100.000	9,700.000
VI.	70'6	2'94	330.000	12,000.000	1,000.000	13,000.000
VII.	80'4	5'88	530.000	15,800.000	1,300.000	17,100.000
VIII.	75'6	2'31	350.000	10,200.000	800.000	11,000.000
XI.	—	—	320.000	4,400.000	300.000	4,700.000
1935. I.	48'4	6'82	290.000	2,900.000	800.000	3,700.000
V.	47'6	5'67	170.000	5,400.000	700.000	6,100.000
VII.	—	—	380.000	5,000.000	600.000	5,600.000
VIII.	75'6	6'3	245.000	2,500.000	500.000	3,000.000
XI.	28'0	5'88	111.000	3,600.000	400.000	4,000.000
1936. I.	62'2	4'41	153.000	1,500.000	100.000	1,600.000
V.	44'8	4'41	110.000	2,800.000	1,200.000	4,000.000
VII.	—	—	115.000	3,900.000	400.000	4,300.000

Bakterien- und Pilzezah pro Gramm feuchter Erde.

denleben beeinflussen. Wir mußten hier wenigstens teilweise auch den experimentellen Weg einschlagen.

Auf Grund des gesammelten induktiven Tatsachenmaterials, bin ich so allmählich zu der Einsicht gekommen, daß man die komplexe Wirkung dieser beiden Faktoren am besten so ausdrücken kann, daß man sie zunächst miteinander multipliziert und dadurch einen mathematischen Ausdruck bildet, der dann die beeinflussenden resultierenden Faktoren komplex darstellen vermag. Die jeweiligen Werte der Bodentemperatur werden mit 10^0 vergrößert um dadurch die Entstehung von negativen Werten vermeiden zu können.

Die Untersuchungsergebnisse haben uns später die Richtigkeit meiner Annahme vollauf bestätigt. In den Abbildungen 3—5 können wir ganz klar und deutlich sehen, daß die Änderungen des regulierenden Faktors „R“ mit den quantitativen Änderungen des Mikrobengehaltes vollkommen zusammenhängen. Die spätere Bearbeitung des Untersuchungsmaterials hat aber auch gezeigt, daß der gegenseitige Verlauf nicht kongruent ist. Schon aus dem Grunde nicht, weil der Zusammenhang zwischen den quantitativen Änderungen des Mikrobengehaltes mit

Tabelle II.

N-bindende		Nitri- fizierende N	Denitri- fizierende Du	N/Dn	ph	H %	C N	Wg %	R
Aerob	Anaerob								
10	100	10.000	1.000.000	1'0	5'40	1'40	10'2	19'0	226
100	10	50.000	1.000.000	5'0	5'02	0'89	5'7	16'2	230
1.000	100	100.000	500.000	20	—	0'70	5'2	12'2	228
1.000	100	175.000	1.750.000	7	6'02	1'39	8'5	10'6	229
100	1.000	75.000	1.000.000	7'5	4'68	1'32	10'8	12'0	276
1.000	100	50.000	500.000	10	5'18	1'90	13'7	11'0	273
0	10.000	50.000	1.000.000	5	5'67	1'15	8'8	13'8	357
10	1.000	100.000	2.000.000	4	4'32	0'85	—	10'4	187
10	10	10.000	2.000.000	0'4	6'22	0'63	7'5	17'4	191
10	10	100.000	1.000.000	10	5'16	0'405	4'9	13'4	252
100	100	100.000	2.000.000	10	4'86	0'936	—	8'2	209
100	10.000	25.000	1.000.000	2'5	5'77	1'77	13'6	6'0	146
10	100	25.000	2.000.000	1	4'84	0'970	20'1	11'0	174
1.000	1.000	1.000	1.000.000	0'1	4'87	0'66	6'2	13'9	193
100	1.000	10.000	2.000.000	0'5	5'20	1'44	18'5	14'0	280
100	10.000	1.000	2.500.000	0'05	5'35	0'848	—	9'8	234

den Änderungen des „R“-Faktors im Sinne einer Exponentialfunktion verlaufen, die natürlich eine vollständige Gleichläufigkeit ausschließt.

Angesichts dieser Untersuchungsergebnisse war es natürlich naheliegend, daß wir so allmählich auch versucht haben, die ermittelten Zusammenhänge auf einer exakten Grundlage darzustellen. Zur Orientierung möchte ich aber gleich bemerken, daß, wenn wir hier versucht haben, unsere Gesetzmäßigkeiten mathematisch zu formulieren, so waren wir darüber schon im vornhinein vollkommen klar, daß die mathematische Ausdrucksweise hier nur dazu dienen kann, um die Versuchsergebnisse auf einer gemeinschaftlichen quantitativen Grundlage darzustellen, um gewisse, quantitativ gut ausdrückbare Zusammenhänge zu formulieren. Die mathematische Behandlung der Untersuchungsergebnisse dient also einzig und allein zum quantitativen Ausdruck der bereits ermittelten klaren Zusammenhänge. Sie ist dazu vorläufig noch nicht geeignet, um auch für die Zukunft für die Entwicklung der Bodenflora allgemein gültige mathematische Formeln abzuleiten. Ob dies später oder früher möglich sein wird, darüber werden erst die weiteren

experimentellen Untersuchungen die erwünschte Klarheit verschaffen.

In der Abbildung 6 haben wir zunächst die Versuchsflächen gesondert dargestellt, u. zw. die Ergebnisse der Versuchsflächen 11 und 15. Die Abbildung 7 und die Tabelle III bringt ein Beispiel über die mathematische Behandlungsweise.

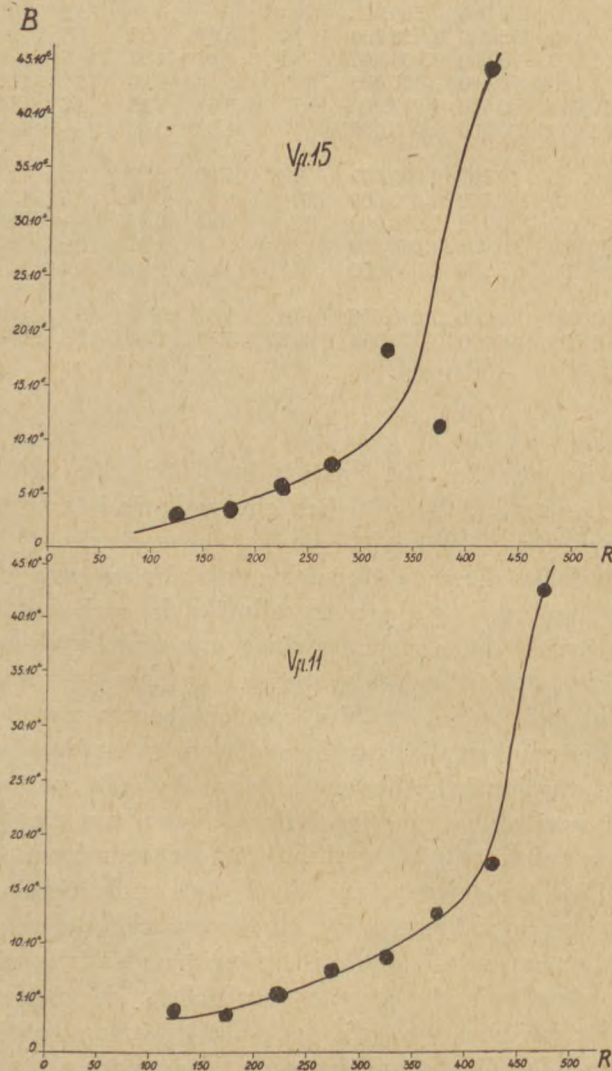


Abb. 6.
Der Zusammenhang zwischen dem Bakteriengehalt (B) und den R-Werten
auf den Versuchsflächen 15 und 11.

Die Darstellung der Forschungsergebnisse geschah folgenderweise: Bei der Zusammenstellung unserer Ergebnisse haben wir in der weiteren Folge zunächst aus den R-Werten verschiedene Gruppen geformt, und zwar die Gruppen 0—50, 50—100, 100—150 usw. Zu diesen Gruppen haben wir bei einer jeden Versuchsfläche die Bakterienzahlen ausgesucht und die Mittelwerte gebildet und sodann die so gewonnenen Punkte aufge-

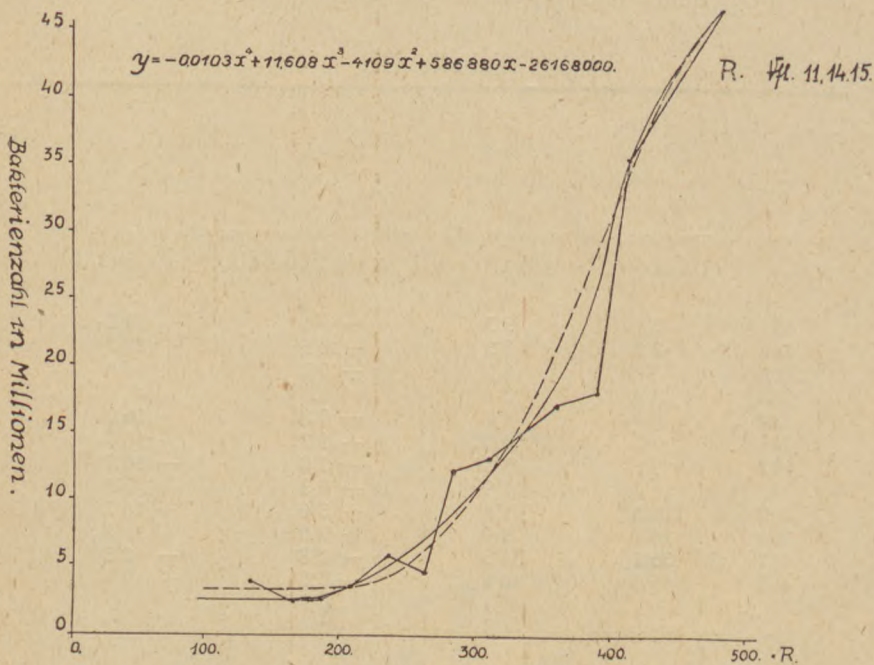


Abb. 7.

Der Zusammenhang zwischen dem Bakteriengehalt (B) und den R-Werten auf Grund der Durchschnittswerte der Versuchsflächen 11, 14 u. 15.

tragen. Zu den so erhaltenen Punkten haben wir dann die sogenannten Ausgleichskurve eingelegt und diese Ausgleichskurve schließlich mit einer Parabel ausgeglichen. Die äußere Form der Kurve zeigt uns zunächst, daß das Optimum der Entwicklung der Mikroflora auf unseren Versuchsflächen noch nicht erreicht ist. Um dieses Optimum bestimmen zu können, haben wir Versuche eingesetzt, die in dem Laboratorium mehrere Jahre gedauert haben. Da sie auf einem anderen Ort ausführlich dargestellt werden, möchte ich hier nur die Resultate kurz zusammenfassen. Die experimentellen Untersuchungen haben je-

doch zu dem allgemeinen Schluß geführt, daß die optimale Entwicklung der Bodenbakterien bei einer Bodentemperatur von cca 25° C und bei einer Bodenfeuchtigkeit von cca 60—70% der Wasserkapazität erreicht wird. Ein Blick auf die Untersuchungsergebnisse wird uns gleich überzeugen, daß dieses Optimum auf unseren Versuchsflächen nie erreicht wird. Auf den nördlichen Versuchsflächen wird dagegen, bezüglich dem Wassergehalt, oft auch überschritten. Darin

Tabelle III.

X	y', durchgelegte empirische Kurve	y, theoretische Kurve	$\Delta y = y - y',$ %	$\frac{100 \Delta y}{y} = \Delta y$ %
$y = -0.0103x^4 + 11.608x^3 - 4.109x^2 + 586.880x - 26,168.000.$				
135	2.7	3.3	+ 0.6	+ 22.2
166	2.7	3.3	+ 0.5	+ 18.5
188	3.0	3.2	+ 0.2	+ 6.6
213	3.4	3.4	0	0
239	5.0	4.2	- 0.8	- 16.0
265	7.2	6.0	- 1.2	- 16.7
287	9.3	8.3	- 1.0	- 10.7
312	12.2	11.9	- 0.3	- 2.5
363	18.8	21.8	+ 3.0	+ 16.7
394	26.0	28.9	+ 2.9	+ 11.2
417	35.1	34.3	- 0.8	- 2.3
483	46.4	46.1	- 0.3	- 0.6

y = in Millionen.

müssen wir eben die Erklärung dafür suchen, daß unsere Kurven den Kulminationspunkt bei den Versuchsflächen nie erreichen können. Die Unterschiede in dem Kurvenverlauf zwischen den einzelnen Versuchsflächen sind in der Natur und in besonderen biogenen Eigenschaften derselben begründet.

Jede Versuchsfläche hat andere bioenergetische Eigenschaften, jede Versuchsfläche hat eine andere Aktivität, die in biologischer Hinsicht in dem Kurvenverlauf zum Ausdruck kommt. Wir dürfen auch nicht vergessen, daß die Versuchsflächen mit Bestand bedeckt sind und infolgedessen auch die Temperaturgrade verschiedentlich beeinflußt werden.

Wir können im allgemeinen feststellen, daß die optimale quantitative Entwicklung der Mikroflora des Waldbodens in

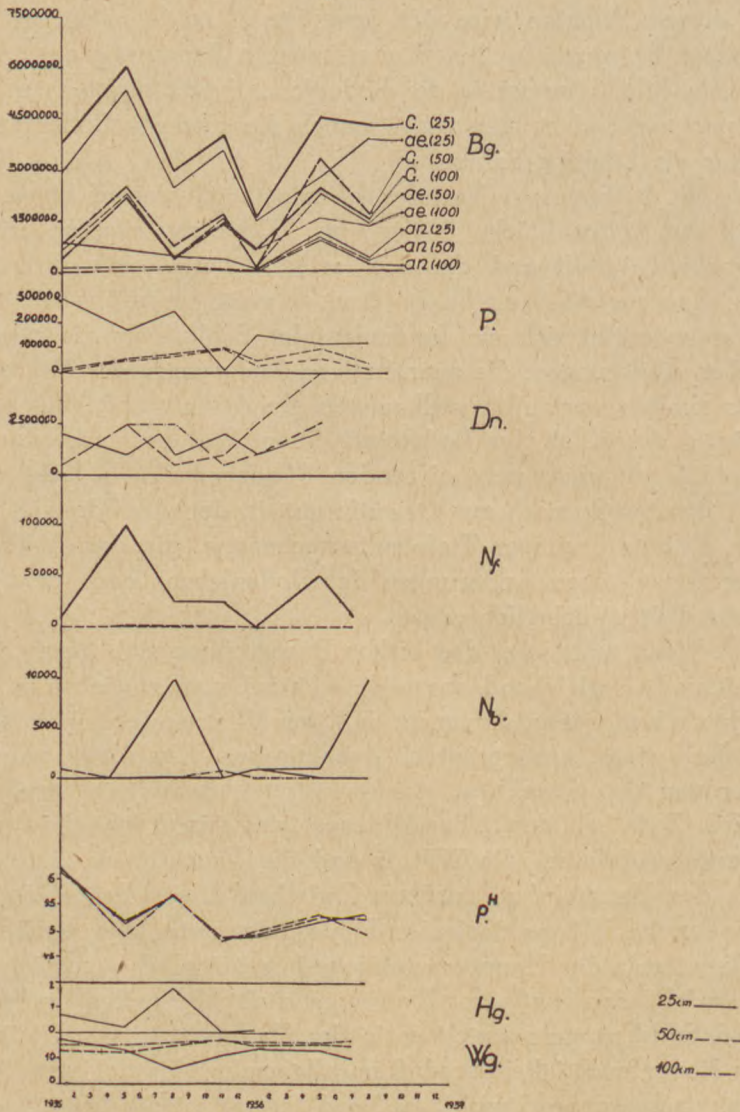
V₁₅.

Abb. 8.

Die Ergebnisse der Tiefenuntersuchung auf der Versuchsfläche 15.

Bg = Bakteriengehalt, G = gesamt, ae = aerob, an = anaerob, P = Pilzgehalt, Dn = denitrifizierende Bakterien, Nf = nitrifizierende Bakt., Nb = stickstoffbindende Bakt., Hg = Humusgehalt in %-en, Wg = Wasser-gehalt in %-n.

den Sommermonaten erreicht wird. Hier finden wir nämlich die größten Werte der Bodentemperatur. Aber gerade in diesen Monaten wird der jeweilige Feuchtigkeitsgehalt des Bodens begrenzt. In den Wintermonaten finden wir das umgekehrte Bild. Hier ist ja die Bodenfeuchtigkeit meistens in Optimum vorhanden, hier wirkt jedoch die niedrige Bodentemperatur als Limiting-Faktor.

Mit besonderem Nachdruck möchte ich darauf hinweisen, daß die Kontrollfläche (siehe Abb. 5), welche eine unberührte Brache darstellt und die sich selbst überlassen wurde, die gleichen quantitativen Veränderungen zeigt wie der Waldboden. Hieraus ergibt sich ein fundamentaler Schluß für die periodischen Änderungen: die quantitativen Änderungen der Mikroflora des Bodens verlaufen vollkommen gleichsinnig und ganz unabhängig davon, ob der Boden mit einem Waldbestand, oder nur einfach mit einer perennierenden Pflanzendecke bedeckt wird.

Ich bringe noch zur Orientierung in der Abbildung 8 auch die Resultate einiger Tiefenuntersuchungen, die das Abklingen der periodischen Änderungen des Bodenlebens nach der Tiefe besonders eindringlich zeigen.

Wenn man jetzt das bisher Besprochene sich genau überlegt und vergleichend darstellt, so wird man zunächst zu dem allgemeinen Schluß kommen, daß das Mikrobenleben des Waldbodens einen ausgeprägten dynamischen Charakter aufweist, der von den jeweiligen Klimafaktoren entscheidend beeinflußt wird. Zwischen den Klimafaktoren sind natürlich die beiden Hauptregulatoren, die Wärme und die Feuchtigkeit diejenigen, die den Haupteinfluß ausüben. Zwischen diesen Regulatoren ist wieder die Wärme derjenige Faktor, der unter den gemäßigten Klimaten in der Hauptvegetationszeit gewöhnlich immer in einem ausreichenden Maße zur Verfügung steht. Besonders in Mittel- und Süd-Europa mangelt es in der Hauptvegetationszeit immer an Bodenfeuchtigkeit, so daß im allgemeinen hier meistens dieser Faktor begrenzend wirkt. In Nord-Europa ist die Lage gewöhnlich verkehrt, da hier wieder der Faktor Wärme sich im Minimum befindet und die Bodenfeuchtigkeit im Optimum vorhanden ist.

Um Irrtümer zu vermeiden, möchte ich darauf hinweisen, daß es aus dem dynamischen Standpunkte vollkommen belanglos ist, in welchen jahreszeitlichen Perioden die Depressionen

und die Kulminationen auftreten. Das Wichtigste ist der allgemeine dynamische Kreislauf des Bodenlebens und seine Abhängigkeit von den herrschenden Klimafaktoren. Wie dann die Lage der Maxima und Minima ausfällt, ist eine Nebenfrage, die durch das Zusammenwirken der bereits erwähnten Faktoren bestimmt wird.

Im Zusammenhange mit dem Verlauf des Bodenlebens möchte ich noch etwas über die Änderungen der pH-Werte sprechen. Es sollte gleich betont werden, daß ich der pH-Frage im allgemeinen bei der Beurteilung des dynamischen Verlaufes des Bodenlebens keine allzu große Bedeutungen beimesse. Wenn man von gewissen extremen Grenzen absieht, sind die pH-Werte und die Änderungen der Azidität überhaupt hauptsächlich als eine Folgeerscheinung des Zusammenspiels der Biofaktoren des Bodens aufzufassen. Die Frage ist im allgemeinen recht kompliziert, da es von vielen Nebenerscheinungen beeinflußt wird, und infolgedessen die biologischen Vorgänge des öfteren verschleiert werden.

Auf den mehrjährigen Versuchsflächen kann man ja ganz deutlich beobachten, daß eine Erhöhung der pH-Werte gewöhnlich immer in den Sommer-, bzw. in den Herbstmonaten zustande kommt. Diese Erhöhung steht dann damit in Zusammenhange, daß durch die Tätigkeit der Mikroflora die sauren Zersetzungsprodukte mehr oder weniger gründlich verarbeitet werden. Trifft es nicht zu, so entsteht, wie es in den humiden Klimaten immer der Fall ist, der saure Humus mit seinen niedrigen pH-Werten. In Mittel-Europa, wo infolge der höheren Temperatur die Zersetzung der Humusstoffe gewöhnlich ganz glatt und von jeder Störung frei vor sich geht, wird in den Sommermonaten eine beinahe restlose Zersetzung stattfinden, worauf die Erhöhung der pH-Werte automatisch erfolgen muß. Im Winter, im Herbst und auch oft im Frühling, wenn niedrige Temperaturgrade herrschen und auch die Niederschlagsmengen und der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens recht hoch sind, überwiegen die anaeroben Prozesse und Hand in Hand damit die Erniedrigung der pH-Werte. Der physiko-chemische Einfluß des Wassergehaltes, wie ich es in eingehenderen Arbeiten gezeigt habe, ist bei den gewöhnlich vorhandenen Feuchtigkeitsgraden des Waldbodens so gering, daß man ihn ohne weiteres außer acht lassen kann.

Für die Beurteilung des ganzen Problems habe ich auch schon seinerzeit vorgeschlagen, nicht die absolute Höhe der pH-Werte, sondern die Schwankungsbreite zu benützen. Es ist natürlich ausgeschlossen, daß infolge biologischer Einflüsse saure Böden alkalisch werden, oder der umgekehrte Fall eintreten kann. Innerhalb einer Jahresperiode können aber ganz beträchtliche Schwankungen vorkommen, die für die einzelnen Wald- und Bodentypen und für die einzelnen Klimazonen charakteristisch sind. Die Schwankungen sind natürlich kongruent mit der Größe der Schwankungen der Klimafaktoren. Aus dieser Tatsache geht dann hervor, daß die Schwankungsbreite der humiden Waldböden gewöhnlich immer geringer ist, als die Schwankungsbreite der wärmeren, biologisch mehr aktiveren, gemäßigten und der tropischen Waldböden.

Ich bringe hier aus unseren früheren Untersuchungsergebnissen einige typische Beispiele:

	pH	Wasser- gehalt %	Boden- tempe- ratur °C	Nieder- schläge mm	Ca CO ₃ Gehalt %	Unterschied zwischen Maxi- mum u. Minimum der pH-Werte	Unterschied Max. u. Min. der Bodentemperatur in °C
<i>Versuchsflächen der Subalpinen Klimazone.</i>							
Nadelwälder	5.07	16.5	6.3	563.1	0.6	1.49	15.9
Laubwälder	5.20	20.4	6.3	563.1	0.5	1.83	15.9
Jungwälder	4.98	16.4	6.3	563.1	0.5	1.77	15.9
Wiesen	5.32	19.7	6.3	563.1	0.5	2.02	15.9
Ackerboden	6.91	16.5	10.6	599.9	1.7	3.10	23.6
Brache	6.51	15.3	10.6	599.9	1.5	2.97	23.6
Wälder der Über- gangszone	6.25	18.2	10.6	599.9	1.0	2.21	23.6
Wälder der Step- penzone	6.75	—	11.3	492.7	0.9	1.97	22.7
<i>Nordeuropäische Versuchsflächen.</i>							
Eberswalde:							
Buchenwald	4.66	—	—	—	0.7	0.93	—
Kiefernwald	3.99	—	—	—	0.8	0.99	—
Hallands-Väderö:							
Buchenwald	4.57	—	—	—	0.2	1.14	—
Kiefernwald	4.58	—	—	—	0.3	1.05	—
Erlenwald	4.62	—	—	—	0.2	1.08	—
Aas: Fichtenwald . .	4.82	—	—	—	0.8	1.17	—
Elvenes: Birkenwald .	5.57	—	—	—	0.7	0.52	—

2. Der Stickstoffkreislauf.

Der Gesamtstickstoffgehalt kulminiert gewöhnlich in den Herbst- und Wintermonaten. (Siehe Abb. 3—5.) In den Sommermonaten befindet er sich gewöhnlich im Minimum. Es ist übrigens sicher anzunehmen, daß die Depression im Sommer durch den Verbrauch der Bestände verursacht wird. Die Wirkung der Auswaschung kann man als vorübergehende, kleinere Depressionen während der Kulminationsperiode nachweisen. Der Nitratstickstoffgehalt zeigt in den meisten Fällen analoges Verhalten. Der Verlauf der Ammonifikation ist jedoch oft gegenläufig. Auf Grund dieser Beobachtungen kann man daher die antagonistische Natur der Nitrifikation und der Ammonifikation feststellen. Aus dieser Tatsache kann weiter gefolgert werden, daß dieselben Biofaktoren, welche die Nitrifikation befördern, sehr oft für die Ammonifikation hemmend wirken. Da wir hier mit einer komplexen biologischen Erscheinung zu tun haben, so wird dieser Zusammenhang oft verdeckt. Die eingehende Untersuchung bestätigt aber immer die jetzt ausgesprochene Regel.

Was die Wirkung der anorganischen Biofaktoren anbelangt, möchte ich vorerst darauf hinweisen, daß der Wassergehalt, wenn er 60—70% der Wasserkapazität und die Bodentemperatur, wenn sie 35° C nicht überschreitet, den Gang der Nitrifikation günstig beeinflusst. Diese Temperaturgrade werden unter unseren Breitengraden natürlich nur selten erreicht. Ich habe diesbezüglich auch eigene experimentelle Untersuchungen durchgeführt, die an einem anderen Orte mitgeteilt worden sind. (6.)

Ausschlaggebend wird der Stickstoffkreislauf und namentlich der Kreislauf des Nitratstickstoffes von dem relativen quantitativen Verhältnis der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien beeinflusst. Das gegenseitige Verhalten der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien ist meistens gegenläufig. Die Denitrifikation und die Nitrifikation sind ebenfalls ausgeprägt antagonistische Erscheinungen. Mit der Kulmination der nitrifizierenden Bakterien fällt immer eine Depression der denitrifizierenden Bakterien zusammen. Man kann aber auch oft beobachten, daß das Niveau der nitrifizierenden Bakterien gleich

bleibt und die relativen Änderungen der denitrifizierenden Bakterien dann die Gestaltung der Nitratstickstoffkurve beeinflussen. Es ist klar, daß in Anbetracht der recht komplizierten Verhältnisse in der freien Natur ein vollkommener paralleler Verlauf der Nitratkurve mit den Änderungen der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien nicht gewährleistet werden kann. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, daß die Gestaltung der Nitratstickstoffkurve neben der Tätigkeit der erwähnten Bakteriengruppen auch durch den Verbrauch durch die Bestände und durch die Bodenpflanzen und auch durch die Auswaschung beeinflusst wird. Es ist auch recht schwierig den Einfluß der Bodenfeuchtigkeit und der Bodentemperatur in der freien Natur kongruent mit den Verhältnissen der Laboratoriumsversuche konstatieren zu können. Es ist sicher anzunehmen, daß die Bodenfeuchtigkeit eine ausschlaggebende Rolle ausüben vermag, da die Temperatur in den mitteleuropäischen Versuchsfeldern nur selten unter 0 C-Grad sinkt und infolgedessen meistens auch nicht stark begrenzend wirkt.

Besonders wichtig ist es auch, daß die organischen Nährstoffe, die die denitrifizierenden Bakterien für ihre Lebensfunktionen benötigen, ihnen in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Da ja dies und auch die Bodenfeuchtigkeit gewöhnlich im Frühjahr und im Spätherbst im optimalen Mengen vorhanden sind, so ist es klar, daß wir die Kulmination der denitrifizierenden Bakterien gerade in diesen Perioden antreffen werden. Ich möchte aber gleich bemerken, daß dieser Zeitpunkt für die Ernährung der Bestände nicht am günstigsten ist, da gerade in diesen Jahreszeiten auch die Auswaschungen in erhöhtem Maße Platz greifen und infolgedessen ein Teil der Nitrate verloren geht. Aus diesem Standpunkte ist es auch als recht ungünstig zu bezeichnen, daß die denitrifizierenden Bakterien gerade in der Hauptvegetationszeit, also in den Sommermonaten sich ebenfalls im Optimum befinden, da zwischen ihnen meistens die sporenbildenden vorherrschen, die sich der Trockenheit des Bodens besser anpassen können. Für die Nitrifikation ist andererseits besonders wichtig, daß die Bodentemperatur in den Sommermonaten sich auch für sie im Optimum befindet.

Besonders wichtig ist außerdem, daß auch die Verarbeitung der übrigen Humusstoffe glatt abgewickelt wird und die Luftversorgung des Bodens entsprechend wird.

Die Nitrifizierung ist ein ausgeprägter aerober Lebensprozeß und wir können es gleich einsehen, daß wenn infolge ungünstiger Verarbeitung der Abfallstoffe eine unverarbeitete Humusschicht entsteht, diese schon infolge des Luftabschlusses die Nitrifikation ungünstig beeinflusst.

Es ist recht interessant zu sehen, daß die bisherigen Forschungen auf Grund von Laboratoriumsversuchen abgeleiteten starken Einfluß der pH-Werte auf die Nitrifikation nur teilweise bestätigt haben. Auf Grund von Laboratoriumsversuchen ist man nämlich zu dem Schlusse gelangt, daß die niedrigeren pH-Werte den Gang der Nitrifikation ungünstig beeinflussen. Ganz anders ist aber das Bild, wenn wir die ganze Erscheinung in der freien Natur in ihrem komplexen Zusammenhange mit den übrigen Naturfaktoren untersuchen. Wir werden hier den günstigen Verlauf des Nitrifikationsvorganges gerade im Herbst, im Winter und im Frühjahr, also in den Perioden der relativ niedrigen pH-Werte, antreffen. Man kann diesen Umstand nur dadurch erklären, daß die nitrifizierenden Organismen sich den niedrigen Aziditätsgraden des Waldbodens weitgehend angepaßt haben.

Was die Änderungen des Gesamtstickstoffgehaltes des Waldbodens anbelangt, so wird dieser Biofaktor zweifelsohne am deutlichsten durch die Zersetzung der auf dem Waldboden verwesenden organischen Substanzen, also hauptsächlich durch die Zersetzung der Laub- und Nadelstreu und der abgestorbenen Bodenpflanzen beeinflusst. Auf diese Art und Weise kann man die Entstehung des Herbstmaximums sehr gut erklären. Da im Winter kein wesentlicher Verbrauch stattfindet, ist es klar, daß das herbstliche Maximum gewöhnlich auch in dieser Jahreszeit unverändert bleibt. Für die zeitweise auftretenden Minima im Winter und im Vorfrühling ist es vorläufig noch sehr schwer, eine durchaus befriedigende Erklärung zu finden. Ich vermute, daß diese Erscheinung wenigstens teilweise durch die Auswaschung verursacht wird, der die inzwischen gebildeten Nitrate und auch die Ammonsalze anheimfallen.

Nun möchte ich jetzt die Rolle der stickstoffbindenden Bakterien besprechen. Daß in dem Waldboden die anaeroben stickstoffbindenden Mikroorganismen infolge der hier herrschenden mehr oder weniger schlechten Durchlüftungsverhältnisse verhältnismäßig quantitativ besser vertreten sind, als die Azotobaktergruppe, braucht keine weitere Erklärung. Wir finden übrigens im Sommer, bzw. im Herbst ganz deutliche und ausge-

sprochene Maxima dieser so wichtigen Bakteriengruppen. Diese Kulmination ist wahrscheinlich für die Stickstoffversorgung des Waldbodens von besonderer ausschlaggebender Bedeutung. Die Änderungen des Gesamtstickstoffgehaltes des Waldbodens sind quantitativ derart groß, daß man sie weder durch die Zersetzung der organischen Substanz, noch durch den Verbrauch der Bestände, bzw. der Bodenvegetation und die Denitrifikation befriedigend erklären kann. Es sind hierfür nach meiner Ansicht auch die stickstoffbindenden Bakterien in erhöhtem Maße verantwortlich. Die Änderungen der pH-Werte scheinen auf diese Bakteriengruppen einen entscheidenden Einfluß auszuüben.

Besonders auffallend ist der Umstand, daß die sommerlichen Maximen dieser Bakterien immer mit der Kulmination der pH-Werte zusammenfallen. Dieser Befund stimmt sehr gut mit den Ergebnissen der früheren Forschungen bezüglich dem Verhalten der nitrogenbindenden Bakterien gegenüber den pH-Werten zusammen. Die stickstoffbindenden Bakterien erreichen übrigens ihre zahlenmäßigen Kulminationen immer dann, wenn das Verhältnis der nitrifizierenden Bakterien zu den denitrifizierenden Bakterien für die ersteren recht ungünstig ist, und somit die denitrifizierenden Bakterien zahlenmäßig vorherrschen. Von dieser Erscheinung können wir mit vollem Recht auf gewisse korrelative Zusammenhänge zwischen den stickstoffbindenden und denitrifizierenden Bakterien folgern. Es ist nicht ausgeschlossen, daß durch die Denitrifikation in Freiheit gesetzte gasförmiger Stickstoff der Tätigkeit der stickstoffbindenden Bakterien zugute kommt.

Da die Kontrollfläche, die also einen brachliegenden Freilandboden darstellt, vollkommen das gleiche Bild und die gleichen Zusammenhänge zeigt, wie die Waldböden, so können wir mit vollem Recht feststellen, daß auf allen Freilandböden, wo die Entwicklung der Pflanzendecke nicht gestört wird, diese den schützenden und ausgleichenden Einfluß des fehlenden Bestandes ausübt und infolgedessen die biologischen Kreislaufvorgänge dieser Böden die gleichen Gesetzmäßigkeiten zeigen, wie die Waldböden.

Die Schwankungen des Humusgehaltes verlaufen nicht immer gleichsinnig mit der Gesamtstickstoffkurve. Diese Erscheinung kann man dadurch erklären, daß die Tätigkeit der Stickstoffbakterien und der zellulosezersetzenden Mikroorganis-

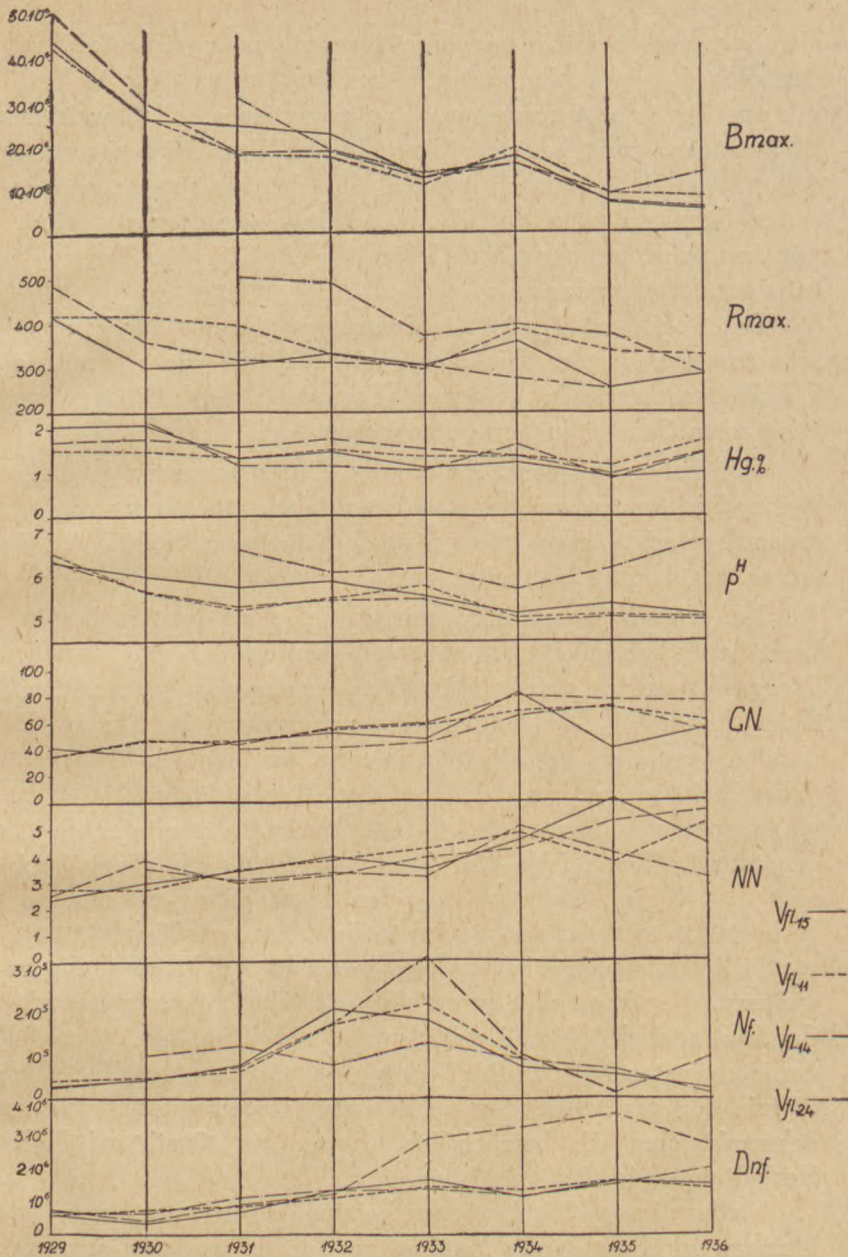


Abb. 9.

Die Jahresdurchschnittswerte der Versuchsflächen 11, 14, 15 u. 24.
 B_{max} = Maximum des Bakteriengehaltes, R_{max} = Maximum des R-
 Wertes, Hg = Humusgehalt, GN = Gesamt-Stickstoffgehalt, NN = Nitrat-
 Stickstoffgehalt, N_f = nitrifizierende, D_{nf} = denitrifizierende Bakterien.
 Die Werte sind (außer Bakteriengehalt und R) Jahresdurchschnittswerte.

men zeitweise ziemlich unabhängig voneinander verlaufen können. Wir dürfen auch anderseits nicht vergessen, daß die Technik der Humusbestimmung auf den analytischen Nachweis des Kohlenstoffes aufgebaut ist. Diese beiden Umstände können es daher sehr leicht mit sich bringen, daß die von uns nachgewiesenen Schwankungen des Humusgehaltes wenigstens zeitweise mit den Schwankungen des Gesamtstickstoffgehaltes keine Parallele zeigen werden.

Die Abbildung 9 zeigt die Schwankungen der Jahresdurchschnittswerte. Dieses Bild zeigt uns, daß die Biofaktoren des Waldbodens auch in größeren Perioden regelmäßigen und komplexen Schwankungen unterworfen sind.

Wir haben übrigens, um unsere Untersuchungen in allgemeiner Richtung erweitern zu können, auch eine Reihe von anderen Versuchsflächen, die regional ganz verschieden verteilt waren, regelmäßig bearbeitet.

Von diesen Versuchsergebnissen stelle ich jetzt einige dar. Ganz besonders möchte ich darauf hinweisen, daß die Versuchsflächen bis zu den nördlichsten Waldgrenzen eine systematische Reihe bilden.*) Die beiden Versuchsflächen in Eberswalde wurden besonders gründlich bearbeitet, da hier die Transportdauer nicht so lang war, daß größere Abweichungen hätten zustandekommen können. Ich bringe hier die Resultate bildlich dargestellt. (Siehe Abb. 10.) Man kann natürlich gleich beobachten, daß das Bild nicht in allen Einzelheiten mit den Versuchsergebnissen der mitteleuropäischen Versuchsflächen zusammenfällt. Hier kommt bereits die abweichende Klimawirkung zur Geltung. Man kann aber immerhin ganz deutlich beobachten, daß der Gesamtstickstoff und der Nitratstickstoff im Juni, bzw. Juli am intensivsten von den Beständen ausgenützt werden. Das Verhältnis der nitrifizierenden zu den denitrifizierenden Bakterien schwankt ebenfalls beträchtlich. Besonders günstig wird das Verhältnis in den Frühlingsmonaten.

Außer diesen Kulminationen kommen natürlich noch andere, kleinere vorübergehende Maxima vor, die immer mit einer entsprechenden Erhöhung des Nitratstickstoffgehaltes begleitet

*) In diesen Abbildungen wurden die nitrifizierenden und die denitrifizierenden Bakterien nicht gesondert dargestellt, sondern das Verhältnis der beiden Bakterien N/D_n gebildet. Um positive Werte zu erhalten, wurden die Werte der nitrifizierenden Bakterien mit 100 multipliziert.

werden. Sehr charakteristisch ist das Verhalten der stickstoffbindenden Bakterien. Man kann sehr deutlich beobachten, daß die Kulmination dieser Mikroorganismen immer mit einem Maximum des Gesamtstickstoffgehaltes begleitet wird.

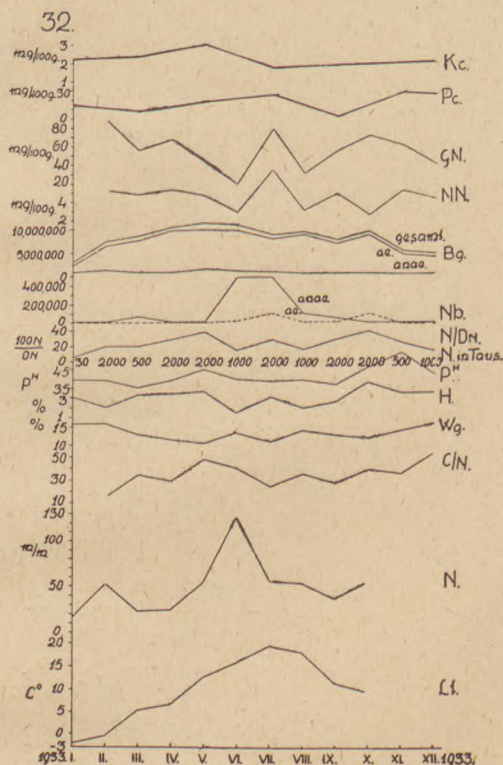


Abb. 10.

Die Untersuchungsergebnisse der Versuchsfläche 32.
Kiefernwald in Eberswalde.

Kc = zitronensäurelöslicher Kaliumgehalt, Pc = zitronensäurelöslicher Phosphorgehalt, GN = Gesamt-Stickstoffgehalt, NN = Nitrat-Stickstoffgehalt, Bg = Bakteriengehalt (gesamt, aerob, anaerob), Nb = stickstoffbindende Bakterien, N/Dn = nitrifizierende/denitrifizierende Bakterien, N in Tausenden = nitrifizierende Bakterien in Tausenden, H = Humusgehalt, Wg = Wassergehalt, N = Niederschlag, Lt = Lufttemperatur.

In den Abbildungen 11 und 12 bringe ich auch einige Resultate, die die Versuchsergebnisse auf unseren nördlichsten Versuchsflächen darstellen. Bezüglich dieser Forschungen muß ich natürlich auch hier betonen, daß sie, infolge der langen Transportdauer der Bodenproben, nur eine relative Bedeutung haben. Daß die veränderten Klimafaktoren und namentlich der ausge-

prägte humide Charakter dieser Versuchsflächen stark zum Ausdruck kommen, versteht sich natürlich von selbst. Immerhin kann man auch hier sehr gut die Zusammenhänge, die zwischen der Gestaltung der Nitratstickstoffkurve und zwischen dem

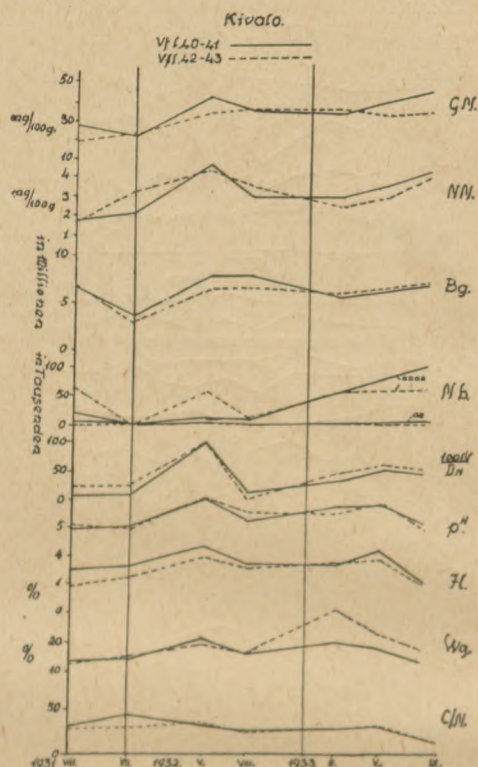


Abb. 11.

Die Untersuchungsergebnisse der Versuchsflächen 40—41 (Nadelwälder) und 42—43 (Laubwälder) in Kivalo.

GN = Gesamt-Stickstoffgehalt, NN = Nitrat-Stickstoffgehalt, Bg = Gesamt-Bakterienggehalt, Nb = stickstoffbindende Bakterien, 100 N/Dn = Verhältnis zwischen den nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien, H = Humusgehalt, Wg = Wassergehalt.

Verhältnis der nitrifizierenden Bakterien zu den denitrifizierenden bestehen, immer ganz deutlich nachweisen. Auch der Einfluß der stickstoffbindenden Bakterien kommt meistens sehr deutlich zum Vorschein.

3. Der Phosphor- und Kalikreislauf.

Der Kreislauf dieser wichtigen biogenen Elemente unterscheidet sich natürlich recht gründlich von dem Kreislauf des Stickstoffes. Der Stickstoffkreislauf ist nämlich ein ausgesprochener biologischer Vorgang. In dem Kreislauf des Phosphors und des Kaliums können wir natürlich diesen Charakter

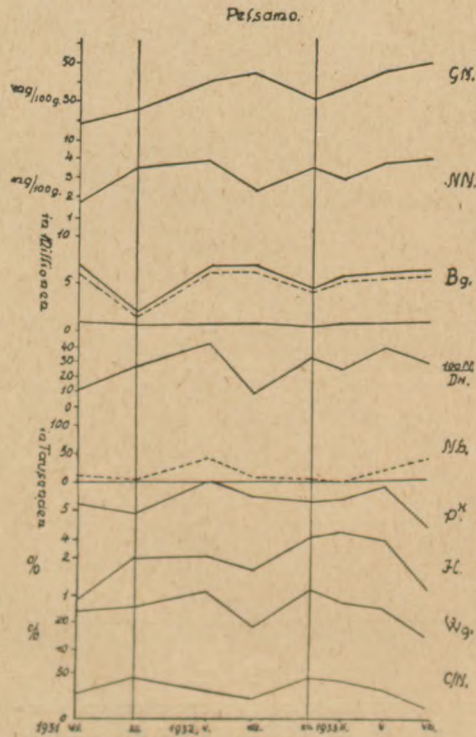


Abb. 12.

Die Untersuchungsergebnisse der Versuchsflächen 44, 45, 46 (Durchschnittsdaten) in Petsamo. (Legende wie bei Abb. 11.)

noch nicht mit voller Bestimmtheit behaupten. Auf Grund der Untersuchungen haben wir natürlich nur jene Kali- und Phosphorverbindungen in Betracht gezogen, die sich in dem Boden in leicht löslicher Form vorfinden, da nur diese leicht löslichen Verbindungen können den periodischen Änderungen unterworfen werden. Gerade dieser Teil der Frage ist aber analytisch nicht so leicht zu handhaben. Wir besitzen auch keine sicheren Anhaltspunkte dafür, welche Lösungsmittel jene Kali- und Phos-

phorverbindungen zu erfassen vermögen, die ungefähr jenen Quantitäten entsprechen, die durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen werden können. In der diesbezüglichen Literatur finden wir, namentlich in der landwirtschaftlichen Bodenkunde, eine große Anzahl von analytischen Methoden, die die Ermittlung der leicht löslichen Formen dieser Elemente ermöglichen.

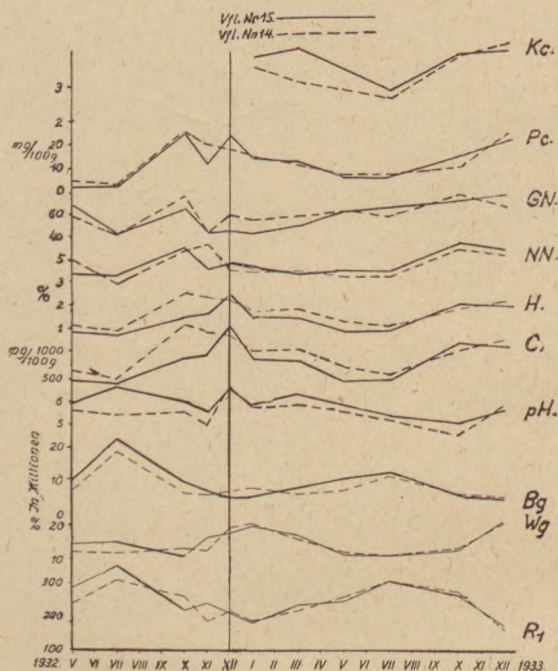


Abb. 13.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Versuchsflächen 14 und 15. Fichtenwälder bei Sopron.

Kc = zitronensäurelöslicher Kaliumgehalt, Pc = zitronensäurelöslicher Phosphorgehalt, GN = Gesamt-Stickstoffgehalt, NN = Nitrat-Stickstoffgehalt, H = Humusgehalt, C = Carbongehalt, Bg = Gesamt-Bakteriengehalt, Wg = Wassergehalt, R = Bodenfeuchtigkeit × Bodentemperatur.

Alle diese Methoden sind aber größtenteils den Ansprüchen der praktischen Landwirtschaft angepaßt. Ich möchte hier vor allem die Keimpflanzenmethode von *Neubauer* erwähnen, die bei den Untersuchungen von Waldbäumen kaum in Betracht gezogen werden konnte, da sie den besonderen Verhältnissen, die in den Waldböden herrschen, kaum entsprechen dürfte. Das Gleiche dürfte auch bei der Untersuchungsmethode von *Mitscherlich* der Fall sein.

Für unsere Zwecke haben sich vielmehr jene Methoden geeignet, die durch die Anwendung eines schwachen organischen, oder anorganischen Lösungsmittels die Ermittlung der Mengen der leicht löslichen Phosphor- und Kaliverbindungen ermöglichen. Von den hierbei angewendeten zahlreichen Methoden habe ich zunächst die sogenannte Zitratmethode angewendet und im Laufe unserer Untersuchungen die in 1%-ige Zitro-

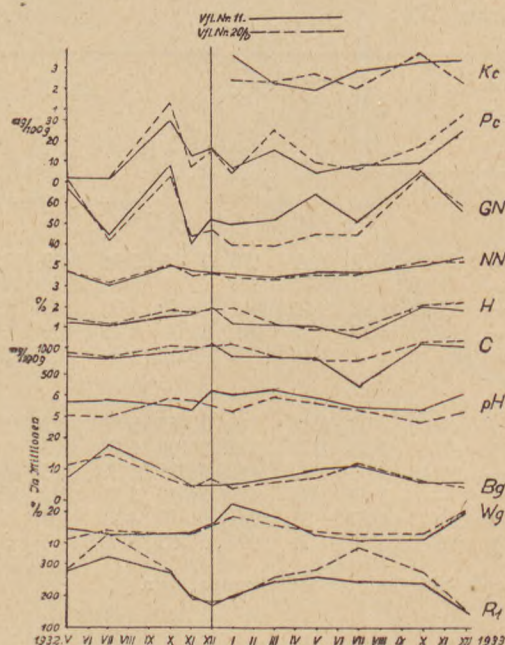


Abb. 14.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Versuchsflächen 11 und 20b. Laubwälder bei Sopron. (Legende wie bei Abb. 13.)

nensäure lösliche Kali- und Phosphorverbindungen bestimmt. Bei den untersuchten Waldböden war die Anwendung dieser Methode schon aus dem Grunde möglich, da der Karbonatgehalt derselben gewöhnlich so niedrig war, daß diese die analytischen Anwendungsmöglichkeiten der Zitratmethode wesentlich nicht beeinflußt hat. Aber auch in dieser Hinsicht möchte ich, um Mißverständnisse zu vermeiden, gleich bemerken, daß die ermittelten Zahlen natürlich nur mit der größten Vorsicht behandelt werden dürfen. Ich möchte überhaupt diesen Teil unserer Forschungen als eine vorläufige Orientierung auf diesem

Gebiete mitteilen und vorläufig nur den allgemeinen dynamischen Verlauf des Kreislaufes dieser Elemente aufzeichnen.

Bezüglich der Untersuchungsergebnisse verweise ich auf die Abbildungen 10, 13 u. 14. Ich habe übrigens auch um die Mengenverhältnisse klar angeben zu können, eine Tabelle (Tabelle IV) mitgeteilt. Es war schon vorhinein klar, daß die Mengen

Versuchsfläche 15.

Tabelle IV.

Zeitpunkt	Zitronen- säurelöslicher		Gesamt- Nitrogen- gehalt	Nitrat Nitrogen- gehalt	Humusgehalt %	Karbongehalt mgr/100 gr	Elektrische Leitfähigkeit $\times 10^{-5}$	pH	Wassergehalt %	Bakterien- gehalt ^{*)}	R
	Phos- phor- gehalt	Kali- gehalt									
	mg/100 g										
1932.											
V.	1'52	—	67'80	3'78	0'81	470	70'10	5'94	14'9	10,220.000	285
VII.	1'44	—	41'50	3'51	0'70	406	62'15	6'62	15'4	22,640.000	352
X.	24'00	—	63'50	5'88	1'45	842	49'50	5'92	11'3	9,700.000	220
XI.	10'10	—	42'60	3'94	1'57	910	82'30	5'47	16'5	6,840.000	241
XII.	22'80	—	43'20	4'41	2'40	1392	49'50	6'54	17'9	5,160.000	209
1933.											
I.	12'7	3'76	40'60	3'98	1'41	818	70'65	5'79	20'2	5,200.000	180
III.	10'1	3'98	46'65	3'38	1'33	771	71'90	6'24	17'3	7,433.000	234
V.	3'60	—	57'45	3'67	0'72	418	68'25	5'73	11'5	10,450.000	244
VII.	3'74	2'70	—	3'57	0'74	429	76'15	5'26	11'2	12,140.000	304
X.	11'60	3'71	64'75	5'87	1'81	1051	70'10	4'92	12'4	5,310.000	262
XII.	17'6	3'76	70'00	5'15	1'71	992	57'95	5'48	21'3	3,850.000	168

R = Bodenfeuchtigkeit \times Bodentemperatur.

der leicht löslichen Phosphor- und Kalisalze im Laufe der verschiedenen Vegetationsperioden nicht gleich bleiben konnten. Es werden ja im Herbst dem Waldboden ziemlich große Mengen der Laub- und Nadelstreu zugeführt, und auch die abgestorbenen Bodenpflanzen vermögen ja verhältnismäßig ausgiebig den Boden mit organischem Material bereichern. Da aber dieser Verbindungen allmählich zersetzt werden, so ist es klar, daß im Herbst auch die Menge der leicht löslichen Phosphor- und Kaliverbindungen zunehmen muß. Man kann auch voraussetzen, daß infolge der Mikrobentätigkeit und der sonstigen physiko-chemischen Einflüsse auch ein gewisser Teil der unlöslichen Phosphor- und Kaliverbindungen allmählich in die lösliche Form über-

^{*)} Pro Gramm feuchter Erde.

führt wird. Es ist leicht zu verstehen, daß bei der Zersetzung der Laubstreu die Hauptarbeit durch die Mikroorganismen geleistet wird, so daß diese letzten Endes auch für die Überführung der organischen Phosphor- und Kaliverbindungen in die leicht löslichen anorganischen Formen ebenfalls mit Fug und Recht verantwortlich gemacht werden können. Aber auch bei der Bodenatmung entwickelte Kohlensäure spielt ja eine wichtige Rolle, da die Kohlensäure selbst für die unlöslichen Verbindungen des Phosphors und des Kaliums lösend wirken kann. Ich muß aber gleich betonen, daß gerade die mikrobiologische Seite dieses Umformungsprozesses noch ganz unzulänglich bekannt ist. Für den Stickstoffkreislauf wissen wir ja, daß im Boden gewisse Bakterien existieren, die ganz ausgesprochen an diesem Kreislauf sich betätigen. Wir kennen aber bisher noch keine spezifischen Arten von Mikroorganismen, die sich nur mit der Zersetzung, bzw. mit der Umformung der Kali- und Phosphorverbindungen betätigen würden. Bezüglich dem Kreislauf des Phosphors sind unsere Kenntnisse etwas weiter fortgeschritten, als bezüglich des Kaliums.

In der letzten Zeit sind viele Mikroorganismen beschrieben worden, die die schwerlöslichen Phosphorverbindungen, darunter das schwerlösliche Tricalciumphosphat und auch das Dicalciumphosphat auf biologischem Wege angreifen und in die lösliche Form überführen können. Auch von den Bodenpilzen kennen wir einige *Aspergillus*- und *Penicillium*arten, die ebenfalls die unlöslichen Phosphorverbindungen in die lösliche Formen überführen können.

Bezüglich der Kaliverbindungen sind aber unsere Kenntnisse noch nicht so weit fortgeschritten. Auch die komplexe Natur der Frage dürfen wir nicht vernachlässigen. Es ist nämlich gewiß, daß eine große Anzahl von Bodenmikroorganismen gibt, die unmittelbar hier eingreifen können. Diese Mikroorganismen können nämlich während ihrer Lebenstätigkeit saure Nebenprodukte erzeugen, die dann auf die unlöslichen Verbindungen des Phosphors und des Kaliums lösend wirken. Wenn wir jetzt den dynamischen Verlauf des Phosphor- und Kaliumkreislaufes näher ins Auge fassen, so werden wir gleich bemerken, daß das Minimum dieser beiden Faktoren immer in der Hauptvegetationszeit zu beobachten ist, worauf dann im Herbst-, bzw. im Winter eine regelmäßige Steigerung erfolgt.

Diese Erscheinung ist leicht zu verstehen, wenn man den Verbrauch durch die Bestände und den Ersatz aus der Laub- und Nadelstreu in Betracht zieht.

Die Abbildungen zeigen auch, daß die Kulmination des Bakteriengehaltes oft mit einer Depression des leicht löslichen Phosphor- und Kaligehaltes einhergeht. Diese Erscheinung kann man dadurch erklären, daß in der Hauptvegetationszeit jene Mengen der Phosphor- und Kalisalze, die durch die Mikrobentätigkeit frei gemacht werden, durch den Verbrauch der Bestände verzehrt werden. Auch der Verbrauch durch die Bodenflora spielt hierbei eine nicht zu unterschätzende Rolle. Es ist übrigens recht interessant zu bemerken, daß die unbebaute, also brach liegende Kontrollfläche die gleichen periodischen Erscheinungen zeigt, wie der Waldboden. Auch bezüglich des Phosphor- und Kalikreislaufes können wir also feststellen, daß, falls künstliche Eingriffe den Kreislauf dieser Stoffe nicht stören, ihre Kreislaufvorgänge hauptsächlich durch die Tätigkeit der Mikroorganismen unmittelbar durch die Klimafaktoren geregelt und beeinflußt werden. Die Abbildung 10 zeigt eine nordeuropäische Versuchsfläche; auch hier kann man im ganzen und großen einen analogen Ablauf dieser Kreislaufvorgänge beobachten.

Alle diese Ergebnisse deuten auf die mikrobiologische Natur des Kreislaufes der leicht löslichen Phosphor- und Kalisalze hin.

Man kann übrigens auch feststellen, daß die Unterschiede zwischen den maximalen und minimalen Werten des zitronensäurelöslichen Phosphorgehaltes immer etwas größer sind, als die Unterschiede des Kalifaktors. Dieser Umstand kann nur dadurch erklärt werden, daß die mikrobiologische Beeinflussung der Phosphorverbindungen wahrscheinlich ebenfalls größer ist, als die der Kaliverbindungen. Um diese Unterschiede bei dem Phosphorkreislauf erklären zu können, muß man zunächst zu der Annahme greifen, daß wahrscheinlich durch vorläufig noch unbekannte biologische oder physiko-chemische Vorgänge ein Teil der löslichen Verbindungen in die unlösliche überführt wird und umgekehrt auch ein Teil der unlöslichen Verbindungen ganz unabhängig von den Phosphorsalzen der Laubstreu in die lösliche Form umgewandelt wird. Die endgültige Entscheidung

über dieses Problem kann man aber erst durch experimentelle Forschungen ermitteln.

In diesem Belange möchte ich noch darauf hinweisen, daß die Maxima der Phosphor- und Kaliverbindungen immer in den niederschlagsreichen Herbst- und Wintermonaten vorkommen. Da aber gerade in dieser Jahreszeit in dem Boden anaerobe Verhältnisse herrschen, so ist es nicht ausgeschlossen, daß die dadurch entstandenen sauren Zersetzungsprodukte und die niedrigen pH-Werte auch die Lösung, bzw. die Überführung der schwer löslichen Phosphor- und Kalisalze herbeiführen können. Wie aber diese dann wieder in die unlösliche Form zurückgeführt werden, darüber können wir vorläufig nicht einmal eine begründete Vermutung aussprechen.

4. Der Humusgehalt.

Wenn man die bereits mitgeteilten Abbildungen und die zugehörigen Tabellen betrachtet, so wird man es gleich erkennen, daß der Humusgehalt, wie das selbstverständlich voraus zu sehen war, ständigen und regelmäßigen Änderungen unterworfen ist. Es ist nicht schwer, zwischen den Änderungen des Bakteriengehaltes und des Humusgehaltes gewisse Zusammenhänge und Regelmäßigkeiten feststellen zu können. Daß die Tätigkeit der Bodenmikroorganismen, die schließlich ihre Hauptnahrung den verschiedenen Humusstoffen entnehmen, zunächst diese stark verbrauchen werden, ist leicht zu erklären. Die Humusreserve des Waldbodens wird aber andererseits auch durch den Laubfall gedeckt. Es ist daher klar, daß mit der höchsten Anzahl der Bodenbakterien eine Depression des Humusgehaltes einhergehen muß. Wir finden auch tatsächlich, daß in der Hauptvegetationszeit, wo die quantitative Entwicklung der Bodenbakterien ihr Maximum erreicht, der jeweilige Humusgehalt sich gewöhnlich im Minimum befindet.

Innerhalb des gleichen Waldtypes wird aber mit der Zeit sich ein, den speziellen örtlichen Verhältnissen angepaßtes Gleichgewicht auch in der Humuswirtschaft des Bodens einstellen. In der Abbildung 15 haben wir eine Reihe von Versuchsflächen derart bearbeitet, daß wir die Humuswirtschaft auf Grund von zweijährigen Beobachtungen bearbeitet haben. Wir haben immer je drei Versuchsflächen zusammengestellt, u. zw

die Versuchsflächen 11, 14 und 15 und die Versuchsflächen 20b und 24. Die eingelegte Kurve entspricht erwartungsgemäß einem Hyperbel und zeigt ganz deutlich, daß mit dem maximalen Wert des Bakteriengehaltes immer eine Depression des Humusgehaltes einhergeht. Um Mißverständnisse zu vermeiden, möchte

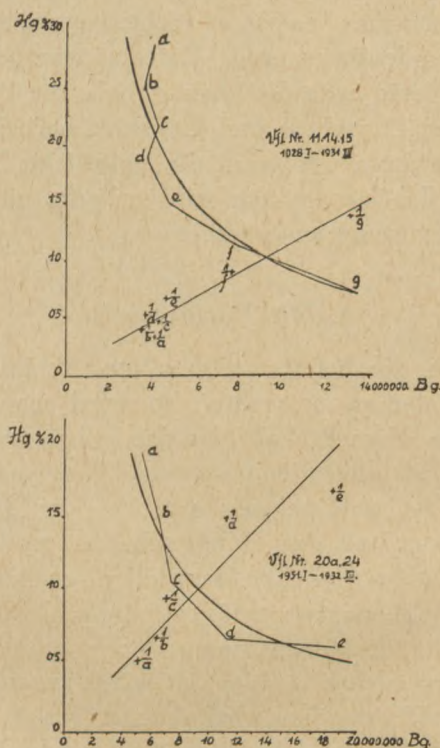


Abb. 15.

Der Zusammenhang zwischen dem Humusgehalt (Hg) und Bakteriengehalt (Bg) auf Grund der Durchschnittswerte der Versuchsflächen 11, 14, 15, und 20b, 24.

ich hier aber gleich betonen, daß die jetzt ausgesprochene Regel nur innerhalb der einzelnen Versuchsflächen gilt. Dieser Zusammenhang ist also von ausgeprägter dynamischer Natur und bezieht sich auf je eine Vegetationsperiode. Es ist vollkommen klar, daß jener Humusgehalt, der für die einzelnen Versuchsflächen charakteristisch ist, die Entwicklung der Mikrobentätigkeit für und an sich recht deutlich beeinflussen kann. Ich verstehe darunter die Tatsache, daß die absolute Höhe des Humus-

gehaltenes, mit der der Boden durch den Laubfall jährlich bereichert wird, die quantitative Entwicklung der Bodenmikroorganismen entscheidend beeinflußt und infolgedessen bei einem reichlicheren Laubfall die erhöhte Menge der organischen Stoffe auch eine erhöhte quantitative Entwicklung der Bodenmikroflora hervorrufen wird.

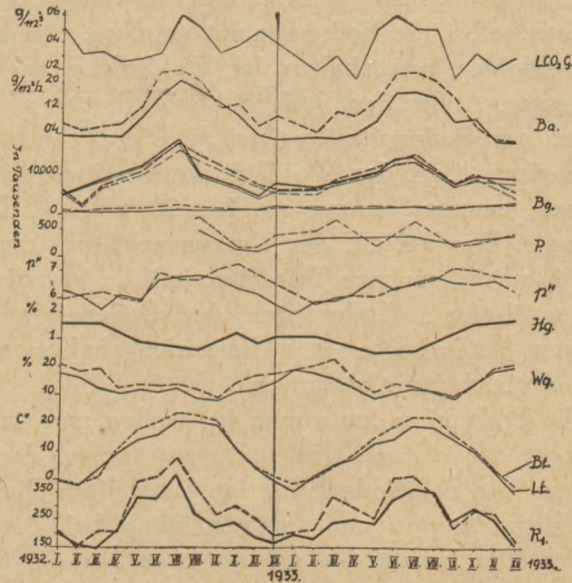


Abb. 16.

Die Ergebnisse der Bodenatmungsmessungen auf den Versuchsflächen 24 und 17.

LCO₂G = CO₂-Gehalt der Luft, Ba = Bodenatmung, Bg = Bakteriengehalt (gesamt, aerob, anaerob), P = Pilzgehalt, Hg = Humusgehalt, Wg = Wassergehalt, Bt = Bodentemperatur, Lt = Lufttemperatur, R = Bodenfeuchtigkeit × Bodentemperatur.

5. Die Bodenatmung.

Ich möchte dieses Problem gleich in Anschluß an die Humusfrage behandeln. Es leuchtet nämlich ohneweiteres ein, daß die Kohlensäureproduktion des Waldbodens hauptsächlich dadurch hervorgerufen wird, daß die organischen Abfallstoffe des Bodens, durch die Bodenmikroorganismen allmählich verbraucht, zersetzt und verarbeitet werden. Wir haben hier eine große Anzahl von Untersuchungen durchgeführt.

Ich möchte hier die Resultate von zwei Versuchsflächen besprechen, und zwar der Versuchsflächen 17*) und 24. Von den

*) Fichtenwald, im botanischen Garten, Sopron.

Faktoren, die im Laufe dieser Untersuchungen untersucht worden sind, gibt uns die Abbildung 16 Aufschluß. Ich möchte hierzu nur kurz bemerken, daß die Messung der Bodenatmung auf Grund einer Methode durchgeführt wurde, die ich entwickelt und in der Literatur (2.) ausführlich beschrieben habe. Das Wesen der Methode ist das Absorptionsverfahren mit der Bodenglocke von *Lundegardh*. Im Laufe der Untersuchungen haben wir nicht nur selbst die Bodenatmung, sondern auch die Änderungen des Kohlensäuregehaltes der Waldluft in ungefähr 3 m Höhe gemessen. Außer den Bodenbakterien haben wir auch die Änderungen der Bodenpilze registriert. Die Bodenatmung und der Kohlensäuregehalt der Waldluft wurde gewöhnlich monatlich dreimal gemessen, u. zw. am 10., 20. und 30. Tage eines jeden Monats. Der Verlauf der Kurven zeigt uns ohneweiteres und klar die unverkennbare Tatsache, daß die jeweiligen Werte und die quantitativen Änderungen der Bodenatmung mit den quantitativen Änderungen des Bakteriengehaltes vollständig parallel und gleichsinnig verlaufen.

Für die Bodenpilze kann man im großen und ganzen auch eine ausgesprochene Parallelität mit dem Verlauf der quantitativen Änderungen der Bodenbakterien feststellen. Diese letztere Mikroorganismengruppe muß man nämlich bei der Bodenatmung immer klar beobachten und erfassen, da sie hierbei eine nicht zu unterschätzende und recht wichtige Rolle spielen. Man kann im allgemeinen feststellen, daß die verschiedenen Kulminationen der Pilzkurve sich auch stellenweise in der Gestaltung der Bodenatmungskurve fühlbar machen. Besonders in den Frühjahrs- und Herbsmonaten, wo die Zahl und die Wirkung der Bodenbakterien infolge der fehlenden Bodenwärme noch recht unbedeutend ist, kann man einen starken Einfluß der Pilzkurve feststellen. Da die Entwicklung der Bodenpilze in den Sommer-, bzw. in den Spätfühlingsmonaten meistens infolge der dort auftretenden Trockenheit eine Depression erleidet, würde man erwarten, daß sie auch in dieser Hinsicht auf die Gestaltung der Bodenatmung einen gewissen Einfluß ausüben. Dies tritt aber gewöhnlich nicht ein, weil in dieser Jahreszeit die Bakterientätigkeit noch derart überwiegend ist, daß die Änderungen und der Einfluß der quantitativen Entwicklung der Bodenpilze nicht zum Ausdruck kommen können.

Auch die Kurve der Bodenatmung und des Kohlensäure-

gehaltes der Waldluft verlaufen immer vollkommen parallel. Ich habe schon seinerzeit in meinen ersten Arbeiten (9.) darauf hingewiesen, daß die Kohlensäure in den höheren Luftschichten derart langsam diffundiert, daß der Kohlensäuregehalt der Waldluft in größeren Höhen durch die jeweilige Bodenatmung nicht mehr erheblich beeinflußt wird. Dies gilt aber nur für die höheren Bodenschichten. In einer Höhe von 2—3 m können aber bedeutende Schwankungen in dem Kohlensäuregehalt der Waldluft vorkommen, die einzig und allein auf die Änderungen der Bodenatmung zurückzuführen sind. Es ist auch recht auffallend, wie gleichsinnig die periodischen Änderungen der Bodenatmung mit der quantitativen Entwicklung der Bodenmikroorganismen verlaufen. Wir können im allgemeinen das Maximum der Bodenatmung parallel mit dem Maximum der Anzahl der Bodenmikroorganismen beobachten. Diese Kulmination tritt immer in den Sommermonaten auf. Die Minimumperiode finden wir regelmäßig in den Winter- und Herbstmonaten. Man kann aber deutlich in den Frühjahrs- und Herbstmonaten immer ein kleineres Maximum des Kohlensäuregehaltes der Waldluft feststellen. Diese Erscheinung kann man dadurch erklären, daß bei sinkender Lufttemperatur die Assimilationstätigkeit, also der Kohlensäureverbrauch des Bestandes stark abnimmt. Wenn wir aber bedenken, daß die Bodenatmung, falls die biologisch wirksamen Bodenschichten Temperaturgrade über 0° haben, in den Wintertagen nicht ganz aufhört, so ist leicht zu verstehen, daß dadurch in Herbst-, bzw. Frühlingsmonaten, wo die Assimilation des Bestandes noch gering ist, je eine vorübergehende Kulmination des Kohlensäuregehaltes der Waldluft eintreten muß. Mit dem Einsetzen der Assimilationstätigkeit der Bestände wird man aber immer eine starke Abnahme des CO_2 -Gehaltes der Waldluft beobachten. Die relative und absolute Höhe des Kohlensäuregehaltes der Waldluft wird daher außer der Bodenatmung auch durch den Verbrauch seitens der Bestände erheblich beeinflußt. Da die Gestaltung der Luftkohlensäurekurve auch durch den Wind beeinflußt wird, so ist es klar, daß zwischen dem Verlauf der Bodenatmung und der Luftkohlensäurekurve die Möglichkeit gewisser Abweichungen immer vorhanden sein wird. Ich möchte noch darauf hinweisen, daß auch die brachliegende Versuchsfläche die gleichen Gesetzmäßigkeiten zeigt, wie der Waldboden.

Gerade dieser Umstand aber beweist uns, daß auch hier, falls die Pflanzendecke des Bodens nicht durch künstliche Eingriffe entfernt wird, die gleichen Gesetzmäßigkeiten zur Geltung kommen, die in den Waldböden herrschen.

Ich möchte jetzt ganz kurz auf den Umstand hinweisen, daß zwischen den jeweiligen R-Werten und zwischen den Werten der

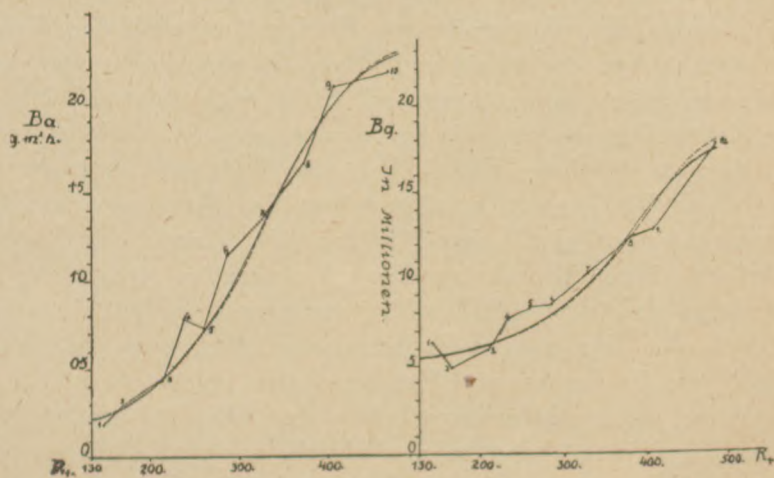


Abb. 17.

Der quantitative Zusammenhang zwischen Bodenatmung (Ba), Bakteriengehalt (Bg) und R-Werte. Flächen 17, 20/b u. 24.

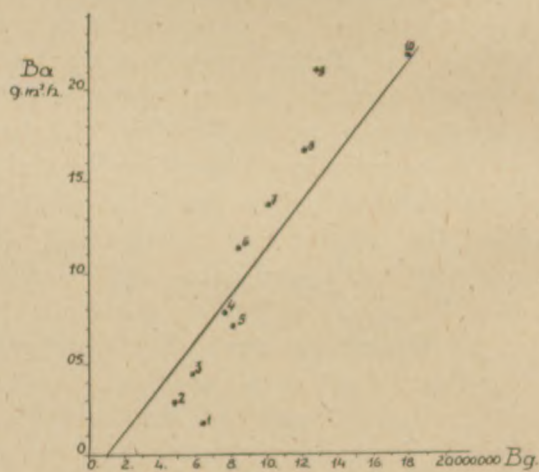


Abb. 18.

Der quantitative Zusammenhang zwischen Bodenatmung (Ba) und Bakteriengehalt (Bg).

Bodenatmung immer die bereits beschriebene und dargestellte Exponentialfunktion besteht. Auf Grund der Daten der untersuchten drei Versuchsflächen bringe ich jetzt einige Berechnungen, die das jetzt Gesagte vollauf bestätigen. Die beiden mitgeteilten Figuren 17, 18 und die Tabelle V. beweisen ebenfalls diese Annahme. Wir sehen ganz klar, daß zwischen den Werten von R und zwischen den Werten der Bodenatmung und zwischen

Tabelle V.

Der quantitative Zusammenhang zwischen den Änderungen des Bodenbakteriengehalts und R_1 -Werten.

$$y = -0'0039x^4 + 4'4x^3 - 1654'5x^2 + 267.100x - 10,120.000.$$

x	y	y'	Δ
150	5,600.000	5,593.375	+ 6.625
200	6,100.000	6,080.000	+ 20.000
300	8,400.000	8,355.000	+ 45.000
400	14,000.000	13,760.000	+ 240.000
450	16,500.000	17,064.375	- 564.000

Der quantitative Zusammenhang zwischen den Änderungen der Bodenatmungs- und R_1 -Werte.

x	y	y'	Δ
150	0'250	0'251	+ 0'001
200	0'380	0'382	+ 0'002
300	1'080	1'086	+ 0'006
400	1'950	1'953	+ 0'003
450	2'190	2'177	- 0'013

den Bakterienzahlen immer ein Verhältnis besteht, die am besten durch den Verlauf einer Parabel dritter oder vierter Ordnung dargestellt werden kann. Wenn man jetzt auf Grund dieser Darstellung auch den Zusammenhang zwischen den Werten der Bodenatmung und zwischen den jeweils ermittelten Bakterienzahlen darstellt, so bekommt man zwischen diesen Werten ein gerades Verhältnis. Wir sollen natürlich nicht vergessen, daß für die

Entwicklung der Bodenatmung nicht nur im allgemeinen die Zahl der Bodenbakterien, sondern auch das Verhältnis der aeroben und anaeroben Bakterien charakteristisch ist. Es spielt natürlich hierbei auch die jeweilige Bodentemperatur eine nicht zu unterschätzende Rolle, da diese wieder die Intensität der Zersetzungsarbeit der Bodenmikroorganismen beeinflusst. Auch die Rolle der mikroskopischen Pilze ist nicht unerheblich. Wenn man aber in Betracht zieht, daß zwischen der quantitativen Entwicklung der Bodenbakterien und den Werten der Bodenatmung ein ausgeprägter Zusammenhang besteht, so wird man ohneweiteres einsehen müssen, daß bei dieser Erscheinung den Bodenbakterien die wichtigste Rolle zukommen wird. Auch diese Zusammenstellung beweist uns ganz klar und deutlich, daß die Annahme über den Zusammenhang zwischen der Bodenatmung, zwischen dem Bakteriengehalt und den Werten von R vollkommen richtig ist.

6. Einiges über die Pilz- und Algenflora der Waldböden.

Um auch über das Verhalten der anderen Gruppen von Mikroorganismen einen gewissen Überblick bekommen zu können, bringe ich hier in der Tabelle II die Resultate unserer Forschungen über die quantitativen Änderungen der Pilzflora der Waldböden. Das Bild ist nicht vollkommen einheitlich. Das Maximum des Pilzgehaltes tritt in den meisten Versuchsflächen in den Sommer-, bzw. in den Spätherbstmonaten auf. Man kann aber auch einige Maxima im Laufe des Frühlings beobachten. Wenn man jetzt das Verhalten der mikroskopischen Bodenpilze mit dem Verlauf der R -Kurve vergleicht, so wird man jene klare Übereinstimmung, die zwischen dem Verlauf der R -Kurve und zwischen dem Verlauf der quantitativen Änderungen der Bakterienflora verläuft, nicht konstatieren können. Die Ursache dieser Erscheinung ist hauptsächlich darin zu suchen, daß die Kulturmethode, mit denen wir die Entwicklung der Pilzflora quantitativ zu erfassen getrachtet haben, nicht ausreichend sind. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, daß infolge der Fragmentation der Mycelfäden eine Fehlerquelle entsteht, die eine

exakte Durchführung der Untersuchungen oft unmöglich macht. Die bisherigen Resultate dürfen wir also nur als vorläufige Orientierung betrachten. Trotzdem kann man im großen und ganzen feststellen, daß die Bodentemperatur und die Boden-

Tabelle VI.

Nr.	Ort der Versuchsfläche.		Zahl der Pilze in Tausenden	Bakterienzahl in Millionen	Bakterienzahl/ Pilzzahl	Zeitpunkt der Untersuchung
3	Kiskomárom	46° 30'	280	44'80	160	1928. VII.
4	"	46° 30'	120	11'00	91	1928. VII.
5	Szeged	46° 15'	90	8'69	88	1932. VIII.
6	"	46° 15'	110	9'10	72	1932. VIII.
7	Kecskemét	46° 55'	100	12'80	128	1928. VIII.
8	"	46° 55'	20	7'60	385	1928. VIII.
11	Sopron	47° 47'	132	18'10	137	1931. VI.
15	"	47° 47'	211	24'90	117	1931. VI.
17	"	47° 47'	400	10'57	24	1928. VII.
20a	"	47° 47'	150	5'40	36	1928. VII.
24	"	47° 47'	540	31'30	58	1931. VI.
24a	"	47° 47'	430	8'70	20	1932. VIII.
25	Miskolc	48° 10'	123	14'60	119	1932. VII.
28	"	48° 10'	99	12'70	128	1932. VII.
51	Tharandt	51°	500	4'60	9	1932. X.
53	"	51°	520	4'50	9	1932. X.
54	"	51°	280	7'96	28	1932. X.
55	"	51°	520	7'85	15	1932. X.
56	"	51°	230	5'80	25	1932. X.
31	Eberswalde	52° 40'	380	19'21	50	1930. VII.
32	"	52° 40'	239	16'81	70	1930. VII.
33	Hallands-Väderö	57°	147	23'40	159	1930. VI.
34	"	57°	180	23'90	132	1930. VI.
35	"	57°	165	22'60	137	1930. VI.
38	Rajvola	60° 17'	165	5'74	35	1931. VIII.
40	Kivalo	66° 50'	275	3'00	11	1931. VIII.
41	"	66° 50'	286	10'20	35	1931. VIII.
42	"	66° 50'	256	6'60	26	1931. VIII.
43	"	66° 50'	491	7'30	15	1931. VIII.
45	Petsamo	69° 20'	538	7'50	14	1931. VIII.
46	"	69° 20'	354	4'90	14	1931. VIII.
47	Kirkenes	69° 30'	365	6'30	18	1931. VIII.

feuchtigkeit im komplexen Sinne auch die quantitative Entwicklung der mikroskopischen Pilzflora beeinflussen.

Ich möchte aber ausdrücklich betonen, daß die mikroskopische Pilzflora im Leben des Waldbodens eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. Wir wissen ja, daß namentlich bei den Zersetzungs Vorgängen der reinen, nicht verholzten Zellulose und

der übrigen Kohlenhydraten den mikroskopischen Pilzen eine bedeutende Rolle zukommt. Besonders wichtig ist ihre Rolle unter den nördlichen Klimaten.

In der Tabelle VI bringe ich eine Zusammenstellung, die uns ohneweiteres beweisen wird, daß unter dem humiden nörd-

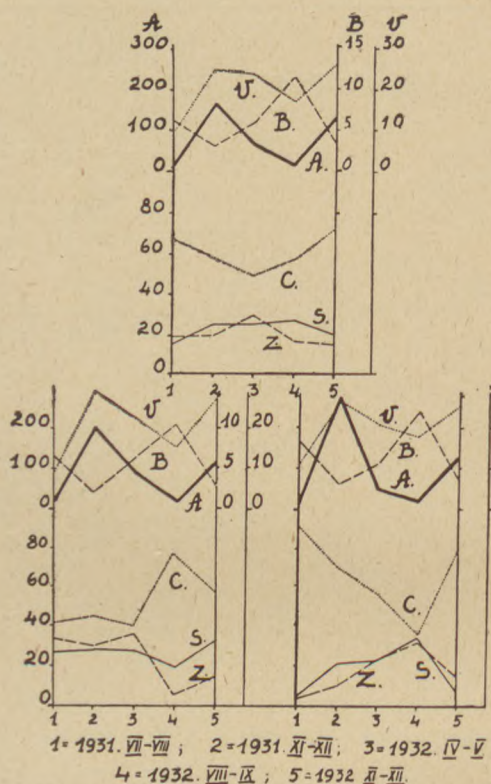


Abb. 19.

Die zeitlichen Veränderungen des Algengehaltes der Waldböden.
A = Algen, B = Bakterien, V = Wassergehalt, C = Chlorophyceen,
S = Schizophyten, Z = Zygophyten. Oben: Durchschnitt. Links: Laub-
wälder. Rechts: Nadelwälder. Alle europäische Versuchsflächen (von 46°
bis 70°).

lichen Klima die Bedeutung und Wichtigkeit der Bodenpilze beinahe der Bedeutung und Wichtigkeit der Bodenbakterien gleichkommt.

Nun möchte ich zum Schlusse auch einiges über die Algenflora der Waldböden sprechen. Diese Mikroorganismengruppe wird nämlich bei den einschlägigen Untersuchungen meistens

gänzlich vernachlässigt. Es ist war, daß über die Rolle, die diese Mikroorganismen in dem Boden spielen, noch nicht viel bekannt ist. Soweit, wie man heute die Literatur überblicken kann, erscheint es ziemlich wahrscheinlich, daß die früheren Vermutungen über die stickstoffbindende Fähigkeit dieser Mikroorganismen sich vorläufig nicht bewahrheitet haben. Aber auch dann, wenn dies nicht zutreffen sollte, werden diese Mikroorganismen, namentlich bei der Durchlüftung der tieferen Bodenschichten gewiß eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen. Durch ihre Assimilationstätigkeit setzen sie namentlich immer Sauerstoff in Freiheit, der dann bei den Zersetzungs Vorgängen, die sich im Boden abspielen, den an diesen interessierten Mikroorganismen wohl zugute kommt.

Über das quantitative Verhalten der Bodenalgen bringe ich die Abbildung 19, die auf Grund der Verarbeitung mehrerer Versuchsflächen zusammengestellt wurde. Auf Grund dieser Abbildung können wir nun folgendes feststellen. Die quantitative Entwicklung der Algenflora der Waldböden zeigt ganz regelmäßige periodische Schwankungen, die von uns bezüglich der quantitativen Entwicklung der Bakterienflora schon wiederholt konstatiert wurde. Die quantitative Entwicklung der Bodenalgen wird ja auch von dem jeweiligen Wassergehalt des Bodens dominierend beeinflusst. Die Bodenalgen zeigen im allgemeinen in den feuchten Herbstmonaten ihre höchste quantitative Entwicklung, bis die Bodenbakterien ihre Maxima bekanntlich in den Sommermonaten aufweisen. Bei dieser Organismengruppe finden wir daher viel höhere Anpassungsfähigkeiten an das Bodenleben, als bei den Bodenalgen, deren hydrophyle Natur durch den starken Einfluß der Bodenfeuchtigkeit deutlich zum Ausdruck gebracht wird.

Außerdem möchte ich noch über ihr allgemeines Verhalten folgendes bemerken. Die mitteleuropäischen Waldböden zeigen im allgemeinen höhere Algenzahlen, als die nordeuropäischen Waldböden. Dieser Umstand ist sicherlich durch die günstige Temperaturverhältnisse und durch die größeren Lichtmengen in Mittel-Europa zu erklären. Besonders charakteristisch ist das Verhalten der Chlorophyceen. Diese Algen kommen nämlich in den mitteleuropäischen Waldböden viel häufiger vor, als in den nordeuropäischen Wäldern. Dagegen ist die Anzahl der

Schizophyten und Zygomphyten in den letzteren viel größer, als in den mitteleuropäischen Waldböden.

V. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die vorliegenden Untersuchungen sind auf einer Reihe von ständigen Versuchsflächen jahrelang systematisch durchgeführt worden.

1. Der allgemeine dynamische Verlauf des Mikrobenlebens wird in den Waldböden und in den Freilandböden gleicherweise durch das komplexe Zusammenspielen der beiden Biofaktoren, Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit regulierend beeinflusst. Um dieses komplexe Zusammenwirken der erwähnten beiden Faktoren ausdrücken zu können, wird ein neuer empirischer Ausdruck eingeführt, in dem die jeweiligen Werte der Bodentemperatur und der Bodenfeuchtigkeit miteinander multipliziert werden. Die entstandenen Werte werden dann mit dem Buchstaben „R“ bezeichnet. Der Zusammenhang zwischen Bakteriengehalt und zwischen den R-Werten wird durch eine Parabelfunktion charakterisiert.

2. Der Vergleich der experimentellen Laboratoriumsforschungen mit den Ergebnissen der Untersuchungen in der freien Natur zeigt ganz klar und deutlich, daß die optimalen Bedingungen des Mikrobenlebens unter unseren Breitengraden nie erreicht werden können, da weder die optimale Grenze der Bodenfeuchtigkeit, noch die optimale Grenze der Bodentemperatur (25° C) im allgemeinen in der Hauptvegetationsperiode erreicht werden können.

3. Die mikroskopischen Bodenpilze zeigen im allgemeinen die gleichen dynamischen Erscheinungen, wie die Bodenbakterien.

4. Der Stickstoffkreislauf des Waldbodens ist ebenfalls eine ausgeprägte biologisch-dynamische Erscheinung. Dieser Prozeß wird zunächst durch das Zusammenwirken der aeroben und anaeroben Bakterien und zweitens durch die Stickstoffbindung aus der Luft regulierend beeinflusst.

5. Außer den jetzt bezeichneten Faktoren spielt natürlich hierbei auch der Verbrauch durch die Bestände und die Auswaschung in den niedrigeren Bodenschichten eine nicht unerhebliche Rolle.

6. Die Kulmination des Gesamtstickstoffes ist gewöhnlich in den Spätherbst- und Wintermonaten zu konstatieren. In der Hauptvegetationsperiode tritt eine Depression ein, die hauptsächlich durch den Verbrauch seitens der Bestände hervorgerufen wird. Die Nitratstickstoffkurve verläuft im allgemeinen parallel mit der Kurve des Gesamtstickstoffs.

7. Die nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien beeinflussen sich gegenseitig im antagonistischen Sinne. Man kann ja regelmäßig beobachten, daß eine Kulmination der nitrifizierenden Bakterien meistens mit einer entsprechenden Depression der denitrifizierenden Bakterien einhergeht. Durch diese antagonistisch verlaufenden Kulminationen und Depressionen wird dann der quantitative Verlauf des Nitratstickstoffhaushaltes neben den übrigen Faktoren biologisch beeinflusst.

8. Die Kurve der Ammonifizierung ist im allgemeinen der Nitratkurve gegenläufig.

9. Der quantitative Verlauf des Phosphor- und Kalihaushaltes der Waldböden ist ebenfalls von ausgeprägter periodischen Natur. Man kann hier den Zusammenhang zwischen der mikrobiologischen Mobilisierung der anorganischen Phosphor- und Kaliverbindungen und zwischen dem Verbrauch durch die Bestände immer klar und deutlich nachweisen.

10. Auch diese Untersuchungen zeigen ganz einwandfrei, daß die leicht löslichen, also physiologisch aufnehmbaren Phosphor- und Kaliverbindungen der Waldböden hauptsächlich und primär durch mikrobiologische Zersetzungs- und Aufbauvorgänge geregelt werden.

11. Besonders charakteristisch ist die biologische Natur des Phosphorkreislaufes. Man kann neben dem Stickstoff auch den Phosphor als ein ausgesprochenes biogenes Element bezeichnen. Die Untersuchungsergebnisse deuten auch darauf hin, daß die Phosphorverbindungen der Böden durch die Tätigkeit der Mikroorganismen viel erheblicher beeinflusst, umgearbeitet und mobilisiert werden können, als die Kaliverbindungen.

12. Die periodischen Änderungen des Humusgehaltes werden durch die jeweilige Mikrobentätigkeit hervorgerufen und beeinflusst. Das Minimum des Humusgehaltes fällt immer mit der Kulmination der jeweiligen Mikrobenzahlen zusammen.

13. Entsprechend den oben gesagten wird man daher auf Grund der Untersuchungsergebnisse den Zusammenhang zwi-

schen dem Humusgehalt und zwischen den quantitativen Änderungen des Mikrobengehaltes der Waldböden mathematisch durch eine Hyperbelfunktion ausdrücken können.

14. Die Bodenatmung ist eine Funktion der Mikrobentätigkeit. Sie wird in der ersten Reihe durch die quantitative Entwicklung der Bodenmikroorganismen beeinflusst. Daß die jeweilige Bodentemperatur, die die Intensität der Zersetzungsarbeit der Mikroorganismen erhöht, auf den Gang der Bodenatmung ebenfalls merklich einwirken wird, versteht sich von selbst.

15. Die Wirkung und der Einfluß der mikroskopischen Bodenpilze ist ebenfalls deutlich. Die Wichtigkeit dieser Organismengruppe wird aber durch die überwiegende Arbeitsintensität der Bodenbakterien mehrfach übertroffen.

16. Zwischen den Änderungen der Werte von R und zwischen den Änderungen der jeweiligen Bodenatmungswerte, besteht ebenfalls eine Parabelfunktion.

17. Zwischen der quantitativen Entwicklung der Bodenmikroorganismen und zwischen der Gestaltung der Bodenatmungswerte besteht dagegen ein gerades Verhältnis.

18. Auch diese Untersuchungen haben den ausgeprägten Zusammenhang zwischen der Tätigkeit der Bodenmikroorganismen und zwischen der Gestaltung der pH-Werte der Böden ganz klar und deutlich ermittelt.

VI. Die praktische Bedeutung der mikrobiologischen Bodenforschung in der Forstwirtschaft.

Die Bodenbiologie und ihre Disziplinen sind noch verhältnismäßig jung. Dies gilt in erhöhtem Maße für die biologische Erforschung des Waldbodens. Aus dieser Tatsache erfolgt nun, daß man die Resultate dieser Forschungsrichtung im praktischen Sinne, wenn man Irrtümer und voreilige Schlüsse vermeiden will, sehr vorsichtig in das praktische Leben übertragen kann. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, daß, wie jede junge Wissenschaft, so auch die Bodenbiologie zunächst der vollständigen Aufklärung ihre fundamentalen Gesetzmäßigkeiten bedarf, bevor die praktische Auswertung der gewonnenen Resultate möglich sein wird. Wir wissen, daß gerade die forstliche Boden-



kunde in ihrer Entwicklung etwas von der landwirtschaftlichen Bodenkunde zurückgeblieben ist.

Abgesehen von den ersten bahnbrechenden Untersuchungen von *Ebermayer*, (11.) der eigentlich als erster sich auch mit den biologischen Grundlagen der Zersetzung der Waldstreu gründlich befaßt hat, hat erst die Tätigkeit von *Ramann* (12.) die forstliche Bodenkunde in ihrem allseitigen Zusammenhange gegründet. Diesen Umstand wird man leicht verstehen können, wenn man sich die extensiven Methoden der Forstwirtschaft, wie dies auch in vielen Ländern vorhanden sind, mit den auf das höchste gesteigerten intensiven Methoden der modernen Landwirtschaft vergleicht.

Es ist daher klar, daß man noch vor einigen Jahrzehnten das Hauptgewicht an die forstliche Produktionslehre gelegt hat und erst allmählich auch die Wissenschaft des modernen Waldbaues zu vertiefen bestrebt war. Bodenkunde und Waldbau hängen aber auf das engste zusammen. *Heinrich Mayr* (13.) war der erste, der gleichzeitig mit dem Auftreten von *Ramann* die vollständige Umstellung der gesamten Lehre des Waldbaues auf naturgesetzlicher Grundlage gefordert hat. Erst durch seine Tätigkeit ist der Waldbau aus der bisher schematischen Wissenschaft zu einer Wissenskunde geworden, die den Wald in seinem ursächlichen Zusammenhang mit den Naturkräften zu behandeln versucht hat.

Auf Grund unseres heutigen Wissens können wir bereits mit ruhigem Gewissen den Satz aussprechen, daß man das Leben des Waldbodens erst dann richtig verstehen wird, wenn man die komplexe Natur der ganzen Naturgeschichte des Waldes mit dem Standortsfaktoren in Einklang bringt.

Wir müssen im Sinne der modernen ökologischen Forschung den Wald, als einen Lebensraum betrachten, dessen Gesetze mit den Gesetzen der freien Naturkräfte, die den Waldboden beherrschen, zusammenhängen. Es bedurfte natürlich auch eines gewaltigen Fortschrittes auf dem Gebiete der dynamischen Bodenlehre, bis man dazu gekommen ist, den Boden nicht mehr als ein lebloses Gemenge von organischen und anorganischen Faktoren zu betrachten, sondern ihn als einen lebenden Organismus, der ganz ausgesprochene Lebensfunktion besitzt, zu behandeln. Heute wird es immer mehr und mehr klar, daß die einseitige und starre physiko-chemische Auffassung über das Wesen des

Bodens nicht mehr zu halten ist. Der Boden ist ein derart vitaler Organismus, daß man eigentlich von einer ständigen Zusammensetzung seiner Grundelemente nicht mehr mit Fug und Recht sprechen kann. Der Begriff des Lebens bringt es ja mit, daß jene Kleinlebewelt, die eigentlich das Bodenleben aufrecht erhält und beeinflusst, in ihrem Zusammenhange mit dem Wechsel der Klimafaktoren auch die Zusammensetzung und die innere Struktur des Bodens im dynamischen Sinne fast ununterbrochen ändert.

Es gibt ja natürlich gewisse Grenzen für jede Bodenart und für jede Bodengattung, innerhalb deren diese Lebensvorgänge sich abspielen. Man muß ja die verschiedenen Bodenarten in biologischem Sinne als Individuen betrachten, die für ihre Lebensfunktionen gewisse Grenzen innehaben. Innerhalb dieser Grenzen arbeitet aber das Leben nach seinen Gesetzen. Der Boden, der Bestand und das umgebende Milieu samt den Bodenpflanzen und mit der Flora und Fauna des Bodens, bilden ja den Lebensraum, den wir als Wald bezeichnen.

Als jeder praktischer Wissenschaftszweig, ist ja auch die Forstwirtschaft bestrebt, die denkbar besten Erträge zu erzielen. Sie ist bestrebt die Rentabilität ihres Objektes zu erhöhen. Sie ist aber natürlich auch darauf bedacht, die Produktionskräfte und die Aktivität des Waldbodens immer intakt zu halten. Wir sollen nämlich nicht vergessen, daß der Wald als Lebensraum eine organische Einheit ist, die sich durch stete Umwandlungen in das anorganische wenigstens teilweise sich selbst ernähren muß. Diese Umwandlung des organischen in das anorganische vollzieht nun die Mikroflora des Bodens. Es erübrigt sich hier über die verschiedenen Gruppen der Mikroorganismen des Waldbodens und über ihre Tätigkeit in dem Kreislauf der verschiedenen Faktoren zu sprechen. Es versteht sich auch von selbst, daß die praktische Forstwirtschaft infolge der langen Produktionsdauer nicht jene intensiven Maßnahmen verwenden kann und darf, wie die praktische Landwirtschaft. Der forstliche Betrieb befindet sich nämlich in einer schweren Lage bei der Anlage seiner Betriebsmaßnahmen. Diese Lage wird dadurch begründet, daß man infolge der langen Produktionsdauer die Erfolge der angewendeten Maßnahmen nicht voraus sehen und nicht voraus berechnen kann. Eines ist aber sicher! Zwischen gewissen Grenzen ist auch die praktische Forst-

wirtschaft nunmehr in die Lage gekommen, seine Betriebsmaßnahmen wissentlich und voraus berechnen zu können. Und hier muß man nun einen fundamentalen Grundsatz feststellen.

Die Produktionskraft eines Bodens ist immer die Folge der biologischen Aktivität desselben. Die Bodengüte wird man im Interesse der Produktion erst dann richtig erhalten können, wenn man dafür sorgt, daß alle Umwandlungsprozesse, alle Kreislaufvorgänge, die sich in dem Waldboden abspielen, gesund und normal bleiben. Und bei diesem Punkte tritt nun uns die enorme Wichtigkeit der mikrobiologischen Bodenforschung entgegen. Fast alle organische und anorganische Faktoren des Waldbodens hängen ja von den mikrobiologischen Lebensvorgängen ab. Die Umwandlung des Organischen in das Anorganische, die Mobilisierung der schwer löslichen anorganischen Verbindungen, die Versorgung der Bestände mit Kohlensäure, die Festlegung des atmosphärischen Stickstoffs für die Bestände, sind ja alle Lebensvorgänge, die aus der Arbeit der Mikrobenbevölkerung des Bodens resultieren. Es leuchtet daher ohne weiteres ein, daß, wenn man über die notwendigen Kenntnisse verfügt, so wird es doch in der praktischen Forstwirtschaft möglich sein, die Betriebsmaßnahmen so durchzuführen, daß dadurch die Gesundheit der jetzt erwähnten Lebensvorgänge unter allen Umständen gesichert wird. Ich denke hier, um einige Beispiele hervorzuheben, zunächst an die gesunde Humuszersetzung, an die ergiebige Stickstoffbindung, an die gute Nitrifizierung und auch an die gesunde Atmung der Waldböden. Kennt man jetzt die fundamentalen Grundgesetze der mikrobiologischen Lebensvorgänge des Waldbodens, so wird man so allmählich auch in die Lage kommen, diese Lebensprozesse mit guter Aussicht auf Erfolg beeinflussen und regulieren zu können. Die gute Bodenbearbeitung, die Erhaltung des guten Bodenzustandes durch entsprechende waldbauliche Maßnahmen bedürfen alle der Kenntnis der Grundgesetze des Mikrobenlebens und bedürfen der Kenntnis des komplexen Zusammenhanges dieser Lebensvorgänge mit dem steten Wechsel der Klimafaktoren. Wird die praktische Forstwirtschaft im Laufe dieser Forschungen mit der Zeit in die Lage kommen, in dieses harmonische Zusammenspiel der Naturkräfte einen quantitativen Einblick zu gewinnen, so wird es ihr auch möglich sein, den forstlichen Betrieb, als eine Energiewirtschaft auf exaktere Grundlage aufbauen zu können.

Literatur.

1. *Fehér, D.*: Untersuchungen über die Kohlenstoffernährung des Waldes. (Verhandlungen des Int. Kongr. Forstl. Versuchsanstalten, Stockholm, 1929.)
- Fehér, D.*: Untersuchungen über den N-Stoffwechsel des Waldbodens. (Verhandlungen des Int. Kongr. Forstl. Versuchsanstalten, Stockholm, 1929.)
2. *Fehér, D.*: Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. (Springer, Berlin, 1933.) Hier die Literatur bis 1933.
3. *Fehér, D.*: Regionale Untersuchungen über den P_2O_5 -Gehalt der Waldböden. (Zeitschr. f. Phosphorsäure. Bd. 2. S. 705—734. 1932.)
- Fehér, D.*: Über die kolorimetrische Bestimmung des Phosphorsäuregehaltes der Böden mit elektrophysikalischen Methoden. (Bodenkunde und Pflanzenernährung. Bd. 1. S. 219—223. 1926.)
4. *Fehér, D.*: Regionale Untersuchungen über den Kaligehalt der Waldböden. (Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde. Bd. 33. S. 320—335. 1934.)
5. *Fehér, D.*: Eine neue Methode zur Züchtung und quantitativen Erfassung der Lebenstätigkeit der Bodenbakterien. (Archiv f. Mikrobiologie, Bd. 3. S. 362—369. 1932.)
- Fehér, D.*: Die Verwendung der elektrometrischen pH-Messung zur quantitativen Ermittlung der Keimzahl der Böden. (Archiv f. Mikrobiologie, Bd. 4. 257—270. 1933.)
6. *Fehér, D.*: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß von Temperatur und Wassergehalt auf die Lebenserscheinungen der Bodenbakterien. (Archiv f. Mikrobiologie, Bd. 4. S. 447—486. 1933.)
- Fehér, D. und Frank, M.*: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur und des Wassergehaltes auf die Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens. (Archiv f. Mikrobiologie, 1937.)
7. *Fehér, D.*: Untersuchungen über den Stickstoffkreislauf des Waldbodens. (Forstliche Versuche. Bd. 36. S. 233—268. 1934.)
8. *Fehér, D. und Frank, M.*: Untersuchungen über den periodischen Kreislauf des Stickstoffes, des Phosphors und des Kaliums in dem Waldboden. (Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde. Bd. 43. S. 5—33. 1936.)
9. *Fehér, D.*: Untersuchungen über die Schwankungen der Bodenatmung. (Archiv f. Mikrobiologie, Bd. 5. S. 421—435. 1934.)
10. *Fehér, D.*: Untersuchungen über die regionale Verbreitung der Bodenalgae. (Archiv f. Mikrobiologie, Bd. 7. S. 439—476. 1936.)
11. *Ebermayer*: Die gesamte Lehre der Waldstreu. 1876.
12. *Ramann, E.*: Bodenkunde. Berlin, 1905.
13. *Mayr, H.*: Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage. 1909. Bezüglich der Literatur nach 1933 siehe folgende Werke.
14. *Dengler*: Waldbau. 1935.
15. Die Referate von *Rippel* in: Fortschritte der Botanik. Bd. 3—5.
16. *Rubner*: Pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues. 1935.
17. *Waksman*: Soil Microbiology. 1933.
18. *Blanck*: Handbuch der Bodenkunde. Bd. 7—9.



