

133.973

KÜLÖNLÉNYOMAT AZ „ERDÉSZETI KÍSÉRLETEK“ 1941. XLIII. KÖTETÉBŐL.

Sonderabdruck aus „Erdészeti Kísérletek“ Bd. XLIII. 1941.

Reprinted from „Erdészeti Kísérletek“ Vol. XLIII. 1941.

Die biologische Bedeutung der komplexen physiologischen Wirkung des Wassers und der Wärme im Lebensraume des Waldes.

Aus dem Botanischen Institut der kgl. ung. Universität für Technische und Wirtschaftliche Wissenschaften, Sopron, Ungarn.

Von: D. Fehér.

Einleitung.

Zwischen allen Biofaktoren der Natur, die den zeitlichen und räumlichen Ablauf des irdischen Lebens beeinflussen und regeln, kommt der Wärme und dem Wasser eine besondere, meistens auch die übrigen Faktoren beherrschende Rolle und Bedeutung zu. Sie sind die eigentlichen Urfaktoren der organischen Welt.

Zwischen ihnen stellt die Wärme den energetischen Ursprung des Lebens dar. Sie ist die motorische und bewegende Kraft unseres großen, irdischen Lebensraumes.

Das Wasser dagegen ist das Grundelement des Aufbaues aller lebenden Körper, der Tiere und der Pflanzen.

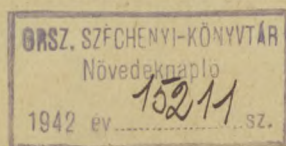
Diese allgemeinen Feststellungen gelten natürlich auch für die Holzpflanzen des Waldes.

Durch die zwei polaren Lebensvorgänge der Bäume, durch die Transpiration der grünen Pflanzenteile, und durch die Wasseraufnahme der Wurzel, wird nach den Gesetzen der Osmose, der kontinuierliche Wasserstrom in ihren Leitungsbahnen aufrechterhalten. Das Wasser wirkt daher auch im dynamischen Sinne, indem es den Transport der Bau- und Betriebsstoffe der Pflanzen bewerkstelligt.

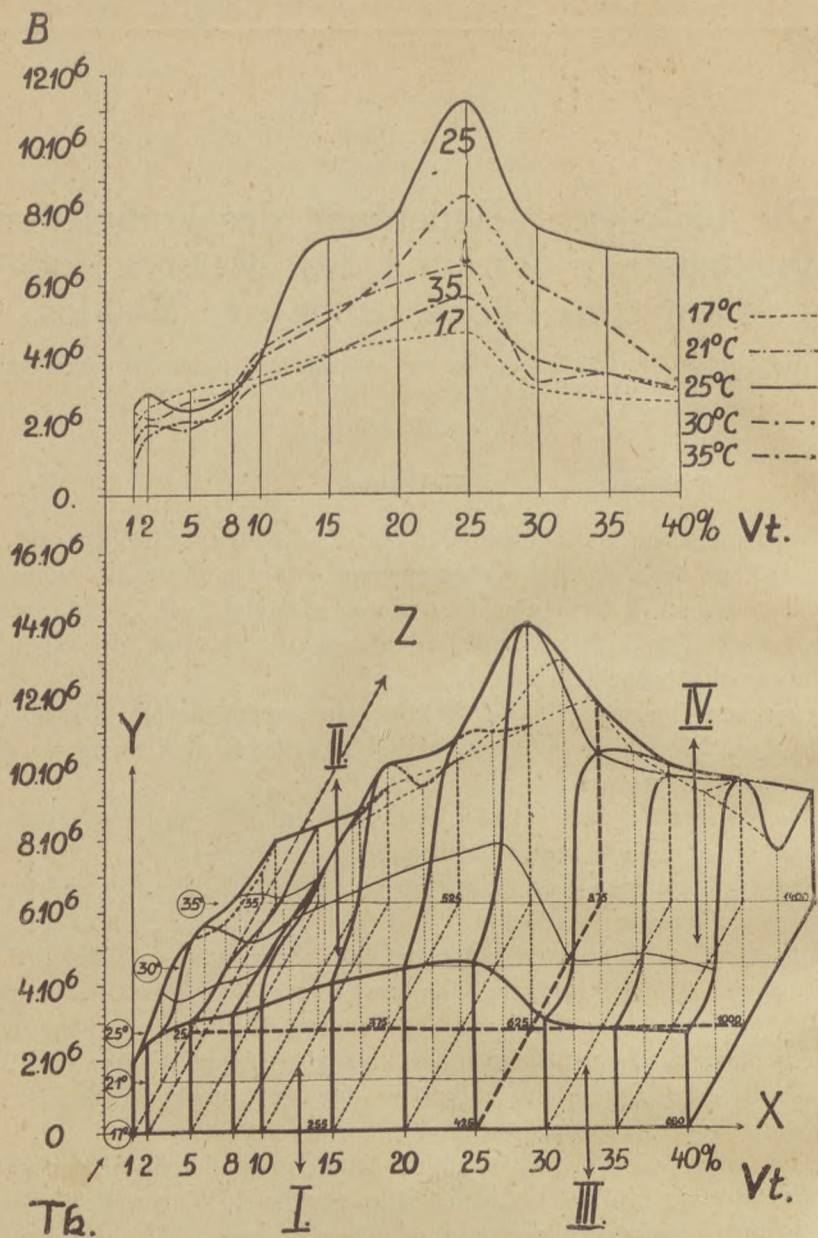
Aber auch seine Dynamik ist nur eine Folge der Wärmeenergie, die die Transpiration und letzten Endes alle, durch die Wärme energetisch bedingten, pulsierenden Lebensfunktionen des lebenden Pflanzenkörpers, die an der Auf- und Abwärtsbewegung des Wasserstromes einen entscheidenden Anteil nehmen, aufrechterhalten wird.

Wärme- und Wasserwirkung sind überall vorhanden, sie sind unzertrennbar, sie wirken zusammen, wobei sie sich auch stets gegenseitig beeinflussen.

133973



x-y.

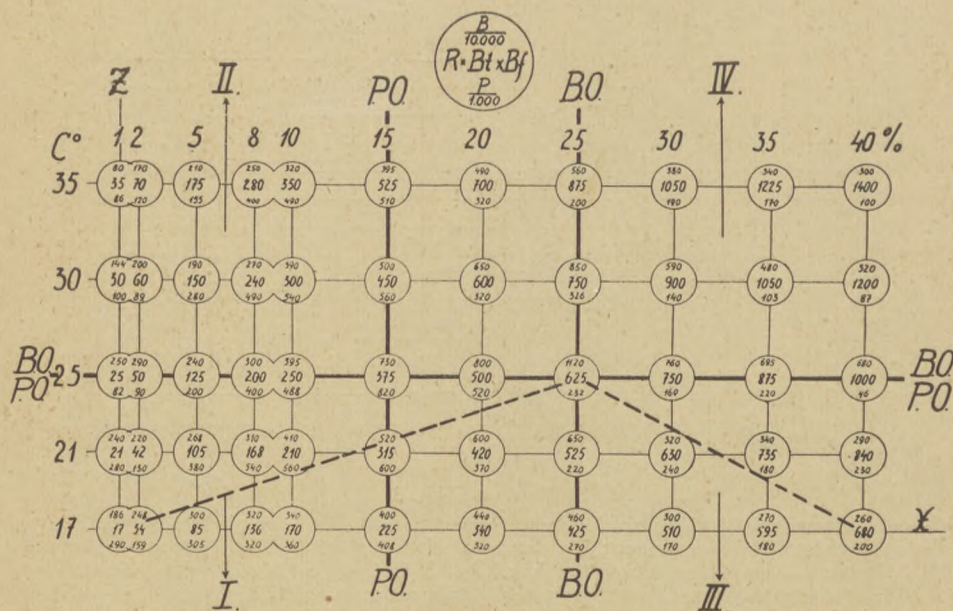


1. ábra. — Abb. 1.

Az R-törvény térbeli görbéje. Az x-tengelyen a talajnedvességet súlyszázalékokban, a z-tengelyen a talaj hőmérsékletét C°-ban, az y-tengelyen a talajbaktériumok számát tüntették fel. Felül a görbének x-y-síkban való vetületét ábrázoltuk. — Die Darstellung des R-Gesetzes im Raumkoordinatensystem. Auf der x-Achse ist die Bodenfeuchtigkeit (Vt) in Gew.-Prozenten, auf der y-Achse der Bakteriengehalt (B) und auf der z-Achse die Bodentemperatur (Th) eingetragen. Parallel mit der x-Achse laufen die Bodenfeuchtigkeitskurven und parallel mit der z-Achse die Bodentemperaturkurven. Oberhalb des Raumkörpers befindet sich die Projektion x-y mit den Bodenfeuchtigkeitskurven.

Im Laufe unserer langjährigen Forschungsarbeit haben wir schon frühzeitig bemerken müssen, daß nicht nur die Lebensäußerungen der oberirdischen, sondern auch der unterirdischen Pflanzenwelt des Lebensraumes des Waldes, jahreszeitlich bedingten periodischen Änderungen unterworfen sind, die letzten Endes auf die wechselseitigen komplexen Änderungen der beiden Biofaktoren: Wasser und Wärme zurückgeführt werden können.

Diese Annahme konnte aber erst nach einer langjährigen und mühevollen Forschungsarbeit klar erwiesen werden.



2 ábra. — Abb. 2.

Az R -értékek ábrázolása a z - y -síkban, Bf = talajnedvesség, Bt = talajhőmérséklet, C° -ban, BO = baktériumélet optimuma, PO = a talajgombák optimuma. — Die Darstellung der z - y -Ebene mit den R -Werten. Bt = Bodentemperatur, Bf = Bodenfeuchtigkeit, BO = Optimumgrenze des Bakterienwachstums, PO = Optimumgrenze des Pilzwachstums. Die aussetzende Strichlinie zeigt die Projektion der Optimumkurve. $R = Bt \times Bf$.

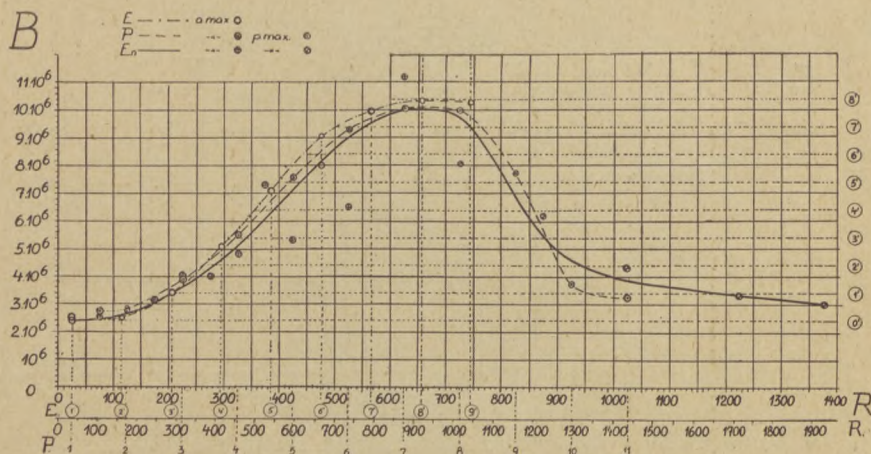
Darüber, daß das gesamte Bodenleben ein sich stets änderndes und lebhaft pulsierendes biologisches Geschehen ist, ließen bereits die ersten Untersuchungen keinen Zweifel mehr bestehen.

Es war eine verhältnismäßig leichtere Aufgabe, die regulative Wirkung der Temperatur nachzuweisen. Sie zeigte sich ziemlich deutlich und klar.

Etwas umständlicher war die Erkennung des Einflusses des Wasserfaktors. Erschwert wurde dies alles durch die induktive Natur unserer Forschungen, die sich zunächst an die Untersuchung der Freilandböden erstreckten.

Da der chemische, physikalische und biologische Bodenzustand sich nicht nur zeitlich, sondern auch räumlich fast unentwegt ändert, so wird das zeitliche Bild des Ablaufes des Bodenlebens durch eine gewisse Streuung der Untersuchungsergebnisse fast immer mehr oder weniger gestört.

Die auf dem induktiven Wege erzielten Untersuchungsergebnisse können daher zunächst nur über den allgemeinen zeitlichen Verlauf des fraglichen biologischen Vorganges Aufschluß geben.



3. ábra. — Abb. 3.

A baktériummennyiség görbéje. B = baktériummennyiség, E_n = empirikus görbe, P = parabola egyenlettel, E = exponenciális egyenlettel számított görbe, a_{max} = maximum előtti, p_{max} = maximum utáni értékek. Az R -értékek a felső sorban talajnedvesség \times talajhőmérséklet, az alsó sorban pedig talajnedvesség \times (talajhőmérséklet $+ 10^\circ$). Az exponenciális görbe egyenletének állandói: $a_1 = 3.4$, $a_2 = 10$, $m = 3.2$. — Die Kurve des Bakteriengehaltes. B = Bakteriengehalt, E = Kurve, berechnet mit der Exponentialgleichung, P = Parabelkurve, E_n = eingelegte Kurve, a_{max} = ante Maximum, p_{max} = post Maximum, R -Werte obere Reihe: Bodenfeuchtigkeit \times Bodentemperatur, untere Reihe: Bodenfeuchtigkeit \times (Bodentemperatur $+ 10$.)

Sie sind in der ersten Reihe dazu berufen, um uns über die große Linie des biologischen Geschehens zu orientieren.

Erst durch die gewissenhafte und andauernde Fortsetzung der Beobachtungen wird uns in die Lage versetzen, in einem entsprechenden Zeitpunkt auch über die mengenmäßigen Ausmaße der zeitlichen Änderungen etwas bestimmtes aussagen zu können.

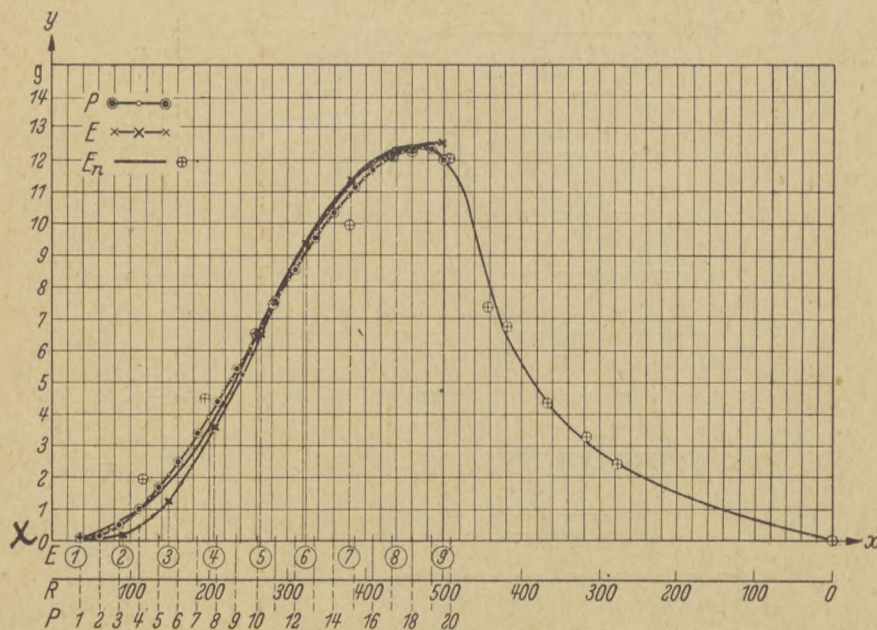
Es konnte daher die oft verschleierte und verdeckte Wirkung des Wasserfaktors erst nach einigen Jahren klar erkannt werden.

Im Laufe der weiteren Forschungen haben wir dann erst die zunächst rein erfahrungsmäßige Tatsache ermittelt, daß die zeitlichen Änderungen des Bodenlebens durch ein Produkt, das durch Multiplikation der numeri-

schen Werte der Wärme- und Wasserfaktoren gebildet wird, in kausalen Zusammenhang gebracht werden können.

Um diese Erscheinung auch exakt aufklären und begründen zu können, führten wir eine Reihe von experimentellen Laboratoriumsforschungen deduktiver Natur durch.

Die Untersuchungen deren, das Verhalten der Bodenbakterien charakterisierende Ergebnisse, in den Abbildungen 1, 2 und 3 raumanalytisch



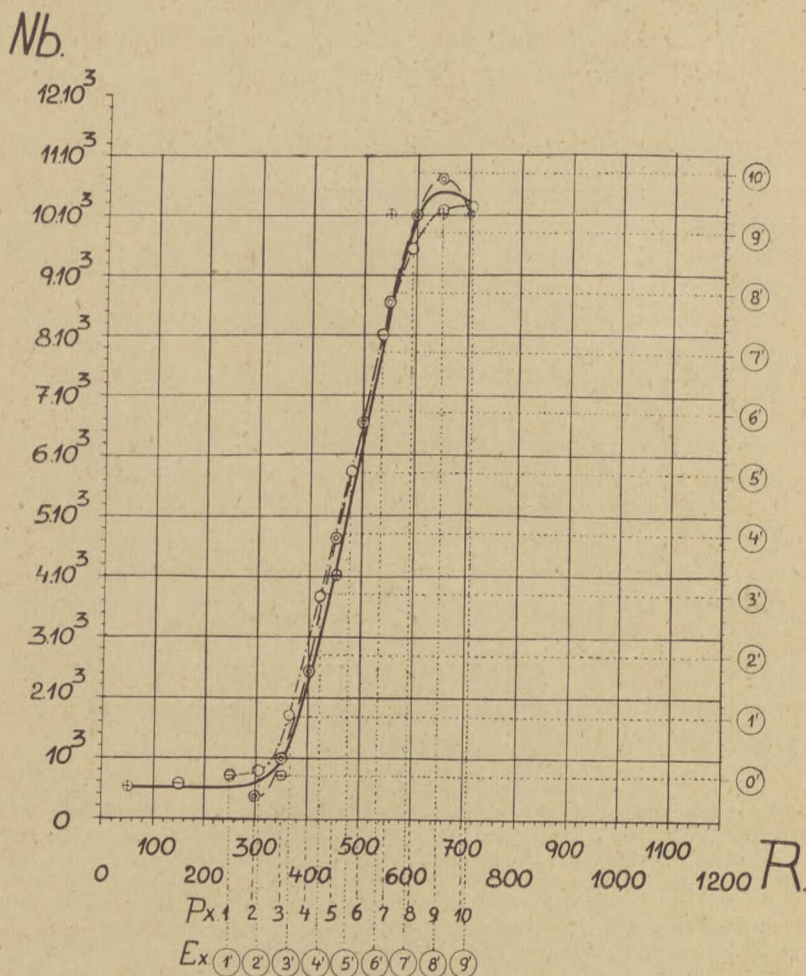
4. ábra. — Abb. 4.

A talaj mikroszkópikus gombáinak mennyiségbeli kifejlődése és az R -értékek között kísérleti úton megállapított összefüggés. Az optimális érték jóval alacsonyabban $R=425$ fekszik, mint a baktériumoknál. P = parabolagörbe, E_n = a valódi értékek alapján befektetett görbe, E = exponenciális görbe. Der auf experimentellen Wege festgestellte mengenmäßige Zusammenhang, zwischen den mikroskopischen Bodenpilzen und den R -Werten. Der Optimumbereich = 425 liegt wesentlich niedriger als bei den Bodenbakterien. P = Parabelkurve, E = Exponentialkurve, E_n = die auf Grund der Versuchsergebnisse eingelegte Kurve.

dargestellt wurden, haben wir mit einem lehmigen, etwas mit Sand vermengten Waldboden, der eine maximale Wasserkapazität von cca 38% besaß, durchgeführt. [Siehe auch die Abbildungen 4, 5 und 6. Bezüglich der Untersuchungsmethoden wird hier und in den folgenden Kapiteln auf die in dem Schrifttum näher angegebenen Angaben verwiesen (13).]

Die verschiedenen Sättigungsstufen der maximalen Wasserkapazität der einzelnen Versuchsreihen und die variierten Temperaturgrade wurden durch ein entsprechendes Verfahren, d. h. Nachfüllen des verdunsteten

Wassers mit sterilen dest. Wasser und durch Unterbringung der Bodenproben in elektrisch geheizten und genau regulierten Thermostaten durchgeführt. In der späteren Folge hat dann die Anwendung der raumanalytischen Methode zu klaren Erkenntnissen und zur Formulierung des so-



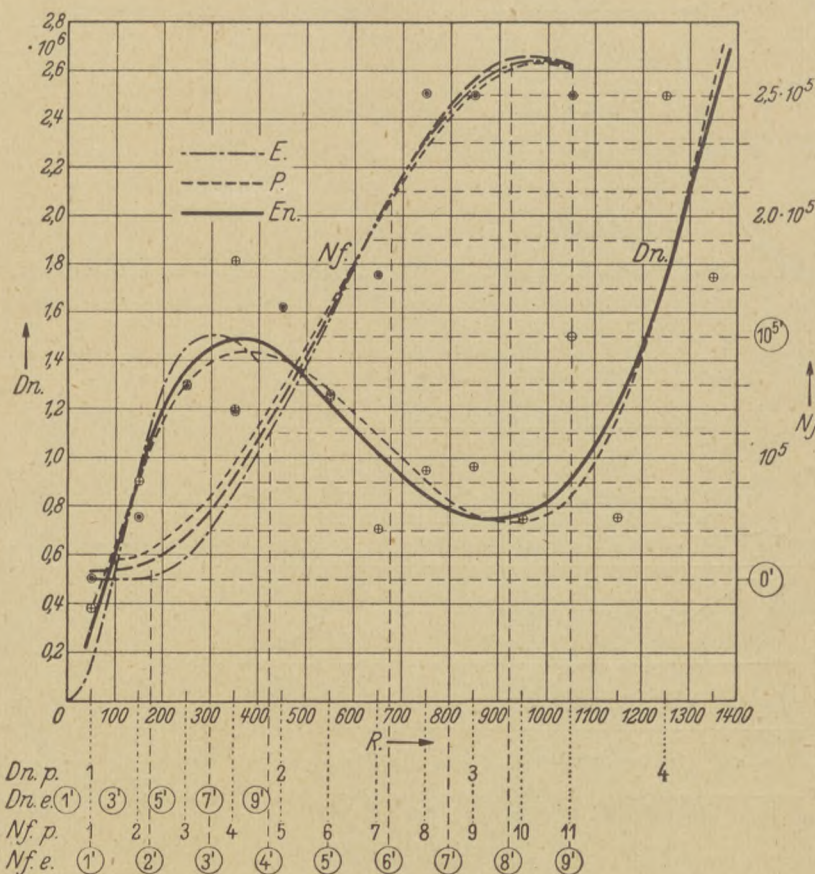
5. ábra. — Abb. 5.

Az R -értékek és a nitrogénkötő baktériumok mennyisége között kísérleti úton megállapított összefüggés. — Der experimentell festgestellte Zusammenhang zwischen den R -Werten und den stickstoffbindenden Bakterien.

genannten R -Gesetzes geführt. Die Bezeichnung selbst verdankt ihre Entstehung dem Umstande, daß wir das durch die Multiplikation der Wasser- und Wärmewerte gewonnene Produkt mit dem Buchstaben R (= resultierender Komplexfaktor) versehen.

Die Werte des Wasserfaktors, bzw. die prozentuellen Sättigungsgrade

der Wasserkapazität wurden auf die x -, die Temperaturgrade auf die z - und die Mikroorganismenzahlen (Mg -, bzw. Bg -Werte) auf die y -Achse aufgetragen, und diese letztere dann über die x - und z -Ordinaten durch Teilkurven, die die Mantelfläche eines analytischen Raumkörpers darstellen, verbunden.



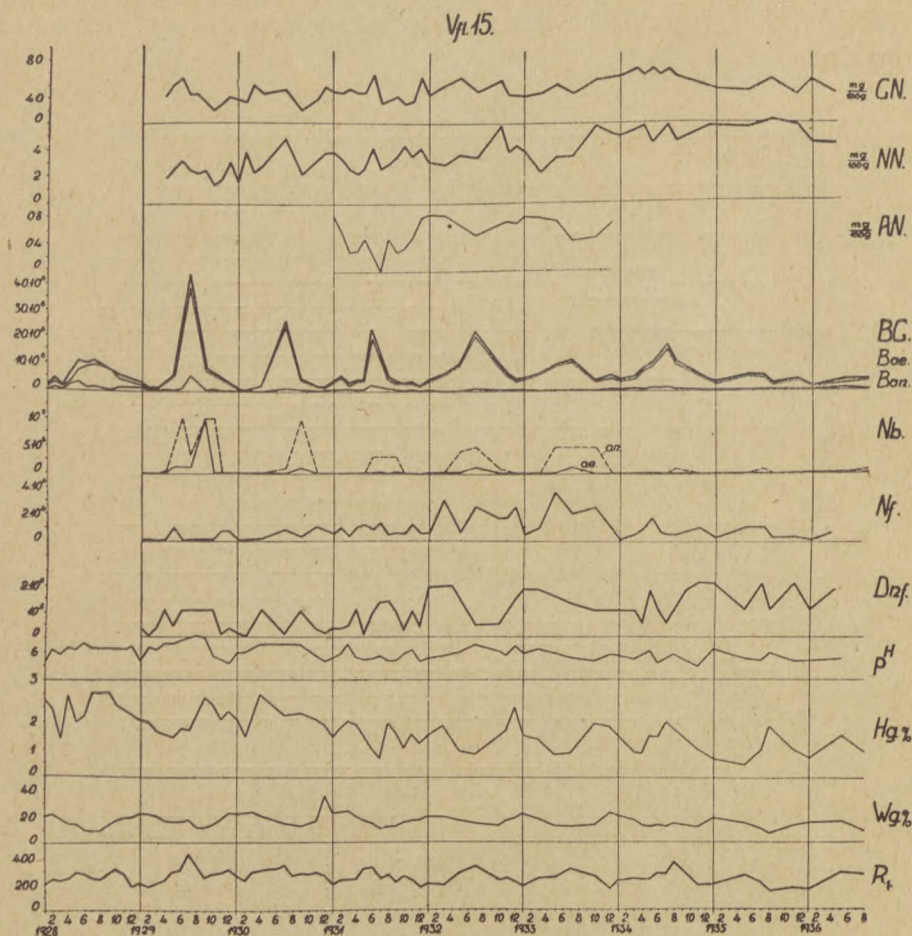
6. ábra. — Abb. 6.

A nitrifikáló (Nf) és a denitrifikáló s nitrátredukáló (Dnf) baktériumok antagónisztikus görbéje. E = exponenciális egyenlettel, P = parabola egyenlettel számított görbe; folyamatos vonallal kihuzva a vizsgálati eredmények alapján befektetett görbe. — Der Zusammenhang zwischen dem R -Faktor mit den nitrifizierenden (Nf) und mit den denitrifizierenden und nitratreduzierenden Bakterien (Dnf). E = Exponentialkurve, P = Parabelkurve, En = eingelegte Kurve.

Die R -Werte selbst wurden an den Kreuzungspunkten der x - und z -Ordinaten in der z - x -Ebene gebildet. (Siehe Abb. 1. u. 2.)

Der so gewonnene Raumkörper drückt jetzt die gesamte Bioaktivität des untersuchten Bodens aus. Jene Kurve, die die kleinste, zugleich auch

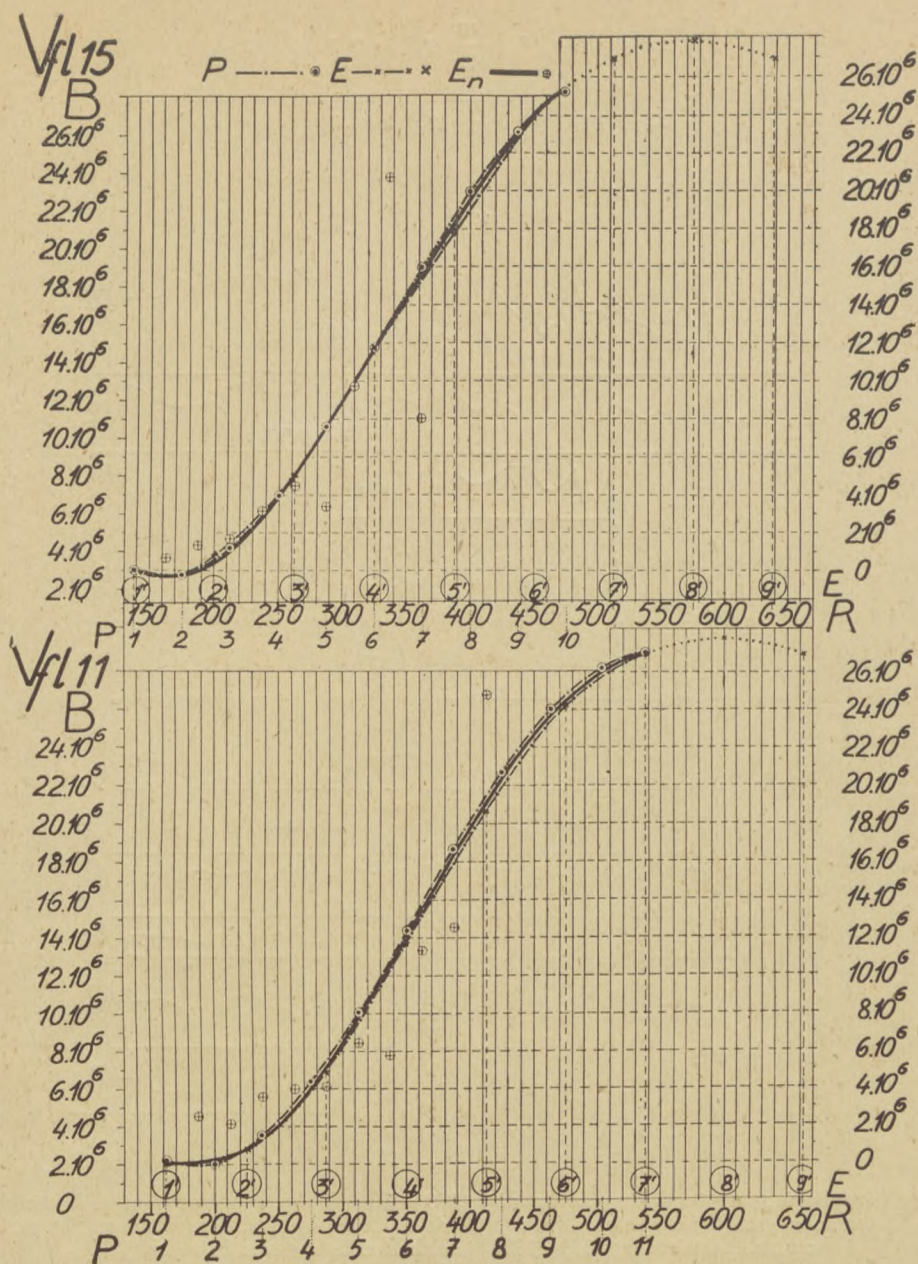
dem kleinsten R -Werte entsprechende, Mg -, bzw. Bg -Zahl mit der optimalen Bg -, bzw. Mg -Zahl verbindet, stellt die sogenannte räumliche Optimumkurve dar.



7. ábra. — Abb. 7.

Egy középkorú lúcfenyves egyagos talajának vizsgálati eredményei. GN = összes nitrogén, NN = nitrátnitrogén, AN = ammóniáknitrogén, Bg = baktériumok (összes, aerob, anaerob), Nb = nitrogénkötő, Nf = nitrifikáló, Dnf = denitrifikáló baktériumok, Hg = humusztartalom, Wg = víztartalom, R = víztartalom \times (talajhőmérséklet $+ 10$). — Die Untersuchungsergebnisse der Versuchsfläche 15. Fichtenwald bei Sopron. GN = Gesamtstickstoffgehalt, NN = Nitratstickstoffgehalt, AN = Ammoniumstickstoffgehalt, Bg = Bakteriengehalt (gesamt, aerob, anaerob), Nb = stickstoffbindende Bakterien, Nf = nitrifizierende Bakterien, Dnf = denitrifizierende Bakterien, Hg = Humusgehalt, Wg = Wassergehalt, R = (Bodenfeuchtigkeit \times Bodentemperatur $+ 10$). 1928—1936. Lehm-boden.

Wir können diese Kurve durch Projektion auch in der x — y -Ebene darstellen. Ihr Verlauf kann entweder durch eine Parabelkurve dritter Ordnung, oder noch zweckmäßiger durch die Exponentialgleichungen:



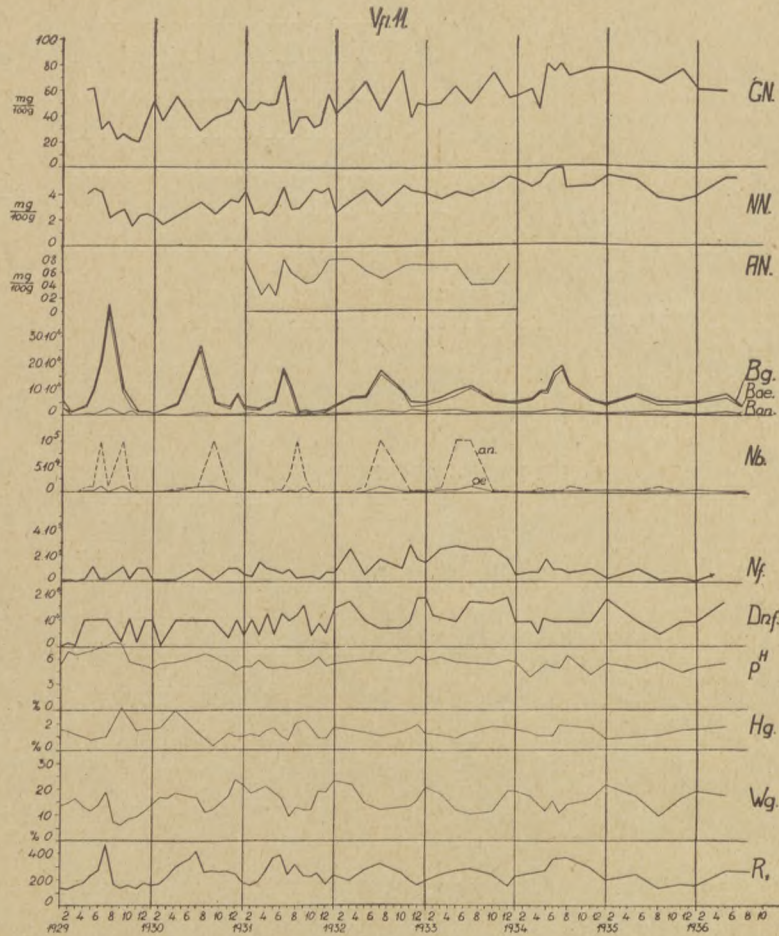
8. ábra. — Abb. 8.

A baktériumok száma és az R -tényező közötti összefüggés az 1930–1936. években a középkorú lúczyenyves és gyertyános talajában. P = parabola egyenlet, E = exponenciális egyenlet görbéje, E_n = a tényleges eredmények alapján befektetett görbe. — Der Zusammenhang zwischen dem Bakteriengehalt (B) und dem R -Faktor auf den Versuchsflächen 11 (Weißbuchenwald) und 15 (Fichtenwald), P = Parabelkurve, E = Kurve, berechnet mit der Exponentialgleichung, E_n = eingelegte Kurve. Auf Grund der Untersuchungen der Jahre 1930–1936.

$$\frac{100}{y} = \frac{1}{2} \left[m_x a_1^{1/x} + \frac{m}{2} (a_2^x + a_2^{-x}) \right] \text{ bzw.}$$

$$\frac{100}{Mg} = \frac{1}{2} \left[m_x a_1^{1/R} + \frac{m}{2} (a_2^R + a_2^{-R}) \right]$$

charakterisiert werden.

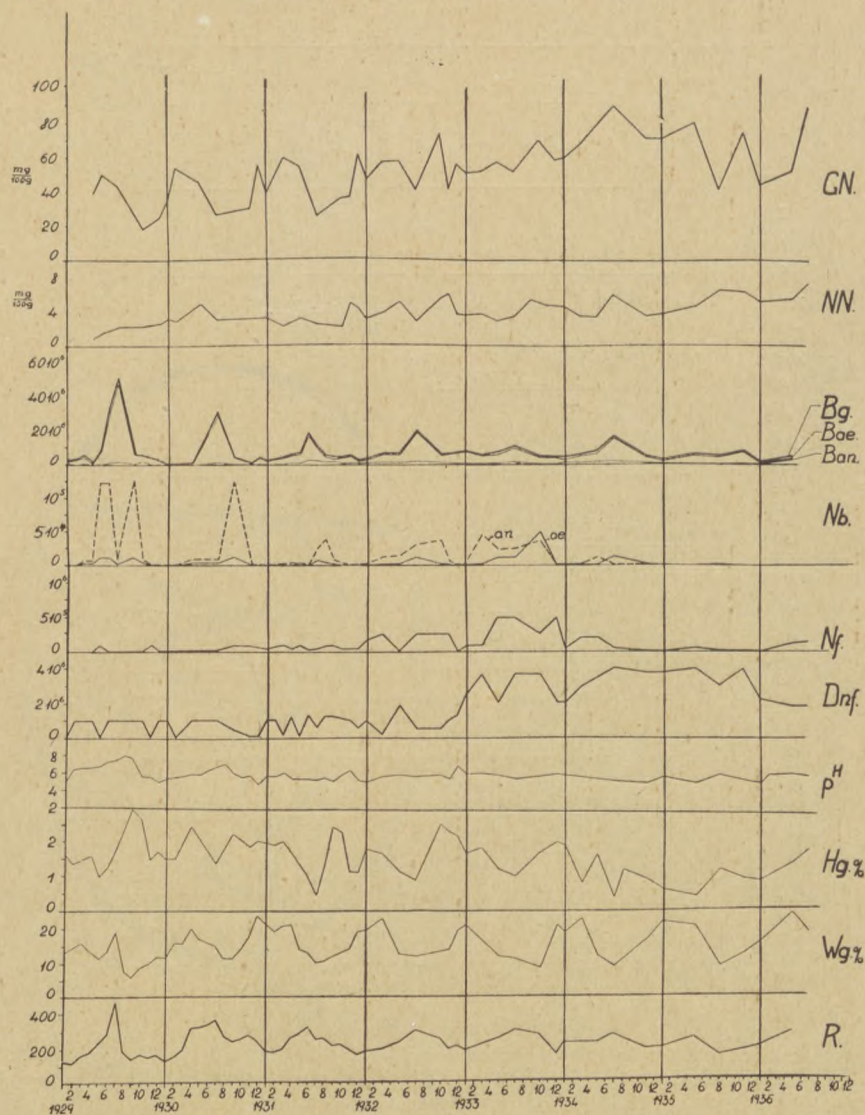


9. ábra. — Abb. 9.

Egy középkorú gyertyános vizsgálati adatai 1929—1936. (Jelmagyarázat mint a 7. ábrán.)
 — Untersuchungsergebnisse eines Laubwaldbodens. Mittelaltriger Bestand von *Carpinus betulus*. Lehm Boden. 1929—1936. (Zeichenerklärung wie bei Abb. 7.)

Die x — z -Projektion des Raumkörpers kann sodann in vier Segmente geteilt werden. Von diesen werden wir in dem ersten jene R -Werte vorfinden, die durch die unteroptimalen Sättigungs- (Bf -Werte) und Temperaturgrade (Bt), in dem II. die durch die überoptimalen Bt - und durch die unteroptimalen Bf -Werte, in dem III. die durch die überoptimalen Bf - und

unteroptimalen *Bt*-Grade, und schließlich in dem IV. die durch die überoptimalen *Bt*- und *Bf*-Zahlen gebildet wurden. Auf Grund dieser Überlegungen lassen sich folgende Gesetzmäßigkeiten ableiten:

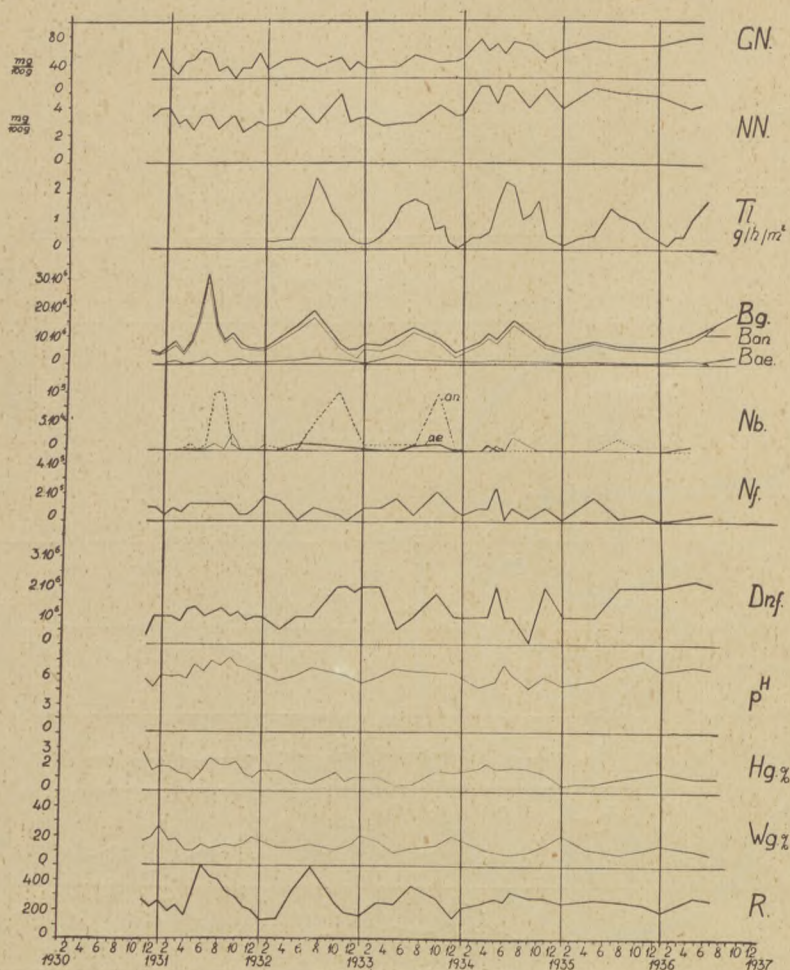


10. ábra. — Abb. 10.

Egy idősebb erdei- és vörösfenyővel elegyes lucfenyves talajának vizsgálati adatai 1929—1937. Agyagos talaj. (Jelmagyarázat mint a 7. ábránál.) — Die Untersuchungsergebnisse des lehmigen Bodens eines älteren, mit Kiefer und Lärche gemischten Fichtenwaldes, (Zeichenerklärung wie bei Abb. 7.)

1. Die mengenmäßige Entwicklung des Mikroorganismengehaltes, des Bodens wird von den durch die Multiplikation der numerischen Werte der

beiden Biofaktoren Wärme und Wasser entstehenden Produkte beeinflusst und reguliert. Diese Regulation kommt in einer, im Sinne einer Exponentialgleichung verlaufenden, optimalen Raumertragskurve zum Ausdruck.



11. ábra. — Abb. 11.

Egy parlagon hagyott terület vizsgálati adatai. (Jelmagyarázat mint a 7. ábránál). 1931—1937. Tl = talajlélekzés gr/m^2 óránként. — Die Untersuchungsergebnisse eines brachliegenden Freilandbodens. 1931—1937. (Zeichenerklärung wie bei Abb. 7.) Tl = Bodenatmung gr/m^2 St.

2. Die R -Werte werden von gegenseitig kongruierenden und über bestimmte physiologische Wertigkeiten verfügenden Wärme- und Wasserwerten gebildet.

R -Werte mit gleichem numerischen Werte sind daher physiologisch nicht gleichwertig. Der Verlauf der optimalen Raumertragskurve wird

immer von *R*-Werten bestimmt, die durch ganz bestimmte Wärme- und Wasserwerte gebildet wurden.

Wir können daher weder Wärme mit Wasser, noch umgekehrt ersetzen, oder vertreten lassen.

3. Solange bis die, die einzelnen *R*-Werte bildenden Biofaktoren ihre Optimumgrenzen nicht überschritten haben, wird die Zunahme des komplexen *R*-Faktors eine, im exponentialen Sinne verlaufende, Erhöhung der Mikroorganismenmengen veranlassen.

Wenn aber der eine, bzw. der andere der beiden Biofaktoren Wärme und Wasser, oder beide zusammen ihre Optimumgrenzen überschreiten sollten, so wird auch die weitere Zunahme der *R*-Werte begrenzend wirken.

Die mengenmäßige Entwicklung der Mikroorganismen des Bodens wird daher weder einseitig die Wärme-, noch die Wasserwirkung bestimmen und regulieren können. Dafür wird immer die gegenseitige und komplexe Wirkung der beiden maßgebend sein. In der Tabelle I bringe ich die charakteristischen Optimumbereiche der verschiedenen Kleinlebewesen des Bodens.

Tabelle I.

	Temperatur in C°	Sättigungsgrad der Wasserkapazität Mittelwerte in %
Nitrifizierende Bakterien	30—35	79
Stickstoffbindende Bakterien	25	66
Zelluloseersetzende Bakterien	25	79
Die Gesamtheit der Bodenbakterien	25	66
Mikroskopische Bodenpilze	25	40
Bodenalgen	25	66

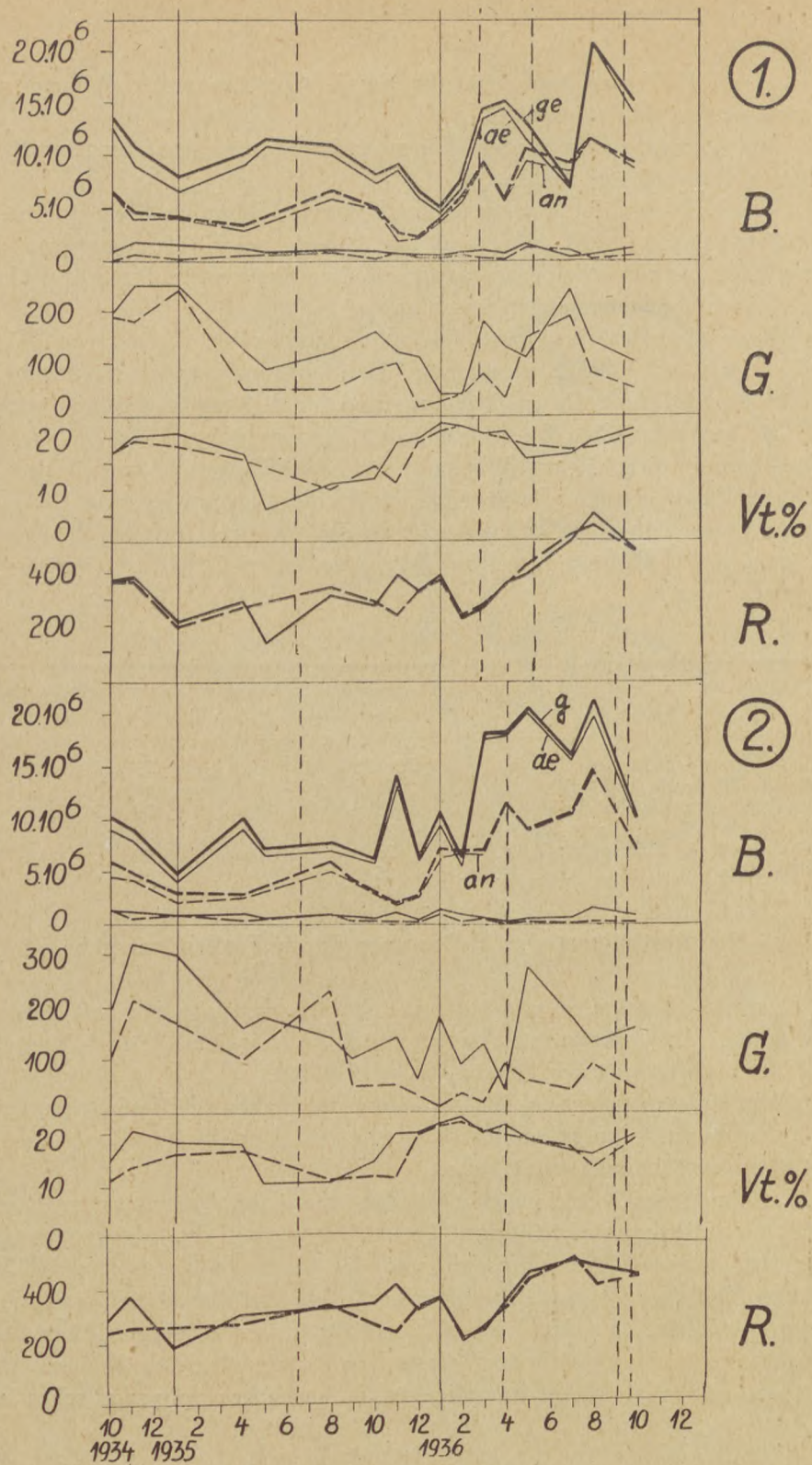
Die Bestätigung des *R*-Gesetzes durch Freilandversuche.

Daß die Ergebnisse exakter Laboratoriumsversuche nur mit gewisser Vorsicht in die komplizierte Faktorenwelt der freien Natur übertragen werden können, habe ich bereits früher erwähnt.

Wir können ja in dem Laboratorium mit bekannten und genau abgegrenzten Biofaktoren arbeiten, die natürlich die Ableitung von exakten Forschungsergebnissen ermöglichen.

In der freien Natur liegen natürlich neben den bekannten auch viele noch teils unbekannte, teils nur schwer erkennbare Biofaktoren vor, die sich auch gegenseitig beeinflussen und das Gesamtbild derart verwickeln können, daß die näheren Zusammenhänge oft erst durch mühevollen Analysen entschleiert werden können. Dies gilt in besonders erhöhtem Maße bei der Auswertung der bodenbiologischen Untersuchungsergebnisse.

Der Boden stellt ein kompliziertes, chemisches, physikalisches und



12. ábra. — Abb. 12.

biologisches System dar, das seine Zusammensetzung nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich fast ununterbrochen ändert.

Wenn wir bedenken, daß 1 ha Waldboden bis 30 cm Tiefe bei einem spezifischen Gewicht von 1,3 rund 40 Millionen kg wiegt, so werden wir bald einsehen, daß auch in dem Falle, wenn wir von 10—20 Stellen Proben nehmen und diese gut vermengen um schließlich aus diesem Gemenge 1—2 kg zu analysieren, nur einen verschwindend geringen Teil des Gesamtgewichtes erfassen können. Wenn wir noch dazu auch jene Unvollkommenheiten in Erwägung ziehen, mit denen unsere heutigen Untersuchungsverfahren mehr oder weniger noch immer behaftet sind, so werden wir bald zu der begründeten Einsicht gelangen, daß wir noch sehr weit davon entfernt sind, über die wirklichen leblosen und lebendigen Zustandgrößen unserer Böden etwas endgültiges und allgemeingültiges mit voller und untrügbarer Sicherheit aussagen zu können.

Nur die zeitlich verdichtete, folgerichtige und langjährige exakte Untersuchung unserer Versuchsflächen und Beobachtungsfelder wird uns der Erkenntnis der Wirklichkeit, dem inneren Aufbau und dem lebendigen, sich in steten Wechsel befindlichen, organischen Wesen unserer Böden näher bringen können.

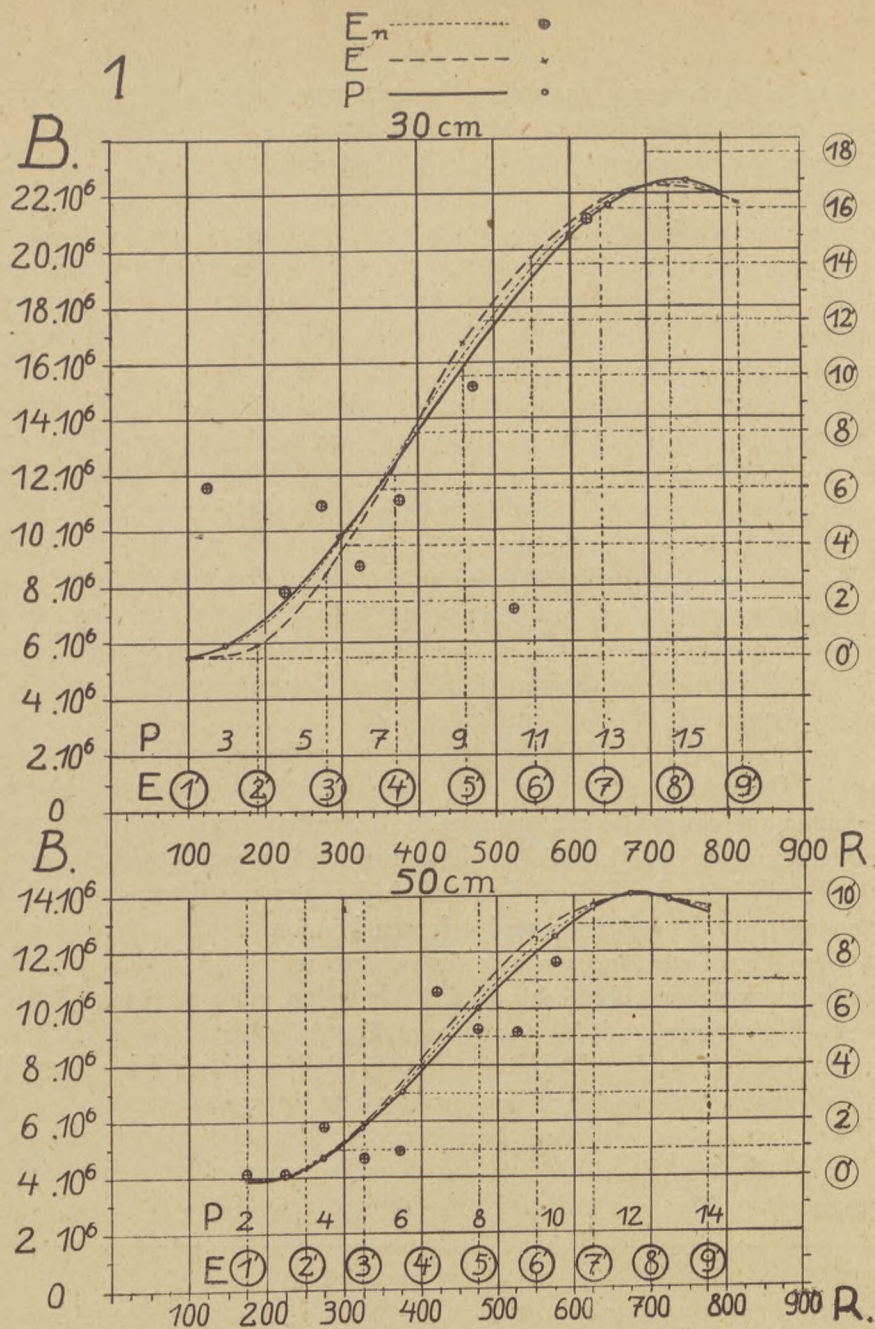
Nur diese Art und Weise langjähriger mühevollen Forschungsarbeit wird die Größe der durch die erwähnten Umstände verursachten Streuungsfehler auf ein möglichst geringes Maß herabdrücken, um später neben der Erfassung der großen Linien der kausalen inneren Struktur des zeitlichen Geschehens des Bodenlebens, auch die mengemäßigen Ausmaße der Änderungen, exakt erkennen und erfassen können.

Diese Umstände sind auch dafür verantwortlich, daß viele Forschungen, die zwar gewissenhaft durchgeführt wurden, aber nur das Verhalten weniger Biofaktoren und diese auch nur während einer geringen Zeitspanne untersuchten, oft zu dem Resultat gelangen, daß es unmöglich sei auf dem erfaßten engen Gebiete klare Zusammenhänge aufzudecken.

Die Naturkräfte arbeiten immer regelmäßig und nach umfassenden Gesetzmäßigkeiten. Es wird aber die Unvollkommenheit des menschlichen Wissens oft unfähig sein, diese klar zu erkennen.

Zeichenerklärung zur Abb. 12.

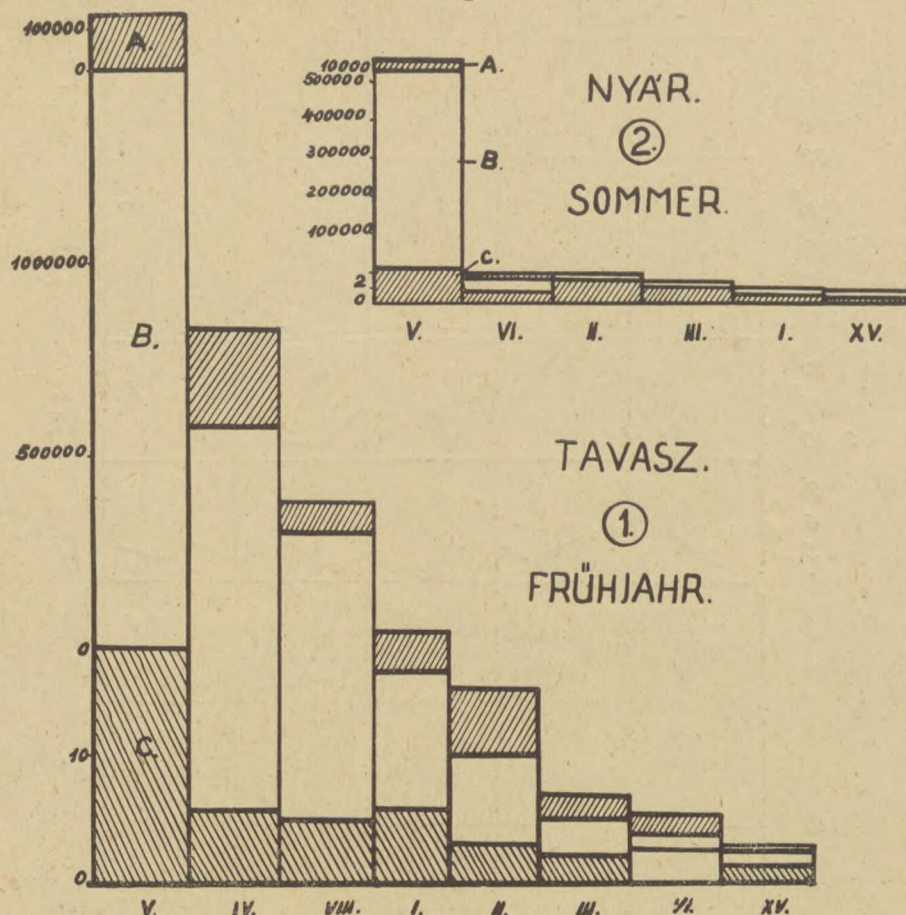
A talajélet és az *R*-tényező időszakos változásai szántóföldön. *B* = baktériummennyiség (összes aerob, anaerob bakt. száma) és *G* = mikroszkópikus gombák mennyisége 1 gr nedves talajban, *Vt* = víztartalom súlyszázalékban, *R* = talajnedvesség \times (talajhőmérséklet + 10). 1. sz. búza-borsó, 2. sz. búza-tengeri forgóval művelt terület. A függőleges szaggatott vonalak a vetés, ill. az aratás idejét jelzik. — 30 cm ---- 50 cm mélység. — Die Änderungen des Bodenlebens und des *R*-Faktors auf Ackerböden. *B* = Bakteriengehalt (aerob, anaerob, gesamt), *G* = Zahl der mikroskopischen Pilze pro Gramm feuchter Boden, *Vt* = Wassergehalt. *R* = Bodenfeuchtigkeit \times (Bodentemperatur + 10), 1. Fruchtfolge: Weizen-Erbse. 2. Fruchtfolge: Weizen-Mais. Die vertikalen, aussetzenden Striche bezeichnen den Zeitpunkt der Saat und der Ernte. — 30 cm ---- 50 cm Tiefe.



13. ábra. — Abb. 13.

A talajélet (baktériummennyiség B) és az R -értékek közötti összefüggés a 12. képen feltüntetett 1. sz. kísérleti terület adatai alapján. P = parabola egyenlettel, E = exponenciális egyenlettel számított görbe, E_n = a vizsgálati eredmények alapján befektetett tapasztalati görbe. — Der Zusammenhang zwischen dem Bakteriengehalt und R -Werte auf einem Ackerboden (auf Grund der auf Abb. 12, Boden 1 aufgezeichneten Versuchsergebnisse). P = Parabelkurve, E = Kurve, berechnet mit der Exponentialgleichung, E_n = eingelegte Kurve.

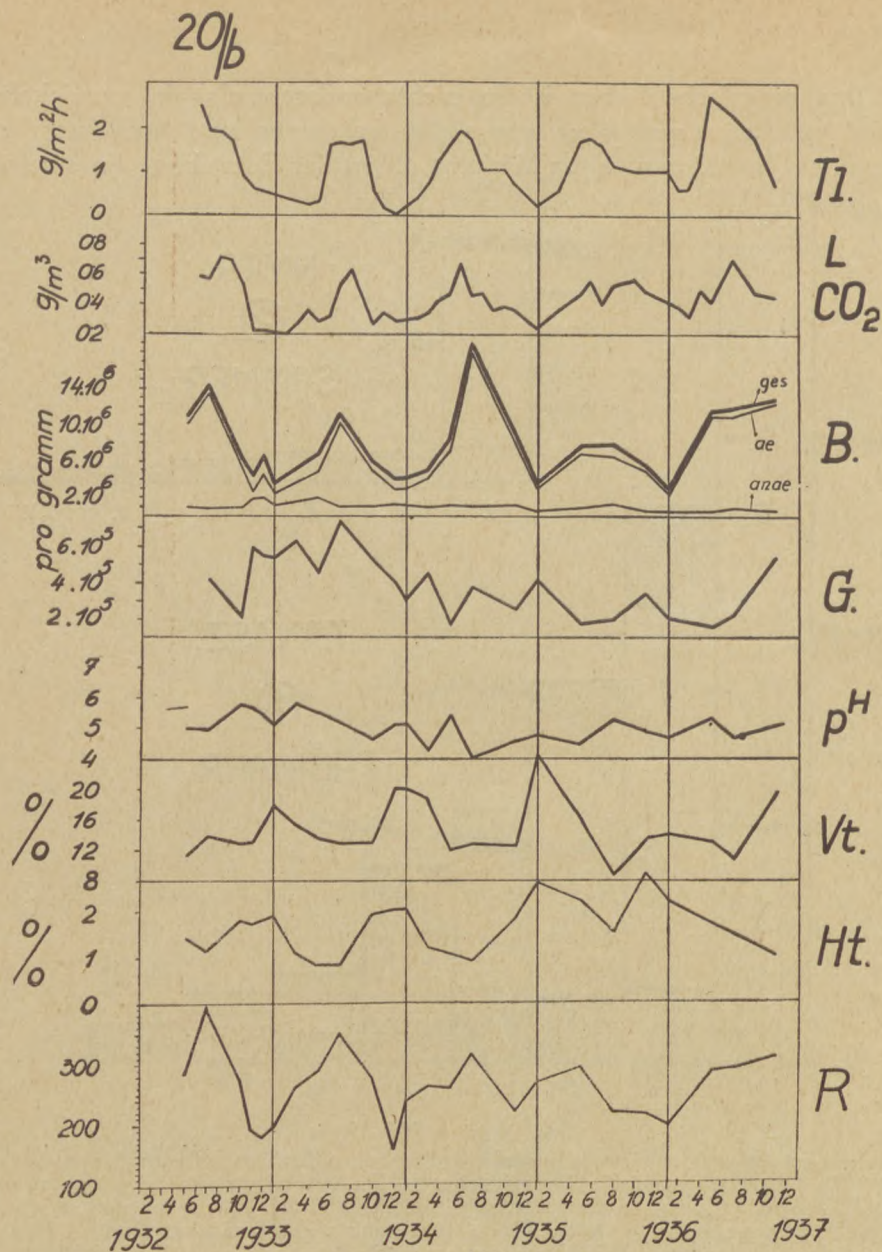
Das organische Leben ist ja nichts anderes, als ein verwickeltes, komplexes Zusammenwirken von vielen bekannten und noch mehr unbekannten Biofaktoren, deren Wirkung oft zu der Entstehung eines schwer



14. ábra. — Abb. 14.

A mikroorganizmusok számának időszakos változásai a Szahara félsivatagi talajaiban az 1934/1935. évben. A = gombák, B = baktériumok, C = a talaj víztartalma súlyszázalékokban. I. = homok, II., III. = terméketlen agyagtalaj, IV., VI. = egy pálmaliget agyagos talaja, V. = megművelt agyagtalaj, XV. = futóhomok a Zousfana-sivatagban. — Die jahreszeitlichen Änderungen des Mikroorganismengehaltes in den Halbwüstenböden der Sahara. A = Bodenpilze, B = Bakterien, C = Wassergehalt des Bodens in % des Frischgewichtes. I. = Sand, II., III. = unfruchtbare Lehm Böden, IV., VI. = Lehm Boden eines Palmengartens, V. = bebauter Lehm Boden, XV. = Flugsand in dem Dünengebiet der Sandwüste Zousfana. Im Jahre 1934—1935.

verständlichen, auf den ersten Blick oft verworrenen Gesamtbildes führt, dessen klares Verständnis erst dann möglich sein wird, wenn wir wenigstens die beherrschenden Faktoren während einer längeren Zeitdauer gewissenhaft zu erfassen bereit sind.



15. ábra. — Abb. 15.

A talaj egyes biotényezőinek időszakos változása egy tölgyerdő agyagos talajában. *Tl* = talajlélekzés grammokban óránként és m^2 -enként. *LCO₂* = a levegő széndioxid tartalma grammokban m^3 -enként 3 m magasban, *B* = baktérium mennyiség (összes, aerob, anaerob), *G* = mikroszkópikus gombák mennyisége egy gramm nedves talajban, *pH* = a talaj aciditása, *Vt* = a talaj víztartalma, *Ht* = humusztartalom, *R*-tényező = talajnedves-ség \times (talajhőmérséklet + 10). — Die zeitlichen Änderungen einiger Biofaktoren auf der Versuchsfläche 20/b (Eichenwald bei Sopron). *Tl* = Bodenatmung in Gramm pro Stunde und m^2 , *LCO₂* = Kohlensäuregehalt der Luft in 3 m Höhe gr/m^3 , *B* = Bakteriengehalt (aerob, anaerob, gesamt), *G* = Zahl der mikroskopischen Pilze, *Vt* = Wassergehalt des Bodens in Gew.-Proz., *Ht* = Humusgehalt, *R* = Bodenfeuchtigkeit \times (Bodentemperatur + 10). Lehmiger Boden.

Ich hielt es recht begründet, dies alles vorzuschicken, um die jetzt folgenden Forschungsergebnisse sachlich beurteilen und auswerten zu können.

In den Folgenden werde ich nun als Beispiele und als Beweismaterial die langjährigen Untersuchungsergebnisse einiger der ständigen Versuchsfächen unseres Institutes kurz schildern.

In der Abbildung 7 werden die neunjährigen Untersuchungsergebnisse eines mit einem mittelaltrigen Fichtenbestand bedeckten Waldbodens gezeigt.

Von der Beschreibung der Untersuchungsmethoden, sowie von der Mitteilung der Einzelheiten der analytischen Berechnungen sehe ich hier ab. Ich verweise in diesem Belange auf unsere ausführliche Einzelarbeiten, die im Schrifttum mitgeteilt wurden (5.—13.).

Auf der Abbildung 8 wird anschließend der engere Zusammenhang zwischen den periodischen und mengenmäßigen Änderungen der Bakterien und den Werten des *R*-Faktors für den Zeitraum von 1930 bis 1936 für zwei Versuchsfächen dargestellt.

Die Abbildungen 9, 10, 11 geben die gleichen Zusammenhänge für den Boden eines ebenfalls mittelalterigen Weißbuchenwaldes, eines älteren Fichtenbestandes und eines seit Jahren brachliegenden, unberührten Freilandbodens an.

Wir führen auch als Beispiel in den Abbildungen 12, 13 auch die Analysenergebnisse einiger Ackerböden auf. Die Untersuchungsergebnisse des brachliegenden Freilandbodens geben den klaren Beweis dafür, daß falls der Lebensraum des Bodens durch künstliche Eingriffe nicht gestört wird, das harmonische Zusammenwirken des Bodenlebens, ganz unabhängig von der Pflanzendecke, nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten, wie bei den ebenfalls ungestörten Waldböden, erfolgen wird.

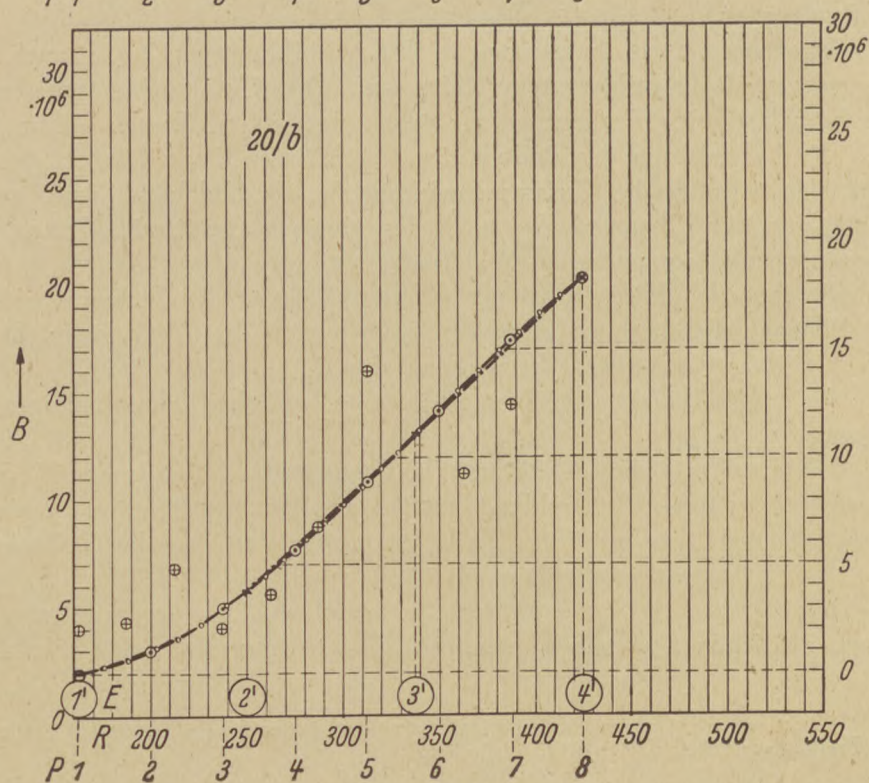
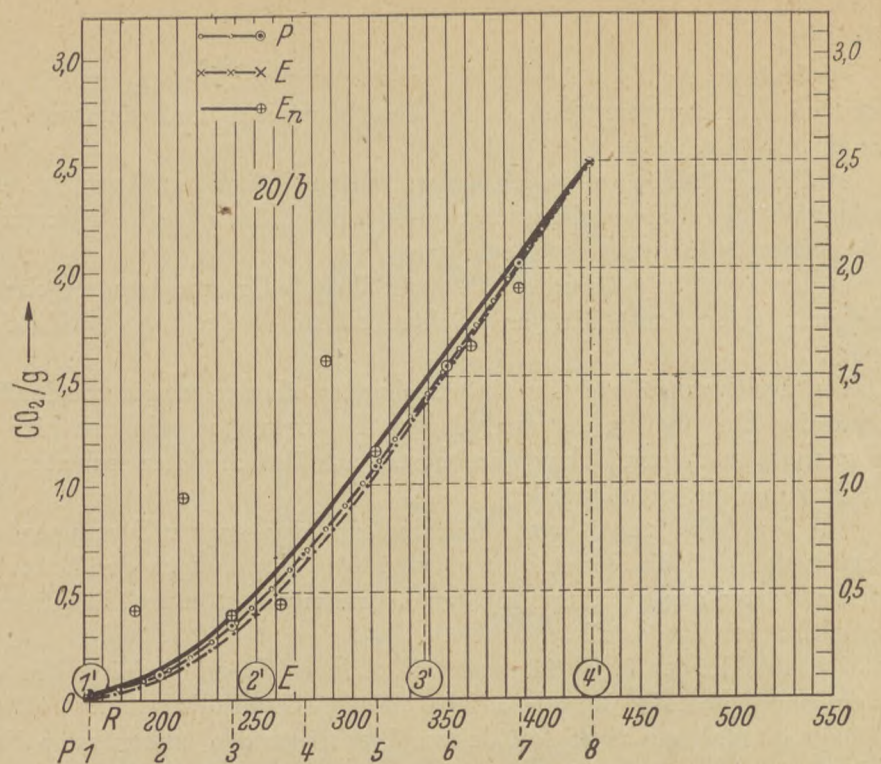
Die Abweichungen treten erst dann auf, wenn die Bodenkultur und der Pflanzenbau künstlich eingreift. Dafür bieten die Analysenergebnisse der Ackerböden ein recht lehrreiches Beispiel.

Die mitgeteilten klaren Zusammenhänge bedürfen keiner näheren Erklärung.

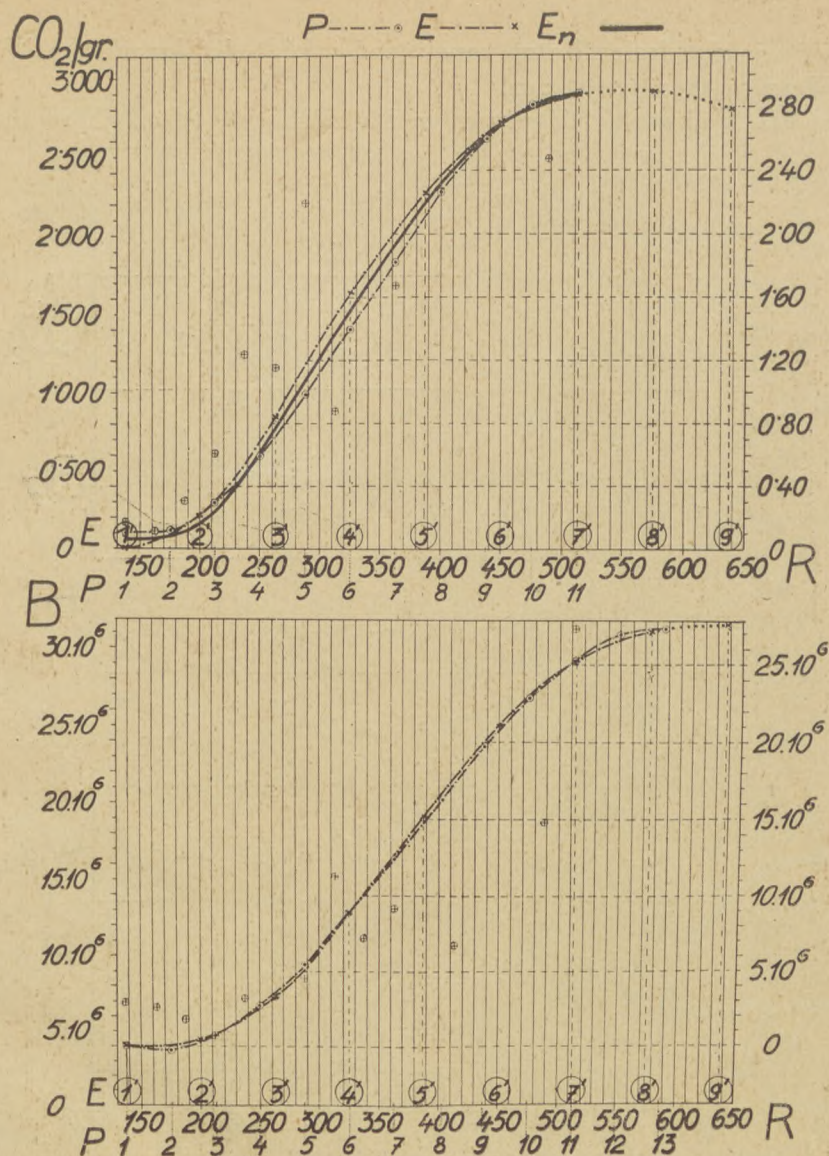
Daß die Werte des *R*-Faktors*) unter unseren klimatischen Verhältnissen ihre optimale Entwicklung erst in den Sommermonaten erreichen können, ist leicht zu erklären. Es ist ebenfalls klar, daß das Bodenleben darauf entsprechend reagieren wird.

Der Schwerpunkt des Problems liegt aber nicht an der Erfassung der reinen zeitlichen Reihenfolge, sondern an der Erkenntnis, daß alle diese

*) Um negative Temperaturwerte zu vermeiden, wurden die Temperaturgrade bei den Freilandversuchen mit $+10^{\circ}$ C vergrößert



16. ábra — Abb. 16.



17. ábra. — Abb. 17.

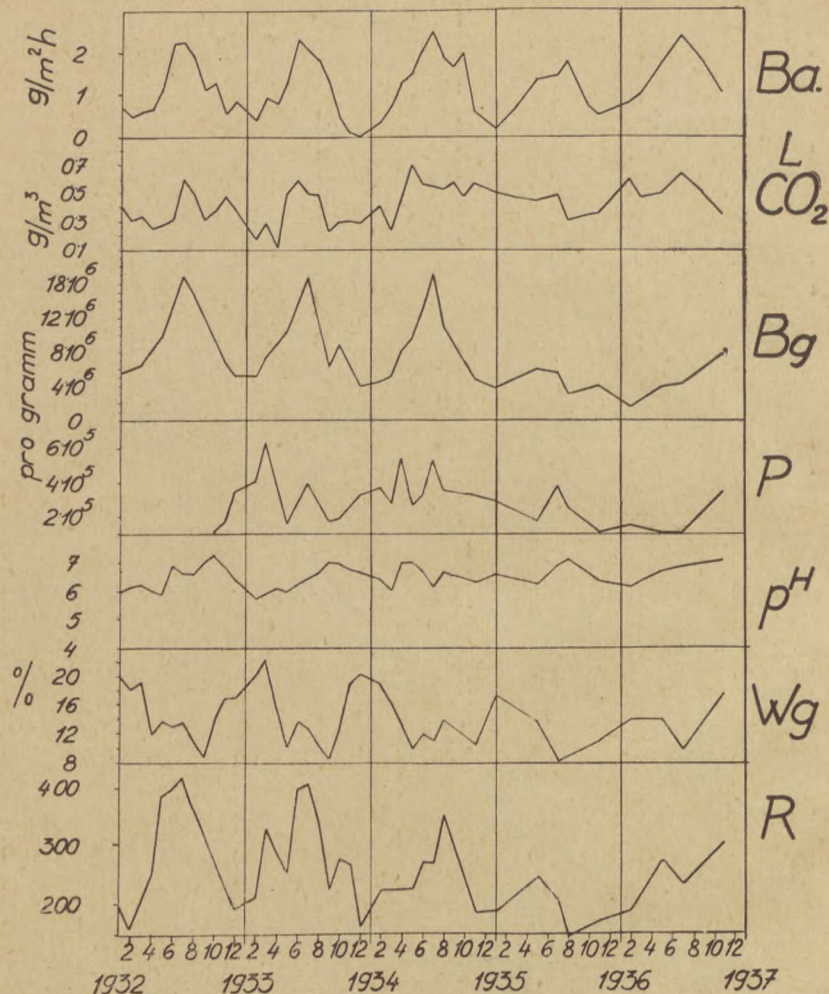
A baktériumok száma és a talajlélekzés mennyiségbeli összefüggése a 11. ábrán bemutatott parlagon heverő kísérleti terület talajában. — Der quantitative Zusammenhang zwischen Bakteriengehalt, Bodenatmung und R-Werten im Boden der in der Abbildung 11 dargestellten brachliegenden Versuchsfläche.

Zeichenerklärung zur Abb. 16.

A talajélet (vagyis a talajlélekzéseképpen termelt CO₂-mennyiség) és a baktériumszám B és az R-értékek közötti összefüggés a 15. ábrán közölt adatok alapján. — Der Zusammenhang zwischen dem R-Faktor einerseits und zwischen dem Bakteriengehalt und Bodenatmung andererseits auf der Versuchsfläche 20/b. CO₂/g = durch die Bodenatmung erzeugte Kohlensäureproduktion in Gramm pro Stunde und m², B = Bakteriengehalt, P = Parabelkurve, E = Exponentialkurve, En = Eingelegte Kurve.

Vorgänge in der freien Natur vorwiegend infolge der komplexen Wärme und Wasserwirkung entstehen.

In den Halbwüstenböden werden wir z. B. eine gänzlich veränderte



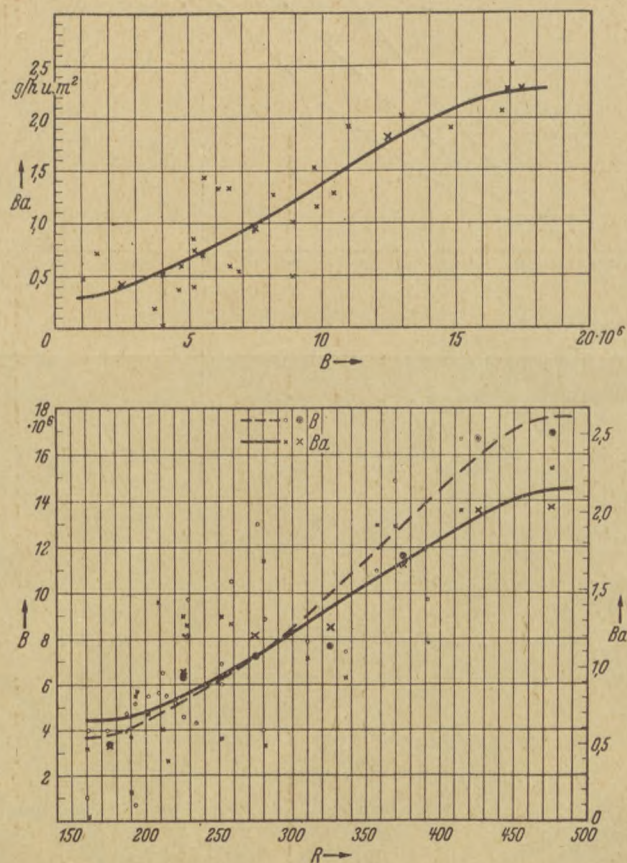
18. ábra. — Abb. 18.

A talajlélekzés időszakos lefolyása egy idősebb erdőfenyővel elegyes lucfenyves agyagos talajában. — Der zeitliche Verlauf der Bodenatmung in dem lehmigen Boden eines mit Weißkiefern vermengten älteren Fichtenwaldes. *Ba* = talajlélekzés, Bodenatmung, *LCO₂* = a levegő szénvartartalma 3 m magasságban. Kohlensäuregehalt der Luft in 3 m Höhe, *Bg* = Baktériumok, Bakterienghalt, *P* = mikroszkópikus gombák, Bodenpilze, *Wg* = viz-tartalom súlyszázalékokban, Wassergehalt in Gew.-Proz.

zeitliche Reihenfolge vorfinden. Hier werden wir während der heißen und trockenen Sommermonaten, wo der meistens vorkommende Niederschlagsmangel begrenzend wirkt, den Tiefstand, und im Winter und Frühjahr, wo die dort herrschende Temperatur noch ausreichend ist, und die Nieder-

schläge das Bodenleben zum neuen Leben erwecken, die höchste Entwicklung der Bodenflora und ihrer Tätigkeit vorfinden. (Siehe Abb. 14.)

Die Änderungen der nitrifizierenden einerseits und der denitrifizierenden und nitratreduzierenden Bakterien andererseits verlaufen im allgemeinen im gegenläufigen Sinne, wie dies auch in der Abbildung 6 auf Grund

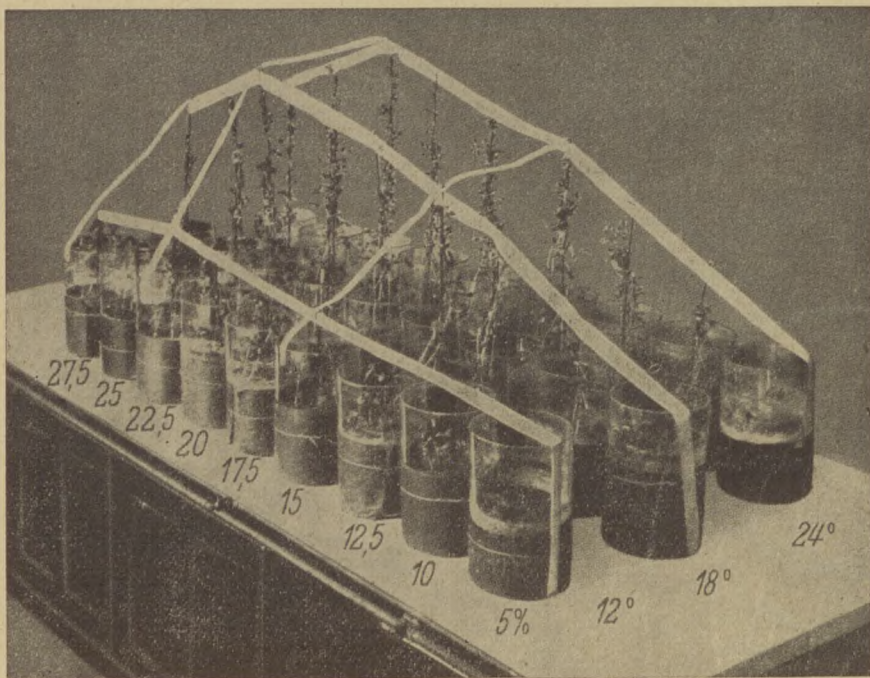
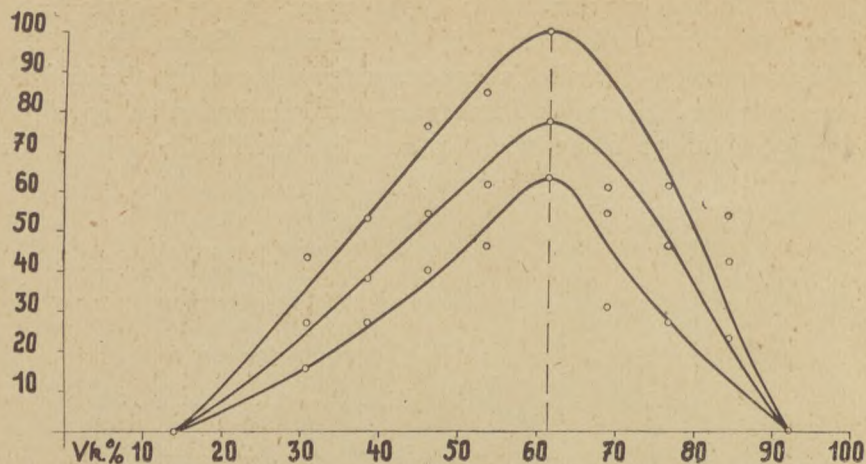


19. ábra. — Abb. 19.

A baktériumok száma és a talajlélekzés, továbbá az R -értékek, a baktériumok száma és a talajlélekzés közötti összefüggés a 18. ábrán jellemezett lucfenyves talajában. — Die quantitative Zusammenhänge zwischen Bakteriengehalt und Bodenatmung und zwischen R -Werten, Bakteriengehalt und Bodenatmung im Boden der in der Abb. 18 dargestellten Fichtenwaldbodens.

von unseren Laboratoriumsversuchen gezeigt wird. Auf Grund von Laboratoriumsversuchen kann man übrigens auch das Verhalten der nitrifizierenden Bakterien im Sinne des R -Gesetzes mit einer Exponentialkurve hinreichend erklären.

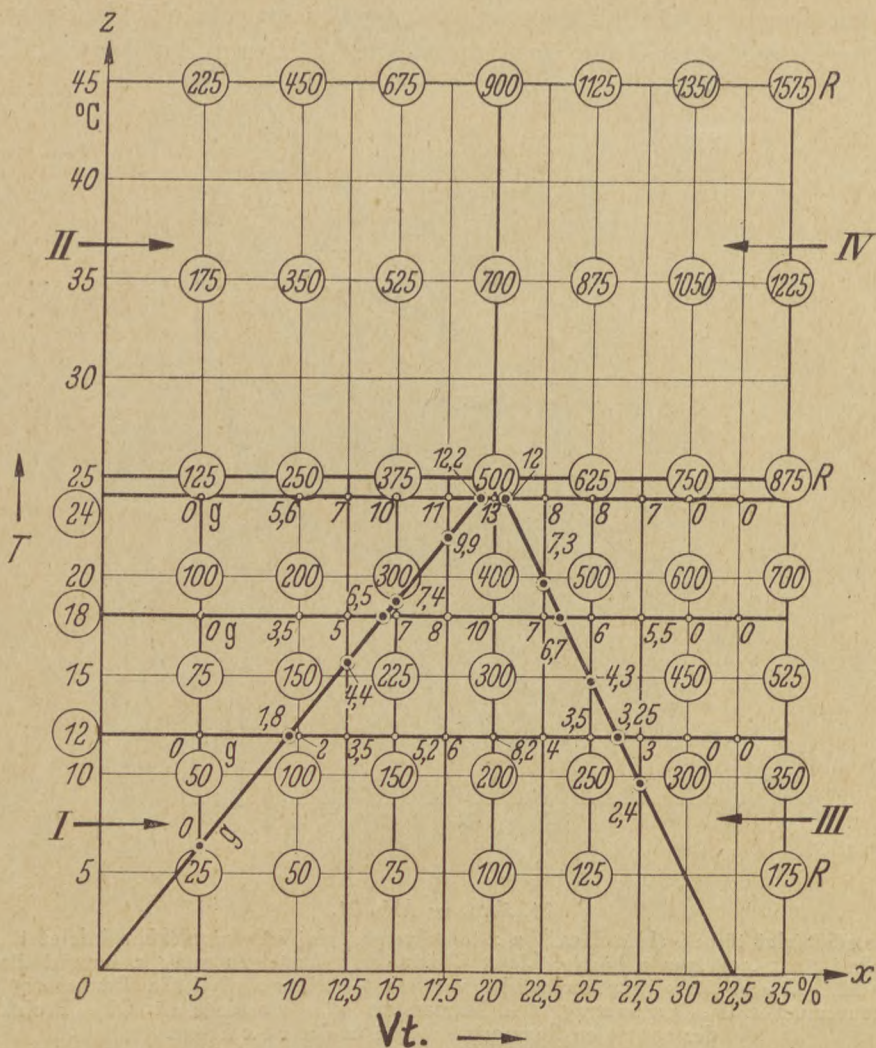
Die denitrifizierenden weisen jedoch eine abweichende und gegenläufige, zweigipfelige Kurve auf, mit einer Spitze in dem unter-



20. ábra. — Abb. 20.

A borsó vizigénye. Az x-tengelyen a talajnedvességet a telítettség százalékban, az y-tengelyen a termést tüntettem fel százalékban az alsó képen feltüntetett tenyészedény kísérlet adatai alapján. A felső görbe 24 C°-on, a középső 18 C°-on, az alsó 12 C°-on tartott kísérlet adatai alapján készült, lent jobbra a hőmérsékleti fokok, balra a talaj súlyszázalékban megadott víztartalma. — Wasserbedarf der Erbse. Oben: Auf der x-Achse Bodenfeuchtigkeit in % der max. Wasserkapazität, auf der y-Achse Ernteertrag in % des Höchstertrages. Die drei Kurven von oben nach unten bei 24, 18 und 12 C°. Unten nach rechts die Temperaturgrade, nach links die Feuchtigkeitsstufen in Gew.-Prozenten.

Mit den Maxima der nitrifizierenden Bakterien, falls diese mit den Minima der denitrifizierenden und nitratreduzierenden Bakterien zusam-



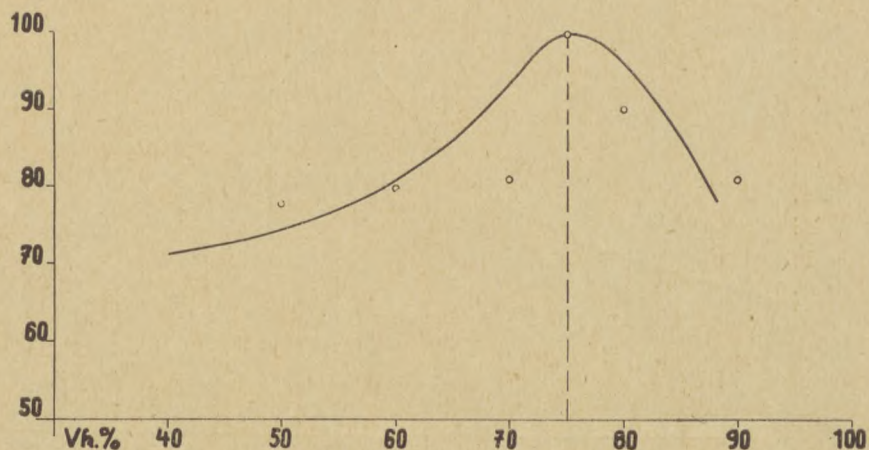
22. ábra. — Abb. 22.

A borsókísérlet térben futó optimumgörbéjének a z - x -síkban fekvő vetülete és az R -értékek térbeli elhelyezkedése. Az x -tengelyen a talaj szűlyszázálekból kifejezett viztartalmát, a z -tengelyen a hőmérsékletet C^0 -ban tüntettem fel. A z - x össze rendezők metszéspontjai adják az R -értékeket. — Projektion des Raumkörpers der Abb. 21 in der z - x -Ebene mit der Projektion der Optimumkurve T = Temperatur in C^0 , Vt = Wassergehalt in %.

menfallen, geht in den meisten Fällen fast immer eine Erhöhung des Nitratstickstoffgehaltes einher.

Der entgegengesetzten mengenmäßigen Konstellation dieser Bakteriengruppen folgt dann gewöhnlich eine Abnahme des Nitratgehaltes.

Daß das gegenseitige Verhalten der Änderungen des Nitrat- und Ammoniumstickstoffes, wie dies auch in der bildlichen Darstellung der Ab-



23. ábra. — Abb. 23.

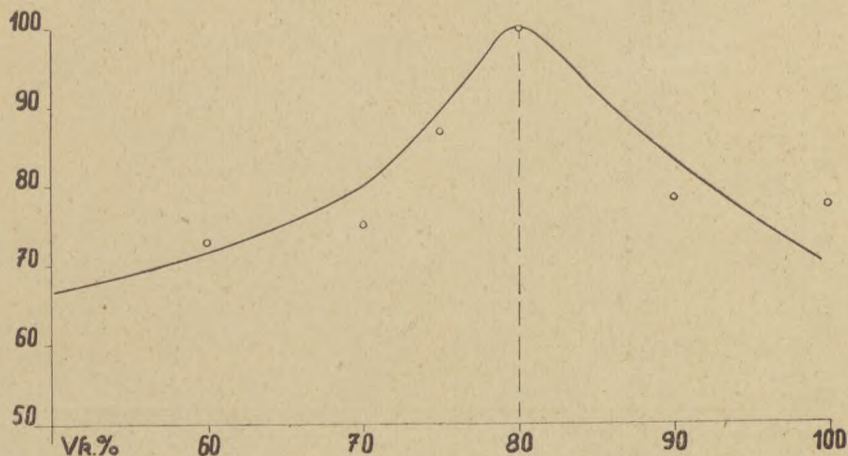
Az ákác vízigénye Homoktalaj. — Der Wasserbedarf der Robinie. *Robinia pseudacacia*. Sandboden. *Vk* und *Wk* bedeuten hier und in den folgenden Abbildungen die maximale Wasserkapazität.

bildungen 7, 9, 10, 11 zum Ausdruck kommt ebenfalls gegenläufig ist, dürfte keiner weiteren Erörterung bedürfen.

Das innere Wesen der Änderungen des Gesamtstickstoffes ist ebenfalls noch nicht restlos geklärt.

Daß das Verhalten dieses wichtigen Biofaktors des Waldbodens auf biologische Einflüsse deutlich reagiert, ist leicht zu verstehen.

Er wird durch den Verbrauch, der Bestände, durch die Verwesung, durch die Auswaschung, durch die Denitrifikation und durch die Stickstoff-

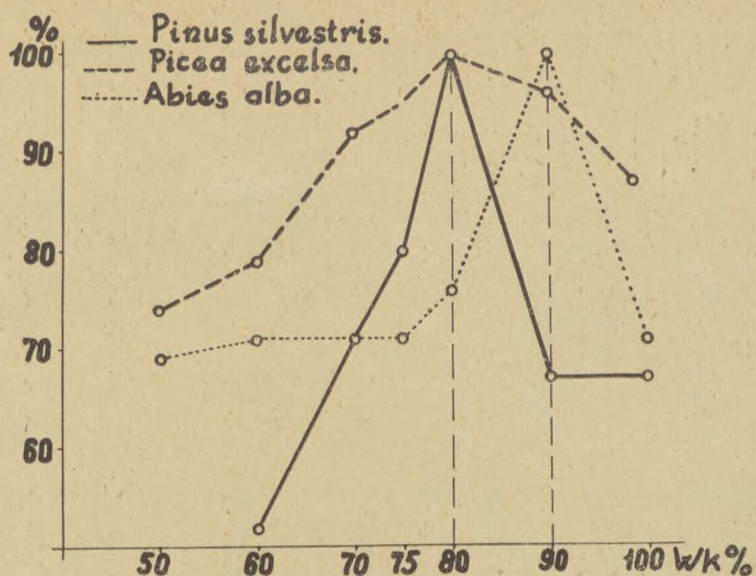


24. ábra. — Abb. 24.

A tölgy vízigénye. Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der Eiche. Lehm Boden. (*Quercus robur.*)

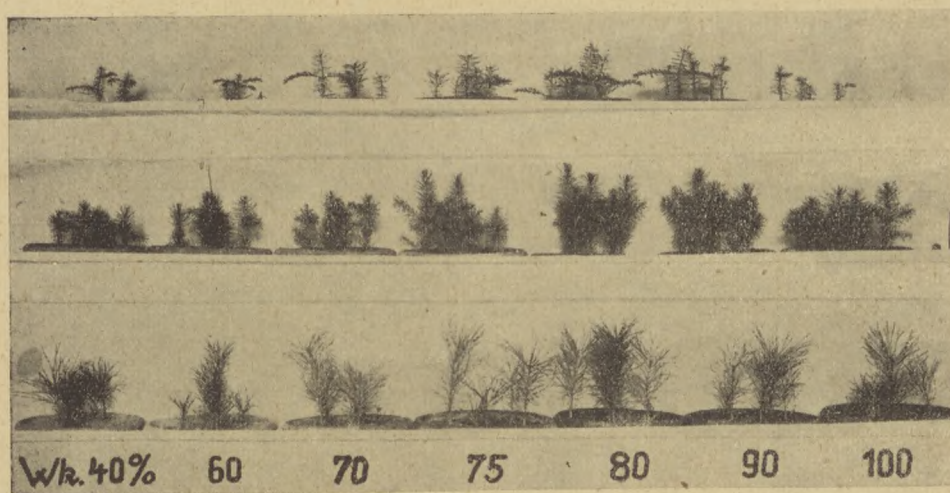
bindung gleicherweise beeinflusst. Der Einfluß aller dieser Faktoren ist aber derart verwickelt und mannigfaltig, daß es kein Wunder ist, wenn das Gesamtbild nicht ohneweiters entworfen werden kann.

Wir können zwar in vielen Fällen feststellen, daß seine Menge im



25. ábra. — Abb. 25.

Az erdei-, lúcs- és jegenyefenyő vizigénye. — Der Wasserbedarf der Weißkiefer, Fichte und Tanne. (Pinus silvestris, Picea excelsa, Abies alba.)



26. ábra. — Abb. 26.

Cserépkísérlet az erdei-, lúcs- és jegenyefenyő vizigényéről. Agyagtalaj. — Der Gefäßversuch der Weißkiefer, Fichte und Tanne. Lehm Boden. (Pinus silvestris, Picea excelsa, Abies alba.)



27. ábra. — Abb. 27.

Az amerikai köris vízigénye. Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der amerikanischen Esche. Lehm Boden. (*Fraxinus americana*.)



28. ábra. — Abb. 28.

A magasköris vízigénye. Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der gemeinen Esche. Lehm Boden. (*Fraxinus excelsior*.)

Herbst und im Frühjahr im Steigen begriffen ist und im Sommer, also in der Hauptvegetationsperiode, wahrscheinlich infolge des Verbrauches eine gewisse Abnahme erfährt, es gibt aber auch Abweichungen, die die Ein-



29. ábra. — Abb. 29.

A tamariska vizigénye. Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der Tamariske. Lehmboden. (Tamarix tetrandra.)



30. ábra. — Abb. 30.

A bükk vizigénye. Agyagtalaj — Der Wasserbedarf der Buche. Lehmboden. (Fagus silvatica.)

heitlichkeit des Gesamtbildes trüben und die Ableitung von endgültigen Schlußfolgerungen vorderhand noch erschweren.

Zwischen den freilebenden Stickstoffbindern werden, wie dies aus



31. ábra. — Abb. 31.

Az ezüstfa vízigénve Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der *Elaeagnus angustifolia*. Lehm Boden.



32. ábra. — Abb. 32.

A mezei szil vízigénye. Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der Feldulme. Lehm Boden.
(*Ulmus glabra*.)

dem inneren Wesen des ganzen Erscheinungskomplexes hervorgeht, in den, meistens nicht ausreichend durchgelüfteten Waldböden, die aeroben Azotobacter-Arten, von den Vertretern des anaeroben Clostridium Genus in den Hintergrund gedrängt.

Der jahreszeitliche Wechsel ihrer Änderungen kann jedoch ohne Schwierigkeiten nicht nur experimentell (siehe Abb. 5), sondern auch auf Grund von Freilandversuchen im Sinne des *R*-Gesetzes erklärt werden. Sie erreichen dementsprechend auch meistens in der sommerlichen Hauptvegetationszeit ihre optimale Entwicklung.

Wir haben in verschiedenen Arbeiten den ausgeprägten biodynamischen Charakter der Säuregradänderungen des Bodens gezeigt. Daß diese Änderungen neben den mikrobiologischen Vorgängen des Bodens auch durch andere Faktoren der leblosen Natur beeinflußt werden können, braucht nicht näher begründet zu werden. Es genügt hier kurz auf den Einfluß der Pufferwirkung, des Wassergehaltes, der sauren Zersetzungsprodukte und auf die Einwirkung der Bodenkohlensäure usw. hinzuweisen.

Es können außerdem, wie dies durch die in unserem Institute durchgeführten Forschungen von *Hwang* gezeigt wurde, auch die im Rahmen der Nitrifikation, Nitratreduktion und Denitrifikation gebildeten chemischen Stoffwechselprodukte eine nicht unerhebliche Wirkung ausüben. (26.)

Alle diese Änderungen ergeben aber in ihrer Gesamtheit ein mehr oder weniger einheitliches Bild, dessen Entstehung größtenteils wenigstens mittelbar im Sinne des *R*-Gesetzes gedeutet werden kann.

Es läßt sich im allgemeinen folgendes feststellen: Im Herbst und im Winter wird infolge der in diesen Jahreszeiten herrschenden verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, die die meistens ausreichende Wirkung des Wasserfaktors begrenzen, in vielen Fällen aber infolge der überoptimalen Entwicklung des Wasserfaktors zu der Entstehung von unter- oder überoptimalen *R*-Werten kommen. Da außerdem in dieser Jahreszeit der Waldboden selbst mit der verwesenden Laub- und Nadelstreu bedeckt wird, und infolgedessen meistens die ungesunden, saure Nebenprodukte erzeugenden, anaeroben Verwesungsprozesse vorherrschen, wird gewöhnlich eine Erniedrigung der Säuregrade des Waldbodens eintreten.

In der sommerlichen Hauptvegetationszeit, wo die den Boden bedeckende und die normale Luftzufuhr verhindernde Laub- und Nadelstreu bei unseren klimatischen Verhältnissen größtenteils verarbeitet wird und außerdem die günstige Gestaltung der Wasser- und Wärmeverhältnisse zu der Entstehung von biologisch günstigen und somit das Bodenleben fördernden *R*-Werten führen kann, werden die gesunden aeroben Zersetzungs Vorgänge die Oberhand gewinnen und die Bildung von höheren *ph*-Werten ermöglichen.

Die neueren Forschungen von *Ellenberg* und *Aszód* (1, 37) haben in diesem Belange unsere Ergebnisse bestätigt.

Durch diese Überlegung wird man auch leicht verstehen können, warum in den Waldböden der nördlichen humiden Klimazonen, die niedrigen Temperaturgrade und auch die oft überoptimalen Feuchtigkeitsgrade zur Entstehung von einer unvollkommen zersetzten, sauren Humusdecke und infolgedessen zu recht niedrigen Säuregraden führen werden.

In dem tropischen Urwald wird dagegen, namentlich während der alljährlichen Regenperioden meistens der überoptimale Wassergehalt des Bodens, die günstige Temperaturwirkung begrenzen, und die Entstehung von sauren, ungenügend zersetzten Humusstoffen begünstigen.

Der Humusgehalt des Waldbodens wird natürlich ebenfalls periodische Schwankungen zeigen, wie dies auch die in den Abbildungen 7, 9, 10, 11, 15 dargestellten Untersuchungsergebnisse deutlich beweisen.

Im Spätherbst und im Winter wird in unseren Klimazonen die gefallene Laub- und Nadelstreu infolge der begrenzenden niedrigen Temperaturgrade nur im geringen Maße zersetzt. Erst die günstigen Wärmemengen der sommerlichen Hauptvegetationszeit werden die Zersetzungstätigkeit der Bodenbakterien und Bodenpilze derart beschleunigen können, daß schließlich eine Verarbeitung und damit eine Verminderung des Humusgehaltes stattfinden kann.

Da der organische Stoffgehalt des Bodens den Mikroorganismen ihre unmittelbare stoffliche ernährungsphysiologische Grundlage bietet, so ist es klar, daß hier die Geltung des *R*-Gesetzes primär und mittelbar zur Geltung kommen wird. Die Abbildungen 7, 9, 10, 11, 15 geben auch in diesem Belange klare Beweise.

Daß die zeitliche Reihenfolge in den einzelnen Jahren nicht immer die gleiche sein wird, und dabei gewisse Verschiebungen entstehen können, ist leicht zu verstehen, wenn man auch den zeitlichen Wechsel des Witterungsverlaufes der einzelnen Jahre in Erwägung zieht.

Das Wesen und der Schwerpunkt dieses Problems der Bodenbiologie liegt auch — wie schon früher betont wurde — nicht an der zeitlichen Reihenfolge, sondern auf dem komplexen Zusammenwirken der beiden wichtigen Biofaktoren: Wärme und Wasser und auf ihrem kausalen Zusammenhange mit den Lebensäußerungen des Bodenlebens.

Die Anwendung des *R*-Gesetzes auf die mikrobiologischen Grunderscheinungen der Bodenatmung.

Die Bodenatmung, d. h. die Kohlensäureerzeugung des Bodens ist ein ausgesprochener biologischer Vorgang, und gleichzeitig ein besonders empfindlicher Gradmesser der Güte und Intensität des Bodenlebens.

Die Tatsache, daß falls günstige ökologische Bedingungen, namentlich die entsprechende Gestaltung des Wärme- und Wasserfaktors, die Entwicklung und Tätigkeit der aeroben Kleinlebewesen des Bodens begünstigen, der wichtige Grundstoff des Pflanzenkörpers die Cellulose größtenteils auf Wasser und Kohlensäure zerlegt wird, ist allgemein bekannt.

Tritt der entgegengesetzte Fall ein, so werden infolge des Überwiegens der anaeroben Bakterien unvollkommen zersetzte und immer mehr und mehr kohlenstoffreichere Nebenprodukte gebildet.

Wir haben in dem ersten Falle mit einer reichlichen Kohlensäurerzeugung und im zweiten mit einer verminderten Intensität der Bodenatmung zu tun.

Daraus folgt aber auch folgerichtig, daß die Bodenatmung ihre optimale Entwicklung erst bei den entsprechend günstig gestalteten *R*-Werten erreichen, und somit auch ihr Gang im Sinne des *R*-Gesetzes verlaufen wird. Dieser Zusammenhang ist leicht zu verstehen, wenn wir die eingangs gesagten, insbesondere die grundsätzliche Abweichungen des Verhaltens der aeroben und anaeroben Kleinlebewesen bei der Kohlensäurerzeugung vergleichen.

Da Maß und Intensität der Bodenatmung von der Zahl und von der Lebenstätigkeit der Bodenbakterien und Bodenpilze unmittelbar abhängt, so ist hier die primäre Geltung des *R*-Gesetzes leicht einzusehen.

Daß letzten Endes die zeitlichen und mengenmäßigen Änderungen des Humusgehaltes mit Bakterientätigkeit und Bodenatmung ebenfalls auf das engste zusammenhängen, geht aus den Erörterungen des vorangegangenen Abschnitt ebenfalls klar hervor.

Da der jeweilige Humusgehalt des Waldbodens durch die Bodenbakterien und Pilze im Wege der Bodenatmung verbraucht wird, so werden natürlich auch ihre Änderungen im gegenläufigen Sinne verlaufen.

Die *R*-Werte wirken also erst mittelbar auf das Verhalten des Humusgehaltes ein.

Ich bringe in den Abbildungen 15, 16, 17, 18, 19 einige typische Beispiele, die die jetzt gesagten auf Grund von mehrjährigen Freilandversuchen bestätigen.

Zwischen den vorgeführten Versuchsflächen befindet sich auch ein brachliegender Freilandboden. Sein Verhalten stimmt mit dem allgemeinen analytischen Bilde der übrigen Waldböden vollkommen überein. Dieser Umstand gibt den guten Beweis dafür, daß die Wärme- und Wasserwirkung in allen Fällen, Freiland oder Waldböden, die gleiche ist, wenn die natürlichen Lebensvorgänge des Bodens durch künstliche Einflüsse der Bodenbearbeitung und des Pflanzenbaues wesentlich nicht gestört werden.

Damit wir uns über die mengenmäßigen Ausmaße dieser Umsetzungen ein ungefähres Bild machen können, führe ich hier noch folgende orientie-

rende Daten vor. Wie die grundlegenden Untersuchungen von *Ebermayer* zeigen, wird ein mittelalterlicher Waldbestand zum Aufbau seiner oberirdischen Trockensubstanz (Holz, Blätter, junge Triebe usw.) jährlich ca. 3040 kg Kohle, bzw. 11.150 kg Kohlensäure benötigen. Um diesen Bedarf decken zu können, müssen unter Zugrundelegung der „*van Bemmelen*“ Zahl (0'58) rund 5200 kg Humusstoffe verarbeitet werden. Diese Menge wird aber in der Wirklichkeit noch größer werden, wenn wir bedenken, daß neben der Trockensubstanzbildung des eigentlichen Holzkörpers der Waldbäume, noch auch die Bedürfnisse der Wurzelbildung und der Bodenpflanzen befriedigt, und auch der durch die oberirdischen Atmung der Bestände verbrauchter Kohlenstoff ersetzt werden muß.

Dieser wichtige stoffliche Teil des Problems ist noch nicht ausreichend geklärt. Es ist daher vorläufig noch nicht gut möglich, zwischen der im Wege der Bodenatmung erzeugten Kohlensäure und zwischen dem Verbrauch der Humusstoffe und zwischen der stofflichen Aufbauarbeit der Waldbestände einen klaren mengenmäßigen Zusammenhang zu entwerfen. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse lassen auch hier nur die allgemeine Linie dieses organischen Geschehens erkennen. Eine weitere Vertiefung dieser Erkenntnisse und eine mengenmäßige Beantwortung dieser Fragestellung wird erst auf Grund der weiteren Untersuchungsergebnisse möglich sein.

Die Bestimmung des statischen Wasserbedarfes der Waldbäume.

Auf Grund der bisher besprochenen Forschungsergebnisse haben wir den Wirkungsmechanismus der Wärme und Wasserfaktoren vorläufig nur bei den Lebensäußerungen der einzelligen oder aus einfachen Zellverbänden aufgebauten Kleinlebewesen des Bodens kennen gelernt.

Es gelang uns aber, namentlich auf Grund von mit schnellwachsenden, einjährigen Pflanzen durchgeführten experimentellen Forschungen die Gültigkeit des *R*-Gesetzes auch für die höheren Pflanzen klar und deutlich nachzuweisen. Die dort erzielten Ergebnisse werden in der Praxis der landwirtschaftlichen Pflanzenbaues bereits mit Erfolg angewendet. (Siehe die Abbildungen 20, 21, 22 und die Angaben in dem Schrifttum 13, 20, 23.)

Diese Ergebnisse haben dann uns auch dazu veranlaßt, die gleiche Fragestellung bei unseren Waldbäumen zu untersuchen.

Da die Temperatur meistens künstlich durch unsere waldbaulichen Maßnahmen kaum wesentlich beeinflußt werden kann, bleibt der Wassergehalt des Bodens als jener Biofaktor übrig, der mehr oder weniger durch unsere waldbauliche Eingriffe (Kahlschlag, Aufforstung, Durchforstung, Entwässerung oder Bewässerung usw.) zwischen gewissen Grenzen reguliert werden kann. Unter ariden Klimaverhältnissen wird sogar in vielen Fällen, namentlich in den Baumschulen auch oft notwendig sein, den Wasserhaus-

halt des Bodens in den ersten Jahren, also in der schwierigsten Kampfperiode der Holzpflanzen, im gegebenen Falle auch durch künstliche Bewässerung zu beeinflussen.



33. ábra. — Abb. 33.

A kötőfűz vizigénye. Homoktalaj. — Der Wasserbedarf der Korbweide. Sandboden.
(*Salix viminalis*.)



34. ábra. — Abb. 34.

A mézgás éger vizigénye. Agyagtalaj. — Der Wasserbedarf der Erle. Lehm Boden.
(*Alnus glutinosa*.)

Um diese, unter Umständen recht empfindlichen Eingriffe anwenden zu können, ist es unbedingt notwendig, die Optimumgrenzen des statischen Wasserbedarfes der einzelnen Baumarten, bzw. ihr Verhalten dem gegen-

seitigen Verhältnis, Luft und Wasser im Boden, gegenüber kennen zu lernen.

Aber auch ansonsten, aus dem Standpunkte der allgemeinen Linienführung des forstlichen Betriebes, ist es vom großen Nutzen, wenn man über das Verhalten der Bäume, dem jeweiligen Sättigungsgrad der Wasserkapazität der Böden gegenüber, die nötigen Kenntnisse besitzt.

Über den Wasserhaushalt der Holzpflanzen, namentlich über ihren Wasserverbrauch, liegen bisher trotz der großen Wichtigkeit des Problems, noch nicht sonderlich viele Untersuchungen vor.

Wir sind dieser Beziehung hauptsächlich auf die Forschungen von *Höhn* angewiesen, der hauptsächlich die Wasserabgabe, also die Transpiration der Bäume bestimmte. Seine Daten gelten jedoch nur als Annäherung, da die exakte Bestimmung auf große experimentelle Schwierigkeiten stößt.

Über das Verhalten der Holzpflanzen dem Sättigungsgrad der jeweiligen Wasserkapazität des Bodens gegenüber besitzen wir noch überhaupt keine Untersuchungsergebnisse.

Aus dem Standpunkte der praktischen Forstwirtschaft dürfte diesem Problem erhöhte Bedeutung zukommen. Ist nämlich dieses Verhalten der Waldbäume schon experimentell ermittelt worden, so kann auch ihre Eignung für die Aufforstung der verschiedenen Standorte verhältnismäßig leicht entschieden werden. Dazu ist nur die Kenntnis der Wasserkapazität und des Wassergehaltes des Bodens notwendig. Beide Eigenschaften können durch einfache Methoden bestimmt werden. Sollte dennoch unter Umständen eine künstliche Bewässerung oder Beregnung angewendet werden, so wird man im Besitze der obigen Daten die jeweiligen Mengen der zuzusätzlichen zu verabreichenden Wassergaben dem optimalen Wasserbedarfe der einzelnen Baumarten anpassen können.

Bezüglich der Untersuchungsmethoden teile ich hier kurz folgendes mit:

Der Wassergehalt des Bodens wurde durch Trocknen bei 100—105° C bis Gewichtskonstanz, die Wasserkapazität, bzw. die absolute Wasserkapazität im Sinne des bekannten Verfahrens nach *Mitscherlich*, bestimmt, wobei das gesamte Porenvolum mit Wasser gefüllt war.

Die Anzucht der Versuchspflanzen erfolgte teils in großen, unten geschlossenen, verzinnnten Blechgefäßen, und teils in tönernen Töpfen, die an ihrer Außenseite, um die Verdunstung zu verringern, mit einem Farbenanstrich versehen waren. Alle Versuchsgefäße wurden unten, wie gesagt, um die Wirkung des stagnierenden Wassers kennen lernen zu können, verschlossen. Die berechneten Wassergehaltsgrade wurden durch Ersetzen der fehlenden Wassermengen, an jedem dritten Tag, erhalten, wobei das Gewicht der Pflanzen entsprechend berücksichtigt wurde. Die Werte der Wasserkapazität und des Wassergehaltes beziehen sich immer auf das feuchte Gewicht des Bodens.

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen haben wir in der Tabelle II und in den Abbildungen 23—34 dargestellt.

Auf Grund dieser Zusammenstellung läßt sich im allgemeinen feststellen, daß die bis jetzt untersuchten Waldbäume ihr optimales Wachstum im allgemeinen bei 60—90% Sättigung der absoluten Wasserkapazität des Bodens erreichen. Sie verhalten sich aber nicht alle gleichmäßig.

Tabelle II.

Talaj: I. homoktalaj, II. agyagtalaj. — Boden: I. Sandboden, II. Lehm Boden.

Talajszám. — Nr. des Bodens	I.		II.		Az optimális növekedés határa a vízkapacitás százalékában Optimale Entwicklung in % der max. Wasserkapazität
A talaj max. vízkapacitása %-ban Max. Wasserkapazität des Bodens in %	21.1		29.0		
Növényfaj — Pflanzenart	A növény optimálás fejlődése Optimale Entwicklung der Pflanze bei				
	Wg	Wk ^o / _o	Wg	Wk ^o / _o	
<i>Fenyőfák — Nadelholzbäume:</i>					
Pinus nigra	14.7	70.0			
„ silvestris	15.8	75.0	21.8	75.0	70—75
Picea excelsa	16.8	80.0	23.2	80.0	80.0
Abies alba	16.8	80.0	23.2	80.0	80.0
	—	—	26.1	90.0	90.0
<i>Lombfák — Laubholzbäume:</i>					
Alnus glutinosa	—	—	26.1	90.0	90.0
Elaeagnus angustifolia	—	—	21.8	75.0	75
Fagus silvatica	—	—	20.3	70.0	70.0
Fraxinus ornus	16.8	80.0	21.8	75.0	75—80
„ excelsior	16.8	80.0	23.2	80.0	75—80
„ americana	16.8	80.0	21.8	75.0	75—80
„ montana	16.8	80.0	23.2	80.0	75—80
Robinia pseudacacia	16.8	80.0	21.8	75.0	75
Salix viminalis	15.8	75.0	23.2	80.0	80.0
„	16.8	80.0	23.2	80.0	75—80
Ulmus glabra	15.8	75.0	—	—	75—80
„	16.8	80.0	21.8	75	75—80
„ montana	16.8	80.0	23.2	80	75—80
„	15.8	75.0	23.2	80	75—80
„	16.8	80.0	23.2	80	75—80
Tamarix tetrandra	—	—	26.1	90	80—90

Wg = Vízartalom súlyszázalékban. — Wassergehalt in Gewichtsprozenten.
Wk = Maximális vízkapacitás százalékában. — In %-n der maximalen Wasserkapazität
I. Sandboden, II. Lehm Boden.

In dieser Richtung werden die Forschungen noch fortgesetzt.

Ich möchte noch darauf hinweisen, daß — wie unsere letzten Untersuchungen zeigen — die beste Entwicklung der Mikrobenvelt des Bodens ebenfalls bei einer 70—80% Sättigung der absoluten Wasserkapazität stattfinden. Es scheint also, daß hier ein Naturvorgang von großer, weitliegender Bedeutung vorliegt.

Ich möchte noch betonen, daß alle die bis jetzt ermittelten Ergebnisse

nur als Orientierung für das jetzt untersuchte jugendliche Entwicklungsstadium der Holzpflanzen zu betrachten sind. Es ist nicht ausgeschlossen, daß später, wo die älteren Bäume, die mit ihren allmählich in die Tiefe drängenden Wurzeln die ständig feuchten tiefere Bodenhorizonte oder sogar das Untergrundwasser erreichen und somit sich von dem trockenen oberen Horizonten mehr oder weniger unabhängig machen können, diese Grenzen mehr oder weniger verschoben werden. Aber auch dann wird es von großer Bedeutung sein ihr Verhalten dem Wassergehalt der höher liegenden Bodenniveaus, wo die Nährstoffaufnahme und die Atmung ihrer Wurzeln vor sich geht, kennen lernen zu können. Darüber werden aber erst die weiteren Untersuchungen, die auf Grund der bis jetzt erzielten experimentellen Resultate auch in der freien Natur fortgesetzt werden, die nötigen Aufschlüsse bringen.

Zusammenfassung.

Das komplexe Zusammenwirken der beiden wichtigen Biofaktoren: Wärme und Wasser, kann am deutlichsten durch das sogenannte, von uns aufgestellte, R-Gesetz charakterisiert und näher erfaßt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden zunächst die theoretischen Grundlagen und sodann die durch ausgedehnte experimentelle und Freilandversuche erfolgte Bestätigung dieses Gesetzes und ihre regulative Rolle in dem Leben der höheren und niederen Pflanzen des Lebensraumes des Waldes dargelegt.



Irodalom. — Schrifttum.

1. *Aszód László*: (Acta Geobotanica Hungarica I. 75—107. 1936.)
2. *Boysen Jensen*: Die Stoffproduktion der Pflanzen. (Fischer, Jena, 1932.)
3. *Corbet*: (Biological Process in tropical Soils. Cambridge, 1936.)
4. *Ebermayer*: Die gesamte Lehre der Waldstreu. (Springer, Berlin, 1876.)
5. *Fehér, D.*: Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. (J. Springer, Berlin, 1933. Siehe hier das ausführliche Schrifttum bis 1933.)
6. — Untersuchungen über die biodynamischen Grundlagen der Bodenatmung. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 70. 2. 1938.)
7. — Experimentelle Untersuchungen über die Grundlagen der Schwankungen der Bodenazidität. I. und II. (Archiv f. Mikrobiologie. 3. 609. 1932. und 5. 402. 1934.)
8. — Die Verwendung der elektrometrischen *pH*-Messung zur quantitativen Bestimmung der Keimzahl der Böden. (Archiv. f. Mikrobiologie. 4. 257. 1933. und 5. 436. 1934.)
9. — Über den Einfluß des Wassergehaltes auf die Gestaltung der *pH*-Werte. (Zeitschrift f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. 44. 341—346. 1936.)
10. — Les principales lois, régissant la vie des sols forestiers. (Revue des Eaux et Forêts. Nancy, 1936.)
11. — A növények hő- és vízgazdálkodása. (Mávacg Közlemények. 1. 13. 1941.)
12. — Vizgálatok a fák vízigényéről. Untersuchungen über den Wasserbedarf der Holzpflanzen. (Tiszántúli Öntözésügyi Közl. 5/8. 23. 1940.)
13. *Fehér, D. és M. Frank*: Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur und des Wassergehaltes auf die Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens. I. und II. (Archiv f. Mikrobiol. 8. 249. 1937. und 9. 193. 1938.)
14. — Das R-Gesetz. (Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények. Mitteilungen über Bewässerungswesen. Auslandsheft. IX—X. Sopron, Ungarn, 1941.)
15. — Vergleichende Untersuchungen über den biologischen Aktivitätsgrad der Böden. (Archiv f. Mikrobiol. 8. 27. 1937.)
16. *Fehér, D., M. Frank und G. A. Manninger jun.*: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Mikroorganismen-tätigkeit auf das dynamische Verhalten der leichtlöslichen Phosphor-, Kali und Stickstoffverbindungen des Bodens. (Bodenkunde und Pflanzenernährung. 13. 341. 1939.)
17. *Fehér, D., G. A. Manninger jun. und M. Frank*: Der Ackerboden als biodynamisches System. (Bodenkunde und Pflanzenernährung. 4. 243. 1937.)
18. *D. Fehér, M. Frank und F. Szelényi*: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Mikroorganismen-tätigkeit auf das dynamische Verhalten der leichtlöslichen Phosphor-, Kali- und Stickstoffverbindungen des Bodens. (Tiszántúli Öntözésügyi Közl. Mitteilungen über Bewässerungswesen. Auslandsheft. IX—X. 1941.)
19. *Fehér—Kogutowitz—Kreybig—Manninger*: A szántó föld okszerű művelése kapcsolatban a talaj életével, vízgazdálkodásával és a magyar klímával. (Falu Szövetség. Budapest, 1938.)
20. *Fehér, D. und H. Palitschek*: Untersuchungen über den Wasserhaushalt des Kulturbodens und der Kulturpflanze. (Landwirtschaftl. Jahrb. 87. 721. 1939.)
21. *Frank M.*: A talaj vízgazdálkodásának hatása a talaj életére. (Mávacg Közlemények. 1. 31. 1941.)
22. *Hank O.*: Az öntözéses termelés elméleti és gyakorlati kérdései. Tiszántúli Öntözésügyi Közl. 1. 5. 1938.)

23. O. Hank, M. Frank und F. Szélenyi: Die allgemeinen Richtlinien der Berechnungswirtschaft. (Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények. Mitteilungen über Bewässerungswesen. Auslandsheft. IX—X. 1941.)
24. Höhnelt: Über die Transpirationsgrößen der forstlichen Holzgewächse. (Cblatt f. d. g. Forstwesen. Bd. X. 1884.)
25. Hwang, Y.: Eine neue Methode zur Bestimmung des Keimgehaltes der Böden mittels Untersuchung der Leistungsfähigkeit ihrer Mikroorganismen. (Archiv f. Mikrobiologie. 9. 1938.)
26. Hwang, Y. und M. Frank: Untersuchungen über den Einfluß der Bodenreaktion auf die Ammonifikation, Nitrifikation in humusreichen Böden. (Cbl. f. Bakt. 99. 97—106. 1938.)
27. Janisch: Das Exponential-Gesetz als Grundlage einer vergleichenden Biologie. (Berlin, J. Sprigner. 1927.)
28. Killian—Fehér: Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. (Lechevalier, Paris, 1939.)
29. Kreybig L.: A trágyaszerek jóvedelmező érvényesülésének feltételei. (Patria, Budapest, 1931. 10 old.)
30. Heinecke: Die Kohlenstoffernährung des Waldes. (Springer, Berlin, 1934.)
31. Mitscherlich: Der Boden als Vegetationsfaktor. (Handbuch der Bodenlehre. IX. Bd. Springer, Berlin, 1931.)
32. Rippel, A.: Wachstumsgesetze bei höheren und niederen Pflanzen. (Datterer, München, 1925.)
33. — Mikrobiologie des Bodens. (Im Blanck: Handbuch der Bodenlehre. I. Ergänzungsband. J. Springer. Berlin, 1939. — Siehe hier das Schrifttum bis 1939.)
34. Szélenyi F.: A rizs optimális vizigényének megállapítása. — Über die Bestimmung des optimalen Wasserbedarfes der Reispflanze. (Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények, 2. 21—35. 1939.)
35. — Researches on the determination of the optimal water demand of the rice plant and on the rational water husbandry of rice growing. (Publ. of the Bot. Inst. of the Royal Hung. Univ. of Technical and Economic Sciences. Sopron, Hungary. 1940.)
36. Wollny, E.: Untersuchungen über den Wasserverbrauchsmengen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physiologie. 20. 306. 1897.)
37. H. Ellenberg: Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen und Buchen Mischwaldgesellschaften. (Mitteilungen der „Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Niedersachsen“. H. 5. 1939.)



