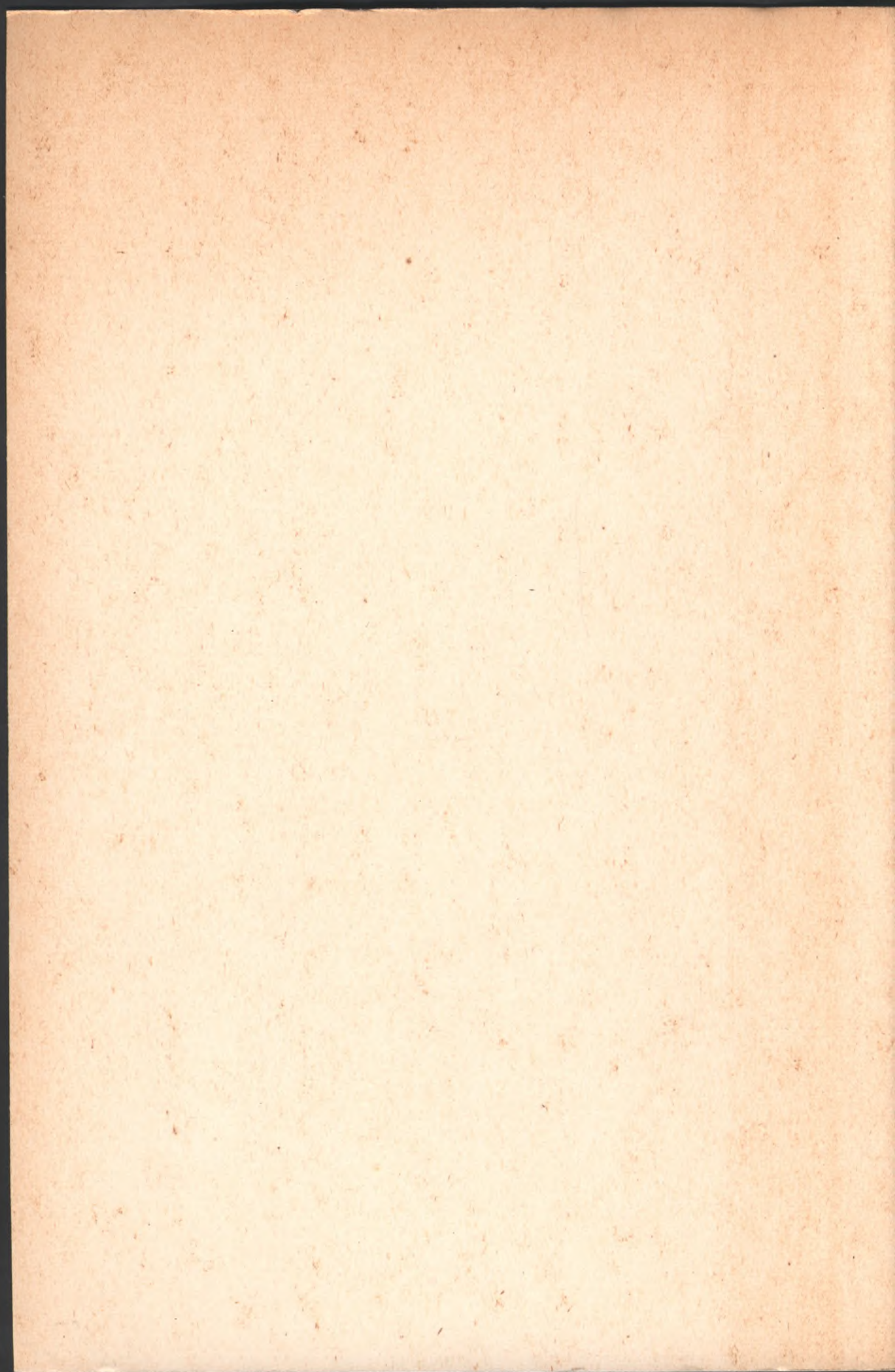


152.625



152625

Különlenyomat az „Erdészeti Kísérletek” 1942. XLIV. kötetéből.
Sonderabdruck aus „Erdészeti Kísérletek” Bd. XLIV. 1942.

Vizsgálatok az erdő szénsav-táplálkozásáról.

Írta:

Dr. Fehér Dániel.

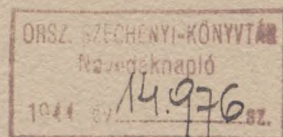


Untersuchungen über die Kohlensäureernährung des Waldes.

Von:

D. Fehér.

152625



Vizsgálatok az erdő szénsav-táplálkozásáról.

írta: Dr. Fehér Dániel.

A m. kir. József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Növényteni Intézetéből.
Sopron.

Bevezetés.

A fának, mint az erdőgazdaság legfontosabb termékének, túlnyomó részét az elfásodott cellulóz alkotja. Ennek a cellulóznak ($n[C_6H_{10}O_5]$) összetétele a benne képviselt anyagok százalékos aránya szerint a következő:

	tiszta cellulóz	elfásodott cellulóz
C	44.4%	50.—%
H	6.2%	6.5 %
O	49.4%	42.—%
Hamumaradvány	—	0.5—1.0%

Gyakorlati szempontból tehát nagyjában a fáknál, a szárazsúlyt véve alapul, 50%-os széntartalmat tételezhetünk fel. Az erdőnek tehát, amikor az évi növedékét létrehozza, ugyancsak jelentékeny mennyiségű szénsavat kell felhasználnia, hogy a fák testét felépítse és növekedésének élettani folyamatát megszakítás nélkül fenntarthassa. A fák és általában a chlorophyllal bíró zöld növények a talajban lévő szerves anyagokat ilyen állapotban nem tudják közvetlenül felvenni és ezek számukra csak akkor válnak hasznosíthatókká, ha elkorhadnak. A korhadás folyamata alatt szénvegyületeik a talajban élő mikroorganizmusok munkásságának következményeképpen szénsavra és szervesetlen anyagokra bomlanak. A szénsav a talaj pórusain keresztül távozik a levegőbe. Ezt a jelenséget nevezzük talajlélekzésnek.

A szerves anyagok szétbomlását a baktériumok és gombák működésén kívül még sok más egyéb tényező is befolyásolja, úgyhogy a korhadás még akkor is, ha elég levegő áll a talaj mikroszervezeteinek a rendelkezésére, tehát a bomlás aerob úton jön létre, csak hosszabb időn át és sok közbeni termék keletkezése útján mehet végbe.

Az erdő életében a talaj szénsavtermelésének különösen nagy jelentősége van. Nem szabad ugyanis elfelejtenünk, hogy az asszimiláció útján felépített cellulóznak jelentékeny része a lehulló levelekkel, a korhadó

gyökerekkel és az elszáradt ágakkal megint vissza jut a talajba és ismét korhadni kezd. Az erdő táplálkozása szempontjából tehát az erdő talajának és állományának megővése nemcsak abból a szempontból fontos, hogy a lehulló levelek és ágak korhadásakor felszabaduló szervesen sós szén kerüljenek a talajba, hanem azért is, hogy a szerves anyag korhadása útján a levegő szén-savtartalmát is legalább némileg emelni tudjuk és így az erdő által felhasznált szén-savnak természetes utánpótlásáról is gondoskodhassunk. Ma már tudjuk azonban, hogy ott, ahol a fény teljes egészében érvényesül, a növények és így az erdei fáink is majdnem 100%-os hatásokkal tudják a levegőnek viszonylag kis — 0'03% — szén-savtartalmát kihasználni. Mihelyt azonban a fény ereje gyengül — és ez már az alsóbb koronaszintekben is megnyilvánul —, már sokkal nagyobb hatást gyakorol a levegő nagyobb szén-savtartalma. Különösen növekedik ez a hatás a természetes felújításánál, ahol a fiatal nemzedék az anyafák árnyékában neveljük fel.

Ebermayer volt egyike a legelsőeknek, aki az erdő szén-savtáplálkozását behatóbb tanulmányozás alá vette. Több kísérleti területen végzett idevonatkozólag kutatásokat és arra az eredményre jutott, hogy egy hektár középkorú, alommal borított talajú erdő évenként száraz anyagának felépítése céljából kereken 3040 kg szén-t használ fel, amely kerek-számban kifejezve 11.150 kg szén-sav-mennyiségnek felel meg.

A kérdésnek gyakorlati szempontból való vizsgálatánál azonban meg kell gondolnunk azt is, hogy átlagosan 1 m³ levegőben 0'55 gr szén-sav-tartalmat találunk. Ez természetesen meglehetősen változik, lehet valamivel kevesebb és lehet jóval több is, aszerint, hogy milyen tiszta levegővel van dolgunk. *Lundegardh*, aki a kérdéssel széles alapokban foglalkozott, a fenti mennyiségben adja meg a normális levegő átlagos szén-savtartalmát. Miután 1 m³, tehát 1000 liter levegőben 0'55 g szén-sav foglaltatik, úgy egy egyszerű számítás meg fog győzni bennünket arról, hogy 11.150 kg szén-savnak asszimilatórikus úton való leköttetése céljából egy középkorú erdőnek egy évben közel 20.000.000 m³ levegőre lesz szüksége szén-szükségletének fedezése céljából.

Földünkön a természet bölcs berendezése gondoskodik azonban arról, hogy a növények asszimilatórikus építő tevékenységüknek folyamata alatt felhasznált nagymennyiségű szén-sav megfelelő mértékben pótolassék.

Schröder megkísérelte hozzávetőleges számítással kiszámítani, hogy a földkerekségen élő növények évenként milyen mennyiségű szén-savat dolgoznak fel. Anélkül, hogy a tengerben élő zöldnövények igényét meg tudta volna adni, kereken 60 billió kg-ra becsülte azt a szén-sav-mennyiséget, amennyire a növényeknek a földkerekségen szükségük van. Ha nem tudná a természet ezt a hatalmas mennyiséget pótolni, úgy a levegő szén-sav-tartalma fokozatosan kisebbedne és végül is a növények növekedése szenvedne

hátrányt. Amennyire azonban a kérdést meg tudjuk ítélni, feltételezhetjük, hogy úgy az állatvilágnak a lélekzése, mint pedig a talajban lefolyó korhádási folyamatok, de nem utolsó sorban az ember mindennapi életében lejátszódó égési műveletek, amelynek folyamán, fát, szenet és más szerves anyagot égetünk el hőenergia nyerés szempontjából, nagyjában annyira fedezik ezt a szükségletet, hogy a levegő normális szénsavtartalma kisebb-mérvű ingadozásoktól eltekintve, állandó egyensúlyi helyzetben van.

A kérdés megítélésénél, különösen az erdőgazdaság szempontjából rá kell itt arra a tényre is mutatnunk, hogy a szénsav fajsúlya nagyobb a levegőnél, ennél fogva, ha a levegő állandóan nyugodt lenne, ez csak nagyon kis mértékben tudna a felsőbb rétegekbe feljutni. Szerencsére azonban a szél és a hőmérsékleti különbségek a levegő rétegeit úgyszólván állandóan mozgásban tartják és így meg van a lehetősége annak, hogy az alacsonyabb szintekben felhalmozott nagyobb szénsavmennyiségek idővel a felsőbb levegőszintekbe jussanak. Amint említettem, a különböző rétegekben lévő szénsavtartalom felfelé csökkenő töménysége bizonyos fokú felfelé való áramlást biztosít. Ez az áramlás azonban nagyon lassú és azok a mérések, amelyeket úgy magunk, mint *Meinecke*, *Lundegardh* és mások végeztek, azt mutatják, hogy a gázkicserélődés az erdőben nagyon lassú folyamat és az erdei levegő alsóbb szintjei mindig jobban telítve vannak szénsavval, mint a felsőbbek.

Amint ezt már részletesen kimutattuk, ez a körülmény okozta azután azt, hogy a középkorú és idősebb állományoknál nem igen áll módunkban a gyakorlati erdőművelés rendes keretein belül a talajlélekzés mérvét úgy fokozni, hogy a koronák szintjében jelentékeny szénsavgyarapodást idézhessünk elő. De erre ott, ahol a világosság teljes mértékben éri az utóbbiakat, úgy sincsen szükség, mert itt a szénsavtartalom emelésével, amint ezt *Spirgatis*nak az alapvető vizsgálatai kimutatták, amúgy se tudnánk az asszimilációnak jelentékenyebb mérvű emelkedését elérni.

Annál fontosabb, amint említettem, az alacsonyabb szintekben növekedés természetes újulata számára a levegő szénsavtartalmának az emelése, miután ez árnyékban növekedik és itt a tényezők kedvező kialakításával az asszimilációnak menetét is befolyásolhatjuk.

A szél következtében a talaj által termelt szénsavmennyiség azonban nemcsak felfelé, hanem horizontális irányban is vándorol és így sokszor az erdő talaja által termelt gázmennyiség keletkezési fokától jóval nagyobb távolságban jut el az asszimiláló szintekbe. Különösen áll ez a magasabban fekvő levegőrétegek szénsavtartalmára.

Miután az alacsonyabb szintekben az állomány védő- és mérséklő hatása következtében a levegőmozgás is gyengébbé válik, úgy itt a talajlélekzés kedvezőbb mérve már aránylag kisebb területen belül tud érvényesülni. Az erdő életében a talajlélekzés útján, amikor a talajban élő

mikroorganizmusok, így elsősorban a baktériumok és a gombák a talajra hulló szerves anyagot elkorhasztják és felbontják, gondoskodott a természet arról is, hogy a szénnek a körfolyamata harmónikusan menjen végbe. Ennek az egyensúlyi helyzetnek azonban a legfontosabb alapfeltételét képezi az a körülmény, hogy az erdőtalaj jó biológiai állapotban legyen. Ez alatt különösen azon feltételek optimális fenntartását kell értenünk, amelyek mellett az erdőtalajnak a lélekzése a legkedvezőbb módon folyhatik le.

A mikroorganizmusok működésének kedvező menetéhez három tényező szükséges:

1. Szerves anyag, amely az erdő talajában mindig van,
2. a megfelelő hőmérséklet és
3. a nedvesség optimális foka.

Idevonatkozólag, amint vizsgálataink mutatják, ezek kb. 25° C talajhőmérséklet mellett fejtik ki legkedvezőbb működésüket. Érdekes, hogy az asszimilációnak optimumát szintén a levegő 25—28° C hőmérséklete körül találjuk. A természet helyes beosztása itt is gondoskodott az egyöntetű feltételek lérehozásáról. A vízkérdés szempontjából mindenekelőtt tisztába kell lennünk azzal, hogy a talajban élő mikroorganizmusok ahhoz, hogy a korhadás, tehát az elégetés folyamatát kedvező körülmények között hajthassák végre, levegőt igényelnek. A talaj ú. n. pórustérfogatának tehát csak egy bizonyos %-nak szabad vízzel telítve lenni, ha azt akarjuk, hogy a talajban a korhadás kedvező aerob körülmények között menjen végbe. Amint a saját már közölt vizsgálataink mutatják, a talaj pórustérfogatának 65—70% vízzel való telítettsége mellett még a mikroorganizmusok munkássága a legelőnyösebben végbe. Újabban Stokes kutatásai is igazolják ezeket az eredményeket. Megjegyzem, hogy a legtöbb magasabbrendű növény és köztük fáink is, rendszerint a talaj vízbefogadóképességének, illetőleg pórustérfogatának közel hasonló 60—80%-os telítettségi foka mellett fejthetik ki optimális működésüket. Természetesen az egyes mikroorganizmusok és gombák fajai, hasonlóképpen a magasabbrendű növények fajai között is lehetnek e téren különbségek. Így a nitrifikáló baktériumok magasabb hőmérsékletet igényelnek. Ugyanez áll a cellulózbontó baktériumokra is. De általában, ha a talaj életterének egész tevékenységét összefoglalóan vizsgáljuk, úgy a fenti értékek lesznek az irányadók. A magasabbrendű növények különböző fajai természetesen szintén eltérhetnek kisebb-nagyobb mérvben a megadott értékektől. De ezeknél is általában a vízbefogadóképesség 70—80%-os telítettségi foka lesz az optimális növekedés előfeltétele. Emellett a telítettségnél érik el ugyanis e növények azt az élettani egyensúlyt, amelyeknél a talajból elegendő vizet kapnak és ugyanakkor gyökereik lélekzéséről is gondoskodni tudnak. Ez a megfontolás is világosan mutatja, hogy az erdő életét a hőmérséklet és a víz mennyire döntően befolyásolják. A kettőnek a hatása elválaszthatatlan egy-

mástól. Mindegyik egyszerre lép fel és egymást kölcsönösen is befolyásolják.

Az utóbbi években sikerült ezen kölcsönhatásnak az általános törvényszerűségét, amelyet *R*-törvény néven ismerünk és amelyet e folyóiratban is behatóan ismertettünk, felismernünk. Ez a törvény lényegében és röviden azt mondja, hogy mind az alacsonyabb-, mind a magasabbrendű növények életműködése a hőmérséklet és a talaj víztartalmának szorzatától függ. Ezt a szorzatot nevezzük *R*-értéknek. Amíg az *R*-értékeket felépítő hőmérséklet és víztartalom a maguk optimális határait túl nem lépik, szorzatuk a növények életfolyamataira kedvezően és serkentőleg, ha egyik vagy mind a két összetevő e határokat túlhaladta, úgy összhatásuk gátlólag fog hatni.

Nálunk, a mi klímaviszonyaink mellett, a talajhőmérséklet legfeljebb csak a nyári hónapokban éri el azokban a szintekben, ahol a baktériumélet a legélénkebb és a legkiegyensúlyozottabb, a 25° C-ot. Arról tehát, hogy a talaj túlságos hőmérséklete gátló hatást gyakorolna a mi erdőtalajaink széngazdálkodására, nem igen beszélhetünk. Ez rendszerint a forró égővi erdőkben sem fordul elő, miután itt viszont az erdő beárnyékolása csökkenti a nap besugárzásának a hatását.

A talajélet legkedvezőbb kifejlődését a 20—30 cm-es szintekben éri el. Ebben a mélységben, amint ezt a legutolsó két szaharai expedíciónk folyamán végzett méréseinknél kimutattuk, még a forró sivatagi klíma mellett sem különösen gyakori eset, hogy a hőmérséklet 28—30 C-nál magasabbra emelkedjen. De ez is csak a legmelegebb nyári hónapokban áll elő. Akkor is átmeneti, miután a legtöbbször az éjjeli lehűlés erős hullámozást idéz elő.

A talaj víztartalma azonban már a mi égővünk mellett is átlépheti a maga optimális határát. Nálunk is megvan a lehetősége annak, különösen közép- és magashegyi erdeinkben, ahol a sűrű zárlat a párolgást csökkenti, vagy ahol a csapadékviszonyok kedvezőek, vagy ahol pl. a mőhatakaró túlságos kifejlődése gátolja a párolgást, hogy a talaj víztartalma a maga optimális fokát felülhaladja.

Észak-Európában az ottani klimatikus viszonyok mellett a talaj túlságos víztartalma párosulva a viszonylag alacsonyabb hőmérséklettel, végeredményben odavezet, hogy itt az erdő talajára hulló szerves anyagnak a feldolgozása elégtelenné válik és nyers, telítetlen humusztakaró alakul ki. Gyakorlati szempontból természetesen a legtökéletesebb állapot az lenne, amit egyébként helyes gazdálkodás mellett nálunk is elérhetünk, hogy a talaj parányszervezetei az évenként lehulló szerves anyagot maradék nélkül feldolgozzák és ezáltal az erdő talaján a nyers humusz kialakítását megnehezítik. Ha ez utóbbi egyszer kialakult, akkor is védekezhetünk a káros hatása ellen. A káros hatás mibenlétét nem szükséges bővebben megmagyaráznom. Az eredmény a talaj tápanyagainak erősebb kimosása, a kémhatás értékeinek csökkenése, tehát a talaj elsavanyodása és végül a természetes

újulat rendes kifejlődésének az akadályozása, miután, ha a humusztakaró vastaggá válik, a természetes újulat fiatal, zsenge növényei nem tudják gyökereikkel kellő időben a termőtalajt elérni és korán tönkremennek. Ez utóbbi körülmény Európa legészakibb erdőterületein a természetes újulat egyik legnagyobb akadályja.

Súlyosbítja a helyzetet, hogy nyáron a hosszabb napok alatt elég intenzív a napsugárzás, a humuszos takaró felmelegszik, átmenetileg kiszárad és a fiatal csiranövények épen életük legnehezebb időszakában mennek azután tönkre.

A két tényező közül a talaj hőmérsékletét viszonylag kisebb mértékben tudjuk befolyásolni, de a gyérités megfelelő és körültekintő keresztülvitelével itt is sokat tehetünk. Helyes kezelés mellett elérhetjük azt, hogy a zárlat időben és helyesen keresztül vitt megbontása után, még a hidegebb évszakokban is nagyobb lesz a párolgás, illetőleg nagyobb lesz a vízvesztesség, a fokozottabb besugárzás következtében jobban felmelegszik a talaj és mindezek alapján megindul a fokozottabb talajélet, amely a felesleges és eddig fel nem dolgozott szerves maradványok elkorhadására vezet.

Mindezek alapján könnyen beláthatjuk, hogy az erdő szénsavgazdálkodásának gyakorlati szempontból is milyen nagy és messze kiható jelentősége van. Ez a jelenség a talajt és növényt együttes, szervesen és dinamikusan összefüggő lélettérrel kapcsolja össze, amelynek összetételét, továbbá a tér és időbeli alakulásait a gyakorlati erdőgazdának már a saját érdekében is minden vonatkozásában ismernie kell.

Az erdő széntáplálkozásának mennyiségbeli keretei.

A bevezetésben már részletesen szóltam azokról az elvekről, amelyek bennünket e kutatások megindításánál és keresztülvitelénél vezettek.

Rendszeres, hosszabb időre terjedő vizsgálatokat, amelyek az erdő széntáplálkozásának összes fontosabb ökológiai és mikrobiológiai változásait több éven át lefolytatott időszakos kutatások alapján tették vizsgálat tárgyává, mi folytattuk le e téren első ízben. *Meinecke*, *Romell* és *Lundegardh* ezirányú kutatási csak rövidebb időre terjedtek és a kérdés annyira fontos talajéletteni vonatkozásainak a mellőzésével csak a talajlélekzés és az állományok levegőterében lévő szénsavtartalom mérésére terjedtek ki.

Ezeket megelőzően azonban, amint már említettem, *Ebermayer* nagyon behatóan foglalkozott a kérdés biokémiai vonatkozásaival. E vizsgálatok megbízhatóságát és alaposságát mi sem bizonyítja jobban, mint az a tény, hogy ezek még ma is az ezirányú ismereteink alapjait képezik.

Ebermayer az évi növekedés és lombképződés figyelembevételével megállapította, hogy a középkorú állományok egy évben, abszolút száraz anyagot véve alapul, a következő szénmennyiségeket használják fel hektáronként:

	Bükk	Lúcfenyő	Erdeifenyő
A fatest építésére	1566 kg	1768 kg	1664 kg
Vékony gallyak, tűk és levelek képzésére	1416 kg	1292 kg	1410 kg
	2982 kg	3060 kg	3074 kg

A további számítások egyszerűbb keresztülvitele céljából általában kereken 3000 kg szénszükséglettel fogok számolni. *Ebermayer* egyébként a büknél 50, a lúcnál 52 és az erdeifenyőnél szintén 52%-kal számítja a szénnek a fák szárazanyagához való viszonyát, míg ugyanezt a viszonyt a leveleknél és zöld gallyaknál 45%-kal fejezi ki. A fenti adatokból az átlagos évi növedéket is ki lehet számítani, ha a térfogatsúlyt tekintetbe vesszük. A lúcnál például 50%-os térfogatsúllyal és kereken 50%-os szénaránnyal számítva, 1768 kg szén, 3536 kg fának, illetőleg a térfogatsúly figyelembevételével kereken 7 tömör köbméter évi jövedéknek fog megfelelni. *Ebermayer*nek ez a számítása azonban csak a földfeletti részeket veszi figyelembe és ezért kiegészítésre szorul.

A fák szénszükséglete ugyanis a következő tényezőkből alakul:

1. A fatest felépítése,
2. a lomb és a vékony gallyak képzése,
3. a gyökér felépítése,
4. a levelek és az élő fatest lélekzése,
5. a gyökerek lélekzése.

Meinecke, aki a kérdéssel szintén behatóan foglalkozott, a 4. és 5. tényező számítása céljából összesen 20%-os többletet ajánl. A 4. tényező nagyságára vonatkozólag *Boysen-Jensen* is végzett az utóbbi években kutatásokat. Bár ezek egyelőre csak kisebb keretekben mozognak, mégis nagy vonásokban középkorú állományokban szerinte is kb. 10%-os lélekzési veszteséggel lehet számolni. Az állományok fiatalabb korában természetesen a lélekzés jóval nagyobb mérvű lesz. Egy 12 éves kőrisállományban az így előálló szárazanyagvesztesség termőhelyi osztályok szerint 26—50%-ot is kитеhet. A 3. tényező számítása még bonyolultabb feladat, mert különösen zárt állományokban, de idősebb, egyedülálló fák esetében is szinte lehetetlen lenne a nagyterjedelmű és összebogozódott, összeszővődött gyökereket teljes egészükben kiásni és tömegüket meghatározni.

E téren megfelelő vizsgálatok hiányában nem marad más hátra, mint *Zederbauer* és *Weber* elég szórványos kutatásait alapul venni. *Zederbauer* a lúcfenyőnél a feldfeletti részek és gyökerek tömegarányát 4:1 viszony-

számmal fejezi ki. *Weber* viszont nagyjában 30—35%-ra teszi a gyökérzetnek a földfeletti részek súlyához viszonyított mennyiségét. Ez az arányszám persze a fák korától, a talajtól, a zárlattól és általában az állományok növekedését és táplálkozását befolyásoló többi tényezőtől is függ. Én hozzávetőlegesen és nagy átlagban 30%-os súlyviszonnyal számolok és ezt veszem a további számításaim alapjául.

Mindezeket egybevetve, a valóságot akkor közelítjük meg leginkább, ha *Ebermayer* eredetileg kiszámított 3000 kg-ot kitevő átlagadatát a fentiek alapján $(20+30)$ 50%-kal megnagyobbítjuk. Így 4500 kg lesz az erdő nagy vonásokban számított átlagos évi szén-szükséglete, amely természetesen kor és termőhelyi osztályok szerint, adott esetekben még többé-kevésbé változhatik. Hogy az így számított mennyiség csak tájékoztató érték és annak végleges megállapításáig még sok beható vizsgálatra lesz szükségünk, az a fentiek alapján nem igen kíván bővebb magyarázatot. De ez is csak akkor állhat fenn, ha kizárólag a fákat vesszük szemügyre. Ha az erdővel, mint élettérrel számolunk, ez az eredmény még további kiegészítésre szorul.

Az erdő talaját, különösen a lomberdőkben, de a gyengébben zárult fenyőerdőkben is élő, tehát asszimiláló aljnövényzet is borítja, amely a maga részéről testének felépítése céljából szintén szén-igényel. Az aljnövényzet gyökérrendszerét természetesen más szempontok figyelembevételével kell tekintetbe vennünk. Az aljnövényzetnél, de különösen a lágyszárú növényeknél a szár és a gyökér viszonya jelentékenyen megváltozik. Becslésem szerint nem túlozunk, ha kb. a teljes súly 50%-ával számítjuk a gyökér mennyiségének viszonyát.

Az egész növényzet mennyiségére vonatkozólag szintén nem áll megfelelő számú megbízható vizsgálati adat a rendelkezésünkre. Szabadföldön *Mitscherlich*, jó termés esetén, kb. 60 q-s szénatermeléssel számol hektáronként. Én egyelőre ennek az $1/3$ -ával, tehát 20 q-val számolok, közepesen zárult, tehát elegendő aljnövényzettel bíró állományokat véve alapul. Jól zárult fenyőerdőkben ez a mennyiség jelentékenyen kisebb, viszont gyengébb záródású lomberdőkben ennél jóval nagyobb is lehet. A gyökerek súlyát viszont a földfeletti részek súlyának 40%-ával veszem számításba és így összesen 28 q teljes asszimilatorikus anyagtermelést veszek alapul.

A lélekzésnél óvatosságból csak 10%-os veszteséggel számolok a gyökereknél és 10%-kal a földfeletti részeknél.

Természetesen ezeket a számokat teljes biztonsággal általánosítani nem lehet. E téren még nagyon sok a tennivaló, ha biztos és végleges képet akarunk magunknak alkotni. Hozzávetőlegesen azonban az erdő évi szén-szükséglete, ha talaját elég dús aljnövényzet is borítja, hektáronként és évenként valószínűleg nagy vonásokban és átlagosan számszerűleg a következőképpen fog alakulni:

	C. kg/ha
1. A fatest felépítésére átlagosan*)	1600
2. A lombozat és a vékony hajtások képzésére*)	1400
3. A gyökerek felépítésére, a földfeletti részek 30%-a	900
4. Az élő fa lélekzésére (10%)	300
5. A gyökerek lélekzésére (10%)	90
6. Az aljnövényzet teljes földfeletti és földalatti anyagának felépítésére 14 q	1400
7. Az aljnövényzet lélekzésére (gyökér, szár) (10%)	140
Összesen	5830

Ha tehát az erdőt, mint egységes életteret vesszük tekintetbe, úgy évenként és hektáronként kerekén kb. 5830 kg szénszükséglettel kell számolnunk. Ebből azonban a talajra közvetlenül csak a következő mennyiségek jutnak vissza:

	C. kg/ha
1. A lombozat és a vékony hajtások korhadása folytán	1400
2. A gyökerek elkorhadása útján	900
3. Az aljnövényzet és gyökereinek korhadása útján	1400
Összesen	3700

A többi tényező közül a fatest, miután ezt elszállítjuk, az erdő talajának anyaggazdálkodása szempontjából közvetlenül úgyan veszendőbe megy, de később (persze időben, erősen változóan) elégetésekor és korhadásakor mégis csak visszaadja C-tartalmát CO_2 alakjában a levegőnek.

A kérdés megítélésénél tehát az időt és a földet körülvevő levegőréteg hatalmas kiterjedését mindig tekintetbe kell vennünk, ha ezeket az időben és térben egyaránt nagyvonalú biológiai egyensúlyi helyzeteket vizsgáljuk.

Ez a kb. 3700 kg-t kitevő szénmennyiség tehát a talajban elkorhad és a talajlélekzés folyamán mint CO_2 megint a levegőbe jut, ahol a növények az asszimilációs folyamataiknál ismét felhasználják.

A kiegyenlítődés azonban, amint az imént említettem, nagy térbeli dimenziók szerint megy végbe és a talajlélekzés által termelt szénsav a legtöbb esetben a levegő állandó mozgása következtében a termelési helytől távolabb lesz ismét felhasználva.

Minden olyan erdőművelési rendszabálynak tehát, amely a talajélet tevékenységének előmozdítása révén akarja a fák táplálkozását kedvezően befolyásolni, csak nagy területeken és kiterjedt életterekben lehet érvényesülnie. Ezeket tehát kellő eredménnyel csak nagy erdőterületek egyöntetű kezelésénél lehet a siker reményében alkalmazni.

*) Ebermayer adataiból nyert átlagos értékek kikerekítése után.

A lehulló lomb és ágak azután a talaj humusztartalmát fogják gyarapítani. 20 cm-es talajszint súlya, ha kereken 1,5 térfogatsúllyal számolunk, 1 hektár területen 3.000.000 kg. Ennek 1%-os humusztartalma az említett mélységben, ahol mikroorganizmusok tevékenysége a legélénkebb, kereken 30.000 kg lesz, amelynél a *van Bemmelen*-féle szám (58%) segítségével kiszámított széntartalom 17.400 kg-ot fog kitenni. Ha feltételezzük, hogy optimális viszonyok mellett a talaj mikroorganizmusai az elhalt növényi maradványok, kereken 3700 kg szénmennyiséget képviselő szerves anyagát fel tudják dolgozni, akkor a korhadás kereken 0,21%-kal fogja évenként a középkorú és idősebb állományokban a talaj humusztartalmát gyarapítani.

A gyarapodás a valóságban azonban még ennél is több lesz, mert az erdő talajában állati lények is élnek, amelyek évről-évre elhalnak és így ezzel a talaj humusztartalmát gyarapítják. Miután pedig a vágásnál nagyon gyakran a gyökfőt is visszahagyjuk és a vastagabb ágak jelentékeny része is visszamarad, kb. 0,20—0,30%-ra becsülhetjük azt a humuszmennyiséget, amellyel egy középkorú erdő élettere talaját gazdagítja, ha ennek élőszervezetei a lehullott és elhalt anyagot teljesen fel tudják dolgozni. Természetesen ez az érték az állományok faji összetétele, záródása és a talaj élettevékenységének különböző fokai szerint fog változni. A fenti adatokat tehát csak megközelítő értelemben lehet használnunk. Fiatalabb állományoknál, ahol a korona és a rajta lévő leveleknek az aránya változik, de egyúttal az aljnövényzet is dúsabbá válik, a kép szintén változhatik.

Boysen-Jensen szerint egy 12 éves körisállomány teljes szárazanyagtermelése hektáronként 2640 kg-ot tett ki. Ebből a földre jutott:

C.

1. Lombhullás útján	1690 kg/ha
2. Fiatal ágak útján	24 „
3. Az idősebb ágak ledobása útján	320 „

Összesen 2034 kg =

1017 kg szénnel.

A talaj nyersanyagtartalmának gyarapodása az állományok még ennél is fiatalabb korában, amikor a sűrű aljnövényzet zavartalanul kifejlődhetik, még kedvezőbb lesz.

Ez esetben már 50 q-val adhatjuk meg a talajt fedő növényzet földfeletti részeinek száraz súlyát, amely közel 2500 kg C-mennyiségnek fog megfelelni. Ha most itt is a 40%-os gyökérarányszámot vesszük alapul, úgy a kép a következőképen alakul:

C.

1. Lombhullás útján	1690 kg/ha
2. Fiatal, lehullott ágak révén	24 „
3. Az idősebb lehullott ágak révén	320 „
4. Az aljnövényzet földfeletti részeinek korhadása útján	2500 „
5. Az aljnövényzet földalatti részeinek korhadása útján	1000 „
Összesen	5534 kg

Ez a mennyiség pedig, ha a talaj mikroorganizmusai maradék nélkül feldolgozzák, már közel évi 0,30—0,35%-os humusztartalom-gyarapodásnak fog megfelelni.

Hogy az évenként földrejutott korhadó anyagot az erdő hogyan tudja hasznosítani, az a továbbiakban teljesen attól függ, hogy a víz és a hőmérséklet együttes hatása által befolyásolt és szabályozott talajélet hogyan tudja ezt elkorhasztani. Az északi és nyugati humid klíma hatása alatt a bontás munkája legtöbbször hátrányt fog szenvedni. E folyamat természetesen a kellően fel nem dolgozott és savas kémhatású, ú. n. nyers humusztakaró felhalmozódására fog vezetni. Ezért északon a talaj 10—20 cm-es szintjeiben lévő humusztartalom nem is lesz túlságosan nagymérvű. Annál vastagabb lesz azonban a talajt közvetlenül borító nyers humusztakaró, amely a természetes újulatnak egyik jelentékeny akadály, és a belőle anaerob, tehát a levegő kellő mértékben való hozzájutása nélkül keletkező savas természetű termékek a talajba jutva ennek fokozatos romlását idézik elő.

Hazánkban ez az eset csak a magasabb hegyvidékek erdőtalajainak egyes részein következik be. Nálunk legtöbbször, a talajélet olyan kielégítő mérvű, hogy a nyers humuszcéteg kialakulásától nem igen kell tartanunk.

A tarvágás a mi arid klímánk mellett ebből a szempontból nem kedvező. Közvetlenül a vágás után az erdő talaja néha 1—2 évig is csupasz marad, amíg a kellő mennyiségű aljnövényzet a talaj takarásáról és CO_2 megkötéséről nem gondoskodik. A csupaszon maradt területen maradt humusztakaró azután, ha az eső le nem mossa, a talaj hőmérsékletének és sokszor víztartalmának is kedvezőbb alakulása következtében gyors korhadásnak indul és az erdőt természetes széntartalékától idő előtt megfosztja.

Hangsúlyozom azonban, hogy mindezek a megfontolások, miután az őket kellő szabadsággal alátámasztó vizsgálatok még sok tekintetben hiányosak, csak általános tájékoztató jelleggel bírnak. Céljuk inkább az, hogy a figyelmet ezekre az erdő háztartásában mind a mai napig fennálló, sok tekintetben megoldandó kérdésekre felhívja.

A vizsgálatok menetének leírása.

A kérdés fontosságára való tekintettel mi ezen a téren behatóbb vizsgálatokat folytattunk, amelyeknek a folyamán a kérdést lehetőleg a fontosabb ökológiai tényezőkkel való összefüggésében igyekeztünk vizsgálat alá venni.

A kutatások során eleve világos volt előttünk, hogy ennek a bonyolult kérdésnek a megoldásánál célhoz jutni csak akkor fogunk, ha állandó kísérleti területeket azonos vizsgálati módszerekkel hosszabb, tehát több éves időszakra kiterjedő megfigyelési idő alatt teszünk vizsgálat tárgyává. Ezért ezekkel az eredményekkel csak akkor léptünk a nyilvánosság elé, mikor mindegyik kísérleti területünkön már több évre kiterjedő vizsgálati időszak állott rendelkezésünkre.

A vizsgálatokat három kísérleti területen végeztük. 1932 januárjában kezdtük meg az észleléseinket és 1936. év végéig folytattuk őket. Az utolsó vizsgálatokat 1936 novemberében végeztük. A kutatások tervének az összeállításánál két alapvető szempont vezetett bennünket.

Mindenekelőtt megvizsgáltuk a talajélet összefüggését a talajlélekzéssel. Ezután arra törekedtünk, hogy a talajlélekzés mérvét és időszaki lefolyását összhangzásba tudjuk hozni a talajélet megnyilvánulásainak legfontosabb energiaforrásával, a talaj szerves anyagkészletének a változásaival. Meghatároztuk e célból a talaj baktériumainak számát, vizsgáltuk azután a talajlélekzést, tehát a talaj szénsavtermelését, továbbá a levegő szénsavtartalmát, mégpedig 3 m magasságban a talaj szintje felett. Vizsgálat tárgyává tettük ezután a talaj kémhatását és humusztartalmát is. Rendszeresen mértük a talaj víztartalmát és a hőmérsékletét, hogy az egész jelenség lefolyását a fent említett és röviden felvázolt *R*-értékek kialakításával, változásaival is összefüggésbe, ill. összhangzásba hozhassuk.

Általában a talajlélekzést minden hónapban a levegő szénsavtartalmával együtt 2—2 párhuzamos megfigyeléssel minden 10. napon mértük. A többi tényezőt azután egy-, kettő- vagy háromhavi időszakban vettük vizsgálat alá. A talajlélekzés mérése rendszerint a déli órákban folyt le. Így tehát mindig a legmagasabb értékeket kaptuk. A kísérleti területek közül az egyik középkorú lúcfenyves, a másik egy tölgyerdő volt, amelyek mindegyike Sopron környékén, homokos, vályogtalajon feküdt. Ellenőrzésül egy parlagon hagyott, de érintetlen terület szénsavgazdálkodását is mértem. A mérések rendszeres elvégzése természetesen a késő őszi és téli hónapokban elég nehéz és terhes feladat volt. De idővel megfelelő gyakorlatra tettünk szert és így a szabadban való szénsavméréseket kellő biztonsággal és zavartalansággal tudtuk elvégezni.

Az eredmények kiértékelésének módszere.

A növényélettan és talajélettan tudományos módszerei akkor, amikor ezek dinamikus változásait a szabadföldi megfigyelések kapcsán vizsgáljuk, nem könnyen kezelhetők. Még nehezebb és gondosabb körültekintést kíván az eredményeknek megfelelő kiértékelése. Minden gyakorlati erdőgazda tudja, hogy még a legegyszerűbb felépítésű állományoknak összetétele is mennyire változik, mind minőségi, mind pedig mennyiségi szempontból térben és időben egyaránt. Ez a megállapítás, talán még fokozottabb mértékben, a talajra is érvényes. A talaj fizikai és kémiai összetétele és belső felépítése sok vonatkozásában, amint ezt éppen a talajélettan tudománya olyan meggyőzően tudta bebizonyítani, a talaj élő szervezeteinek a munkája következtében térben és időben is jelentékeny változásoknak van alávetve. Ahhoz tehát, hogy akár a térbeli, akár az időbeli változásoknak a menetét és belső összefüggését megismerjük, sok és rendszeresen végzett vizsgálatra van szükségünk. A lényeg azonban mindig az, hogy lehetőleg ugyanazon területet hosszabb időn, mégpedig éveken keresztül azonos módszerekkel vizsgáljuk. A klímateremtők annyira döntően befolyásolják az erdő életterének időben lefolyó életmegnyilvánulásait, hogy az itt fellépő szabályszerű összefüggésekről megközelítő képet csak több év változó klímaviszonyai mellett lefolytatott rendszeres kutatásaink alapján kaphatunk.

A térbeli eltérések viszont akkor jelentkeznek, ha az eredményeket a szabadföldi megfigyeléseknél alkalmazott, módszeres statisztikai és indukzív eljárásokkal akarjuk szemléltetni. Ezeknek a kiértékelésénél tehát az egyes megfigyelések alapján, aszerint, hogy a mintavételnél és a megfigyeléseknél hogyan tudtuk a kérdéses jelenség általános megnyilvánulásait megközelíteni, a jelenség általános lefolyását jelző görbe menetétől kisebb vagy nagyobb eltéréseket kapunk. Minden erdőmérnök a gyakorlatból ismeri azt a szórást, amely akkor, amikor állományainkat akár magasság, akár vastagság szempontjából felvesszük, hogy ezeknek a növedékét állapítsuk meg, mindig jelentkezik. Az erdőbecslés tapasztalatai e téren tanulságos példákat nyújtanak. Így van ez akkor is, ha az erdőnek és talajának, mint összefüggő életternek a megnyilvánulásait vesszük vizsgálat alá.

Az eddigi vizsgálataink közléseinél eddig az összefüggések időbeli ábrázolásánál a nyert eredményeket a maguk eredetiségében a szórás okozta eltérések számításbeli, vagy rajzbeli kiegyenlítése nélkül ábrázoltuk.

A mostani vizsgálatok eredményeinek az ábrázolásánál a fenti megfontolások alapján ettől eltértem és az eredményeinket feltüntető egyes síkbeli pontok szórását megfelelő rajzbeli kiegyenlítés útján igyekeztem a lehetőség szerint kiküszöbölni, hogy ezáltal ezek szabatos kiértékelését jobban lehetővé tegyem.

Az eredményeket feltüntető görbék tehát kiegyenlített görbék. A csa-

tolt táblázatokban külön-külön adjuk azután meg a tényleg mért adatokat és a kiegyenlített görbék futásának megfelelő értékeket.

Ez utóbbiak figyelembevételével szerkesztettük azután meg az R -értékek, a baktériumszám, a talajlélekzés és humusztartalom változásai közötti összefüggéseket kifejező görbéket.

A kísérleti területek rövid leírása.

Vizsgálatainkat három kísérleti területen végeztük, amelyek Sopron közvetlen környékén fekszenek. Hogy a különböző faji összetételű állományok által alkotott életterek viselkedését össze tudjuk hasonlítani, elsősorban egy középkorú, 50—60 év körüli erdeifenyővel elegyes lúcfenyves talaját vizsgáltuk. Ennek a talaja, mint a többié, közepesen kötött vályogtalaj. Maximális vízbefogadóképessége 28%. E területen a talajlélekzést, a levegő szénsavtartalmát, a baktériumok számát, és az R -értékek alakulását mértük.

E terület talaját viszonylag elég bő aljnövényzet borította, amely körülmény a nem teljesen kialakult záródásra és a terület szabad állására vezethető vissza. Három oldalon szabad lévén, a fény hatásának jobban ki volt téve, és erre vezethető vissza az aljnövényzet erőteljesebb kifejlődése.

A második kísérleti területünk szintén középkorú, közepesen zárult kocsánytalan tölgyerdő volt, Sopron közvetlen közelében. Ezt már nagyobb összefüggő állomány borította, de talaján közepes záródás következtében szintén elég dús aljnövényzet fejlődött ki. Itt az előbbi kísérleti területnél említett tényezőkön kívül már a humusztartalom változásait is rendszeresen vizsgáltuk. Ezzel a két területtel párhuzamosan egy parlagon hagyott, a botanikus kertben fekvő szabadföldi kísérleti területet is vizsgáltunk, amelynek a növényzetét már évek óta érintetlenül hagytuk, úgyhogy az anyagcserekörfolyamatok itt is zavartalanul folyhassanak le. E két utóbbi területnek a talaja szintén vályogtalaj volt, kb. 28%-os maximális vízkapacitással. Ez utóbbi területen a talajlélekzésnek, a levegő szénsavtartalmának, a baktériumok számának, a humusztartalomnak, a talaj kémhatásának a változását és az R -értékeknek időszakos alakulását mértük.

Azokról az általános törvényszerűségekről, amelyeket az R -törvénnyel kapcsolatban e területek vizsgálatánál nyertünk, már e folyóirat hasábjain, egy előző értekezésemben részletesen szóltam. Ott vázoltam fel azokat a belső összefüggéseket, amelyek az R -értékek, tehát a talaj hőmérséklete és víztartalma között fennálló komplexhatásnak és a talajélet megnyilvánulásai, továbbá a talaj egyes biofizikai és biokémiai jelenségeinek időszakos változásai között fennállanak. Itt részletesen kitértem a kémhatás időszakos változásaira is, és ugyancsak itt mutattam rá az e téren számba jövő fontosabb szabatos mennyiségbeli összefüggésekre is. Miután e vizsgálatok folyamán a talaj és általában az erdő életterének szengazdálkodásával óhajtottunk

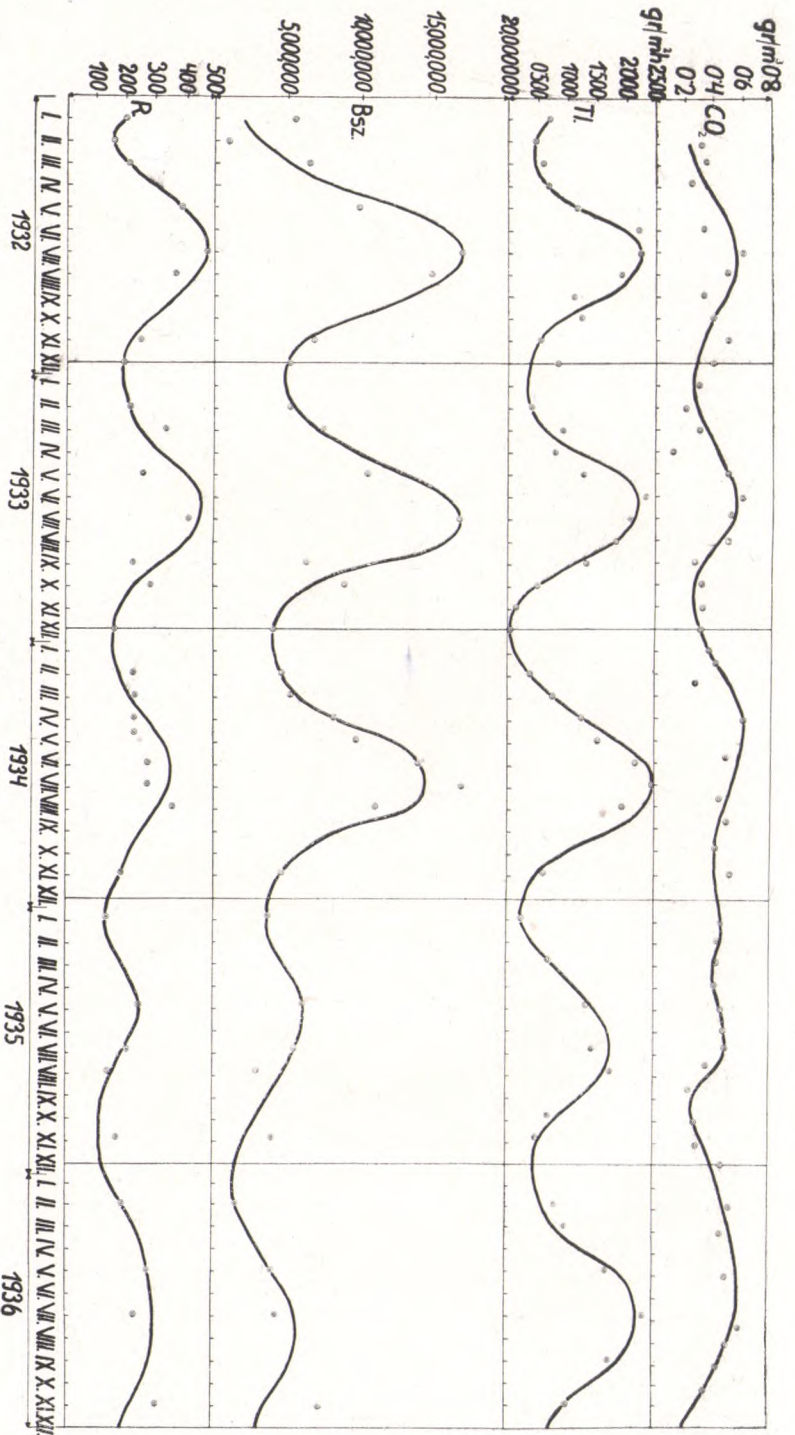
részletesebben foglalkozni, úgy az eredményeket feltüntető képekben az első két kísérleti területnél csak a talajlélekzést, a baktériumok számát és az R -értékeket, illetőleg ezt kiegészítve a kocsánytalan tölgyállomány talajánál a humusztartalom változásait mutattam ki. A parlagon hagyott területnél az összes megvizsgált tényezők változásait mutattam be a korábban már vázolt kiegyenlítési módszer alapján. Lényegileg tehát a főszűrt a talajlélekzés és a baktériumszám, továbbá ez utóbbi, illetőleg a talajlélekzés és a humusztartalom értékei közötti összefüggések felderítésére fektettem. A vizsgálati módszerekről nem szólok részletesebben, mert ezeket az irodalmi összefoglalásban megadott munkáinkban már úgyis behatóan és részletesen ismertettem. Itt mindössze csak annyit óhajtok megjegyezni, hogy mind a talajlélekzést, mind a levegő szénsavtartalmát a *Lundegardh*-féle volumetrikus készülékkel mértük. A humusztartalmat a kaliumbichromatos eljárással, a baktérium és gombák számát lemezöntéses módszerrel, a talaj kémhatását pedig elektrometrikus úton chinhydron elektródával határoztuk meg.

A vizsgálati eredmények összehasonlító tárgyalása.

Az 1. sz. képen a középkorú lúcfenyves talajában vizsgált baktériumok számának, azután a talajlélekzésnek, a levegő szénsavtartalmának és az R -értékeknek az időszakos változásait tüntettem fel havi átlagadatokban. A kép világosan mutatja és igazolja egyrészt a talajélet e tényezőinek időszakos változásait és másrészt ezen időszakos változásoknak az R -értékekkel való szorosabb kapcsolatát. A talajélet optimális kifejlődését a megvizsgált években mindig az R -értékek változásával párhuzamosan a nyári hónapokban érte el. Ennek megfelelően a nyári hónapokban találtuk a talajlélekzés legmagasabb mérvét és a levegő viszonylag legmagasabb szénsavmennyiségét. Az itt, rajzbeli kiegyenlítéssel kapott értékek alapján szerkesztettük azután meg a következő rajzabrákat.

A 2. sz. képen a mikroorganizmusok mennyiségének az R -értékek szerint vett összefüggését ábrázoltam. Az egyes részleteredményekből itt átlagértékeket képeztünk. A részleteredményeket egyszerű körökkel, az átlagértékeket pedig kétszeres körökkel tüntettük fel. Az átlageredményeket úgy képeztük, hogy az egyes R -értékeknek megfelelő baktériumszámokat az R -értékek huszas csoportja szerint hordtuk fel és e csoportokon belül képeztük az átlagadatokat. Kiindulópontul $R = 100$ értéket vettem. Ez a kép világosan mutatja, hogy a baktériumszámoknak az R -értékek szerint vett csoportosítása, amint ezt az R -törvény értelmezésénél már ismételten bebizonyítottuk, világosan felismerhető exponenciális görbével volt kifejezhető.

A 3. sz. ábrán hasonló elvek szerint a baktériumszám és a talajlélekzés



1. ábra. — Abb. 1.

A levegő szénsavtartalmának, a talaj szénsavtermelésének, a baktériumszámnak és az R-értékeknek időszakos változása a középkeleti lútfenyves által borított kísérleti területen.

Die Änderungen des Luftkohlendioxidgehaltes, der Kohlendioxidproduktion des Bodens, des Bakteriengehaltes und der R-Werte in dem mitteleuropäischen Fichtenbestand.

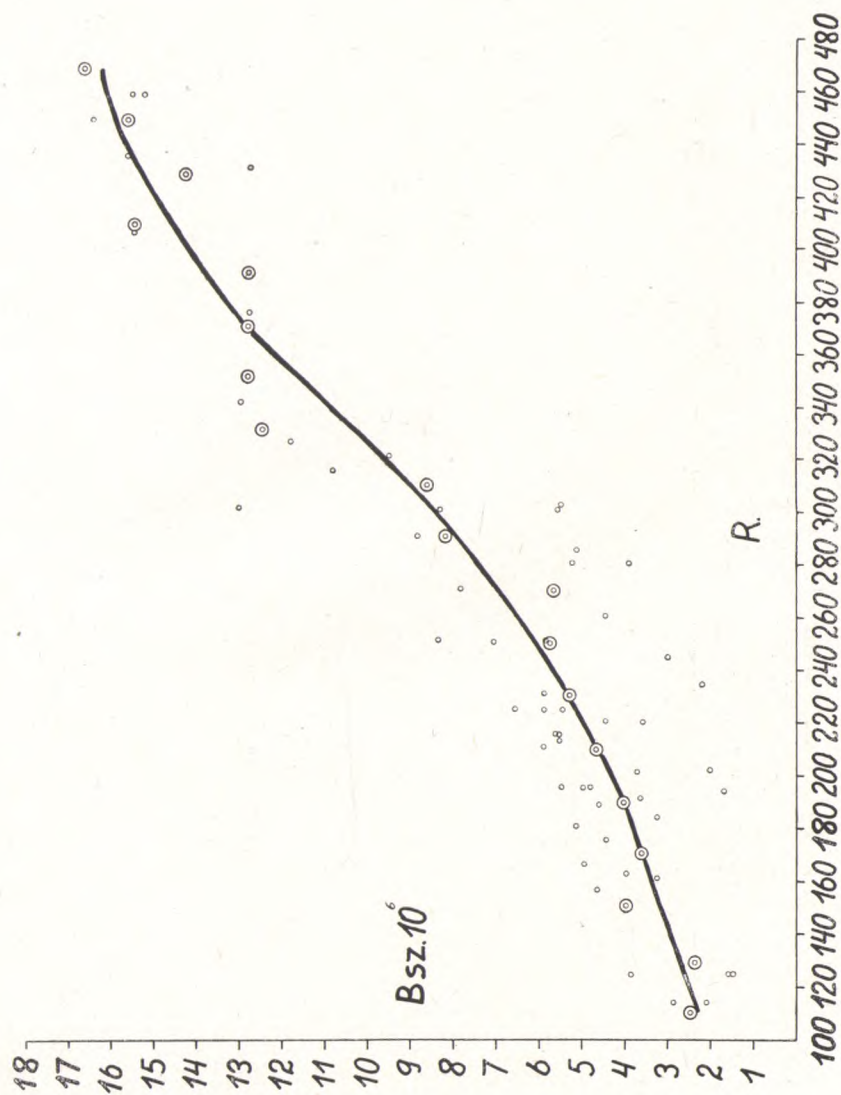
Jelmagyarázat:

Itt és a többi képnél: CO_2 = Levegő szénsavtartalma — Kohlendioxidgehalt der Luft.

Legende:

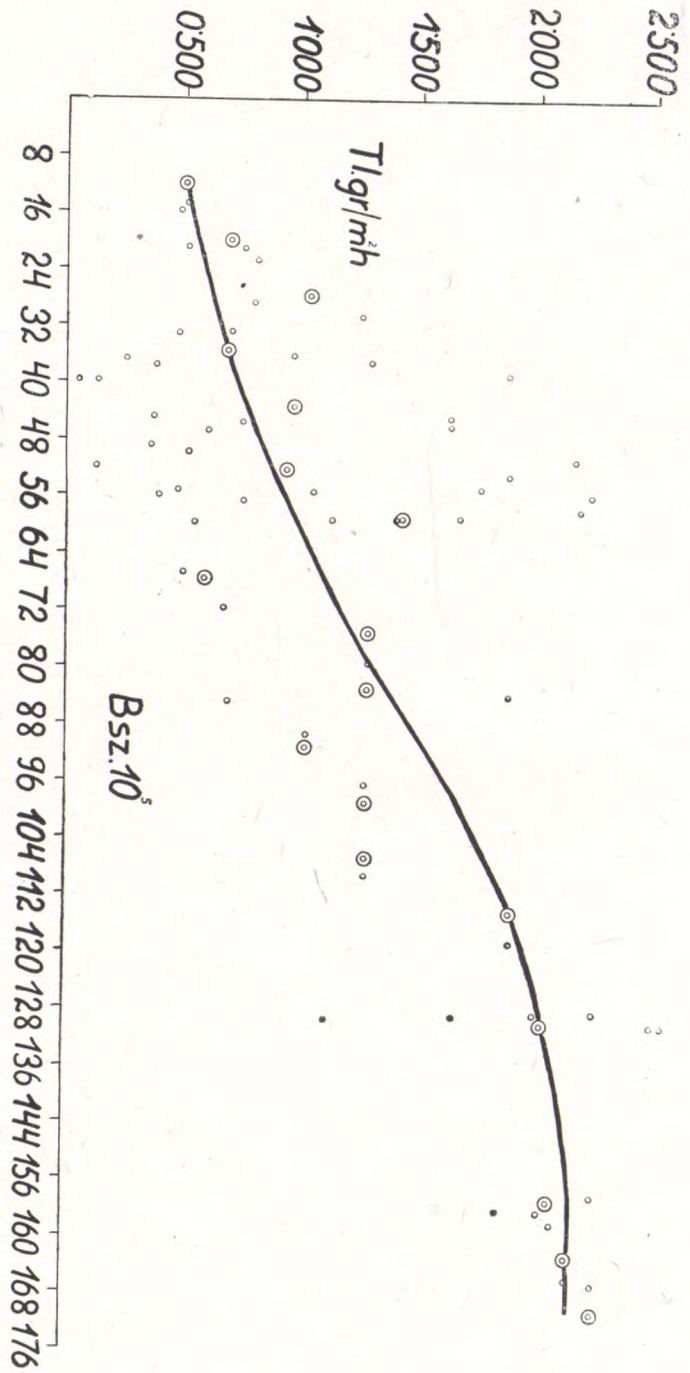
Hier und bei den folgenden Abbildungen: TI = Talajlélekzés — Bodenatmung.

Bsz = Humusztermelés — Humusgehalt.



2. ábra. — Abb. 2.

A talaj baktériumszámának az R -értékekkel való összefüggése a lúcfenyvesben.
Der Zusammenhang zwischen Bakteriengehalt und R -Werten in dem Fichtenwald



3. ábra. — Abb. 3.

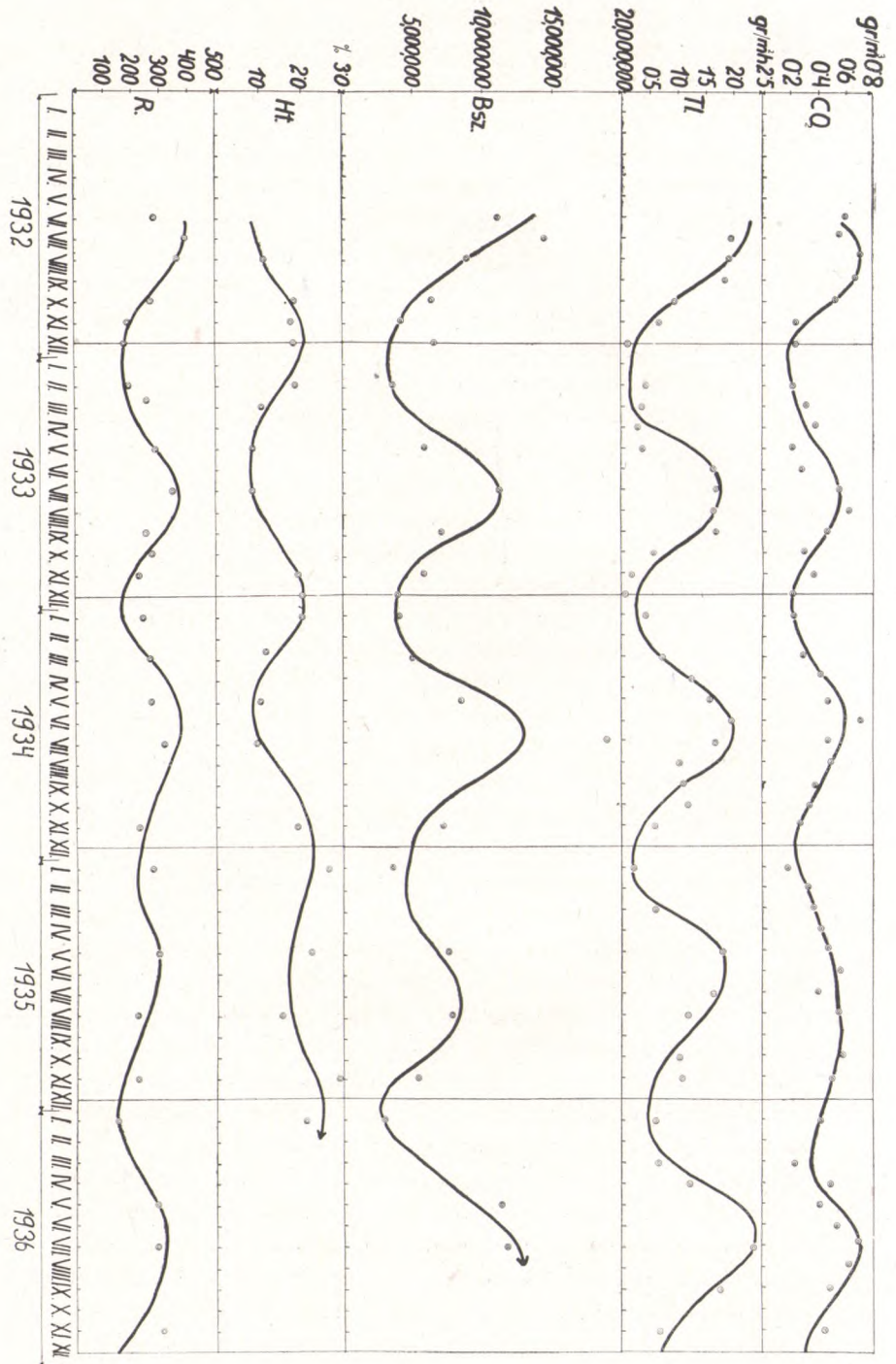
A talajlélekzés és a baktériumszámok közötti összefüggés a középkorú lucfenyvesben.
Der Zusammenhang zwischen Bodenatmung und Bakteriengehalt in dem Fichtenwald.

közötti összefüggéseket mutattuk be. Itt szintén az átlagadatokat képeztük. Az alacsonyabb baktériumszámoknál mutatkozó, viszonylag nagyobb mérvű szórástól eltekintve, az összefüggés exponenciális jellege itt is világosan megállapítható. E három kép kiszámításánál alapul vett adatokat tünteti fel az 1. sz. táblázat.

A 4. sz. képen a középkorú tölgyerdő talajéletének időszakos változásait mutattam be. Eltérőleg az előző kísérleti területeink talajának életjelenségeit feltüntető képtől, e területnél már a humusztartalom változásait is megadtuk. Az R -értékek, a baktériumszám és a talajlélekzés, továbbá az állomány levegőjének szénsavtartalma közötti összefüggések nagy vonásokban egyeznek az előbbi kísérleti területünknel nyert összefüggésekkel. A humusztartalom változásai, amint ez a dolog természeténél fogva várható is volt, közvetlenül a baktériumszámmal hozhatók összefüggésbe. Nyáron, amikor a talaj mikroflórája a talaj humusztartalmát, mint szerves tápanyagot, nagyjából felhasználja, a humusztartalom majdnem minden évben csökkenni szokott, míg maximális értékeit rendszerint a tél folyamán éri el. Közvetlenül lombhullás után ugyanis még egy bizonyos időnek kell elmúlnia, amíg a mikroszervezetek munkássága következtében a korhadás olyan mérvű lesz, hogy a keletkezett, felbontott, illetőleg elkorhasztott humuszanyagok a talajba bejutnak. A késő őszi és téli bemosás is növeli azután ezeknek a talaj mélyebb szintjeiben levő mennyiségét. Tavasszal és nyáron a talajélet megindulása után a humusztartalom fokozatos csökkenése áll azután be, amely jelenség a mikroorganizmusok anyagfogyasztásával könnyen megmagyarázható.

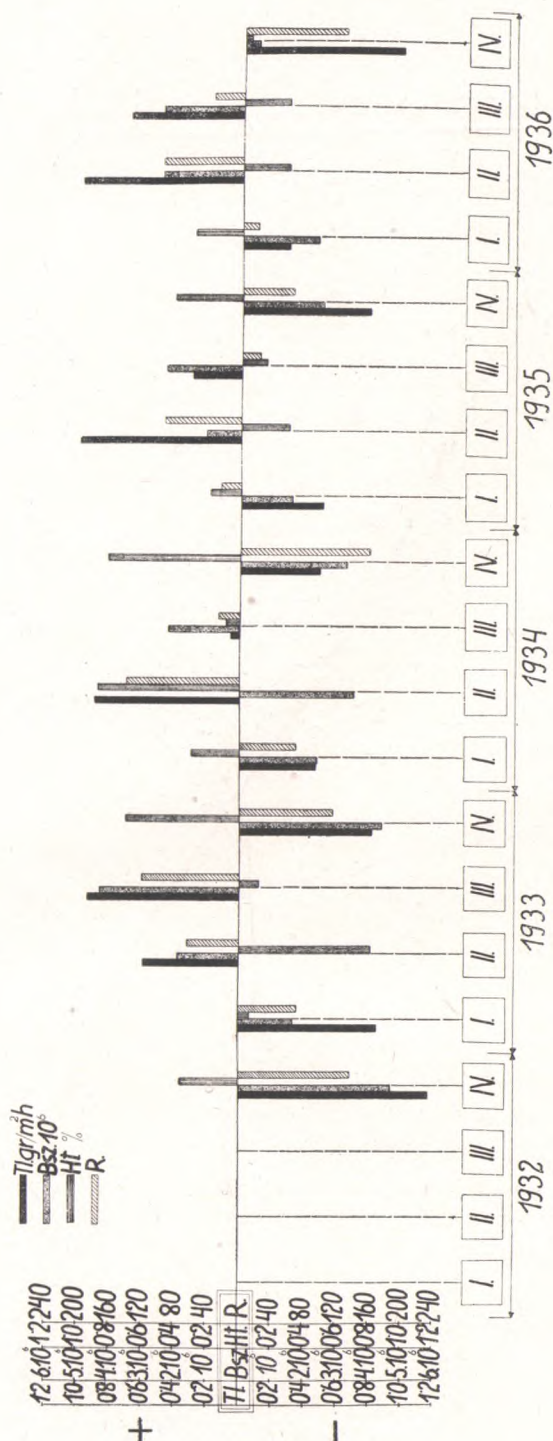
Az 5. sz. ábrában azon célból, hogy az időszakos változások adta különbségeket jobban érzékeltethessem, és ennek változásai évszakok szerint véve is jobban kitűnjenek, az egyes évszakok vizsgálati eredményei között vett átlagos különbségeket tüntettem fel. Itt csak az R -értékek, a baktériumszám, a humusztartalom és a talajlélekzés időszakai átlagadatai között vett különbségeket mutattuk ki. Az egyes, biológiai értelemben vett évszakok határai nem pontosan egyeznek a naptári évekkel. Amint a 2. számú táblázat mutatja, télnek december, január és február havát, tavasznak március, április és május havát, nyárnak június, július és augusztus havát és ősznek szeptember, október és november hónapokat vettük. Ez a kép még az előzőknél is világosabban mutatja a talajélet erős hullámzásait, de mutatja egyúttal a hullámzásoknak az R -értékekkel való összefüggését is.

A 6. sz. képen szintén épen úgy, mint az előző kísérleti területeknél, az R -értékek és a hozzájuk tartozó baktériumszámok közötti összefüggést kifejező exponenciális görbét ábrázoltuk, míg a 7. sz. képen felül a baktériumszámok és a hozzájuk tartozó humusztartalmak közötti összefüggéseket, lent pedig a talajbaktériumtartalom, illetőleg ennek változásai és a talajlélekzés mérve között fennálló exponenciális görbét mutattam be.



4. ábra. — Abb. 4.

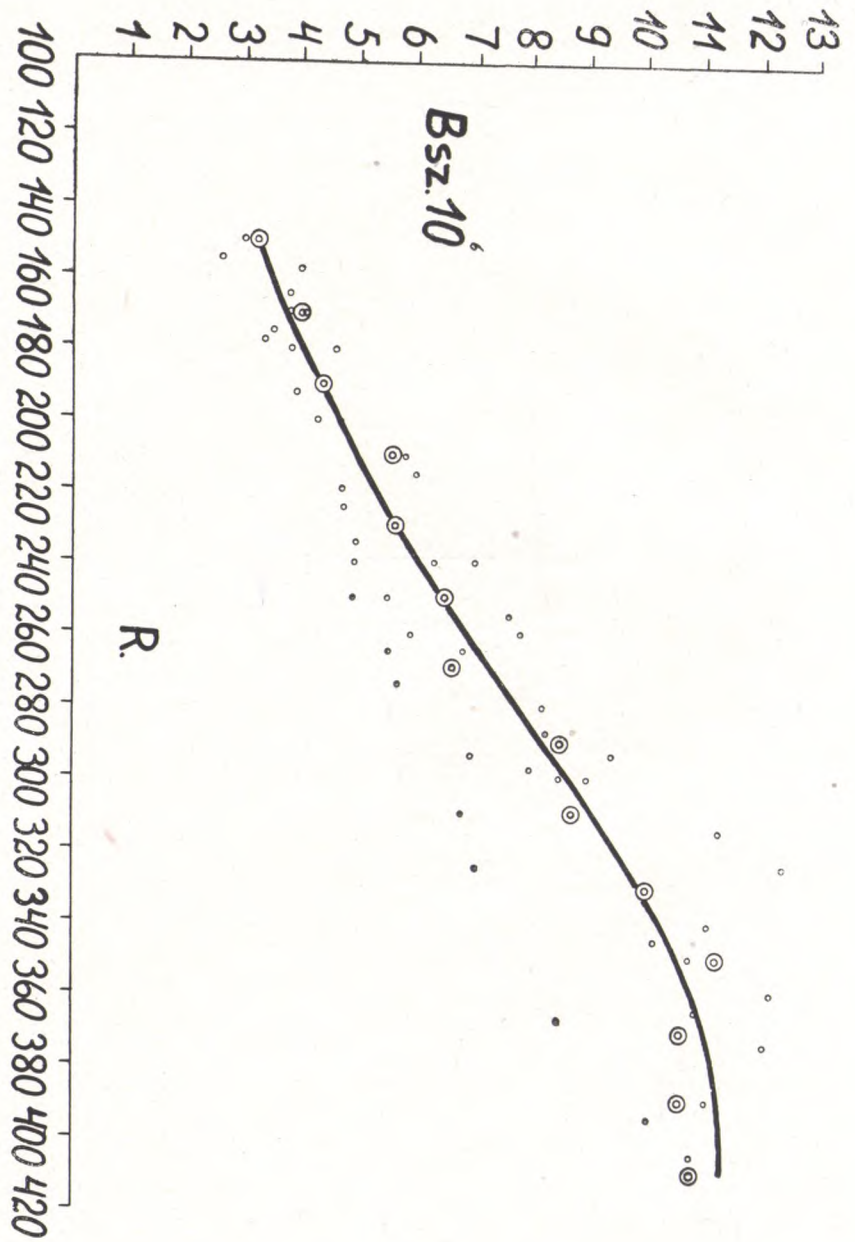
A talajjeltekzés, a levegő szénsavtartalmának, a baktériumszámának, a humusztartalomnak és az R-értékeknek változása a középkorú kocsánytalantölgy állományban.
Die zeitlichen Änderungen des Luftkohlensäuregehaltes der Bodenatmung, des Bakteriengehaltes, des Humusgehaltes und der R-Werte in dem mitteltalrigen Traubeneichenbestand.



5. ábra. — Abb. 5.

A talajjélekezés, a baktériumszám, a humusztartalom és az R -értékek évszakok szerint vett változásainak különbségei a tölgyesben.
Die Differenzen der jahreszeitlichen Änderungen der Bodenatmung, des Bakteriengehaltes, des Humusgehaltes und der R -Werte in dem Traubeneichenbestand.

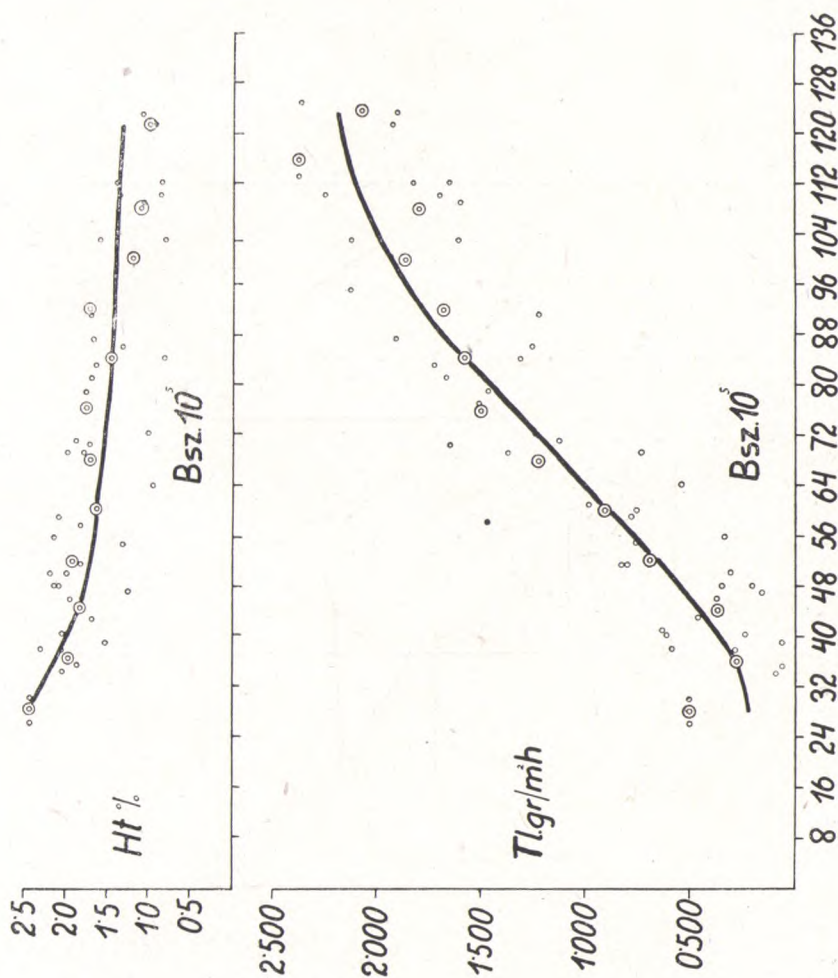
I. = Tél — Winter. II. = Tavasz — Frühjahr. III. = Nyár — Sommer. IV. = Ősz — Herbst.



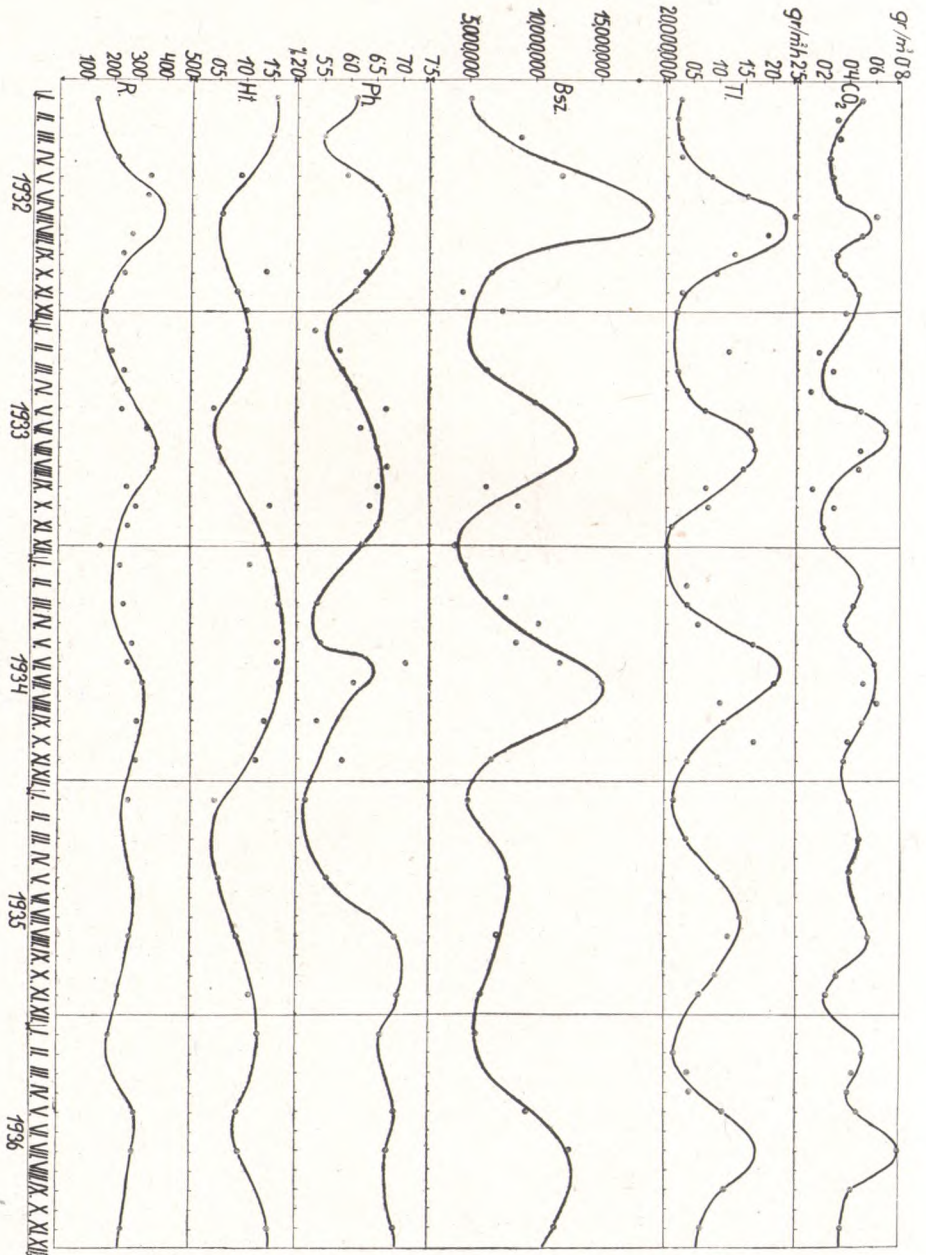
6. ábra. — Abb. 6.

Az R-értékek és a baktériumszám közötti összefüggés a tölgyerdőben.

Der Zusammenhang zwischen R-Werten und Bakteriengehalt im Traubeneichenbestand.



7. ábra. — Abb. 7.
Fent a humus tartalom változásai és a baktériumszám közötti, lent pedig a talajlélekzés és a baktériumszám közötti összefüggés a tölgyerdőben.
Oben der Zusammenhang zwischen den Änderungen des Humusgehaltes und den Bakterienzahlen, unten der Zusammenhang zwischen Bodenatmung und Bakteriengehalt in dem Traubeneichenbestand.



8. ábra. — Abb. 8.

A levegő szénsavtartalmának, a talajlelekezésnek, a baktériumszámának, a pH-értékeknek, a humusztartalomnak és az R-értékeknek időszakos változásai a parlagon hagyott kísérleti területeken.
Die zeitlichen Änderungen des Luftkohlendioxidgehaltes der Bodenatmung, des Bakteriengehaltes, der pH-Werte, des Humusgehaltes und der R-Werte auf der brachliegenden Versuchsfäche.

1. sz. táblázat. — Tabelle 1.

A középkorú lúcfenyves vizsgálati adatai. — Die Beobachtungsergebnisse des mittelaltrigen Fichtenbestandes.

I d ő Zeitpunkt	Mért adatok havi középértékben Gemessene Daten in Monatsmittelwerten			Kiegyenlített adatok Ausgegichene Daten		
	Talajlélekzés gr/m ² h Boden- atmung gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben Bakteriengehalt per 1 gr Boden	R	Talajlélekzés gr/m ² h Boden- atmung gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben Bakteriengehalt per 1 gr Boden	** R
1932. I.	0·695	5,500.000	202	0·695	2,000.000	202
II.	0·470	1,030.000	160	0·470	3,300.000	160
III.	0·598	6,530.000	212	0·470	5,500.000	212
IV.	0·674	—	—	0·674	8,500.000	300
V.	1·161	9,800.000	392	1·161	13,000.000	390
VI.	2·225	—	—	2·000	15,800.000	460
VII.	2·280	16,900.000	476	2·225	16,900.000	470
VIII.	1·918	14,800.000	369	2·050	15,900.000	435
IX.	1·119	—	—	1·619	13,000.000	375
X.	1·257	—	—	0·980	9,000.000	290
XI.	0·542	6,840.000	252	0·542	6,000.000	225
XII.	0·849	5,160.000	194	0·500	5,000.000	194
1933. I.	—	—	—	0·340	4,900.000	194
II.	0·390	5,195.000	215	0·390	5,600.000	215
III.	0·929	7,433.000	336	0·660	7,200.000	250
IV.	0·795	—	—	1·250	9,700.000	320
V.	1·283	10,450.000	258	1·980	13,000.000	425
VI.	2·338	—	—	2·220	15,500.000	460
VII.	2·074	16,700.000	414	2·120	16,700.000	450
VIII.	1·820	—	—	1·820	15,700.000	405
IX.	1·332	6,364.000	226	1·250	11,000.000	315
X.	0·492	8,890.000	282	0·492	6,700.000	225
XI.	0·122	—	—	0·122	5,200.000	180
XII.	0·028	4,000.000	161	0·028	4,000.000	161
1934. I.	—	—	—	0·125	4,000.000	150
II.	0·365	4,600.000	226	0·365	4,500.000	175
III.	0·746	5,200.000	230	0·746	5,700.000	215
IV.	1·274	8,140.000	228	1·274	8,000.000	270
V.	1·519	9,700.000	229	1·875	12,000.000	325
VI.	2·168	13,000.000	276	2·220	13,000.000	350
VII.	2·511	17,100.000	273	2·511	13,200.000	340
VIII.	1·919	11,000.000	357	2·470	13,200.000	300
IX.	—	—	—	1·875	8,500.000	250
X.	—	—	—	1·120	6,000.000	210
XI.	0·590	4,700.000	187	0·590	4,700.000	187
XII.	—	—	—	0·500	5,000.000	165
1935. I.	0·188	3,700.000	190	0·250	3,700.000	190
II.	—	—	—	0·375	3,800.000	200
III.	0·699	—	—	0·733	4,600.000	220
IV.	—	—	—	1·040	5,600.000	225
V.	1·333	6,100.000	252	1·390	6,000.000	250
VI.	—	—	—	1·670	6,000.000	230
VII.	1·435	5,600.000	209	1·750	5,600.000	195
VIII.	1·757	3,000.000	146	1·625	4,700.000	155
IX.	—	—	—	1·290	3,900.000	125
X.	0·696	—	—	0·790	2,900.000	115
XI.	0·509	4,000.000	174	0·509	2,100.000	115
XII.	—	—	—	0·480	1,600.000	125

* h = óra — Stunde. ** az R-értékek képzésénél a talajhőmérséklet adatait negatív értékek elkerülése céljából +10-zel növeltük. — Bei der Berechnung der R-Werte wurden die Daten der Bodentemperatur zwecks Vermeidung negativer Werte mit +10 vergrößert.

I d ő Zeitpunkt	Mért adatok havi középértékben Gemessene Daten in Monatsmittelwerten			Kiegyenlített adatok Ausgegliche Daten		
	Talajlélekzés gr/m ² h Boden- atmung gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben Bakteriengehalt per 1 gr Boden	R	Talajlélekzés gr/m ² h Boden- atmung gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben Bakteriengehalt per 1 gr Boden	R
1936. I.	—	—	—	0·500	1,500.000	125
II.	0·815	1,600.000	193	0·750	1,700.000	195
III.	0·999	—	—	0·810	2,300.000	235
IV.	—	—	—	1·250	3,100.000	245
V.	1·698	4,000.000	280	1·875	4,000.000	280
VI.	—	—	—	2·150	5,300.000	285
VII.	2·388	4,300.000	234	2·220	5,700.000	302
VIII.	—	—	—	2·175	5,800.000	300
IX.	1·783	—	—	1·875	5,400.000	280
X.	—	—	—	1·375	4,600.000	260
XI.	1·027	7,900.000	310	0·960	3,700.000	220
XII.	—	—	—	0·700	3,300.000	185

A rajzok szerkesztésénél alapul vett adatokat itt a 2. sz. táblázatban foglaltuk össze.

A parlagon hagyott szabadföldi terület talajának időszakos biováltozásait a talajbaktériumok számára, *pH*-értékeire, humusztartalmára, talajlélekzésére és a levegő szénsavtartalmára vonatkozólag a 8. sz. képen mutatom be. Eltérőleg az eddig tárgyalt kísérleti területektől, itt teljesség kedvéért a *pH*-értékek változásait is felvázoltam. Amint erre már ismételtén úgy magam, mint munkatársaim rámutattunk, a talaj kémhatásának a változásai a talaj életének időszakos megnyilvánulásaiával szoros összefüggésben vannak. A fő tenyészteti időszakban, tehát nálunk a nyár folyamán, amikor a baktériumélet a legtevékenyebb, természetesen a talaj humusztartalma fogy. Néhány kivételtől eltekintve, amelyet úgylátszik helyi körülmények hoznak létre, amint említettem, a humusztartalom maximális értékeit rendszerint a tél, a késő ősz, vagy a kora tavasz folyamán találjuk. A humusztartalom ingadozásai, tehát a baktériumélet ingadozásaiával ellentétes képet mutatnak. A talaj kémhatásának a változásai viszont összefüggésben vannak a talaj humusztartalmának alakulásával.

Az előbb mondottak alapján nem szorul külön magyarázatra, hogy a *pH*-értékek maximális értéküket legtöbbször a baktériumélet optimális kifejlődésével együtt nyáron érik el. Természetesen itt is hangsúlyoznom kell, hogy a baktériumélet változásait elsősorban az *R*-tényező alakulása befolyásolja, és így azután megint csak az *R*-tényező fog közvetve a talaj kémhatásának változásaira is befolyást gyakorolni. E jelenségnél azonban kétségkívül a nem tisztán biológiai tényezők befolyását is tekintetbe kell vennünk és így a most mondottakat csak nagy vonásokban, a kivételeknek és eltéréseknek mindig helyet és lehetőséget hagyva, kell irányadóul vennünk. Hogy Közép-Európában az erdőtalajok kémhatásának a változásai

2. sz. táblázat. --- Tabelle 2.

A középkorú kocsánytalan tölgyes vizsgálati adatai. — Die Beobachtungsergebnisse des mittellatrigen Traubeneichenbestandes.

Idő Zeitpunkt	Mért adatok havi középértékekben Gemessene Daten in Monatsmittelwerten				Kiegyenlített adatok Ausgeglichene Daten			
	Talaj- lélekzés gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben	Humusz- tartalom ‰	R	Talaj- lélekzés gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben	Humusz- tartalom ‰	R
	Boden- atmung gr/m ² h	Bakteriengehalt per 1 gr Boden	Humus- gehalt ‰	R	Boden- atmung gr/m ² h	Bakteriengehalt per 1 gr Boden	Humus- gehalt ‰	R
1932. I.	—	—	—	—	—	—	—	—
II.	—	—	—	—	—	—	—	—
III.	—	—	—	—	—	—	—	—
IV.	—	—	—	—	—	—	—	—
V.	—	—	—	—	—	—	—	—
VI.	2'538	11,000.000	2'42	284	2'250	11,000.000	1'33	405
VII.	1'911	14,350.000	—	395	2'125	10,300.000	1'60	395
VIII.	1'869	8,700.000	1'15	367	1'911	8,700.000	1'70	367
IX.	1'669	—	—	—	1'375	6,900.000	1'86	310
X.	0'895	6,300.000	1'82	277	0'800	5,000.000	1'82	250
XI.	0'623	4,315.000	1'73	192	0'610	4,000.000	2'00	192
XII.	0'092	6,633.000	1'82	179	0'092	3,400.000	2'05	179
1933. I.	—	—	—	—	0'060	3,500.000	1'87	175
II.	0'399	3,578.000	1'90	196	0'080	3,900.000	1'53	180
III.	0'320	—	1'10	261	0'160	4,700.000	1'25	200
IV.	0'242	—	—	—	0'540	6,400.000	0'95	240
V.	0'315	6,917.000	0'83	288	1'310	8,400.000	0'83	288
VI.	1'592	—	—	—	1'592	10,300.000	0'78	345
VII.	1'638	11,200.000	0'83	352	1'638	11,200.000	0'83	390
VIII.	1'590	—	—	—	1'590	10,900.000	1'05	350
IX.	1'652	7,100.000	—	256	1'250	8,600.000	1'33	300
X.	0'567	—	—	276	0'750	6,000.000	1'62	260
XI.	0'135	5,880.000	1'94	227	0'375	4,600.000	1'94	180
XII.	0'030	4,000.000	2'04	159	0'230	4,000.000	2'04	159
1934. I.	0'396	4,100.000	2'04	238	0'280	3,800.000	2'04	165
II.	—	—	—	—	0'460	4,300.000	1'66	200
III.	0'698	5,000.000	1'20	264	0'750	5,500.000	1'29	264
IV.	1'232	—	—	—	1'232	7,200.000	1'00	325
V.	1'558	8,500.000	1'04	269	1'690	11,000.000	0'86	365
VI.	1'918	—	—	—	1'918	12,200.000	0'90	375
VII.	1'654	19,000.000	0'90	317	1'900	12,300.000	1'10	360
VIII.	1'003	—	—	—	1'825	11,200.000	1'40	340
IX.	1'056	—	—	—	1'220	9,100.000	1'72	300
X.	1'144	—	—	—	0'730	6,900.000	2'00	265
XI.	0'669	7,200.000	1'83	223	0'335	5,600.000	2'16	250
XII.	—	—	—	—	0'300	5,000.000	2'18	240
1935. I.	0'200	3,500.000	2'46	270	0'200	4,800.000	2'16	220
II.	—	—	—	—	0'350	4,800.000	2'10	225
III.	0'580	—	—	—	0'820	5,000.000	2'00	235
IV.	—	—	—	—	1'470	5,800.000	1'82	275
V.	1'654	7,600.000	2'26	294	1'654	7,050.000	1'72	294
VI.	—	—	—	—	1'670	8,100.000	1'69	297
VII.	1'602	—	—	—	1'730	8,300.000	1'64	280
VIII.	1'153	7,900.000	1'57	219	1'460	7,900.000	1'76	260
IX.	—	—	—	—	1,125	7,100.000	1'90	240

Idő Zeitpunkt	Mért adatok havi középértékben Gemessene Daten in Monatsmittelwerten				Kiegyenlített adatok Ausgeglichene Daten			
	Talaj- lélekzés gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben	Humusz- tartalom ‰	R	Talaj- lélekzés gr/m ² h	Baktériumszám 1 gr nedves földben	Humusz- tartalom ‰	R
	Boden- atmung gr/m ² h	Bakteriengehalt per 1 gr Boden	Humus- gehalt ‰	R	Boden- atmung gr/m ² h	Bakteriengehalt per 1 gr Boden	Humus- gehalt ‰	R
1935. X.	1'001	—	—	—	0'780	5,900.000	2'10	210
XI.	1'038	5,400.000	2 89	215	0'580	3,800.000	2'30	170
XII.	—	—	—	—	0'500	2,600.000	2'43	155
1936. I.	0'584	3,000.000	2.22	196	0'500	3,000.000	2'43	150
II.	—	—	—	—	0'625	4,100.000	—	170
III.	0'616	—	—	—	0'980	6,100.000	—	215
IV.	1'176	—	—	—	1'510	7'700.000	—	255
V.	2'737	11,400.000	—	288	2'125	9,500.000	—	295
VI.	—	—	—	—	2'375	11,400.000	—	315
VII.	2'320	11,800.000	—	290	2'320	12,500.000	—	325
VIII.	—	—	—	—	2'000	—	—	310
IX.	1'777	—	—	—	1'510	—	—	290
X.	—	—	—	—	1'350	—	—	265
XI.	0'669	—	—	—	0'875	—	—	200
XII.	—	—	—	—	0'620	—	—	150

optimális, tehát a növény- és talajéletre legkedvezőbb értékeiket a nyár folyamán a talajélet legkedvezőbb kialakulásával egyidőben érik el, azt egyébként legújabbán tőlünk függetlenül *Ellenbergnek**) a közép-németországi erdőkben és *Aszód Lászlónak*, a magyar alföldi erdőkben végzett megfigyelései is világosan beigazolták.

Mindezek az eredmények azt az általunk annakidején első ízben felismert és leírt jelenséget, illetőleg ennek az összefüggésnek, helyességét erősítették meg.

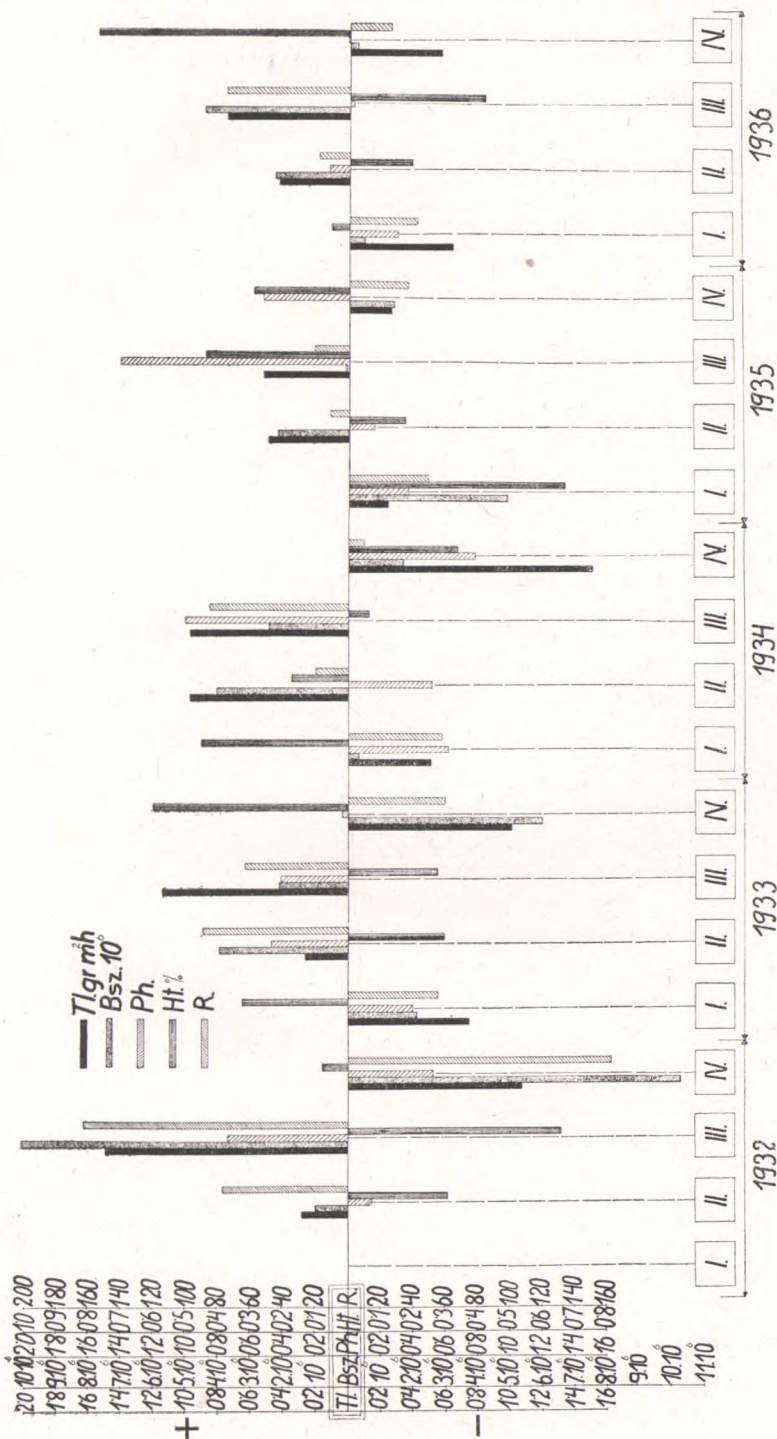
A 9. sz. képen a talaj baktériumszámainak, *pH*-értékeinek, humusztartalmának, talajlélekzésének és az *R*-értékeknek időszaki különbségeit vázoltam fel az egyes évszakok átlagadatai között vett különbségek alapján.

A 10. sz. képen azután épen úgy, mint a többi kísérleti területeknél, a talaj baktériumszámainak az *R*-értékek változása szerint vett, exponenciális görbével kifejezett összefüggését mutattam be, a 12. sz. ábrában pedig szintén, úgy, mint az előző kísérleti területeknél, a baktériumszám és a talajlélekzés közötti összefüggést ábrázoltam. A képek összeállításánál felhasznált adatokat a 3. sz. táblázatban közlöm.

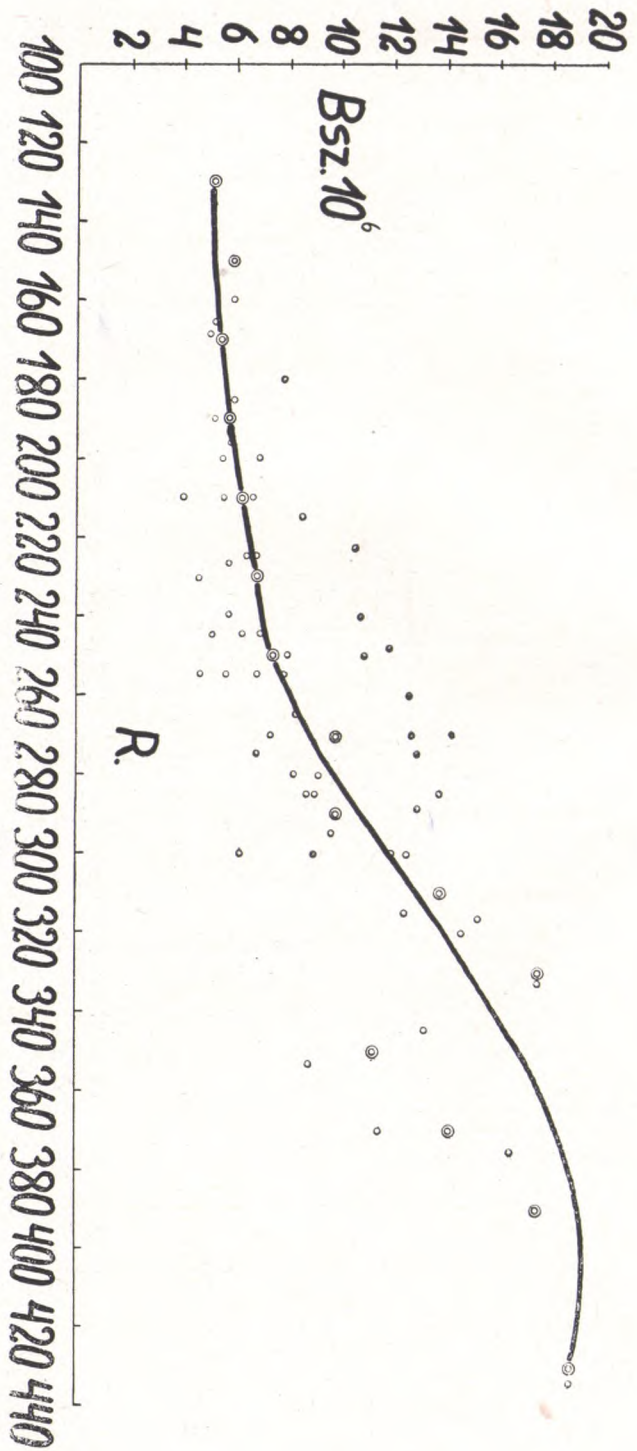
A vizsgálatok eredményeinek összehasonlító tárgyalása.

Miután e folyóirat hasábjain megjelent, előző, részletes közleményemben e területek talajában lefolyó mikrobiológiai, biofizikai és biokémiai változások időszakos jellegét és azoknak a víz és hőmérséklet kölcsönös hatásával való szabatos összefüggéseit már kimutattam, úgy e jelenségekről itt bővebben nem fogok szólni. Mindössze csak annak a megjegyzésére szo-

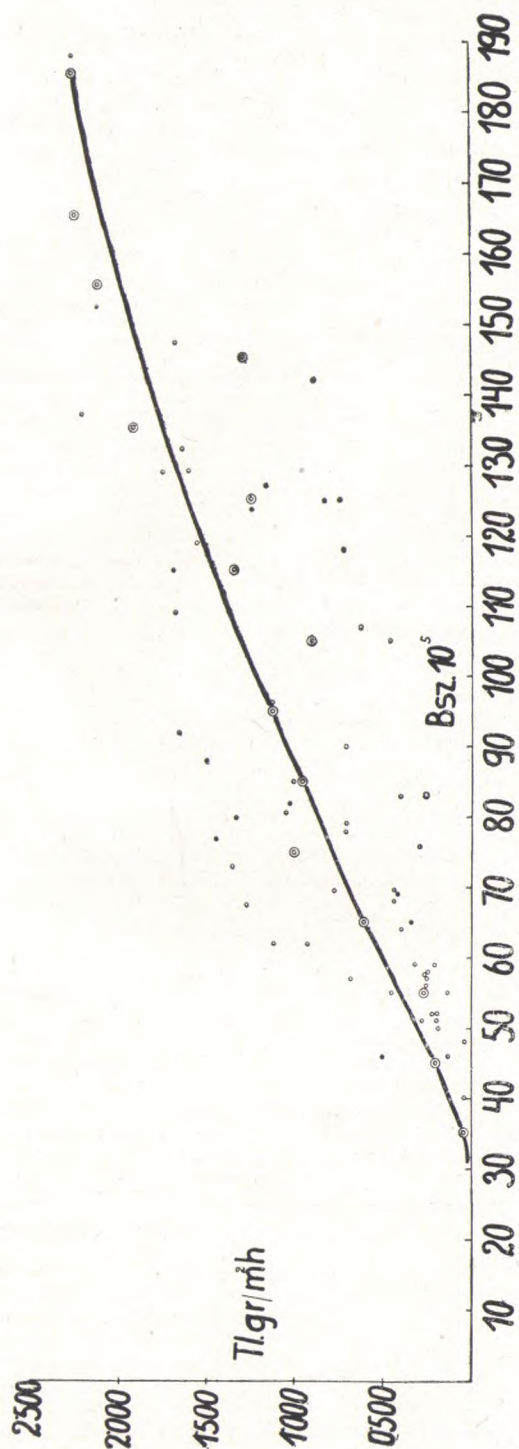
Ellenberg szószerint a következőket írja: In großen Zügen entspricht somit der Jahresgang des Säuregrades dem von Fehér aus verschiedenen Teilen Europas vor allen von ungarischen Waldböden beschriebenen. Az általa észlelt évi szélsőséges ingadozások a következők: 4'94—7'16, 5'98—7'50, 5'89—7'12, 5'33—7'14.



9. ábra. — Abb. 9.
A talajlélekzés, a baktériumszám, a pH-értékek, a humus tartalom és az R-értékek időszakos változásainak különbségei a parlagon hagyott kísérleti területen.
Die Differenzen der Änderungen der Bodenatmung, des Bakteriengehaltes, der pH-Werte, des Humusgehaltes und der R-Werte auf der brachliegenden Versuchsfläche.



10. ábra. — Abb. 10.
Az R-értékek és a baktériumszám közötti összefüggés a parlagon hagyott kísérleti területen.
Der Zusammenhang zwischen R-Werten und Bakterienzahl auf der brachliegenden Versuchsfäche.



11. ábra. — Abb. 11.

A talajlélekzés és a baktériumszám közötti összefüggés a parlagon hagyott kísérleti területen.
Der Zusammenhang zwischen Bodenatmung und Bakteriengehalt auf der brachliegenden Versuchsfläche.

3. sz. táblázat. — Tabelle 3.

A parlagon hagyott terület vizsgálati adatai. — Die Beobachtungsergebnisse der brachliegenden Versuchsfläche.

Idő Zeitpunkt	Mért adatok havi középértékekben Gemessene Daten in Monatsmittelwerten							Kiegyenlített adatok Ausgeglichene Daten						
	Talaj- lélekz. gr/m ₂ h	CO ₂ - gr/m ³	Baktérium- szám 1 gr nedves földben	Gomba- szám	Humusz- tartalom %	pH	R	Talaj- lélekz. gr/m ₂ h	Baktérium- szám 1 gr nedves földben	Humusz- tartalom %	pH	R		
	Boden- atmung gr/m ₂ h	CO ₂ - Gehalt gr/m ³	Bakterien- gehalt per 1 gr Boden	Pilze- gehalt	Humusgehalt %	pH	R	Boden- atmung gr/m ₂ h	Bakterien- gehalt per 1 g Boden	Humusgehalt %	pH	R		
1932. I.	0.272	0.502	5,100.000	—	1.62	6.12	124	0.272	5,100.000	1.62	6.12	134		
II.	0.235	0.311	—	—	—	—	—	0.235	5,800.000	1.60	5.81	160		
III.	0.275	0.334	8,870.000	—	1.56	5.52	142	0.275	7,700.000	1.50	5.52	180		
IV.	0.283	0.252	—	—	—	6.11	223	0.450	10,500.000	1.33	5.68	223		
V.	0.887	0.277	11,980.000	—	0.92	5.96	342	0.887	14,200.000	1.08	6.27	270		
VI.	1.556	6.314	—	—	—	6.65	333	1.556	17,500.000	0.79	6.65	333		
VII.	2.481	0.606	18,800.000	—	0.60	6.75	490	2.275	18,800.000	0.60	6.75	436		
VIII.	1.951	0.501	—	—	—	6.80	269	2.250	16,500.000	0.54	6.80	375		
IX.	1.301	0.313	—	—	—	6.65	232	1.750	9,200.000	0.60	6.65	280		
X.	0.964	0.369	6,700.000	175.000	1.41	6.32	248	0.775	6,700.000	0.73	6.37	225		
XI.	0.308	0.476	4,464.000	122.000	0.83	6.11	191	0.308	5,900.000	0.83	6.07	185		
XII.	0.202	0.380	7,547.000	260.000	1.05	5.72	175	0.202	5,200.000	1.05	5.72	165		
1933. I.	—	—	—	469.000	1.08	5.34	168	0.175	5,000.000	1.08	5.57	168		
II.	1.192	0.172	—	—	—	5.82	201	0.190	5,200.000	1.08	5.63	190		
III.	0.241	0.286	6,420.000	500.000	1.04	5.88	246	0.241	6,420.000	0.98	5.88	225		
IV.	0.394	0.115	—	—	—	6.11	256	0.394	8,300.000	0.77	6.11	265		
V.	0.741	0.496	10,040.000	460.000	0.47	6.69	234	0.741	12,500.000	0.55	6.34	300		
VI.	1.635	0.591	—	—	—	6.23	329	1.635	13,200.000	0.39	6.44	345		
VII.	1.683	0.496	13,200.000	616.000	0.55	6.52	371	1.683	11,500.000	0.55	6.52	371		
VIII.	1.492	0.483	—	—	—	6.70	354	1.492	8,800.000	0.65	6.61	354		
IX.	0.769	0.125	6,364.000	166.000	—	6.54	253	1.125	6,200.000	0.92	6.63	300		
X.	0.815	0.295	8,760.000	290.000	1.50	6.42	291	0.500	4,600.000	1.11	6.58	255		
XI.	0.117	0.208	—	—	—	6.52	260	0.117	4,600.000	1.30	6.45	230		
XII.	0.030	0.286	4,000.000	270.000	1.47	6.24	156	0.030	4,000.000	1.47	6.24	210		
1934. I.	—	—	4,800.000	245.000	1.12	—	230	0.030	4,800.000	1.55	5.92	200		
II.	0.396	0.500	—	—	—	—	—	0.125	5,500.000	1.65	5.60	200		
III.	0.405	0.440	7,900.000	450.000	1.66	5.40	243	0.405	6,900.000	1.66	5.40	200		
IV.	0.612	0.385	10,400.000	348.000	1.95	—	—	1.000	8,500.000	1.68	5.30	215		
V.	1.672	0.500	8,700.000	320.000	1.66	5.48	276	1.672	10,900.000	1.75	5.48	250		
VI.	2.329	0.600	12,000.000	160.000	1.65	7.09	259	2.200	13,700.000	1.73	6.40	285		
VII.	2.200	0.520	15,200.000	250.000	1.69	6.10	317	2.125	15,200.000	1.65	6.38	317		
VIII.	1.056	0.625	—	—	—	—	—	1.675	14,600.000	1.59	5.98	320		
IX.	1.245	0.510	10,400.000	215.000	1.41	5.66	295	1.245	12,400.000	1.47	5.75	315		
X.	1.725	0.400	—	—	—	—	—	0.700	9,000.000	1.30	5.62	300		
XI.	0.429	0.370	6,800.000	216.000	1.25	5.88	291	0.429	6,800.000	1.15	5.43	275		
XII.	—	—	—	—	—	—	—	0.250	5,600.000	0.88	5.31	255		
1935. I.	0.188	0.420	5,100.000	104.000	0.47	5.20	266	0.188	5,100.000	0.65	5.20	245		
II.	—	—	—	—	—	—	—	0.250	5,700.000	0.45	5.18	240		
III.	0.426	0.490	—	—	—	—	—	0.426	6,900.000	0.40	5.22	245		
IV.	—	—	—	—	—	—	—	0.700	7,800.000	0.41	5.37	255		
V.	1.020	0.420	8,200.000	246.000	0.56	5.58	279	1.020	8,200.000	0.56	5.58	279		
VI.	—	—	—	—	—	—	—	1.325	8,000.000	0.67	5.95	285		
VII.	1.440	0.500	—	—	—	—	—	1.440	7,700.000	0.73	6.55	285		
VIII.	1.220	0.560	6,500.000	120.000	0.91	6.91	269	1.350	7,300.000	0.91	6.91	269		
IX.	—	—	—	—	—	—	—	1.275	6,800.000	1.01	7.00	255		

Id ő Zeitpunkt		Mért adatok havi középértékben Gemessene Daten in Monatsmittelwerten							Kiegyenlített adatok Ausgeglichenene Daten					
		Talaj- lélekz. gr/m ² h	CO ₂ gr/m ²	Baktérium- szám 1 gr nedves földben	Gomba- szám	Humusztart. % Humusgehalt %	pH	R	Talaj- lélekz. gr/m ² h	Baktérium- szám 1 gr nedves földben	Humusztart. % Humusgehalt %	pH	R	
		Boden- atmung gr/m ² h	CO ₂ - Gehalt gr/m ²	Bakterien- gehalt per 1 gr Boden	Pilze- gehalt		pH	R	Boden- atmung gr/m ² h	Bakterien- gehalt per 1 gr Boden		pH	R	
1935.	X	0.994	0.320	—	—	—	—	0.925	6,200.000	1.11	7.02	245		
	XI.	0.678	0.240	6,100.000	110.000	1.13	6.95	227	0.678	5,700.000	1.20	6.95	227	
	XII.	—	—	—	—	—	—	0.450	5,500.000	1.25	6.82	210		
1936.	I.	—	—	5,750.000	280.000	1.30	6.63	196	0.250	5,750.000	1.25	6.63	196	
	II.	0.201	0.520	—	—	—	—	0.201	5,900.000	1.23	6.60	190		
	III.	0.458	0.440	—	—	—	—	0.325	6,500.000	1.17	6.70	210		
	IV.	0.484	0.410	—	—	—	—	0.700	7,900.000	1.07	6.81	250		
	V.	1.123	0.480	9,600.000	130.000	0.91	6.90	294	1.123	9,600.000	0.91	6.90	294	
	VI.	—	—	—	—	—	—	1.550	11,900.000	0.82	6.88	300		
	VII.	1.813	0.790	12,900.000	109.000	0.94	6.75	288	1.750	12,900.000	0.94	6.75	288	
	VIII.	—	—	—	—	—	—	1.600	12,900.000	1.12	6.70	275		
	IX.	1.162	0.440	—	—	—	—	1.162	12,700.000	1.28	6.72	270		
	X.	—	—	—	—	—	—	0.825	12,500.000	1.43	6.77	260		
	XI.	0.720	0.360	11,800.000	200.000	1.51	6.88	248	0.720	11,800.000	1.51	6.88	248	
	XII.	—	—	—	—	—	—	0.625	10,700.000	1.50	6.88	240		

ritkozom, hogy a talaj élete természetesen a talaj lélekzését, illetőleg annak szénsavtermelését és annak humuszgazdálkodását közvetlenül befolyásolja és minthogy az *R*-törvény értelmében a talaj víztartalmának és hőmérsékletének komplex, időszakos változásaival van összefüggésben, természetesen a talaj szén-gazdálkodásának is megvannak a maga időszakos változásai. Az eredmények összeállításánál azután, amint említettem, az erdő életterének térbeli eltérései által okozott kilengéseket megfelelő rajzbeli kiegyenlítési eljárással tompítottam. Az egyes részletpontokat összekötő görbék tehát ezúttal kiegyenlítő görbék és a táblázatok adatait részben a kiegyenlített értékek figyelembevételével állítottam össze.

A csatolt képek világosan mutatják, hogy a talaj életének időszakos és az *R*-törvény értelmében lefolyó változásai a talaj lélekzését és humusztartalmát is időszakosan befolyásolják. Természetesen itt sem az időszakok naptári időpontján lesz a hangsúly, hanem a dolgok lényegét a hőmérséklet és a víz kölcsönhatásának a klímátényezők befolyására végbemenő és az *R*-törvény értelmében lefolyó biológiai hatásában kell keresnünk. Általában a talaj mikroorganizmusai élettevékenységük tetőfokát a fenti értelemben nálunk a nyári hónapokban érik el. Hogy ez az élettevékenység milyen fokú lesz, azt rendszerint a talaj víztartalmának az alakulása szabja meg ebben az időszakban. Ezzel ennek megfelelően természetesen a talajlélekzés értéke is ebben az időszakban fogja a legmagasabb értékeit mutatni.

Miután a talaj humusztartalma a talaj mikroorganizmusainak a legszükségesebb szerves tápanyagokat szolgáltatja, úgy világos, hogy ez nyáron, amikor mikroorganizmusok nagy tömegük és fokozott élettevékenység-

güknél fogva ezeket elhasználják, viszonylag a legkisebb lesz. Ősszel és télen, miután egyrészt az őszi lombhullás megint szerves anyagokkal gazdagította a talajt és ezt a hőmérséklet gátló hatása következtében a talaj mikroorganizmusai feldolgozni már nem tudják, a humusztartalom értéke viszonylag magas lesz, míg ezzel ellentétben a talaj baktériumainak és mikroszkópikus gombáinak a száma, élettevékenysége és ezekkel a tényezőkkel együtt a talajlélekzés mérve is csökkenni fog. Hogy ezek a változások milyen évszakokban érik el legmagasabb és legalacsonyabb értékeiket, az természetesen a hőmérséklet és víztényezők összejátékától függ.

Az is természetesen világos, hogy az alacsonyabb levegőszintekben a nagyobb mérvű talajlélekzés e szintek szénsavtartalmát is emelni fogja és e körülmény, amint erre már szintén ismételtén rámutattam, természetesen az újulat növekedése szempontjából lesz előnyös. A több évre kiterjedő és több kísérleti területen lefolytatott vizsgálatok eredményei világosan bizonyítják, hogy a talajlélekzés, tehát a talaj szénsavtermelése közvetlen okozati összefüggésben van a talaj parányszervezeteinek működésével és e mikroorganizmusok szerves tápanyagának, a talaj humusztartalmának a változásaival. Ezeket a változásokat az erdő életterében, ahol külső behatások a természet harmónikus, egybevágó munkáját nem zavarják, és ahol az anyagcserekörfolyamatok hosszú évtizedeken keresztül teljes érintetlenségben játszódnak le, a talaj hőmérsékletének és víztartalmának az együttes komplex befolyása fogja szabályozni. Szabályozni fogja abban az értelemben, ahogy ezt a tényezők működésének kereteit magába foglaló és megmagyarázó *R*-törvény keretei lehetővé teszik. Az eddigi kutatások természetesen csak mindeme jelenségek általános nagyvonalú lefolyását mutatják meg és még nem alkalmasak arra, hogy az időszakos változások pontos és szabatos mennyiségbeli kialakulására is végleges következtetéseket vonjunk.

Egy korábbi, német nyelven megjelent, értekezésemben megkísértem ugyan a most vázolt eredmények alapján e téren is bizonyos szabályos összefüggéseket keresni és találni, azonban a vizsgálati anyag újabb összehasonlító kritikai áttanulmányozása és annak az újabb kiegyenlítő módszerrel való áttanulmányozása meggyőzte arról, hogy a természet tényezőinek rendkívül változatos és nagymérvű idő és térbeli eltérései következtében az eddigi módszerek alapján végzett vizsgálatok és azok eredményei még nem alkalmasak arra, hogy e téren messzebbmenő és biztosabb alapokon nyugvó szabatos, mennyiségbeli következtetésekhez, vagy összefüggésekhez jussunk. Dacára a kutatások hosszú időtartamának és dacára annak a lelkiismeretességnek, amellyel vizsgálatainkat elvégezni igyekeztünk, mégis rá kell mutatnom arra, hogy végleges és szabatos összefüggések felderítéséhez különösen akkor, ha a változások mennyiségbeli nagyságát is meg akarjuk határozni, még az eddigieknél is részletesebb és behatóbb kutatásokra van szükség.

Untersuchungen über die Kohlensäureernährung des Waldes.*)

Von: D. Fehér.

Aus dem Botanischen Institut der kgl. ung. Universität für technische und wirtschaftliche Wissenschaften Sopron, Ungarn.

Einleitung.

Das Holz, das Hauptprodukt der forstwirtschaftlichen Stoffherzeugung, besteht in seinem überwiegenden Teile aus verholzter Cellulose. Die Zusammensetzung der Cellulose ($n[C_6H_{10}O_5]$) ist im ganzen und großen die folgende:

	Reine Cellulose	Verholzte Cellulose
C	44.4%	50.0%
H	6.2%	6.5%
O	49.4%	42.0%
Aschenbestandteile	—	0.5—1.0%

Wir können also im allgemeinen bei unseren Hölzern mit einem 50%-igen Kohlengehalt rechnen. Zu der Erzeugung des jährlichen Zuwachses müssen also unsere Bestände ganz gewaltige Mengen von Kohlensäure verbrauchen. Die Hauptquelle der Kohlensäureernährung des Waldes bildet der Kohlensäuregehalt der Luft, der dann seinerzeit durch die, auf der Erde verlaufenden Zersetzungsprozesse der organischen Stoffe, bzw. durch die, im Laufe dieses vorwiegend biologischen Vorganges gebildeten, Kohlen-säuremengen gespeist und ergänzt wird. Wir wissen es, daß die organischen Reste der toten, abgeworfenen Körperbestandteile der Pflanzen überwiegend durch die Zersetzungstätigkeit der Mikroorganismen verarbeitet werden. Bei diesen Prozessen werden die anorganischen Reste dem Boden zurückgegeben, wobei der Kohlenstoff selbst dann, als Kohlensäure in die Luft gelangen wird. Diese vorwiegend mikrobiologische Kohlensäureerzeugung des Bodens bezeichnen wir als Bodenatmung. Der allgemeine Verlauf der bodenbiologischen Zersetzungsprozesse wird natürlich durch viele Bio-faktoren beeinflußt und auch dann, wenn die Verwesung der organischen Reste unter optimalen Bedingungen verlaufen kann, wird ihre Dauer, da inzwischen viele Übergangs- und Nebenprodukte gebildet werden müssen,

Die Tabellen siehe auf Seite 25, 26, 27, 28, 32, 33 und die Abbildungen auf Seite 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 30, 31 im ungarischen Text.

gewöhnlich verhältnismäßig längere Zeit in Anspruch nehmen. Die Kohlensäureerzeugung des Bodens, oder besser gesagt: die Bodenatmung, wird im Leben der Waldbestände eine ganz besondere Bedeutung erlangen. Heute wissen wir schon, daß dort, wo die grünen Laubkronen der Bäume im vollen Lichtgenusse stehen, den verhältnismäßig geringen Kohlensäuregehalt der Luft (0.03%) fast restlos und mit voller Wirkung ausnützen können. In den Fällen aber, wo das Licht nach unten allmählich abgeschwächt wird, wird der Wirkungswert der Kohlensäure immer beträchtlicher. Hier wird also der erhöhte Kohlensäuregehalt der Luft je nach den verschiedenen Graden der Beschattung immer mehr und mehr ausgenützt werden können. Aus dem Standpunkte der natürlichen Verjüngung, wird also der erhöhten Kohlensäureerzeugung des Bodens eine ganz besondere Wichtigkeit zukommen. Da die Kohlensäure selbst infolge ihres verhältnismäßig hohen spezifischen Gewichtes nur ganz langsam nach aufwärts diffundieren kann, so werden die unteren Luftschichten des Waldes mit Kohlensäure immer mehr und mehr gesättigt. Daß dieser Umstand bei der assimilatorischen Stoffproduktion der nicht im vollen Lichtgenusse lebenden natürlichen Verjüngung von ganz besonderem Nutzen sein kann, ja in vielen Fällen eine ganz besondere Bedeutung erlangen kann, braucht nach den vorher gesagten kaum näher erörtert zu werden müssen.

Die Kohlenstoffernährung des Waldes hat als erster *Ebermayer* studiert. Auf Grund seiner eingehenden Forschungen wissen wir, daß 1 ha eines mittelalterigen Waldbestandes für den Aufbau seines jährlichen stofflichen Zuwachses ungefähr 3040 kg Kohle, bzw. 11.150 kg Kohlensäure benötigen wird. *Lundegardh* gibt den durchschnittlichen Kohlensäuregehalt der Luft mit 0.55 g/m³ Kohlensäure an.

Eine einfache Überlegung wird uns bald davon überzeugen, daß ein mittelalteriger Waldbestand für die Aufnahme von 11.150 kg Kohlensäure jährlich dem Durchzug von 20 Millionen m³ Luft benötigen wird. *Schröder* schätzt den gesamten Kohlensäurebedarf der Pflanzen der Erde auf 60 Billionen kg. Falls der Kreislauf der Natur für den ständigen Ersatz dieser ganz gewaltigen Kohlensäuremengen nicht sorgen könnte, so würde sehr bald ein empfindlicher Mangel auf diesem Gebiete eintreten. Da nach den bisher vorliegenden Beobachtungen der Kohlensäuregehalt der Luft zwischen gewissen Schwankungsgrenzen im allgemeinen durchschnittlich immer der gleiche bleibt, so können wir mit vollem Rechte voraussetzen, daß die verbrauchten Mengen durch die Kohlensäureerzeugung der biologischen Zersetzungsprozesses des Bodens, durch die Atmung der lebenden Wesen des Erdballs und schließlich durch jene Verbrennungsprozesse, die sich in dem alltäglichen Leben der Menschheit sich abspielen und wobei täglich große Mengen von Holz und Kohle verbrannt werden, zur Genüge ersetzt werden.

Bei der Beurteilung der forstwissenschaftlichen Beziehungen dieses Problems dürfen wir — wie ich schon darauf hinwies — nicht außer acht lassen, daß infolge des verhältnismäßig großen, spezifischen Gewichtes der Kohlensäure, diese recht langsam nach aufwärts diffundiert, wodurch ihre normale Strömung, falls die Luft nicht durch warme Strömungen oder durch Windbewegungen in Bewegung gesetzt würde, äußerst träge vor sich gehen müßte. Da die Kohlensäurekonzentration der aufeinanderliegenden Luft-horizonte nach aufwärts ständig abnimmt, so wird natürlich schon dadurch ein gewisses Aufwärtsdiffundieren der Kohlensäure stattfinden. Die richtige Strömung wird aber hauptsächlich durch die Wärmeströmungen und durch die Wirkung des Windes in Gang gesetzt. Durch die letzteren Einflüsse wird die Kohlensäure auch horizontal in Bewegung gesetzt, wodurch ebenfalls ein weiterer Ausgleich erzielt wird. Wir müssen daher bei der Beurteilung dieser Frage immer darauf Bedacht nehmen, daß der Kohlen-säurehaushalt des Waldbodens und der Waldluft nur in den Rahmen größerer Lebensräume beurteilt werden kann. Nur in den unteren Luft-schichten, wo die Windwirkung bereits geringer wird, wird das erhöhte Maß der Kohlensäureerzeugung des Bodens in der Nähe der Erzeugungs-stellen zur Wirkung kommen.

Die maßgebenden Wirkungen der Bodenatmung werden durch ihre biologische Natur gegeben. Wichtig ist dabei, daß der Waldboden selbst sich im guten, physikalisch-chemischen und biologischen Zustande befinden sollte. Besonders wichtig ist die optimale Temperatur und die optimale Sättigung der Wasserkapazität des Bodens, bei der natürlich auch die optimalen Bedingungen der entsprechenden günstigen Durchlüftung des Bodens erfüllt werden müssen. Die günstigen Lebensbedingungen der Mikroorganismen können wir im allgemeinen in folgenden drei Sätzen zusammenfassen:

1. Genügende Mengen von organischen Substanzen, die ihre Nahrung bilden.
2. Optimale Bodentemperatur.
3. Die optimale Sättigung des Wasserhaltungsvermögens, bzw. des optimalen Luftgehaltes des Porenvolumens des Bodens.

Wie Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit in ihrem komplexen Zusammenwirken das Bodenleben beeinflussen, habe ich bereits in dieser Zeitschrift ausführlich behandelt. Ich erörtere hier auch die Grundlagen des *R*-Gesetzes, nach dessen Grundsätzen diese komplexe Temperatur und Wasserwirkung zur Geltung kommt. Ich möchte hier nur darauf hinweisen, daß für die günstige Gestaltung des Bodenlebens die optimale Bodentemperatur bei zirka 25—26° C und die optimale Sättigung der Wasserkapazität bei ungefähr 65—70% Sättigungsgrad dieses Faktors liegen. In der letzten Zeit haben u. a. auch die Untersuchungen von *Stokes* diese Ergebnisse bestätigt. Ich möchte darauf hinweisen, daß auch die meisten höheren

Pflanzen, darunter auch unsere Waldbäume, ihre optimale Lebenstätigkeit gleichfalls bei einer 60—80% Sättigung der Wasserkapazität des Bodens entfalten. Es sind natürlich zwischen dem Verhalten der einzelnen Pflanzenarten gewisse Unterschiede vorhanden, der allgemeinen Rahmen dieser überaus wichtigen biologischen Tätigkeit der niederen und der höheren pflanzlichen Organismen des Lebensraumes des Waldes wurde aber durch die weise Voraussicht der Natur im großzügiger, gegenseitiger Übereinstimmung angelegt.

Auf Grund des *R*-Gesetzes wissen wir aber auch, daß die allgemeine Linie und der normale Gang des Bodenlebens und der Lebensäußerungen des Lebensraumes des Waldes überhaupt, durch einen komplexen Faktor geregelt wird, der durch die einfache Multiplikation der Temperatur und der prozentuellen Sättigungsgrade des jeweiligen Wasserhaltungsvermögens des Bodens gebildet wird. Wir bezeichneten diesen komplexen Faktor als den *R*-Faktor. Der klare Aufbau des *R*-Gesetzes besagt auch, daß solange, bis die beiden Komponenten dieses Faktors ihre Optimumgrenzen noch nicht überschritten haben, die Erhöhung der *R*-Werte auch immer eine Erhöhung der Lebenstätigkeit des Lebensraumes des Waldes hervorrufen wird. Sie wird erst dann hemmend wirken, wenn einer der beiden Komponenten ihr Optimum überschritten haben. In diesem Falle wird dann die Erhöhung der *R*-Werte ihre hemmende Wirkung immer mehr und mehr zur Geltung kommen lassen.

Bei unseren Klimaverhältnissen ist es meistens sehr selten, daß die Bodentemperatur ihre optimale Temperaturgrenze überschreiten wird. In jener Tiefe des Bodens, wo das intensivste Bodenleben stattfindet, wird diese optimale Temperaturgrenze, auch selbst in den tropischen Waldböden, die gewöhnlich recht stark beschattet werden, nur selten überschritten werden. Sie wird auch in den Wüstenböden, wie dies unsere Messungen zeigen, in den 20—30 cm tief liegenden Horizonten des Bodens nur in den heißesten Monaten überschritten werden. Hier haben wir infolge der starken nächtlichen Abkühlung meistens auch noch mit starken Schwankungen der Bodentemperatur zu tun. (18)

Der Wasserfaktor wird aber namentlich in den Herbst-, Frühjahr- und Wintermonaten ihre optimale Grenze schon öfters überschreiten können. Er kann also in vielen Fällen seine hemmende Wirkung fühlbar machen lassen. In den Sommermonaten bleibt er gewöhnlich unter seiner Optimumgrenze und gerade in dieser Jahreszeit, wo die Temperatur am günstigsten ist, wird er dann das Bodenleben ungünstig beeinflussen. In den mitteleuropäischen Waldböden, namentlich unter den klimatischen Verhältnissen von Ost- und Südost-Europa, wird es oft vorkommen, daß die alljährlich abfallenden Pflanzenreste fast restlos verarbeitet werden. In Nord-Europa dagegen, wo die überoptimale Sättigung der Wasserkapazität gepaart mit

den niedrigeren Temperaturen, die volle Entwicklung des Bodenlebens mehr oder weniger beschränken wird, werden dann die biologischen Zersetzungs Vorgänge des Bodens derart verlangsamt, bzw. ungünstig beeinflusst, daß hier später oder früher zu der Bildung der bekannten saueren Humusdecke kommen wird. Wir kennen ja die weiteren schädlichen und üblen Folgen dieses Vorganges. Erschwert wird dieser Umstand noch auch dadurch, daß in der Hauptvegetationszeit oft eine überaus starke Austrocknung der Humusdecke erfolgt, die das Bodenleben auch in diesen Monaten recht ungünstig beeinflussen wird. Es ist übrigens interessant, daß in den tropischen Waldböden die Humuszersetzung unter Umständen ebenfalls ungünstig verlaufen kann. Hier haben wir mit einem, dem Verhalten unserer ariden mitteleuropäischen Waldböden umgekehrten Vorgang zu tun. Die Hauptvegetationsperiode der tropischen Urwaldböden fällt gewöhnlich zeitlich immer mit den alljährlichen Regenperioden zusammen. Da diese Perioden ausgiebige Regen bringen, so wird dadurch in diesen Böden in vielen Fällen wieder eine überoptimale Sättigung der Wasserkapazität des Bodens eintreten. Dieser Faktor wird daher trotz der sonst günstigen Bodentemperatur auch hier seine hemmende Wirkung ausüben. Alle diese Einflüsse kommen dann natürlich bei der Bodenatmung, bzw. bei der Kohlensäureerzeugung des Waldbodens, die ja als eine resultierende Erscheinung der gesamten Zersetzungstätigkeit der Mikroflora des Waldbodens aufgefaßt werden kann, zur Geltung.

Ich habe schon darauf hingewiesen, daß der Bodenatmung, bzw. durch die dadurch erzeugten Kohlensäuremengen nicht nur bei der Kohlenstoffernährung der jungen Pflanzen der natürlichen Verjüngung, sondern auch in dem Gesamtleben der Waldbestände eine wichtige Rolle zukommen wird. In Anbetracht dieser Umstände haben wir uns entschlossen, dieser Frage auf Grund längerer, mehrjährigen Untersuchungsperioden, nahe zu treten. Zu diesem Behufe haben wir drei ständige Versuchsflächen, und zwar eine in einem mittelaltrigen Eichenwald, eine in einem Fichtenwald gleichen Alters und zur Kontrolle eine brach liegende ständige Versuchsfläche bearbeitet. Diese Forschungen haben wir in 1932 begonnen und bis zum Ende des Jahres 1936 systematisch fortgesetzt. Wir maßen dabei gewöhnlich zweiwöchentlich mit der Hilfe von zwei parallelen Beobachtungen die Bodenatmung, den Kohlensäuregehalt der Luft in ungefähr 3 m Höhe, dann meistens einmal monatlich die Anzahl der aeroben und anaeroben Bakterien, den Humusgehalt, die *pH*-Werte, weiter den Wassergehalt und durch tägliche Beobachtungen die Temperatur des Bodens. Die Messung der Bodenatmung und des Kohlensäuregehaltes der Luft erfolgte gewöhnlich in den Mittagsstunden, wo die Bakterientätigkeit bekanntlich am intensivsten ist. Da die Untersuchungsmethoden meinerseits in der Literatur an verschiedenen Stellen schon eingehend beschrieben wurden, so möchte ich

von ihrer detaillierten Ausführung hier absehen. Ich verweise hier auf unsere einschlägigen Angaben in dem Schrifttum. (9)

*Einige Bemerkungen zu der Methodik der Auswertung der
Untersuchungsergebnisse.*

Die Anwendung der induktiven Methoden der Biologie, bzw. die Auswertung der durch die induktiven Beobachtungsmethoden gewonnenen Resultate dieser Forschungsrichtung können in allen Fällen, wo Beobachtungsergebnisse in der freien Natur ermittelt wurden, nur mit der größten Vorsicht und Behutsamkeit behandelt, bzw. angewendet werden. Besondere Sorgfalt müssen wir auf die Auswertung unserer Ergebnisse dann verwenden, wenn wir die Resultate der mikrobiologischen Bodenanalysen miteinander in Einklang bringen wollen. Wir wissen es, daß die physikalisch-chemische und biologische Beschaffenheit des Bodens nicht nur in der zeitlichen Reihenfolge, sondern auch in der räumlichen Verteilung mitunter ziemlich bedeutenden Veränderungen unterworfen ist. Um jene Ungleichheiten, die durch diese Umstände verursacht werden, möglichst ausgleichen zu können, müßten wir in allen diesen Fällen zunächst so vorgehen, daß wir in dem betreffenden Lebensraum möglichst zeitlich verdichteten und während längerer Zeitintervallen fortgesetzten Untersuchungen durchführen. Nur durch diese Methodik wird es möglich sein, den Einfluß der stark veränderlichen Klimafaktoren des Standortes in ihrem Wesen erfassen und ermitteln zu können. Wenn wir in der weiteren Folge unsere Beobachtungsergebnisse bildlich, bzw. zeichnerisch darstellen wollen, so werden wir gewisse Ungleichheiten erhalten, die durch die individuellen, vorläufig kaum erfaßbaren Eigenschaften und Einflüsse der Standortsfaktoren verursacht werden und die dann durch die oft unerwünscht betrachtete Streuung der einzelnen Beobachtungsergebnisse das Gesamtbild wesentlich stören und verschleiern können. Bei der zeichnerischen Darstellung unserer früheren Untersuchungsergebnisse haben wir die einzelnen Resultate ohne Ausgleich aufgetragen und auch unsere Kurven auf diese Art und Weise konstruiert. Bei der Auswertung der jetzt folgenden Untersuchungsergebnisse habe ich ein anderes Verfahren eingeschlagen.

Wir glichen dabei zunächst die, durch die Streuung verursachten, oft unregelmäßigen Abweichungen kurvenmäßig aus, und haben sodann jene Ergebnisse und Durchschnittsdaten, auf deren Grund die höheren Zusammenhänge zwischen der Bodenatmung, den Bakterienzahlen und zwischen den Änderungen des Humusgehaltes und der *pH*-Werte in ihrem kausalen Zusammenhänge mit den *R*-Werten dargestellt wurden, mit der Benutzung dieser bereits ausgeglichenen Einzelpunkte entworfen. Unsere Kurven sind daher Ausgleichskurven. In den beigeschlossenen Tabellen haben wir auch

die tatsächlichen Beobachtungsergebnisse neben den ausgeglichenen Werten angeben. Durch diese Methode haben wir natürlich die fraglichen Zusammenhänge viel klarer und deutlicher, als bisher ermitteln können.

Kurze Besprechung der Versuchsflächen.

Wie ich schon erwähnte, so haben wir hier drei ständige Versuchsflächen bearbeitet. Von diesen Versuchsflächen liegt die eine in einem ungefähr 50—60-jährigen, mit Weißkiefen vermengten Fichtenbestand. Der Boden dieser und der folgenden Versuchsfläche ist ein mäßig bindiger, etwas mit Sand vermengter Lehm Boden, dessen max. Wasserkapazität ungefähr 28% beträgt. Auf dieser Versuchsfläche haben wir vor allen die Bodenatmung, den Kohlensäuregehalt der Luft, den Bakteriengehalt, die *pH*-Werte und die *R*-Werte gemessen. Diese Versuchsfläche lag in der Mitte des Botanischen Gartens und ihr Boden war infolge ihrer verhältnismäßig kleineren Ausdehnung, die eine erhöhte Lichtwirkung von allen Seiten her ermöglichte, ziemlich dicht mit Bodenpflanzen bedeckt.

Die brach liegende Versuchsfläche, die seit fast 15 Jahren nicht berührt wird, liegt ebenfalls in dem botanischen Garten. Hier maßen wir neben den bereits oben erwähnten Faktoren auch die Änderungen der *pH*-Werte und des Humusgehaltes. Die dritte Versuchsfläche lag in einem mittelaltrigen Traubeneichenbestand. Infolge des geringeren Bestandesschlusses war auch der Boden dieser Versuchsfläche mit einer ziemlich üppigen Pflanzendecke bewachsen. Der Boden selbst war Lehm Boden mit einer Wasserkapazität von 28%. Hier wurden die gleichen Faktoren, wie bei der brach liegenden Versuchsfläche gemessen.

Kurze Besprechung der Forschungsergebnisse.

Die Ergebnisse der Untersuchungen habe ich in den Abb. 1—11 und weiter in den zugehörigen Tabellen 1—6 zusammengefaßt. In der Abb. 1. zeige ich die Änderungen des Bakteriengehaltes, der Bodenatmung, des Kohlensäuregehaltes der Waldluft und der *R*-Werte nach Jahreszeiten bei dem mittelaltrigen Fichtenwald. Es wurden hier Monatsmittelwerte aufgetragen.

In der Abb. 5 habe ich, um die durch die jahreszeitlichen Änderungen verursachten Differenzen besser veranschaulichen zu können, die Unterschiede zwischen den nach den einzelnen Jahreszeiten berechneten Mittelwerte des Bakteriumgehaltes, der Bodenatmung und der *R*-Werte im Eichenwaldboden dargestellt. Die Einteilung der einzelnen Jahreszeiten stimmt hier nicht völlig mit der Kalenderrechnung überein. Als biologische Winterperiode habe ich die Monate Dezember, Januar und Februar, als

Frühjahr März, April und Mai, als Sommer Juni, Juli und August und als Herbst September, Oktober und November zusammengefaßt.

Auf der Abb. 2 zeige ich dann die nach den R -Werten gruppierten Bakterienzahlen. Aus den Einzelergebnissen, und zwar aus den, mit dem Ausgleichsverfahren gewonnenen, Einzelergebnissen haben wir hier nach den einzelnen Gruppen der R -Werte Mittelwerte gebildet. Die Einzelergebnisse werden hier mit einem einfachen und die Mittelwerte mit einem Doppelring angedeutet.

Dieses Bild zeigt uns ganz klar die bereits auch hier und in unseren anderen Arbeiten klar erwiesene exponentielle Natur dieses Zusammenhanges.

In der Abb. 3 stellte ich dann den Zusammenhang zwischen Bakterienzahlen und Bodenatmung dar.

Die zu diesen Abbildungen gehörigen Daten faßt dann die Tab. 1. zusammen.

Die Ergebnisse des mittelaltrigen Eichenwaldes sind in den Abb. 4, 5, 6 und 7 dargestellt.

Bei der Bearbeitung dieser Versuchsergebnisse wurden auch die Änderungen des Humusgehaltes entsprechend berücksichtigt. Die zugehörigen Daten enthält die Tab. 2.

In den Abb. 8, 9, 10 und 11 habe ich dann die Zusammenhänge zwischen Bakterienzahl, pH -Werte, Humusgehalt, Bodenatmung und Kohlensäuregehalt der Waldluft bei der brachliegenden Versuchsfläche dargestellt. Die zugehörigen Daten faßte ich dann in der Tab. 3. zusammen.

Die jetzt ausführlich dargestellten Versuchsergebnisse ergeben im großen und ganzen das folgende Bild.

Wie schon durch unsere früheren Arbeiten nachgewiesen wurde, sind die jahreszeitlichen Schwankungen des Bodenlebens in allen Fällen klar festzustellen. Die mitgeteilten Abbildungen und Tabellen beweisen auch, daß diese Änderungen vorwiegend durch die komplexe Einwirkung des steten Wechsels der Bodentemperatur und des Wassergehaltes des Bodens im Sinne des R -Gesetzes erklärt werden können. Die Untersuchungsergebnisse beweisen auch, daß die Bodenatmung als eine unmittelbare Funktion der Mikrobentätigkeit des Bodens betrachtet werden kann. Es läßt sich nicht leugnen, daß hierbei auch in gewisser Hinsicht die Wurzelatmung der Baumbestände und der sonstigen Pflanzendecke des Waldbodens eine gewisse Rolle spielen dürfte. Allein die quantitativen Änderungen der mikrobiologisch induzierten Bodenatmung sind derart überwiegend, daß ihre vorherrschende Stellung und ihr dominierender Einfluß kaum abgestritten werden kann. Wie die Ergebnisse zeigen, so wird nicht nur die Bodenatmung, sondern auch der Humusgehalt des Waldbodens durch die Einwirkung der Bodentemperatur und des Wassergehaltes des Bodens mittelbar beeinflusst.

Der unmittelbare regulative Faktor, der die Änderungen des Humusgehaltes hervorruft, sind wohl die zeitlichen dynamischen Änderungen der Lebenstätigkeit der pflanzlichen Mikrobenvelt des Bodens. Da sie aber vornehmlich durch die komplexen Änderungen der Temperatur und Wasserfaktoren hervorgerufen werden, so wird dann die Wirkung dieser Faktoren mittelbar zur Wirkung kommen.

Die stoffliche Grundlage des Mikobenlebens und der Kohlensäureatmung des Bodens bildet ja der Humusgehalt, bzw. die Menge der abgeworfenen und abgestorbenen Pflanzen und Pflanzenteilen, die dann später durch die Mikrobentätigkeit zersetzt und in die verschiedenen Humusformen übergeführt werden. Dementsprechend gestalten sich dann auch die Änderungen des Humusgehaltes. Sein mengenmäßiges Maximum werden wir in den Wintermonaten, bzw. im Spätherbst und Vorfrühling finden, wo jene Streumengen, die durch den herbstlichen Laubfall dem Boden zugeführt wurden, infolge der ungenügenden Wärmewirkung noch nicht ausreichend verarbeitet, werden können. Wie dann später infolge der steigenden Temperatur das Bodenleben sich immer günstiger und mächtiger entfaltet, so wird auch der Humusgehalt des Waldbodens, namentlich im Sommer, in der Hauptvegetationsperiode, allmählich verbraucht, wobei meistens gleichzeitig mit der Kulmination der Mikrobenvzahl auch der größte Tiefstand des Humusgehaltes erreicht wird.

Den gleichen Zusammenhang finden wir auch dann, wenn wir die Änderungen der Kohlensäureatmung des Waldbodens vergleichend betrachten. Diese Erscheinung bedarf nach dem vorher gesagten keiner näheren Erklärung. Die Bodenatmung ist die unmittelbare Folge der Zersetzungstätigkeit der Mikroorganismen des Bodens. Ihre Hauptquelle ist ja, wie schon erwähnt wurde, der organische Substanzgehalt des Bodens. Es ist daher leicht zu verstehen, wenn ihre, durch die wechselnde Mikroorganismenvtätigkeit bedingten Änderungen im gegenseitigen Sinne verlaufen. Über alle diese biologischen und dynamischen Änderungen herrscht aber die komplexe Wasser- und Temperaturwirkung, die im Sinne des *R*-Gesetzes das gesamte Bodenleben in allen seinen Äußerungen, darüber aber auch die Bodenatmung dominierend regelt und beeinflußt.

Es möge hier noch auch kurz auf den Umstand hingewiesen werden, daß natürlich der Kohlensäuregehalt der unteren Luftschichten des Waldes ebenfalls aus leicht verständlichen Gründen als eine unmittelbare Funktion der Bodenatmung und der diese erzeugenden Mikrobentätigkeit aufzufassen ist.

Bezüglich allgemeinen Jahresgang der *pH*-Änderungen möge nur kurz bemerkt werden, daß dieser neuerdings in ungarischen und deutschen Waldböden auch durch die ausgedehnten Forschungen von Aszód und Ellenberg bestätigt worden sind.

*Einiges über die stofflichen Grundlagen der Kohlensäureernährung
des Waldes.*

Auf Grund der Untersuchungen von *Ebermayer*, wie schon erwähnt wurde, wissen wir, daß ein mittelalttriger Waldbestand jährlich und per ha folgende reine Kohlenmengen verbrauchen wird:

	Buche	Fichte	Weißkiefer
	C kg/ha		
Für den Aufbau des Holzkörpers	1566	1768	1664
Für den Aufbau der Blätter und der jungen Triebe	1416	1292	1410

Um die weiteren Berechnungen vereinfachen zu können, so werde ich im folgenden einen durchschnittlichen jährlichen Kohlenbedarf von 3000 Kilogramm annehmen. *Ebermayer* selbst hatte das Verhältnis der Kohle zu der übrigen Trockensubstanzmenge der Bäume bei der Buche mit 50%, bei der Fichte und bei der Weißkiefer mit 42% angenommen. Nach seiner Annahme beträgt die Menge der Kohle bei den Blättern und bei den grünen jungen Trieben ungefähr 45% der Trockensubstanz dieser Pflanzenorgane. Wenn man aus diesen Daten den durchschnittlichen jährlichen Zuwachs berechnen will, so wird man bei der Fichte 50% Raumgewicht und rund 50% Kohlengehalt vorausgesetzt, jährlich die Gesamtproduktion von 1768 kg Kohle, bzw. 3536 kg Holz bekommen, welche Substanzmengen ungefähr 7 Festmeter Holzzuwachs entsprechen. Da *Ebermayer* bei diesen Berechnungen nur die oberirdischen Pflanzenteile in Betracht zog, so müssen seine Berechnungen noch entsprechend ergänzt werden.

Der gesamte Kohlenbedarf der Bäume wird nämlich von folgenden Faktoren bestimmt:

1. Der Aufbau des Holzkörpers.
2. Der Aufbau der Blätter und der jungen grünen Triebe.
3. Der Aufbau der Wurzel.
4. Die Atmung des lebenden Holzkörpers und der lebenden Organe der Bäume.
5. Die Atmung der Wurzeln.

Meinecke, der sich mit dieser Frage eingehend befaßt hat, schlug für die Berechnung der Faktoren 4—5 insgesamt einen Anteil von 20% des Kohlenbedarfes der oberirdischen Pflanzenteile vor. *Boysen-Jensen* hat für die Berechnung des 4. Faktors ebenfalls ungefähr 10% des Kohlenbedarfes der oberirdischen Baumteile berechnet. Es sollte noch hierbei bemerkt werden, daß in den jüngeren Beständen natürlich auch die Trockensubstanzverluste, die infolge der Atmung entstehen, bedeutend höher werden können. Nach seinen Berechnungen kann man hier mit Werten von 26—50%,

je nach Alter und Standortsklasse rechnen. Die Berechnung des 3. Faktors ist noch verwickelter, da es fast unmöglich ist, namentlich bei älteren Bäumen und Beständen das Gewicht und die Menge des gesamten Wurzelsystems restlos bestimmen zu können. Wir sind in dieser Beziehung vorderhand auf die vorläufigen Daten von *Zederbauer* und *Weber* angewiesen. Ersterer drückt das Verhältnis der oberirdischen Teile zu den Wurzelteilen bei der Fichte mit der Zahl 4 : 1 aus. *Weber* dagegen schätzt die Menge des Wurzelsystems auf zirka 30—35% der oberirdischen Teile der Bäume. Alle diese Daten und Zahlen hängen natürlich in vieler Hinsicht auch von dem Alter der Bäume, vom Boden, vom Bestandschluß und im allgemeinen auch von den übrigen ökologischen Standortsfaktoren ganz wesentlich ab. Ich habe für meine weiteren Berechnungen eine Verhältniszahl von 30% für die Berechnung der gesamten Wurzelmenge aus der Menge der oberirdischen Pflanzenteile zu Grunde gelegt.

Wenn wir uns die jetzt gesagten überlegen, so werden wir zu der berechtigten Schlußfolgerung kommen, daß es am zweckmäßigsten ist, die von *Ebermayer* ursprünglich berechnete Kohlenmenge von 3000 kg mit 50% (Atmung 20%, Wurzelmenge 30%) vergrößern und somit den jährlichen Kohlenbedarf eines mittelalttrigen Bestandes im großen Durchschnitt mit 4500 kg anzunehmen. Diese Kohlenmenge gilt aber nur dann, wenn wir nur den Kohlenbedarf des eigentlichen Bestandes in Betracht ziehen.

Wenn wir den Wald als Lebensraum betrachten, so muß natürlich auch diese Berechnung, bzw. diese Annahme entsprechend ergänzt werden.

Wir wissen es, daß der Waldboden nicht nur in den Laubwäldern, sondern auch in den mäßig geschlossenen Nadelwäldern oft von einer Pflanzendecke bedeckt wird. Die Pflanzen dieser Lebensgemeinschaft werden natürlich auch assimilieren und für ihre Assimilation entsprechende Kohlensäuremengen beanspruchen. Wenn wir neben den oberirdischen Organen dieser Pflanzen auch ihre Wurzel berücksichtigen, so müssen wir hier natürlich nach ganz anderen Gesichtspunkten vorgehen, da bekanntlich bei den Bodenpflanzen das Verhältnis der Wurzelmenge zu der Menge der oberirdischen Organe sich ganz anders gestaltet, als bei den Holzpflanzen. Nach meiner Ansicht gehen wir nicht fehl, wenn wir hier mit einem 50%-gen Anteil der Wurzeln rechnen. Ich muß dabei aber bemerken, daß uns bisher noch keine verlässlichen Daten bezüglich der Gesamtmenge der Bodenpflanzen der verschieden geschlossenen Bestände zur Verfügung stehen. Ich gehe vorläufig auf Grund der Ergebnisse von *Mitscherlich* vor, der auf Freilandwiesen bei guter Ernte ungefähr eine Heumenge von 60 dz ermittelt hat. Ich rechne vorläufig nur mit einem Drittel dieser Menge und setze somit 20 dz in unsere Berechnung ein. Das ist natürlich nur eine grobe Annäherung, da auch diese Menge je nach Bestandschluß, Boden und Baumart großen Schwankungen unterworfen werden wird. Ich rechne

weiter mit einem ungefähr 40%-gen Anteil der Wurzel und nehme somit mit grober Annäherung eine assimilatorische Stoffproduktion von 28 dz für die Gesamtmenge der Bodenpflanzen ein. Für die Atmung der oberirdischen und der unterirdischen Pflanzenteile nehme ich zirka 20% der Gesamtmenge der Bodenpflanzen an. Ich möchte natürlich diese Daten in keiner Hinsicht verallgemeinern. Sie dienen nur dazu, um auch diesem Gebiete zu einem allgemeinen Überblick gelangen zu können. Wir können also im großen den Kohlenbedarf eines nicht gut geschlossenen mittelaltrigen Bestandes ungefähr und annähernd folgenderweise zusammenstellen:

	C kg/ha
1. Für den Aufbau des Holzkörpers	1600
2. Für den Aufbau der Blätter und der jungen Triebe	1400
3. Für den Aufbau der Wurzel (30% von 1—2)	900
4. Für den Aufbau der Atmung der oberirdischen Baumteile (10% von 1—2)	300
5. Für die Wurzelatmung (10% von 3)	90
6. Für den Aufbau der ober- und unterirdischen Pflanzenteile der Bodenpflanzen	1400
7. Für die Gesamtatmung der Bodenpflanzen. 10% von 6	140
Zusammen	5830

Wenn wir daher den Wald, als einen einheitlichen Lebensraum betrachten, so können wir bei einem mäßig geschlossenen Laubholzbestand hier mit einem jährlichen Gesamtkohlenbedarf von 5830 kg rechnen. Von dieser Kohlenmenge werden aber nur die unten berechneten Mengen wieder auf den Boden zurückgelangen.

	C kg/ha
1. Infolge der Verwesung der Blätter und der abgefallenen jungen Triebe	1400
2. Infolge der Verwesung der abgestorbenen Wurzelteile	900
3. Infolge der Verwesung der ober- und unterirdischen Teile der Bodenpflanzen	1400
Zusammen	3700

Auch hier möchte ich betonen, daß bei der Bearbeitung dieses Problems unbedingt zu raten ist, nicht nur die lokalen Verhältnisse, sondern auch die großen Lebensräume, in dem sich diese Vorgänge abspielen, zu beachten und zu erwägen. Nach den jetzt gesagten können wir daher mit großer Annäherung annehmen, daß jährlich zirka 3700 kg Kohlenmenge, bzw. dieser Menge aliquoten organischen Substanzmengen auf den Boden gelangen, dort verwesen, wobei die Kohle als Kohlensäure in die Luft gelangen wird. Daß die auf dieser Art und Weise entstehenden Kohlensäuremengen

natürlich nicht unmittelbar von dem gleichen Bestande verwertet werden können, braucht nach den vorstehenden nicht näher erörtert zu werden. Durch die fast ständigen Luftbewegungen werden sie abgetrieben und der erzeugende Bestand selbst wird meistens die Kohlensäuremengen anderer Lebensräume erhalten.

Aus den jetzt gesagten folgt auch klar, daß alle waldbaulichen Maßnahmen, die die Kohlensäureernährung des Waldes fördern oder günstig beeinflussen sollten, nur für große Waldgebiete und in ausgedehnten Lebensräumen des Waldes zur Geltung kommen können.

Wir können sie daher, mit der Hoffnung auf Erfolg, nur bei der gleichmäßigen Behandlung großer Waldkomplexe anwenden.

Die Verwesungsprodukte der abgefallenen Triebe und der Laubstreu werden natürlich den Humusgehalt des Waldbodens erhöhen. Wenn wir durchschnittlich mit einem Raumgewicht von 1·5 kg rechnen und eine Bodentiefe von 20 cm, also eine Tiefe, wo das intensivste Bodenleben sich abspielt, voraussetzen, so wird hierbei ein ha Waldboden ein Gewicht von rund 3 Millionen kg vertreten. Wenn wir jetzt einen Humusgehalt von 1% annehmen, so wird in dieser Tiefe die gesamte Humusmenge ungefähr 30.000 kg betragen. Der reine Kohlengehalt dieses Humusgehaltes wird, wenn wir die Zahl von *Bemmelen* (58%) zu Grunde legen, zirka 17.400 kg ausmachen.

Wenn wir des weiteren annehmen, daß unter optimalen Bedingungen die Mikroorganismen des Bodens die bereits ermittelte Kohlenmenge von 3700 kg jährlich bearbeiten können, so wird die Verwesung in dem Falle der Humusgehalt des Waldbodens mit zirka 0·20—0·30%*) Humusgehalt bereichern. Ich betone hierbei die Notwendigkeit der optimalen Bedingungen, die ermöglichen müssen, daß die jährlich abgefallenen Triebe und die Laubstreu während der einschlägigen Vegetationsperiode restlos verarbeitet werden. Wenn wir dabei noch in Betracht ziehen, daß bei den Nutzungen die Wurzel meistens zurückbleiben und dabei oft auch Teile der dickeren Bäume zurückgelassen werden, so können wir, je nach dem Raumgewicht des Bodens, auf zirka 0·2—0·3% jährliche Bereicherung des Humusgehaltes des Bodens eines mittelaaltrigen Bestandes rechnen.

Bei jüngeren Beständen, wo die Laubkronen verhältnismäßig größer werden und auch die Menge der Laubstreu wesentlich beträchtlicher ausfallen und dabei auch die Bodenpflanzen in größeren Mengen auftreten werden, wird das jetzt entworfene Bild etwas anderes werden. Um ein Beispiel herauszugreifen, möchte ich nach *Boysen-Jensen* die Verhältnisse bei einem zwölfjährigen jungen Eschenbestand besprechen. Nach seinen Untersuchungen beträgt die gesamte Trockensubstanzproduktion dieses

*) Dieser prozentuelle Anteil wird je nach den Änderungen des Raumgewichtes gewissen Schwankungen entworfen.

Bestandes per ha rund 2640 kg, wovon folgende Mengen auf den Boden gelangen werden:

1. Laubstreu	1690 kg/ha
2. Junge Triebe	84 „
3. Ältere Triebe	320 „

Zusammen . . . 2034 kg/ha

mit einem Kohlengehalt von 1017 kg. Die Zunahme des organischen Substanzgehaltes des Bodens wird bei den jüngeren Beständen natürlich noch größer werden, da hier sich auch die Bodenpflanzen üppiger entwickeln können. In diesem Falle können wir mit ungefähr 50 dz die Gesamtmenge der oberirdischen Pflanzendecke annehmen. Diese Substanzmenge wird einen Kohlengehalt von rund 2500 kg entsprechen. Wenn wir auch hier mit einem Wurzelanteil von 40% rechnen, so werden wir folgendes Bild bekommen:

1. Laubstreu	1690 C kg/ha
2. Junge Triebe	24 „
3. Ältere Triebe	320 „
4. Die oberirdischen Pflanzenteile der Bodenpflanzen	2500 „
5. Die unterirdischen Pflanzenteile der Bodenpflanzen	1000 „

Zusammen . . . 5534 C kg/ha

Die Verwesung, bzw. die Verarbeitung dieser Kohlenmenge wird in der weiteren Folge der Humusgehalt des Bodens, je nach Raumgewicht, bereits mit ungefähr 0.30—0.35% erhöhen. Allen diesen Berechnungen und Daten kommt vorläufig, obwohl sie wenigstens teilweise auch durch verschiedene Beobachtungsergebnisse unterstützt werden, nur theoretische Bedeutung zu. Die exakte induktive und experimentelle Forschung und die restlose Lösung dieser Fragen ist derart verwickelt und infolge der Variabilität der Naturfaktoren, von so vielen Faktoren und so verschiedenartig abhängig, daß man hier vorläufig nur von einer ganz groben Annäherung sprechen darf. Auch die dynamische Entwicklung und die durch die Wechselseitigkeit der Klimafaktoren beeinflusste biologische Zersetzungstätigkeit des Bodenlebens ist derart kompliziert, daß wir davon noch weit entfernt sind, von einer exakten Beherrschung und von einer exakten Erkenntnis dieser Zusammenhänge sprechen zu können.

Wie die organischen Substanzen jährlich verarbeitet werden, ob ihre Verwesung restlos vollzogen wird oder infolge der ungünstigen Wirkungen der Klimafaktoren, die Zersetzungsarbeit der Mikroorganismen rückständig bleiben und zur Anhäufung einer unverarbeiteten Humusdecke führen wird, hängt sehr ausgeprägt, von den Klimafaktoren ab. Im Norden, namentlich dort, wo humide Klimaverhältnisse herrschen, wird meistens diese Zer-

setzungsarbeit unvollständig bleiben. Wir werden hier eine ziemlich dicke und unzersetzte, saure Humusdecke und einen verhältnismäßig geringeren Humusgehalt des Bodens vorfinden. In Mittel-Europa, wo die Klimaverhältnisse viel günstiger sind, wird natürlich diese Zersetzungsarbeit bedeutend vollständiger werden. Aber auch hier können Fälle auftreten, wie dies übrigens auch zahlreiche Untersuchungen und Beobachtungen zeigen, wo infolge ungünstiger Wechselwirkungen der Klimafaktoren ebenfalls zu der Ausbildung einer unvollständig zersetzten und ungesunden Humusdecke kommen kann. In dieser Beziehung möchte ich auch darauf hinweisen, daß unter ariden Klimaverhältnissen der Kahlschlag nicht von günstiger Wirkung sein wird. Durch die rasche Entfernung des schützenden Bestandes wird der Boden längere Zeit, oft 4—5 Jahre lang, von der notwendigen Pflanzendecke entblößt. Auf diesen kahlen Flächen wird die ohnedies nicht besonders starke Humusdecke, die die natürliche Nährstoffreserve des Waldes bildet, durch die erhöhte Einwirkung der Bodentemperatur und durch die dadurch bedingten allzu optimalen Zersetzungs Vorgänge, rasch der Verwesung zugeführt und infolgedessen wird auch der Wald von seiner natürlichen Kohlenreserve frühzeitig beraubt.

Zusammenfassung.

Die jetzt dargestellten und besprochenen Untersuchungen und ihre Ergebnisse haben zunächst die allgemeinen Zusammenhänge zwischen Mikrobentätigkeit, bzw. zwischen den jahreszeitlichen Änderungen derselben und zwischen der Kohlensäureerzeugung des Waldbodens geklärt. In dem Lebensraum des Waldes, wo sich die Naturfaktoren während längerer Zeitperiode ungestört entfalten und sich auch harmonisch beeinflussen können, wird man natürlich alle diese Zusammenhänge klar und eindeutig erfassen können. In dem Lebensraum des Waldes, wo künstliche Eingriffe oft jahrzehntelang ausbleiben und somit auch die Klimafaktoren ungestört zur vollen Entwicklung kommen können, werden natürlich die Bodentemperatur und der Wassergehalt des Bodens ihre vorherrschende und dominierende Stellung behalten, und ihre komplexe Einwirkung im Sinne des bereits ausführlich dargelegten *R*-Gesetzes entfalten können. Wir müssen hierbei bemerken, daß dabei natürlich auch der Einfluß der übrigen Standortsfaktoren mit in Betracht gezogen werden muß. Ihre Änderungen verlaufen aber viel ruhiger und viel gleichmäßiger, meistens ohne plötzliche Schwankungen, als die Einwirkungen der Temperatur und des Wasserfaktors, die sich fast stets und ununterbrochen ändern und dabei natürlich auch das Mikrogenleben und die Kohlensäureerzeugung des Waldbodens infolge ihrer dominierenden, physiologischen Stellung wesentlich und vorherrschend beeinflussen können. Ich habe schon früher in einer anderen

Veröffentlichung versucht, auf Grund dieser Untersuchungsergebnisse auch bezüglich zwischen den mengenmäßigen Änderungen der besprochenen ökologischen Faktoren in ihrem Zusammenhange zu der Mikrobentätigkeit und zu der Kohlensäureerzeugung des Bodens zu positiven und exakten Ergebnissen zu kommen.

Ich habe hier auch versucht, zwischen den Feststellungen von *Ebermayer* und zwischen unseren Untersuchungsergebnissen einen klaren Zusammenhang finden zu können. Auf Grund neuerer kritischen Überlegungen, die ich bei der nach neuen Gesichtspunkten durchgeführten Bearbeitung der Untersuchungsergebnisse, die, wie schon erwähnt wurde, mit einem anderen Verfahren ermittelt wurden, zu der Einsicht gelangt, daß auf Grund dieser Gedankengänge die bisher gewonnenen Resultate noch nicht dazu geeignet sind, um sie in dieser Richtung endgültig auswerten zu können. Sie geben nur die allgemeine Richtung und die große Linie der Zusammenhänge zwischen Mikrobentätigkeit und Bodenatmung an.

Infolge der starken Variabilität der hierbei in Betracht kommenden Standortsfaktoren, die sich nicht nur in dem Raume, sondern auch in der Zeit sich stets und deutlich ändern, war es vorläufig noch nicht geglückt, mit den bisherigen Untersuchungsmethoden zu derartigen Resultaten zu kommen, die die Ableitung weiterer quantitativen Schlüsse ermöglichen würden. Ich bin der Ansicht, daß in diesem Belange die weiteren Schlüsse und Folgerungen nur durch die Fortsetzung und durch die entsprechende Vertiefung der Untersuchungen, bzw. ihrer Methodik erreicht werden können.

Irodalom. — Schrifttum.

1. *Aszód László*: Acta Geobotanica Hungarica. I. 75—107. 1936.
2. *Bornebusch*: The fauna of forest soil. (Kopenhagen, 1930.)
3. *Bornemann*: Kohlensäure und Pflanzenwachstum. (Springer, Berlin, 1920.)
4. *Boysen-Jensen*: Die Stoffproduktion der Pflanzen. (Fischer, Jena, 1932.)
5. *Büsgen-Münch*: Bau und Leben unserer Waldbäume. (Fischer, Jena. 1927.)
6. *Corbet*: Biological Process in tropical Soils. (Cambridge. 1936.)
7. *Ebermayer*: Die gesamte Lehre der Waldstreu. (Springer, Berlin, 1876.)
8. *Ellenberg*: Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen und Buchen-Mischwaldgesellschaften. (Mitteil. d. „Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Niedersachsen“. H. 5. 1939.)
9. *Fehér*: Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. (J. Springer, Berlin, 1933.)
10. *Fehér*: Untersuchungen über die biodynamische Grundlagen der Bodenatmung. (Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen. 70. 2. 1938.)
11. *Fehér*: Experimentelle Untersuchungen über die Grundlagen der Schwankungen der Bodenazidität. I. und II. (Archiv f. Mikrobiologie. 3. 609. 1932. und 5. 402. 1934.)
12. *Fehér*: Über den Einfluß des Wassergehaltes auf die Gestaltung der pH-Werte. (Zeitschr. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenkunde. 44. 341—346. 1936.)

13. *Fehér*: Les principales lois, régissant la vie des sols forestiers. (Revue des Eaux et Forêts. Nancy, 1936.)
 14. *Fehér* u. *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.)
 15. *Fehér—Frank*: Das R-Gesetz. (Tiszántúli Öntözésügyi Közlemények. Mitteil. über Bewässerungswesen. Auslandsheft. IX—X. Sopron, Ungarn, 1941.)
 16. *Hilt*: Wurzelstudien an Waldbäumen. (H. Schaper, Hannover, 1927.)
 17. *Janerth*: Beitrag zur Beurteilung der klimatischen Wachstumsfaktoren, Kohlensäure, Sauerstoff und Luftdruck. (Bot. Archiv. Bd. I. 155. 1922.)
 18. *Killian—Fehér*: Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. (Lechevalier, Paris, 1939.)
 19. *Liese*: Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Kiefer. (Habilitationsschrift. Berlin, 1926.)
 20. *Lundegardh*: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. (Fischer, Jena, 1924.)
 21. *Meinecke*: Die Kohlenstoffernährung des Waldes. (Springer, Berlin, 1934.)
 22. *Oelkers*: Kohlensäureversorgung des Bestandes. (Forst. Archiv. p. 177. 1925.)
 23. *Reinau*: Kohlensäure und Pflanzen. (Knapp. Halle a. d. S. 1920.)
 24. *Romell*: Mull and Duff as Biotic Equilibria. (Soil Science. Bd. 34. H. 3. 1932.)
 25. *Schroeder*: Die Stellung der grünen Pflanzen im irdischen Kosmos. (Bornträger, Berlin, 1920.)
 26. *Spirgatis*: Untersuchungen über den Wachstumsfaktor Kohlensäure. (Bot. Archiv. Bd. IV. 381. 1923.)
 27. *Stokes*: The influence of environmental factors upon the development of algae and other microorganism in soil. (Soil Science. Bd. 49. H. 3. 1940.)
 28. *Weber*: Handbuch der Forstwissenschaft. 1903. Bd. I.)
 29. *Zederbauer*: Ein Beitrag zur Kenntnis des Wurzelwachstums der Fichte. (Zentralblatt f. d. Ges. Forstwesen. 1920.)
 30. *Mitscherlich*: Können wir die künstlichen Düngemittel entbehren. (Der Biologie. II. H. 9. 1933.)
-



