

# STUDIER ÖVER KOLSYREHUSHÅLLNINGEN I MOSSRIK TALLSKOG

*STUDIEN ÜBER DEN KOHLENSÄUREHAUSHALT IN MOOSREICHEM KIEFERNWALD*

AV

LARS-GUNNAR ROMELL

---

# EN NITRITBAKTERIE UR SVENSK SKOGS- MARK

*UN FERMENT NITREUX FORESTIER*

AV

LARS-GUNNAR ROMELL

---

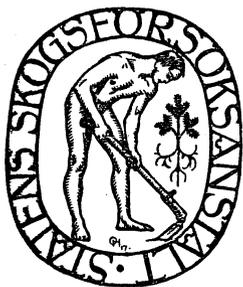
# MARKLUFTSANALYSER OCH MARK- LUFTNING

*SOIL AIR AND SOIL AERATION*

AV

LARS-GUNNAR ROMELL

---



---

MEDELANDEN FRÅN STATENS SKOGSFÖRSÖKSANSTALT  
HÄFTE 24 · Nr 1—3

---

MEDDELANDEN

FRÅN

STATENS  
SKOGSFÖRSÖKSANSTALT

HÄFTE 24. 1927—28

MITTEILUNGEN AUS DER  
FORSTLICHEN VERSUCHS-  
ANSTALT SCHWEDENS

24. HEFT

REPORTS OF THE SWEDISH  
INSTITUTE OF EXPERIMENTAL  
FORESTRY

N:o 24

BULLETIN DE L'INSTITUT D'EXPÉRIMENTATION  
FORESTIÈRE DE LA SUÈDE

N:o 24



REDAKTÖR:  
PROFESSOR DR HENRIK HESSELMAN

## INNEHÅLL:

	Sid.
ROMELL, LARS-GUNNAR: Studier över kolsyrehus-hållningen i mossrik tallskog .....	I
Studien über den Kohlensäurehaushalt in moosreichem Kiefernwald .....	35
— En nitritbakterie ur svensk skogsmark .....	57
Un ferment nitreux forestier .....	63
— Markluftsanalyser och markluftning .....	67
Soil Air and Soil Aeration .....	76
TIRÉN, LARS: Einige Untersuchungen über die Schaftform .....	81
Några undersökningar över stamformen .....	150
— Till frågan om tallstammens avsmalning och volymberäkning .....	153
To the Question of Tapering and Volume Calculation of Pine Trunks .....	160
PETRINI, SVEN: Sektionskuberingsens noggrannhet .....	164
Die Genauigkeit der sektionsweisen Kubierung .....	181
— En närmeformel för kubering av träd .....	187
Eine Näherungsformel für Stammkubierung .....	212
SPESSIVTSEFF, PAUL: Studier över de svenska barkborrarnas biologi särskilt med hänsyn till generationsväxlingen. Del I. ....	221
Studien über die Biologie der Borkenkäfer Schwedens mit besonderer Berücksichtigung der Generationsfrage. Erster Teil .....	244
MALMSTRÖM, CARL: Våra torvmarker ur skogsdikningssynpunkt ...	251
Our Peat Areas from the Point of Forest-draining .....	352
<b>Redogörelse för verksamheten vid Statens skogsförsöksanstalt under år 1927.</b> (Bericht über die Tätigkeit der Forstlichen Versuchsanstalt Schwedens im Jahre 1927; Report on the Work of the Swedish Institute of Experimental Forestry).	
Allmän redogörelse av HENRIK HESSELMAN .....	373
I. Skogsavdelningen (Forstliche Abteilung; Forestry division) av HENRIK PETTERSON .....	373
II. Naturvetenskapliga avdelningen (Naturwissenschaftliche Abteilung; Botanical-Geological division) av HENRIK HESSELMAN .....	379
III. Skogsentomologiska avdelningen (Forstentomologische Abteilung; Entomological division) av IVAR TRÄGÅRDH .....	380
IV. Avdelningen för förnygringsförsök i Norrland (Abteilung für die Verjüngungsversuche in Norrland; Division for Afforestation Problems in Norrland) EDVARD WIBECK .....	381
<b>Sammanfattning av arbetsprogrammet för åren 1927—1931</b> .....	386
Zusammenfassung des Arbeitsprogrammes für die Jahre 1927—1931 .....	



## STUDIER ÖVER KOLSYREHUSHÅLLNINGEN I MOSSRIK TALLSKOG.

### 1. Inledning.

Med hänsyn till kolsyreproblemets allmänna aktualitet och speciellt till LUNDEGÅRDH's intressanta resultat upptogs för redan rätt många år sedan skogens kolsyreproblem på Skogsförsöksanstaltens program. Saken anförtroddes åt författaren, som däråt ägnade de två somrarna 1922 och 1923. Resultaten ha ej ansetts motivera någon fortsättning f. n. i större skala av undersökningarna, varför denna redogörelse för de utförda arbetena efter långt, av olika skäl föranlett uppskov härmed framlägges. Under mellantiden ha undersökningar med fullständigt likartat syfte utförts av MEINECKE (1927), FEHÉR & VAGI (1926) och FEHÉR (1927), så att det numera är tillfälle att diskutera de erhållna resultaten mot bakgrund av på andra håll vunna. LUNDEGÅRDH's (1924) kolsyrebok och MEINECKE's nyligen även i bokform utkomna publikationer onödiggöra å andra sidan en förnyad fullständig litteraturbehandling, som därför ej eftersträvas i det följande.

Undersökningarna ha omfattat dels bestämning av kolsyrehalten, delvis å olika höjd över marken, å olika lokaler, dels bestämning av kolsyrevgivningen från marken, och bedrevos 1922 i Bispgården, 1923 i Björkvik i Södermanland. På grund av det tidsödande arbetet med iordningställandet av apparaterna blevo serierna kortare än avsett och omfatta bägge åren endast eftersommaren.

Vid undersökningarna i fältet hade jag stor hjälp av min hustru, som i allmänhet skötte provtagningen vid ett av de tre apparatskåpen och dessutom hjälpte till med en del laboratoriearbete. Härigenom kunde provtagningen ske nästan samtidigt vid de tre apparatskåpen, vilket eljest varit omöjligt. Ur metodisk synpunkt kan det vara skäl att anmärka att alla titreringar gjordes av mig ensam.

### 2. Metodik.

**Luftkolsyreanalyserna.** För bestämningen av luftens kolsyrehalt, som normalt uppgår till omkring 0,03 %, med en tillfredsställande noggrannhet finnes det tyvärr ingen metod, som är fullt idealisk för seriebe-

stämningar ute i skogen. Jag använde LUNDEGÅRDH'S (1922 a s. 111—113, 1924 s. 9—11) typ av apparater. Dessas princip är: insugning av några liter luft i en gasklocka, absorption i klockan medelst baryt och titrering efter uttappning av baryten och sköljning. Apparaterna voro anordnade två och två jämte flaskor, pipetter och annat tillbehör i skåp, som fästes ute i skogen på en trädstam (fig. 4, sid. 36).

Hur den av mig använda utföringsformen av den LUNDEGÅRDH'Ska metoden i praktiken arbetade, framgår av följande tabell.

Tab. 1. Ur serierna av dubbelprov beräknade medelfel för en enkel bestämning samt systematiska skillnader.

Skåp, apparater	Använda	Tillfälligt fel		Systematisk skillnad mellan apparaterna		Antal dubbelprov (analyspar)
		% CO <sub>2</sub>	% av 0,03	% CO <sub>2</sub>	% av 0,03	
A 1—2	Bispgården, gallrad yta 9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> m h (G) .....	0,0002	0,7	0,0000	0,0	14
B 3—4	Bispgården ogallrad yta 9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> m h (O) .....	0,0002	0,7	0,0001	0,45	11
C 5—6	Bispgården, gårdsplan 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> m h (F) .....	{ 0,0004 (0,0009)	{ 1,4 (3,1)	{ 0,0007 (0,0009)	{ 2,2 (2,9)	{ 26 (27) <sup>1</sup>
A 1—2	Björkvik, gallrad yta 8 m h (G)	0,0005	1,8	0,0003	1,1	26
B 3—4	Björkvik S och U	—	—	{ 0,0002 (0,0005)	{ 0,8 1,6	{ 5 6
C 5—6	Björkvik ogallrad yta 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> m h (O)	0,0006	2,0	0,0004	1,3	20

Kolsyreavgivningen från marken bestämdes med apparater av ny konstruktion enligt en av mig 1922 (s. 144) angiven princip. Jfr figg. 6—8 (s. 42—44).

Den detaljerade redogörelsen för metodiken, såväl vad luftanalyserna som bestämningarna av markens kolsyreavgivning beträffar, har av sparsamhetsskäl förvisats till den tyska resumén, dit intresserade hänvisas.

### 3. Undersökningslokalerna och -stationerna.

För att om möjligt ge undersökningen anslutning till Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök, förlades den till en början (1922) till gallringsserien nr 40 å Fors kyrkoherdeboställes skog vid Bispgården i Jämtland (jfr SCHOTTE 1917 s. 121—126, HESSELMAN 1926 s. 448—452, HOLM-

<sup>1</sup> Siffrorna inom parentes uppkomma om i serien medtages även en dubbelbestämning, där differensen når ett alldeles ensamstående värde (0,0067 % CO<sub>2</sub>), helt säkert beroende på något obeaktat grovt fel (felläsnig å byretten, felskrivning etc.)

GREN & MONTELL 1927 s. 39—41). Året därpå valdes en gallringsyta nr 297 (jfr SCHOTTE 1921 s. 18—19 och 35), liksom den förra liggande i mossrik medelålders tallskog, men denna gång i Mellansverige: Björkviks socken, Södermanland. Denna yta innehåller en del gran, som dock knappt spelar någon roll i beståndet. Till jämförelse togos prov ur det av gallringsförsöket oberörda (ej uppskattade) beståndet intill. Dessutom gjordes bägge åren parallellt bestämningar av kolsyrehalten i »fria luften» och i Björkvik även i ett tätt ungbestånd av tall. De prov, som skulle representera fria luften, togos i Bispgården från en fristående flaggstång, i Björkvik från en kalyta i skogen, ett större sandtag.

I det följande betecknas de olika kategorierna prov med förkortningar, som betyda:

- F* flaggstången.
- Gh* gallrad yta, kronhöjd.
- Gm* gallrad yta, vid marken.
- Oh* ogallrad yta, kronhöjd.
- Om* ogallrad yta, vid marken.
- S* sandtaget.
- U* ungbeståndet.

På samma sätt betecknas värdena av kolsyreavgivning från marken med *G* eller *O*, vilka beteckningar här ha motsvarande betydelse. Dessa bestämningar utfördes i samma bestånd som de motsvarande luftanalyserna. I Björkvik skildes fr. o. m. den 1 augusti på fläckar med mossa och sådana med endast död markbetäckning (barr, pinnar, multnade ris m. m.) i bottenskiklet, så att man får följande kategorier:

- GB* gallrad yta, fläck med barr m. m.
- GM* gallrad yta, mossfläck.
- OB* ogallrad yta, fläck med barr m. m.
- OM* ogallrad yta, mossfläck.

Vid redogörelsen för luftanalyserna i det följande göres den distinktionen, att lokal får betyda ett visst läge på kartan, exempelvis ett visst bestånd, medan station betyder en provtagningspunkt, bestämd både horisontalt och vertikalt. Följande detaljuppgifter må lämnas om de olika stationerna.

**Bispgården 1922.** *F*: 11 m över marken å en flaggstång, stående å Elias Anderssons gårdsplan i Bispfors, fritt och öppet å en låg kulle. Proven sögos ned genom en lång ledning, upphissad i flagglinan. Närmaste träd är en fristående björk, ungefär lika hög som ledningen och stående 9 m från flaggstången. I det närmaste huset (6 m avlägset) eldades ej. I två andra hus (omkring 20 m SW och 40 m WSW) eldades. Denna station och

lokal ligger ett par kilometer från de följande. — *Gh*:  $9\frac{1}{4}$  m över marken å den hårdast gallrade ytan i serien, mellan träden 744 och 795, vilka användes till fäste för en lina, som uppbar insugningsledningen. — *Oh*:  $9\frac{1}{2}$  m över marken å den ogallrade jämförelseytan, mellan träden 356 och 580, vilka uppbaro linan. Avståndet från föregående station torde varit mellan 50 och 100 m. — *Gm* och *Om*: 5 cm över marken å olika ställen å respektive ytor. Insugningsröret låg vid provtagningen alltid på kanten av nederdelen till en av apparaterna för bestämning av kolsyreavgivningen från marken.

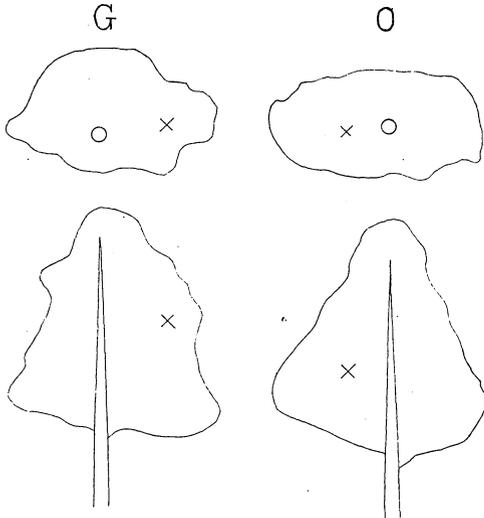


Fig. 1. Skiss visande läget av den punkt (X) i tallkronan, varifrån luften sögs vid analyserna i Björkvik 1923 resp. å den gallrade (*G*) och å den ogallrade (*O*) ytan.

Lage des Probenahmepunktes (X) in den Kiefern-kronen bei den Analysen in Björkvik 1923 bezw. auf der durchforsteten (*G*) und auf der undurchforsteten (*O*) Fläche.

Avståndet mellan arbetsplatsen å den gallrade och den å den ogallrade ytan torde liksom i Bispgården varit mellan 50 och 100 m.

Björkvik 1923. *S*: Proven sögos genom en lång ledning (37,5 m) som slutade ute i sandtaget ett par m ovanför toppen av en kal, uppstående grusrygg, kvarlämnad såsom alltför lerig. Sandtaget är rundtom omgivet av skog. — *U*: 6,5 över marken mitt inne i kronan av den mittersta av en grupp om tre ung-tallar i ett tätt ungbestånd av tall invid det nyssnämnda sandtaget. Avståndet mellan denna och föregående station var omkring 40 m. Däremot ligga dessa båda ett bra stycke (kanske 500 m) från de följande. — *Gh*: 8 m över marken å gallringsytan 297, i kronan av trädet 203, såsom skissen fig. 1 *G* visar. — *Oh*:  $8\frac{1}{2}$  m över marken i det relativt orörda beståndet utanför gallringsytan, i kronan av en tall, jfr skissen fig. 1 *O*. — *Gm* och *Om*: 5 cm över marken å resp. ytor liksom i Bispgården. — Av-

#### 4. Kolsyrehalten å olika stationer.

De erhållna siffrorna av  $\text{CO}_2$ -halt i luften å de olika stationerna äro sammanställda i tab. 4 och 5 i slutet av uppsatsen (sid. 28—31).

En äskådligare bild av materialet än nämnda utförliga tabeller kunna ge förmedlas av följande tab. 2, som anger frekvensen av värden i olika klasser av  $\text{CO}_2$ -halt för de olika stationerna och för olika tidsklasser.

I denna tabell ha endast ett par enstaka eftermiddagsbestämningar (kl. 17— $17\frac{1}{2}$ ) ej inordnats i någon av de urskilda tidsklasserna. Morgonvärdena härstamma i stort sett från kl. 7—9, middagsvärdena från kl. 13—15 (jfr

Tab. 2. Översikt över variationen i luftanalysmaterialet. Värdenas fördelning på klasser av CO<sub>2</sub>-halt, tidsklasser och stationer.Übersicht über die Variation in dem Luftanalysenmaterial. Verteilung der Werte auf Klassen von CO<sub>2</sub>-Gehalt, Zeitklassen und Stationen.

Klasser av CO <sub>2</sub> -halt		2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	M	n
Station, tidsklass																	
Bispgården, flaggstången II m högt (F)	morgon ...	—	I	—	5	2	2	2	I	2	0	I	—	—	—	3,10	16
	middag ...	—	—	2	2	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,88	5
	afton ...	—	—	I	2	I	3	—	—	—	—	—	—	—	—	2,98	7
	alla tider	—	I	3	10	4	5	2	I	2	0	I	—	—	—	3,02	29
Bispgården, gallrade ytan 9 m högt (Gh)	morgon ...	—	—	I	2	6	2	3	0	I	2	—	—	—	—	3,10	17
	middag ...	—	I	2	4	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,87	9
	afton ...	—	—	I	0	4	0	I	—	—	—	—	—	—	—	3,00	6
	alla tider	—	I	4	7	12	2	4	0	I	2	—	—	—	—	3,01	33
Bispgården, ogallrade ytan 9½ m högt (Oh)	morgon ...	—	—	—	3	7	0	2	0	2	I	—	—	—	—	3,09	15
	middag ...	—	—	—	3	4	0	I	—	—	—	—	—	—	—	2,88	8
	afton ...	—	—	—	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,94	5
	alla tider	—	—	4	10	9	I	2	0	2	I	—	—	—	—	3,00	29
Bispgården, gallrade ytan 0,05 m högt (Gm)	morgon ...	—	—	—	—	2	I	I	I	I	0	I	I	I	—	3,34	9
	middag ...	—	—	—	3	2	I	0	I	—	—	—	—	—	—	3,01	7
	alla tider	—	—	—	3	4	3	I	2	I	0	I	I	I	I	3,23	18
	Bispgården, ogallrade ytan 0,05 m högt (Om)	morgon ...	—	—	—	—	—	3	I	0	I	I	0	I	I	—	3,36
middag ...		—	—	—	2	I	2	I	0	I	—	—	—	—	—	3,08	7
alla tider		—	—	—	2	I	5	2	0	2	I	0	I	I	—	3,23	15
Björkvik, sandtaget (S)		morgon ...	—	—	I	7	7	2	2	0	I	—	—	—	—	—	3,00
	middag ...	—	I	3	10	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,88	17
	alla tider	—	I	4	17	10	2	2	0	I	—	—	—	—	—	2,95	37
	Björkvik, ungbeståndet 6½ m högt (U)	morgon ...	—	I	3	4	5	3	0	0	0	I	—	—	—	—	2,97
middag ...		—	5	5	5	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,81	16
alla tider		—	6	8	9	6	3	0	0	0	I	—	—	—	—	2,89	33
Björkvik, gallrade ytan 8 m högt (Gh)		morgon ...	—	—	6	6	8	2	I	—	—	—	—	—	—	—	2,93
	middag ...	—	2	7	11	I	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,85	21
	alla tider	—	2	13	17	9	2	I	—	—	—	—	—	—	—	2,89	44
	Björkvik, ogallrade ytan 8½ m högt (Oh)	morgon ...	—	3	5	7	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	2,88
middag ...		4	4	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,76	19
alla tider		4	7	10	13	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	2,82	39
Björkv., gallr. ytan 0,05 m Gm mi		—	—	2	5	4	7	0	I	—	—	—	—	—	—	3,00	19
Björkv., ogallr. ytan 0,05 m Om mi	—	—	4	4	6	6	I	0	0	0	I	—	—	—	3,00	22	

Morgon, middag, afton, alla tider = bezw. morgens, mittags, abends, alle Zeiten.

Tab. 3. Differensserier (abs. CO<sub>2</sub>-halt, miljondelar, volym) för olika stationspar resp. mellan morgon och middag å samma station.

Differenzreihen (abs. CO<sub>2</sub>-Gehalt, Milliontel nach Volumen) für verschiedene Stationspaare bezw. zwischen Morgen und Mittag an derselben Station.

6

LARS-GUNNAR ROMÉLL

Datum	F—Gh		F—Oh		Gh—Oñ			Gm—Gh			Om—Oh		mo—mi			
	mo	mi, a	mo	mi, a	mo	mi	em, a	mo	mi	em, a	mo	mi	Gh	Oh	Gm	Om
16/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 12	—	—	—
18/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 6	+ 3	—	—
19/8	+ 17	—	+ 33	— 3	+ 16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20/8	+ 5	+ 5	+ 2	+ 14	— 3	—	+ 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21/8	— 3	— 2	— 4	— 7	— 1	—	— 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22/8	—	—	—	—	0	—	+ 10	—	—	+ 18	—	—	—	—	—	—
23/8	— 1	0	— 1	— 2	0	—	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24/8	—	—	—	—	—	—	—	+ 31	—	+ 82	—	—	—	—	—	—
25/8	—	—	—	—	— 1	—	—	0	—	—	+ 9	—	—	—	—	—
27/8	—	—	—	—	—	+ 9	—	—	+ 5	—	—	+ 35	—	—	—	—
28/8	+ 16	0	— 6	+ 2	— 22	+ 2	—	+ 15	+ 20	—	+ 12	+ 10	— 4	+ 20	— 9	+ 22
29/8	— 9	—	— 1	—	+ 8	— 13	—	+ 23	+ 24	—	+ 38	+ 27	+ 47	+ 26	+ 46	+ 37
30/8	— 12	— 1	— 11	+ 2	+ 1	+ 3	—	+ 10	— 5	—	+ 17	+ 26	+ 59	+ 61	+ 74	+ 52
31/8	— 12	—	— 6	—	+ 6	— 1	—	+ 49	+ 14	—	+ 31	+ 2	+ 37	+ 30	+ 72	+ 59
1/9	— 7	—	— 9	—	— 2	— 5	—	+ 20	+ 26	—	+ 13	+ 32	0	— 3	— 6	— 22
2/9	+ 13	—	+ 23	—	+ 10	—	—	+ 26	—	—	+ 35	—	—	—	—	—
3/9	—	—	—	—	—	— 15	—	—	+ 32	—	—	+ 14	—	—	—	—
4/9	—	—	—	—	— 4	—	—	+ 13	—	—	+ 1	—	—	—	—	—
M.....	+ 0,7	—	+ 2,0	—	+ 0,6	— 2,9	—	+ 20,8	+ 16,6	—	+ 19,5	+ 20,9	+ 22,4	+ 22,8	+ 35,4	+ 29,6
ε(M).....	± 3,6	—	± 4,6	—	± 2,5	± 3,3	—	± 4,7	± 4,9	—	± 4,8	± 4,7	± 9,4	± 9,3	± 18,2	± 14,4
kvot.....	0,2	—	0,4	—	0,2	0,9	—	4,4	3,4	—	4,1	4,5	2,4	2,4	1,9	2,1
M.....	+ 0,6	—	+ 1,6	—	0,0	—	—	+ 22,4	—	—	+ 20,1	—	—	+ 26,9	—	—
ε(M).....	± 2,4	—	± 3,0	—	± 1,8	—	—	± 4,6	—	—	± 3,2	—	—	± 5,9	—	—
kvot.....	0,3	—	0,6	—	0,0	—	—	4,9	—	—	6,2	—	—	4,5	—	—

B i s p g å r d e n 1 9 2 2

Dat.	S—U		S—Gh		S—Oh		Gh—Oh		Gm—Gh	Om—Oh	$\Delta$	Gm—Om	mo—mi			
	mo	mi	mo	mi	mo	mi	mo	mi	mi	mi		mi	S	U	Gh	Oh
23/7	—	—	+12	— 2	— 2	+ 8	—14	+10	—	—	—	—	+ 3	—	—11	+13
24/7	—	—	+ 4	— 1	— 5	— 7	— 9	— 6	—	—	—	—	+ 7	—	+ 2	+ 5
27/7	—	—	+ 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28/7	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30/7	— 2	+ 6	— 5	+ 1	+ 4	+10	+ 9	+ 9	—	+76	—	—	+ 2	+10	+ 8	+ 8
31/7	+ 2	—	+ 6	—	+18	—	+12	+11	—	+30	—	—	—	+ 7	+ 3	+ 2
1/8	— 8	— 3	+16	+ 8	+30	+ 8	+14	0	+18	+28	—10	—10	+42	+47	+34	+20
2/8	— 1	+ 2	+13	+ 1	+18	+16	+ 5	+15	+11	+27	—16	— 1	+12	+15	0	+10
3/8	—11	+22	+ 2	— 1	+ 4	+21	+ 2	+22	+ 9	+36	—27	— 5	+12	+45	+ 9	+29
6/8	+12	+10	+19	+11	+13	+12	— 6	+ 1	+33	+20	+13	+14	+15	+13	+ 7	+14
8/8	—	+ 7	—	+10	—	+14	0	+ 4	+22	+25	— 3	+ 1	—	—	+16	+20
9/8	+ 6	+ 9	+ 4	+ 3	+ 8	+ 4	+ 4	+ 1	+17	+11	+ 6	+ 7	+22	+25	+21	+18
10/8	—	—	—	—	—	—	—	+14	+ 9	+23	—14	0	—	—	—	—
13/8	+23	+17	+ 9	+19	+29	+28	+20	+ 9	+22	+28	— 6	+ 3	+27	+21	+37	+26
14/8	+ 3	+10	+19	+ 4	+23	+ 8	+ 4	+ 4	+19	+29	—10	— 6	+10	+17	— 5	— 5
15/8	+ 8	+17	0	+13	+26	+16	+26	+ 3	+24	+17	+ 7	+10	— 7	+ 2	+ 6	—17
16/8	+ 3	+12	+ 3	+ 6	+ 4	—	+ 1	—	+16	—	—	+ 9	+13	+22	+16	—
17/8	+11	— 6	+ 3	—10	+ 6	+ 2	+ 3	+12	+ 9	+18	— 9	+ 3	+17	0	+ 4	+13
20/8	+ 8	+15	+ 5	+ 2	+11	—	+ 6	—	+ 6	—	—	+ 7	+ 6	+13	+ 3	—
21/8	+ 6	—	— 7	—	+25	—	+32	+ 3	+14	+28	—14	—11	—	+ 9	+38	+ 9
22/8	—	—	—	—	—	—	+ 9	+12	+12	+24	—12	0	—	—	— 6	— 3
23/8	+ 1	—	— 4	+15	0	+31	+ 4	+16	+19	+25	— 6	+10	—13	—	+ 6	+18
24/8	+ 4	+16	+ 4	+ 8	+18	+27	+14	+19	+15	+19	— 4	+15	+19	+31	+23	+28
29/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	— 3	—	—	—	—
30/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2	—	—	—	—
<i>M</i> .....	+ 4,1	+ 9,6	+ 5,6	+ 5,1	+12,8	+13,2	+ 6,8	+ 8,4	+16,2	+27,3	— 7,0	+ 2,4	+11,7	+18,5	+10,6	+11,6
$\varepsilon(M)$ .....	$\pm$ 2,0	$\pm$ 2,1	$\pm$ 1,7	$\pm$ 1,8	$\pm$ 2,6	$\pm$ 2,7	$\pm$ 2,5	$\pm$ 1,7	$\pm$ 1,6	$\pm$ 3,4	$\pm$ 2,6	$\pm$ 1,7	$\pm$ 3,3	$\pm$ 3,6	$\pm$ 3,1	$\pm$ 2,8
kvot.....	2,0	4,5	3,4	2,9	4,9	4,9	2,8	5,0	9,8	8,1	2,7	1,4	3,6	5,1	3,4	4,1
<i>M</i> .....	+ 6,6	—	+ 5,4	—	+13,0	—	+ 7,6	—	—	—	—	—	—	+12,8	—	—
$\varepsilon(M)$ .....	$\pm$ 1,5	—	$\pm$ 1,2	—	$\pm$ 1,8	—	$\pm$ 1,5	—	—	—	—	—	—	$\pm$ 1,6	—	—
kvot.....	4,4	—	4,5	—	7,0	—	5,1	—	—	—	—	—	—	8,0	—	—

Anm.: Stationsförkortningarnas betydelse, se ovan avd. 3. mo, mi, em, a = resp. morgon, middag, eftermiddag, afton (jfr tab. 4—5). *M* = medeltal,  $\varepsilon(M)$  = dess medelfel. Siffrorna äro uträknade med en decimal mer än angivet och sedan avrundade var för sig.

Bem.: Stationsbezeichnungen, s. Abt. 3. mo, mi, em, a = bezw. Morgen-, Mittags-, Nachmittags- und Abendbestimmungen (vgl. Tab. 4—5.) *M* = Mittel,  $\varepsilon(M)$  = mittlerer Fehler des Mittels, kvot = Quotient. Die Zahlen sind mit einer Dezimalstelle mehr als angegeben ausgerechnet und jede für sich abgerundet worden.

de utförliga tab.). Dubbelbestämningar ingå som enkla, alltså endast som *en* variant. Siffrorna i kol. »M» äro medelvärden, beräknade ur de avrundade siffrorna (klassvärdena). Medelfel vore meningslöst att beräkna för dessa medeltal, jfr nedan. Kol. »n» anger sammanlagda antalet varianter i raden. Frånvaro av varianter i en klass betecknas till höjande av överskådligheten antingen med o eller —.

Hela variationen i materialet ligger alltså mellan 2,6 och 3,9 hundrads % CO<sub>2</sub>, d. v. s. de största förekommande avvikelserna från den i runt tal 3 delar på 10,000 utgörande normalhalten äro omkring —33 % och +30 av denna. Frånnes värdena vid markytan, ligger variationen mellan 2,6 och 3,6, d. v. s. mellan —33 % och +20 % av normalvärdet. Större delen av detta variationsområde är emellertid som man ser gemensamt för flertalet serier. De mest differerande *medeltalen* för någon station och tidsklass ligga dock så pass isär som 2,76 och 3,36, d. v. s. avvika från normalhalten med —8 % och +12 % av denna. Frånnes åter värdena vid markytan, ligger variationen i medeltalen mellan —8 % och +3,3 % av normalvärdet. Med undantag för den tydligt framträdande högre halten vid markytan än i kronhöjd blir det alltså fråga om idel småskillnader. Det som näst de avvikande serierna å markstationerna frapperar, är knappast den olika tendensen å olika lokaler, utan den i olika tidsklasser å samma station. Tendensen i middagsserierna är genomgående påtagligt lägre än i morgonserierna, och i hela materialet, frånsett markstationerna, förekommer bland middagsvärdena endast en enda variant — av 95 — i en klass högre än normalvärdets, mot 36 — av 128 — bland morgonvärdena.

För de flesta jämförelser och framförallt för dem mellan olika lokaler blir det tydligen en delikat uppgift att jämföra, om skillnaderna överhuvud äro säkra eller ej.

Denna fråga kan ej bedömas med ledning av en sammanställning som den nyss givna, ty en stor del av variationen å de olika lokalerna utgöres av en samvariation. Att det förutom den dygnsperiodiska, som vi redan konstaterat, föreligger en operiodisk samvariation mellan stationerna finner man lätt genom att i de utförliga tabellerna söka ut några extremvärden för varje station. Sålunda finner man för Bispgårdsmaterialet, om man tar ut de fyra högsta värdena å varje station, ej blott att av dessa 20 alla utom ett äro morgonvärden, utan även att de nästan samtliga — alla utom fyra — falla på fyra bestämda dagar, den 20, 30 och 31 augusti och 2 september. För Björkviksmaterialet finner man att rekordet i kolsyrehalt för alla fyra lokalerna sättes morgonen den  $\frac{1}{8}$  och att f. ö. de tre dagarna  $\frac{6}{8}$ ,  $\frac{9}{8}$  och  $\frac{13}{8}$  visa höga värden. Motsvarande, fast mindre klart, är förhållandet med de låga

värdena (jfr middagsvärdena i Bispgården den 27—29, i Björkvik den 13, 20—21 och 23—24 augusti).

Man kan därför icke jämföra medeltalen tab. 2 variationsstatistiskt på vanligt sätt, ty förutsättningen därför, att variationen vore planlös, oberoende i de olika serierna, föreligger icke (jfr LUNDEGÅRDH 1924 s. 290). För att jämföra de olika stationerna måste man i stället bilda differenserna vid varje observationstillfälle och behandla de så erhållna serierna statistiskt. Differensserier för de jämförelser, som intressera, äro sammanställda i tab. 3. Förutom jämförelserna mellan olika stationer har medtagits en jämförelse mellan morgon- och middagsvärdena samma dagar å samma stationer.

Man ser att för Bispgårdsmaterialet de enda statistiskt betydelsefulla skillnaderna äro de mellan olika nivåer å samma lokal samt mellan morgon- och middagsvärdena samma dag (om de fyra serierna hopslås), medan skillnaden mellan de olika lokalerna (flaggstången och kronhöjd i bestånden, gallrat och ogallrat bestånd) är ingen. I Björkvik däremot förefalla större delen av skillnaderna, även de mellan olika lokaler, statistiskt säkra.

För bedömande av siffrorna är det dock nödvändigt att diskutera möjliga systematiska fel, vilka den företagna statistiska behandlingen ej kan avslöja. Av redogörelsen för metodiken (avd. 2, jfr särskilt den utförligare framställningen i den tyska resumén) framgår, att med apparater i olika skåp tyvärr inga jämförelseserier av dubbelbestämningar kunnat erhållas, samt att av dubbelprovsserierna med apparater i samma skåp i Björkvik framgå systematiska skillnader av förvånande storlek, varvid märkligt nog hela vägen den vänstra apparaten i skåpet slår högre än den högra. Dessa skillnader ha med ganska stor sannolikhet kunnat återföras på diffusion av kolsyra genom slangarna till barytpipetten i förening med det förhållandet, att baryten alltid brukade tappas i den vänstra apparaten först. Är denna förklaring riktig, så är det sannolikt — men ingalunda säkert — att motsvarande systematiska skillnader mellan de olika skåpen ej behöva befaras. Närmast till hands ligger att anse alla högerapparaterna praktiskt taget felfria, medan de olika vänsterapparaterna anses slå så mycket för högt, som framgår ur de olika serierna av dubbelbestämningar. De korrektioner, som beträffande Björkviksmaterialet behöva införas, skulle då bli följande (i miljondelar  $\text{CO}_2$ ):

1) Skillnaden  $S-U$  minskas med 4,7.<sup>1</sup>

2) »  $S-Gh$  minskas för morgonvärdena (dubbelbest. i  $Gh$ )

med  $4,7^1 - \frac{3,38}{2} = 3,0$ , för middagsvärdena med 4,7.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Denna siffra (4,67) är härledd ur endast 6 dubbelbestämningar och ganska osäker.

3) Skillnaden  $S-O_h$  minskas för morgonvärdena med  $4,7^1 - \frac{3,85}{2} = 2,7$ ,

för middagsvärdena med  $4,7^1$ .

4) Skillnaden  $Gh-O_h$  korrigeras ej.

5) Skillnaden  $Gm-Gh$  (middag) minskas med  $3,38$ .

6) Skillnaden  $Om-O_h$  (middag) minskas med  $3,85$ .

7) Skillnaden  $Gm-Om$  ökas med  $3,85 - 3,38 = 0,5$ .

8) Skillnaderna  $mo-mi$  korrigeras ej för stationerna  $S$  och  $U$ , men minskas för stationerna  $Gh$  och  $O_h$  med resp.  $\frac{3,38}{2} = 1,69$  och  $\frac{3,85}{2} =$

1,93.

För Bispgårdsmaterialet spela motsvarande korrekationer ingen roll. Morgon- och middagsvärden äro här bestämda med samma apparater, mellan de båda apparaterna å den gallrade ytan har ingen systematisk skillnad kunnat påvisas och å den ogallrade ytan användes vid markytan den högra apparaten, så att den obetydliga korrekationen av 1 miljon del här verkar att öka den funna skillnaden mellan markyta och kronhöjd.

Efter införande på respektive ställen av dessa korrekationer återstå följande differenser överstigande 3 gånger sitt medelfel:

#### Bispgården:

$Gm-Gh$ , morgon .....	+ 20,8 ± 4,7	(differens: medelfel = 4,4)	
» middag .....	+ 16,6 ± 4,9	»	3,4
» alla best. ....	+ 22,4 ± 4,6	»	4,9
$Om-O_h$ , morgon .....	+ 20,5 ± 4,8	»	4,3
» middag .....	+ 21,9 ± 4,7	»	4,7
» alla best. ....	+ 21,1 ± 3,2	»	6,5
$mo-mi$ , $Gh$ , $O_h$ , $Gm$ , $Om$ .....	+ 26,9 ± 5,9	»	4,5

#### Björkvik:

$S-O_h$ , morgon .....	+ 10,0 ± 2,6	»	3,9
» middag .....	+ 8,5 ± 2,7	»	3,2
» alla best. ....	+ 9,4 ± 1,8	»	5,1
$Gh-O_h$ , middag .....	+ 8,4 ± 1,7	»	5,0
» alla best. ....	+ 7,6 ± 1,5	»	5,1
$Gm-Gh$ , middag .....	+ 12,8 ± 1,6	»	7,8
$Om-O_h$ » .....	+ 23,4 ± 3,4	»	7,0
$Gm-Gh$ } $\Delta$			
$Om-O_h$ }	- 10,6 ± 2,6	»	4,1

<sup>1</sup> Denna siffra (4,67) är härledd ur endast 6 dubbelbestämningar och ganska osäker.

mo—mi, station <i>S</i> .....	+ 11,7 <sup>+3,3</sup>	(differens: medelfel = 3,6)	
»       » <i>U</i> .....	+ 18,5 <sup>+3,6</sup>	»       »	5,1
»       » <i>Oh</i> .....	+ 9,6 <sup>+2,8</sup>	»       »	3,4
» <i>S, U, Gh, Oh</i> .....	+ 11,8 <sup>+1,6</sup>	»       »	9,3

Av skillnaderna mellan olika lokaler kvarstår alltså endast att värdena å den ogallrade ytan i Björkvik i kronhöjd synas ligga i genomsnitt 8 å 9 miljondelar CO<sub>2</sub>, d. v. s. omkring 3 % lägre än i »fria luften» och å den gallrade ytan. Efter vad ovan sagts är det klart, att ej heller denna skillnad kan absolut garanteras vara verklig, liksom det naturligtvis å andra sidan är möjligt att vissa av de skillnader som — före eller efter korrektionernas anbringande — förefalla statistiskt betydelselösa i själva verket äro säkra. Den slutsats, som man bör dra av de anställda jämförelserna mellan olika lokaler bör därför formuleras på följande sätt: De genomsnittliga skillnader i luftens kolsyrehalt, som eventuellt, i vissa fall troligen, föreligga mellan de undersökta tallbestånden inbördes och mellan dessa och fria luften överstiga knappast ett par tre procent av luftens normalkolsyrehalt. De äro så små, att de i varje fall äro besvärliga att studera med föreliggande metoder. Siffrorna synas antyda en tendens till undernormal kolsyrehalt i kronhöjd i ogallrat bestånd.

Däremot äro skillnaderna mellan markytan och kronhöjd både numeriskt större och fullt säkra. De uppgå i Bispgården i genomsnitt till omkring 7 %, i Björkvik till 4 till 8 %. Likadant är det med skillnaden mellan morgon- och middagsvärden å samma station, som i genomsnitt för de olika stationerna i Bispgården uppgår till 9 %, i Björkvik till 4 %.

Skillnaden mellan markytan och kronhöjd är i Björkvik vid middagstid ungefär dubbelt så stor å den ogallrade som å den gallrade ytan. Denna olikhet framstår som statistiskt säker. Samma tendens kan man konstatera beträffande middagsvärdena i Bispgården, ehuru olikheten här ej är statistiskt säker.

##### 5. Kolsyreavgivning från marken å olika lokaler.

I Bispgården utfördes endast ett tjug bestämningar av kolsyreavgivningen från marken i de undersökta bestånden, men i Björkvik ett 90-tal. Resultaten äro sammanställda i tabell 6 i slutet av uppsatsen. Medeltalet av samtliga utförda bestämningar uppgår i Bispgården till 0,20, i Björkvik till 0,29 liter ren kolsyra (15° C. och 760 mm Hg)<sup>1</sup> pr kvadratmeter markyta och timme. Särhållas värdena från gallrad och ogallrad yta, fås följande medeltal:

<sup>1</sup> För reduktion härifrån till gram multipliceras siffrorna med 1,874.

Bispgården	}	gallrad yta 0,12 liter CO <sub>2</sub> pr m <sup>2</sup> och timme.
		ogallrad » 0,26 » » » » » »
Björkvik	}	gallrad » 0,29 » » » » » »
		augusti ogallrad » 0,31 » » » » » »

De lägre värdena före  $\frac{1}{8}$  i Björkvik, härstammande uteslutande från den ogallrade ytan, ha för att få en rättvis jämförelse ej medtagits i den sista medeltalsberäkningen. Man ser, att å båda undersökningsplatserna en övervikt visar sig till den ogallrade ytans favör, men att skillnaden i Björkvik ej är stor.

Det är av stort intresse att söka utröna, om denna tendens, stark eller svag, kan hävdas motsvara en verklig skillnad eller om den kan tänkas framkallad av tillfälligheter vid materialsamlingen. De fåtaliga värdena från Bispgården bära ej en statistisk behandling, men augustimaterialet från Björkvik har jag underkastat en dylik.

Denna skedde på följande sätt. För varje observationstillfälle uttrycktes vart och ett av värdena i % av deras gemensamma medeltal. Differenserna mellan dessa %-värden och 100 fingo bilda en statistisk serie för var och en av de fyra kategorierna *GM*, *GB*, *OM* och *OB*, varur följande avvikelser i medeltal från den gemensamma medeltalsserien, med medelfel:

$$\begin{aligned}
 GM & -5,76 \pm 4,46 \% \text{ av medeltalet} \\
 GB & +0,25 \pm 5,59 \% \quad \gg \quad \gg \\
 OM & -0,03 \pm 4,71 \% \quad \gg \quad \gg \\
 OB & +5,92 \pm 2,71 \% \quad \gg \quad \gg
 \end{aligned}$$

Samtliga avvikelser ligga, som man ser, långt innanför 3 gånger medelfelet, de äro alltså ej statistiskt säkra. Likadant om man hopslår värdena för moss- och barrfläck, så att man får endast två kategorier, gallrad och ogallrad yta. Avvikelserna från medelserien bli i medeltal  $3,14 \pm 2,86$ , åt negativa hållet för den gallrade, åt positiva för den ogallrade ytan. Skillnaden i genomsnitt mellan ytorna blir alltså  $6,28 \pm 4,04$  % av medeltalet.

Svårigheten att få fram säkra differenser är helt säkert här av väsentligt annan natur än beträffande kolsyrehalten i luften. Den beror dels på den stora variationen från punkt till punkt — märk att skillnaden mellan mossfläckar och barrfläckar är lika stor som mellan gallrad och ogallrad yta — dels på att marken å gallrad och ogallrad yta reagerar olika för väderleksinflytelser. I Bispgården skönjes i de å båda ytorna i stort sett fallande serierna av värden ett till synes betydligt kraftigare fall å den gallrade ytan, vilket jag redan vid bestämningarnas utförande satte i samband med den direkt märkbara snabbare uttorkningen å denna under undersökningsperioden efter det kraftiga regnet den 26—27 aug.

I Björkvik ligger den ogallrade ytan konstant och betydligt över under tiden 13—17 aug., medan f. ö. den gallrade ytan ofta ligger över. Egendomligt nog är det just under en regnperiod som den ogallrade ytan här visar sig överlägsen. Möjligt är, att bäggedera sammanhänger med den synnerligen regniga väderleken under undersökningsperioden i Björkvik, d. v. s. att marken å den gallrade ytan under regnveckan 11—18 augusti fick för mycket vatten, den å den ogallrade mera lagom, men att i stort för perioden den gallrade ytan relativt gynnats av vätan.

Dessa tydliga tendenser till bristande parallellism i gången hos markens kolsyreproduktion å olika gallrade ytor äro ägnade att mana till försiktighet, när det gäller att dra slutsatser av jämförelser mellan kortvariga serier å olika beskaffade lokaler.

I tab. 6 äro med ett fett **r** utmärkta bestämningar å fläckar med multnande ris. Man kan som synes icke säga att dessa helt allmänt ha givit högre värden än samtliga bestämningar å andra fläckar, men rekordvärdena äro att finna ibland bestämningarna å dylika fläckar.

För att få några jämförande siffror å kolsyreproduktionen under lika betingelser för den gallrade och den ogallrade ytans humustäcke insamlades på förslag av prof. HESSELMAN en del humusprov å de båda ytorna i Björkvik, 18 stycken å den gallrade, 16 å den tätare ytan, varvid skildes på mossfläckar och fläckar med multnande ris samt å varje fläck mellan övre och undre råhumusskikt.<sup>1</sup> Dessa provs kolsyreproduktion undersöktes sedan genast efter hemkomsten till försöksanstalten. Härtill användes en apparat som tidigare begagnats av prof. HESSELMAN till liknande försök. Proven inneslutas i glascolvar med känd volym, försedda dels med en upplåst kula, i vilken fylles kalilut, dels med ett stigrör, som sättes ned i ett kärl med vatten. Vattnets stigning i röret är ett mått på kolsyreproduktionen. Kolvarna äro under försöket nedsänkta i ett gemensamt vattenbad för ernående av lika temperatur. Sex prov kunde undersökas åt gången, varvid anordnades så att dessa sex prov i alla försöken fördelade sig så nära som möjligt på samma sätt på de olika kategorierna. Till varje försök användes en avvägd portion humus, avpassad så att den utgjorde mellan 12 och 13 cm<sup>3</sup> (50 cm<sup>3</sup> avmättes med packning så nära som möjligt likadant för de olika proven och vägdes, varpå alltefter den erhållna vikten till försöket avvägdes 5, 5<sup>1/2</sup> o. s. v. ända till 8 g, allt friskvikt). De erhållna värdena på kolsyreproduktion ha för jämförelse först hänförs till viktsenhet lufttorr humus<sup>2</sup> och dessa värden i sin tur uttryckts i % av medeltalet för försöket av de fyra i varje försök en gång representerade kategorierna *GMö*, *GMu*, *OMö* och *OMu* (*ö*=övre, *u*=undre humusskikt), d. v. s. alla prov från mossfläckar. För att få tillräckliga utslag måste försöken gå under natten, vilket tyvärr å andra sidan medförde

<sup>1</sup> Då jag ej är säker att de urskilda skikten alldeles motsvara prof. HESSELMANS vid den tiden ej fastslagna begrepp F- resp. H-skiktet, har jag använt neutrala beteckningar.

<sup>2</sup> Medeltalet av de härvid erhållna värdena för alla försöken med prov från mossfläckar är 34 mm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> pr g torrsvikt och timme.

att i ett par fall vattnet i stigröret steg för högt och rann över, så att endast ett minimivärde kunde erhållas på kolsyreproduktionen. Sammanställningen av resultaten får därför följande utseende:

Procenter på	50-	60-	70-	80-	90-	100-	110-	120-	130-	140-	230-talet	M	Vattenhalt % i medeltal
<i>GM</i> övre humus...	—	—	—	—	—	—	{ 113 115 116 (119)	—	133	144	—	123	70
<i>GM</i> undre » ...	58	60	(70)	{ 85 87	90	—	—	—	—	—	—	75	65
<i>OM</i> övre » ...	—	—	—	—	99	—	116	{ 122 127 >128	—	146	—	123	67
<i>OM</i> undre » ...	—	60	{ 70 77	{ 81 (83)	—	100	—	—	—	—	—	79	61
<i>Gr</i> övre » ...	—	—	—	—	—	—	—	>123	—	—	{ >231 239	198	73
<i>Gr</i> undre » ...	—	—	—	{ 83 87	—	—	—	121	—	—	—	97	65
<i>Or</i> övre » ...	—	—	—	>82	—	—	113	—	—	—	—	98	69
<i>Or</i> undre » ...	—	—	—	83	96	—	—	—	—	—	—	90	64

De med > försedda siffrorna äro av anförd anledning minimivärden, de tre värdena inom parentes av samma skäl maximivärden.<sup>1</sup> Av siffrorna framgår som synes ingen skillnad mellan den gallrade och den ogallrade ytans humustäcke under mossan. Däremot äro de fåtaliga värdena för humus under multnande ris å den gallrade ytan påfallande höga. Å den ogallrade ytan kunde verkliga ansamlingar av multnande ris ej uppletas. Intressant är den påtagliga skillnaden mellan övre och undre humusskikt. Den stämmer med de slutsatser rörande omsättningarnas relativa livlighet i dessa olika skikt, till vilka HESSELMAN (1926) kommit på andra vägar.

Försöket är svagt bl. a. på grund av att proven undersöktes naturfuktiga, alltså med varierande vattenhalt. Denna låg i allmänhet mellan 63 och 70 % (medeltal 66 %) av friskvikten, men ytterlighetsvärdena ligga så långt isär som 54 och 76 %. En korrelation visar sig, som var att vänta, för hela materialet mellan vattenhalt och kolsyreproduktion. Sålunda härstammar det lägsta procentvärdet av kolsyreproduktion från det näst torraste provet i samlingen och de två högsta från de två våtaste proven. Den genomsnittliga skillnaden i vattenhalt mellan de olika kategorierna går, som medeltalen i sista kolumnen i sammanställningen ovan visa, i den riktningen att den gallrade ytans humus var våtare än den ogallrade ytans samt övre humusskiktet våtare än undre. Det är tänkbart, att den förstnämnda av dessa systematiska skillnader i laboratorieförsöken beslöjat den överlägsenhet för den ogallrade ytan, som fältförsöken antyda och som står i överensstämmelse med vissa HESSELMANS iakttagelser, nämligen kraftigare ammoniakbildning i humusen från ogallrad yta (ex. gallringsserien i Bispgården).

<sup>1</sup> Därför att i det medeltal, som satts till 100 för procentberäkningen, ingår ett >-värde.

## 6. Kolsyrehaltens och -produktionens allmänna variationer.

Det har redan påpekats, att det föreligger en tydlig samvariation mellan de olika stationerna i fråga om kolsyrehalten, vilket f. ö. ej ur någon synpunkt är överraskande och ej heller något nytt. Det kan emellertid vara av intresse att granska denna allmänna variation i det föreliggande materialet och se till, om där kan upptäckas några lagbundenheter.

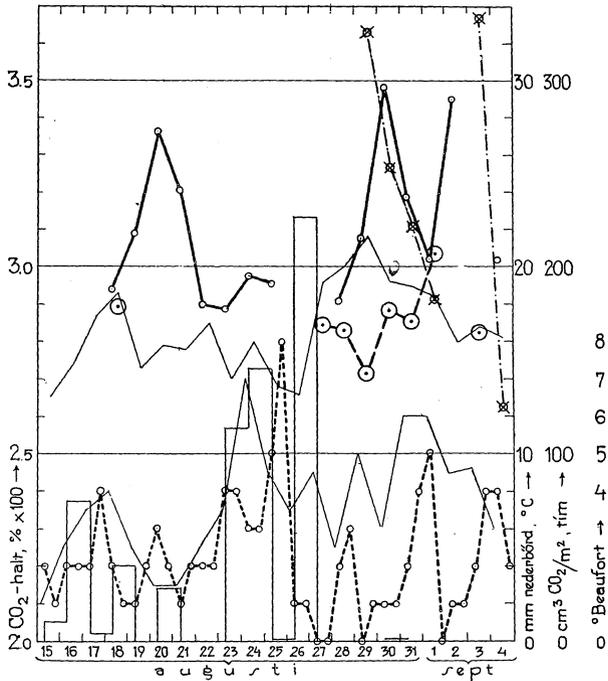


Fig. 2. Bispgården 1922.

- |            |   |
|------------|---|
| ○—○, ○     | } morgonvärden<br>} av $\text{CO}_2$ -halt i kronhöjd, medeltal för <i>Gh</i> och <i>Oh</i> . |
| ○- - -○, ○ |   |
| ○- - -○, ○ | } Mittagswerte  |
| ⊗- - -⊗    | } markandning å en fläck å ogallrade ytan $29/8 - 4/9$ .                                      |
|            | } Bodenatmung an einem Fleck auf der undurchforsteten Fläche.                                 |
| —          | } temperatur kl. 14 samt minimitemperatur.  |
|            | } Temperatur um 14 Uhr bezw. Minimitemperatur.  |
| ○- - -○    | } Vindstyrka kl. 8 och 19 i Beaufort-grader.  |
|            | } Windstärke um 8 und 19 Uhr in Beaufort-Graden.  |
|            | } Nederbörd för dygnet, kl. 8—8.  |
|            | } Niederschlag in 24 Stunden, abgelesen um 8 Uhr.   |

De meteorologiska uppgifterna enligt observationer vid Bispgårdens skogsskola.  
Die meteorologischen Daten nach Beobachtungen an der Forstschule Bispgården.

Till den ändan har jag å fig. 2 och 3 sammanställt en del representativa data beträffande kolsyrehalt och kolsyreproduktion från markens tillsammans med uppgifter rörande temperatur, nederbörd och vind.

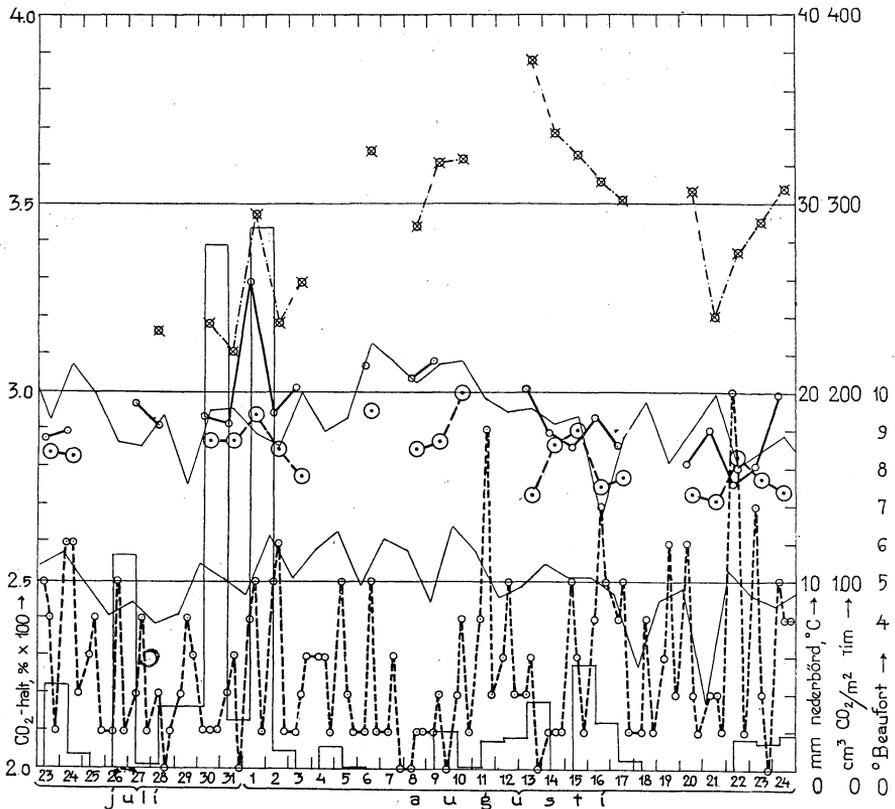


Fig. 3. Björkvik 1923.

Beteckningar som i fig. 2.  $\text{CO}_2$ -halt: medeltal av samtida bestämningar å stationerna *S*, *U*, *Gh* och *Oh*. Kolsyreavgivning: varje värde är medeltal av de två samtida bestämningarna *OM* och *OB* å den ogallrade ytan. Temperatur: maxi- resp. minimitemperatur för dygnet, medeltal av observationerna å stationerna Linköping, Valinge och Ålberga (för Ålberga ingår temperaturen kl. 14 i stället för maximitemperaturen). Vindstyrka: enligt observationerna i Nyköping. Nederbörd: *gemensam* för Valinge och Ålberga (d. v. s. det minsta av de två samtidigt observerade värdena).

Bezeichnungen wie in Fig. 2.  $\text{CO}_2$ -Gehalt: Mittel der gleichzeitigen Bestimmungen an den Stationen *S*, *U*, *Gh* und *Oh*.  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens: Mittel der zwei gleichzeitigen Bestimmungen auf der undurchforsteten Fläche an Flecken mit verschiedener Bodenbedeckung *OM* und *OB*. Temperatur: Maximum- bzw. Minimumtemperatur, Mittelwerte der gleichzeitigen Beobachtungen an den Stationen Linköping, Valinge und Ålberga. Windstärke: nach Beobachtungen an der Station Nyköping. Niederschlag: jedesmal das *kleinste* der gleichzeitigen Werte auf den Stationen Valinge und Ålberga.

Vad vom främst faller i ögonen, är det tydliga sambandet i stort mellan temperatur och kolsyrehalt samt även kolsyreproduktion, där bestämnin-garna äro nog täta och talrika att tillåta konstaterandet av någon all-män gång. Nederbördens inverkan är däremot otydlig och vindens all-deles obefintlig, synes det.

## 7. Beståndets kolhushållning.

Gammal och ny humusteori. Beträffande värdesättningen av kolsyrehalten i luften som ekologisk faktor kan man, som SCHMIDT (1926) träffande säger, konstatera en utpräglad periodicitet. Denna periodicitet har t. o. m. förlupit i både längre och djupare vågor än vad som framgår av SCHMIDTs exempel, och för att ge det rätta perspektivet på frågan måste man gå rätt långt tillbaka i tiden.

Den banbrytande upptäckten av de fundamentala fakta rörande de gröna växternas kolsyreassimilation under 1700-talets sista decennier efterföljdes av den s. k. humusteoriens tid. SAUSSURES exakta försök hade visserligen visat, att gröna växter förmå upptaga kolsyra ur luften och på dennas bekostnad uppbygga torrs substans, även vid kultur i vatten eller på rent kvartsgrus, men man var trots detta benägen att anse atmosfären otillräcklig som kolkälla. Den på den dagliga erfarenheten grundade känslan av den fundamentala betydelse, som jordmånens beskaffenhet har för växternas trivsel och utveckling, gjorde väl det mesta att vända tankarna på markens humus som en viktigare kolkälla för de gröna växterna än luften. Även SAUSSURE själv, som med sina mönstergilla undersökningar lade den bestående grunden till den moderna assimilationsfysiologien, blev en målsman för humusteorien.

Omkring 1840 framträdde den bekante tyske kemisten LIEBIG som agrikulturnforskare, och samtidigt hade den franske kemisten, geologen m. m. BOUSSINGAULT börjat de första exakta lantbruksförsöken i världen. Dessa båda män inledde tillsammans en ny epok. Den förre visade med beräkningar, att även om det vatten, som växterna taga upp ur jorden, utgjordes av en mättad lösning av humusämnen, den därigenom åstadkomna koltillförseln ej på långt när skulle räcka till för den verkliga torrs substansproduktionen (1841 s. 12) och att å andra sidan den i luften förefintliga kolsyran mer än väl bör räcka till för att förse all världens vegetation med dess kolsyrebehov (s. 20—21). Troligen i känsla av att detta resonemang går på sidan av saken meddelar LIEBIG i avslutning härtill i en not en beräkning över de kolsyremängder, som en nykalkad vägg förmår upptaga ur luften per tidsenhet. Slutligen hänvisar han på SAUSSURES och de andra assimilationsfysiologernas försök. LIEBIGS allra mest bärande argument är emellertid det enkla påpekandet, att vegetationen, i stället för att utarma marken på kol, plägar i längden anrika den på humusämnen (s. 15, 56). Den vid humusens sönderdelning uppkomna kolsyran anser LIEBIG likväl vara av betydelse särskilt för unglantornas näring. Han tror att dessa upptaga denna kolsyra genom sina rötter (s. 48, 56). Några egna försök till belysning av frågan meddelade ej LIEBIG. Hans styrka låg i den teoretiska före-

tagsamheten, och hans betydelse för växtfysiologien låg egentligen däri att han med kemistens lyckligt förenklade syn på tingen så grundligt avhånade sin tids växtfysiologer, vilka i riktig känsla av livsföreteelsernas oändliga komplikation tagit sin tillflykt till »livskraften» och sedan, som LIEBIG säger, så gott som av sagt sig bruket av sitt förnuft. I ett bihang till LIEBIGS bok meddelas dock några försök av HARTIG, som bl. a. gävo vid handen, att humusämnen ej alls eller åtminstone i försvinnande grad upptogos av högre växters rötter (böror). De avgörande försöken i frågan utfördes under mångårigt, tråget och noggrant arbete av BOUSSINGAULT, som satte punkt för diskussionen genom ett försök, som man efteråt med SACHS måste finna enkelt som Columbi ägg: han odlade helt enkelt växter i en konstgjord jord utan spår av humus och konstaterade att de kunde utveckla sig normalt.

Efter den nu skildrade brytningstiden vid 1800-talets mitt har det tills helt nyligen i stort sett gällt som ett fastslaget faktum, att de gröna växterna utan svårighet kunna fylla sitt kolbehov ur lufthavets allmänna förråd och att de ej i någon form upptaga kol ur marken. På de sista åren har dock utvecklingen gått därhän, att man på allt flere håll kommit till den uppfattningen, att i den gamla humusteorien dock måste ligga en kärna av sanning, i så måtto att markens kolsyreproduktion är av direkt betydelse för den gröna vegetationens kolhushållning.

De sakliga motiven för denna nya svängning kunna sammanfattas på följande sätt. Det som det för assimilationsutbytet kommer an på är koncentrationen av kolsyra i den närmaste omgivningen av de assimilerande bladen. Däremot är det för ögonblicket fullständigt likgiltigt om hela lufthavets kolsyreförråd är större eller mindre, ty den kolsyra, som växterna ej kunna komma åt, ha de ingen glädje utav. LIEBIGS resonemang i denna punkt är alltså förfelat. Problemet rör sig ej om absoluta kvantiteter, utan är dynamiskt. I vad mån tillförseln av kolsyra uppifrån lufthavet förmår ersätta förbrukningen genom växternas assimilation tillräckligt raskt beror på hur energisk omröringen är i massan (diffusionen är praktiskt taget måktlös i det stora lufthavet). BOUSSINGAULTS och andra liknande försök med enstaka växter, planterade i kolfri mark, ha visserligen visat, att växterna kunna reda sig utmärkt med den kolsyrekoncentration, som plägar uppträda vid markytan, men de visa icke att denna koncentration vidmakthålles av tillförsel uppifrån lufthavet. Tvärtom kan det mycket väl vara så, att kolsyreavgivningen från de väldiga arealerna fertil mark spelar en väsentlig roll för upprätthållandet av normal koncentration, trots det gröna växttäckets enorma kolsyreförbrukning. Att det i varje fall ej kan vara tal om någon praktiskt taget fullkomlig ständig omblandning av de olika skikten i

det stora lufthavet framgår redan av den märkliga dagsperiodicitet i kolsyrehalten, med maximum om natten, minimum om dagen, som FODORS (1881, 1882) och en mängd andra forskares luftanalyser visat (jfr mina serier ovan), samt av den tydliga inverkan av markens kolsyreproduktion på de understa luftlagrens kolsyrehalt, som ävenledes redan FODOR påvisade.

Ett av LIEBIGS argument står dock kvar, nämligen att ett växttäckte oftast i längden anrikar marken på kol i stället för att göra den fattigare därpå. Detta talar emellertid närmare besett ingalunda emot att den från marken frigjorda kolsyran kunde vara av väsentlig betydelse. Att ett växtsamhälle i tidernas längd anrikar marken på humus säger nämligen intet om storleken av de kolbelopp, som växtsamhället pr år eller dag insuger uppifrån atmosfären, jämfört med omsättningen inom växtsamhället självt, om man till detta även räknar marken, vari de gröna växterna äro rotade, med dess icke gröna organismer. Det kan mycket väl vara så, att huvudparten av kolomsättningen är ett helt lokalt kretslopp från marken till de gröna växterna och tillbaka igen.

Vad nu speciellt skogssamhällena beträffar, är just i de mera produktiva typerna benägenheten för en ansamling av humus obetydlig. HESSELMAN (1926 s. 179) skildrar förhållandena i en urskog av en frodigare typ (Kubani) och påpekar, att trots det att sedan århundraden eller årtusenden ingenting tagits bort ur skogen endast obetydligt med växtrester finnas på marken, vilken ej heller innehåller några större humusmassor. Balansen mellan de kolsamlade och kolfrigörande processerna är sålunda nästan fullständig, d. v. s. skogssamhället som helhet, om man medräknar marken, samlar tydligen endast obetydligt med kol från luften.

**Kolets kretslopp.** På sista tiden har man på flera håll försökt sig på numeriska jämförelser mellan de kolmängder, som pr tids- och ytenhet frigöras ur marken och bindas av skogsbeståndet. Det har ej kunnat bli fråga om annat än mycket grova överslagsberäkningar, men genom dessa har i alla händelser gjorts sannolikt, att markens kolsyreavgivning och beståndets kolsyreförbrukning äro av samma storleksordning (jfr MEINECKE 1927 s. 120—124).

Mina egna bestämningar av kolsyreavgivningen från marken i de undersökta bestånden stämma till sin storleksordning fullständigt med MEINECKES siffror. Hans genomsnittsvärde, 0,4 g CO<sub>2</sub> pr m<sup>2</sup> och timme (s. 111) stämmer nästan exakt med mitt medeltal från Bispgården, 0,2 liter (= 0,37 g) pr timme och m<sup>2</sup>. Medeltalet i Björkvik var som vi minnas ännu högre, 0,29 liter. Då skogsproduktionen på de av mig undersökta ytorna ävenledes är av samma storleksordning som den, varmed MEINECKE räknar, vill det synas som om även för dessa bestånd

huvudparten av kolomsättningen vore en cirkulation inom beståndet.

Ett noggrannare genomförande av dylika beräkningar skulle kräva kännedom om data, som tills vidare äro obekanta, först och främst om vilken del skogsträdens rötters andning har i markens kolsyreproduktion (jfr nedan); vidare borde man veta assimilationsarbetets kvantitativa fördelning i tiden. Slutligen behöves det fortlöpande bestämningar av markens kolsyreavgivning sträckande sig över hela vegetationsperioden och ej endast stickprov, som mina äro, låt vara att efter vad MEINECKES resultat synas visa man kan bedöma kolsyreavgivningens fördelning över sommaren i stora drag med hjälp av temperaturen. Kolsyreproduktionen å MEINECKES »standardyta», vilken han följt från juni till november, visar utjämnad en stegring från 5 g CO<sub>2</sub> pr dag och m<sup>2</sup> i början av juni till mellan 10 och 15 g i augusti för att därefter åter sjunka och dala ned till 5 g med oktober månads utgång. Maximivärdet i augusti för denna serie stämmer alldeles med medeltalet av mina augustivärden från Björkvik, 0,3 l pr timme och m<sup>2</sup>.

Överensstämmelsen mellan MEINECKES och mina värden för CO<sub>2</sub>-produktionen i en rad normala skogsbestånd är i varje fall glädjande och synes ägnad att skaffa en fast punkt i diskussionen.

Tills vidare obegriplig är mig å andra sidan den dåliga överensstämmelsen mellan FEHÉRS (1927) å Hallands Väderö erhållna värden å ena sidan, MEINECKES och mina å den andra. FEHÉR finner å Väderön en kolsyreavgivning, som i medeltal för tallskog uppgår till 2,98, för bokskog till 8,7 g CO<sub>2</sub> pr timme och m<sup>2</sup>, d. v. s. resp. 71,5 och 209 g pr dag och m<sup>2</sup> eller uttryckt som jag ovan plägat resp. 1,6 och 4,6 l pr timme och m<sup>2</sup>, alltså värden av en annan storleksordning än MEINECKES och mina siffror. Högst sannolikt äro hans värden alldeles för höga som medelvärden. En kolsyreavgivning av den storlek, som de antyda, skulle nämligen, om icke rotandningen uppgår till alldeles enorma belopp, överstiga de motsvarande beståndens kolsyreförbrukning, och det finnes ingen anledning att anta, att den tendens till råhumusbildning, som man kan iaktta i Väderöns skogssamhällen, plötsligt skulle förbytts i en forcerad realisation av det samlade kolförrådet, om icke möjligen rent lokalt och tillfälligt på grund av en nyss utförd gallring el. dyl. Jämför f. ö. noten sid. 52. (*Anm. i korr.: Decimalkommat har kommit fel, jfr s. 56.*)

Den största svaghet, som alla hittills gjorda jämförelser mellan kolsyreproduktion och -konsumtion i beståndet lider av, är att man ej känner rotandningens storlek. Den av rötterna avgivna kolsyran ingår i den från marken avgivna<sup>1</sup>. Däremot ingår ej som tillbörligt en motsvarande konsumtionspost i de beräkningar av konsumtionen, som kunna företagas med ledning av den uppskattade produktionen av ved, kvist och barr

<sup>1</sup> Vid bestämningarna nedtryckes visserligen apparatens kant i jorden och avskär de flesta rötter, men dessa sluta säkerligen ej därför att andas.

eller löv. Det är tydligt, att rötternas andningsmaterial härstammar från växternas ovanjordiska, gröna delar och att dessa för att kunna leverera detta material måste assimilera kolsyra utöver de belopp, som motsvaras av uppskattningsbar produktion av ved och löv eller barr. Vilken bråkdel detta speciella kolkretslopp från kronan ned genom stammen och tillbaka genom luften utgör av det totala är tyvärr f. n. omöjligt att säga<sup>1</sup> men troligen är den ingalunda försvinnande liten. Det kan vara skäl att påminna om en visserligen högst osäker beräkning av STOKLASA & ERNEST (1905), enligt vilken kolsyreproduktionen från marken å ett fält med vete skulle till nästan lika stor del härstamma från veterötterna som från de egentliga markorganismerna, samt om en av LUNDEGÅRDH (1924) företagen skattning, enligt vilken  $\frac{1}{3}$  av CO<sub>2</sub>-produktionen å ett havrefält skulle vara rotandning<sup>2</sup>. I varje fall får man komma ihåg, att om man finner överensstämmelse mellan markens kolsyreproduktion och den ur skogliga produktionssiffror med tillägg för barrproduktion o. dyl. beräknade konsumtionen av kolsyra, så betyder detta icke, att balansen mellan produktion och konsumtion av kolsyra i beståndet är fullständig, utan tvärtom, att detta från luften samlar kol med en intensitet just motsvarande rotandningens.

Det kan emellertid ha sitt intresse att se till hur mycket råhumusmaterial som skulle förbrukas per tidsenhet för att motsvara en viss kolsyreproduktion, om denna uteslutande härrörde sig från nedbrytningsprocesserna i råhumusen. Som medeltal av mina bestämningar av torrvikten hos 50 cm<sup>3</sup> packad råhumus från Björkviksytorna framgick siffran 8,68 g. Ur den vid förbränningsanalys på humus övliga reduktionsfaktorn 0,47<sup>1</sup> beräknas humusens kolhalt till 57,9 %. Ett 1 cm tjockt råhumusskikt innehåller alltså i runt tal ett kilogram kol pr kvadratmeter, motsvarande 1,97 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> (15°, 760 mm Hg). Ett 1 cm råhumusskikt skulle alltså för att alstra genomsnittligt resp. 0,2 och 0,3 liter kolsyra pr timme under en 4 $\frac{1}{2}$  månader lång sommar behöva förbrännas på resp. 3 och 2 somrar — siffror som förefalla rimliga. För att alstra den av FEHER för bokskogen angivna kolsyremängden pr timme skulle under en enda lika lång sommar ett nära 8 cm tjockt råhumustäcke behöva brinna upp — en siffra som nästan väcker tanken på skogseld. (Anm. i korr.: jfr s. 56).

Med stöd av mina bestämningar, som visserligen äro fragmentariska, men på ett mycket värdefullt sätt styrkas och kompletteras av MEINECKES längre serier, torde man kunna ange storleksordningen av den genomsnittliga kolsyreavgivningen under sommaren från marken i de undersökta mossrika tallbestånden till 0,2 liter pr timme och m<sup>2</sup>. Denna pro-

<sup>1</sup> MEINECKE sätter rotandningens belopp till 10 % av den totala assimilationen. Siffran är efter vad jag kan förstå fullständigt gripen ur luften.

<sup>2</sup> Utan att vilja fästa något avseende vid siffran vill jag även påpeka att CO<sub>2</sub>-avgivningen från humusen i mina laboratorieförsök endast var omkring hälften av vad bestämningarna i fältet låtit vänta, om nedbrytningsprocesserna i humustäcket vore orsaken till markens hela kolsyreproduktion.

duktion motsvaras som nämnt till storleksordningen av beståndets konsumtion, sådan den kan grovt beräknas ur skogliga produktionssiffror (stammarnas årliga löpande tillväxt är i Bispgården omkring 8, i Björkvik omkring 6 m<sup>3</sup> pr har. Den mängd assimilat som hamnar i kvist och barr plägar anslås till lika mycket som den som hamnar i stamved. En kolsyreproduktion av 0,2 liter pr timme och m<sup>2</sup> under 4<sup>1/2</sup> månader motsvarar kolhalten i 13,5 m<sup>3</sup> ved).

De undersökta beståndens kolfångst uppifrån atmosfären synes alltså i varje fall knappast kunna i särdeles hög grad överstiga rotandningens belopp.

En kolsyreproduktion av 0,2 liter pr timme och m<sup>2</sup> motsvarar ett frigörande pr sommar av kolförrådet i ett  $\frac{1}{3}$  cm tjockt råhumusskikt. Råhumusens kolförråd, hopbragt under sekler, synes alltså ungefär motsvara vad marken i de undersökta bestånden avger under ett decennium.

**Kolsyregödsling.** Om kolet, som vid den aktuella produktionen i skogen bindes i voden, kommer uppifrån eller nedifrån, är ju emellertid en fråga av närmast rent teoretiskt intresse. Det praktiska intresset börjar först med frågan, om det är nödvändigt, angeläget eller överhuvud möjligt att inverka på villkoren för trädens kolsyreförsörjning medelst skogliga åtgärder. MEINECKE och några andra besvara dessa frågor med ett entusiastiskt ja. Deras kritiker äro å andra sidan lika säkra på att hela den moderna »kolsyrefrågan» är uppkonstruerad, ett förflyget hugskott, och det är sannerligen ej svårt att finna anledningar till kritik i de flesta av kolsyreentusiasternas framställningar. Men även kritiken har delvis rört sig med underliga argument. Man har gått så långt att man velat förneka att en höjning av kolsyrekoncentrationen skulle kunna åstadkomma en stegrad assimilation vid fullt ljustillträde. Det vederhäftigaste som skrivits i den moderna kolsyrefrågan är utan tvivel LUNDEGÅRDHS avhandlingar. Hans resultat, som huvudsakligen gälla produktionen på åkern, i trädgården och i växthus, kunna kort sammanfattas sålunda. Markens kolsyreproduktion och grödans konsumtion av kolsyra äro i normala fall av samma storleksordning. Vid livligt assimilationsarbete sjunker likväl kolsyrehalten i luften i grödans nivå under atmosfärens normala. Kolsyra strömmar naturligtvis då till dels uppifrån luften, dels nedifrån marken. Det bör löna sig att söka genom kolsyregödsling hindra uppkomsten av alltför starka kolsyreunderskott i grödans nivå. Assimilationsintensiteten står i direkt och starkt beroende av kolsyrekoncentrationen omkring bladen, och den underifrån serverade kolsyran kommer i stor utsträckning grödan till godo, så länge man endast inriktar sig på att minska kolsyreunderskottet i grödans nivå. Däremot är en kolsyregödsling, som inriktar sig på att hålla grödan med en kolsyrekoncentration högre än luftens normala,

ett tvivelaktigt företag, ty man måste då bereda sig på att få gödsla mer än man skördar, i kol räknat, vilket endast i rena undantagsfall kan vara rimligt.

Vad de av mig undersökta tallbestånden beträffar, lyckades det ej att ur de kortvariga serierna från Bispgården få fram något genomsnittligt underskott under den fria luftens kolsyrehalt i luften i bestånden, men i Björkvik antyda siffrorna ett litet underskott i kronhöjd i det ogallrade beståndet. MEINECKE härleder ur sina visserligen alldeles för fåtaliga serier av bestämmingar på olika nivåer en »normalfördelning» av kolsyrehalten i det assimilerande beståndet, som stämmer med den LUNDEGÅRDH funnit inom ett bestånd av växande gröda på åkern, nämligen ett minimum i det tätaste kronskiktet och högre värden både uppåt och nedåt. Det vill av detta visserligen bristfälliga material synas, som om förhållandena låge i princip likartat i skogen och på åkern.

Vi kunna emellertid tillsvidare lämna åsido såväl frågan hur kolsyrekoncentrationerna normalt gestalta sig i skogsbestånden som den därmed sammanhängande frågan hur mycket som ur produktionssynpunkt kan vara att vinna enbart genom att gestalta kolsyrefaktorn gynnsammare. Vi utgå blott ifrån, att en höjning av kolsyrehalten i luften omkring de assimilerande barren eller bladen måste under oförsämrade betingelser för övrigt medföra en produktionsökning<sup>1</sup>. Det vore alltså önskligt att höja kolsyrehalten i skogsbeståndens kronor. Vilka möjligheter föreligga då härför? Direkt begäsning och gödsling överhuvud i form av tillförsel av material utifrån beståndet är utesluten i skogsbruket. Det återstår närmast att tänka på åtgärder till stegring av markens naturliga kolsyreproduktion, av vilka åtskilliga äro tänkbara. Men även här nås snart en gräns för det möjliga, ty en kolsyreproduktion, som överstiger kolfångsten hos de gröna växterna i beståndet, kan uppenbarligen ej upprätthållas i längden, endast så länge, som det finns ett sparat kolkapital från gångna tider kvar i marken att tära på. Vi ha ovan sett, att råhumusens kolkapital i normala växtliga bestånd ej är särdeles stort i förhållande till den normala kolomsättningen<sup>2</sup>.

Den av LUNDEGÅRDH framhållna synpunkten, att det är orimligt att sträva efter att i längden hålla kolsyrehalten överallt runt grödan högre än den normala gäller även för skogens del.

<sup>1</sup> Att avvisa t. o. m. detta antagande, såsom faktiskt förekommit, på grund av att inga odlingsförsök gjorts med hela träd vid olika kolsyrekoncentrationer, innebär enligt min mening en hyperkritisk underskattning av föreliggande tillförlitligt fysiologiskt erfarenhetsmaterial, parad med en lika egendomlig brist på kritik vid bedömningen av några tvivelaktiga försök av ett par MITSCHERLICHs lärjungar och lärarens matematiska fantasier däröver.

<sup>2</sup> Till råhumusens kolförråd måste visserligen läggas ett förråd av samma storleksordning i mineraljorden, framför allt rostjorden. Betingelserna för detta förråds mobilisering äro okända. Det må emellertid här anmärkas att jag funnit en ganska riklig bakterieflora av WINOGRADSKYS »autoktona» typ ända långt ned i rostjorden i podsolprofiler (20 cm djup).

Detta är egentligen självklart och skulle ej särskilt framhållits, om icke MEINECKE syntes vilja hävda motsatsen, åtminstone indirekt, genom många av sina resonemang. Han påstår bl. a., att kolsyrehalten i bestånden å alla höjder skulle normalt ligga över den fria luftens, härleder detta från skogsmarkens kolsyreproduktion och drar fullt logiskt den slutsatsen, att »mellan kronorna ständigt kolsyra strömmar ut till den atmosfäriska luften» (1927 s. 133). Skogsmarken under slutna bestånd i Tyskland eller åtminstone Gahrenbergs revir. skulle alltså vara som bäst i färd med att kasta det kolkapital, som den tidigare sparat i sin råhumus, ut på världsmarknaden. Så står det nog ej till. MEINECKE har företetts till sin slutsats därigenom att han jämfört sina värden för kolsyrehalten i bestånden icke med den fria luften i Gahrenberg, vilket hade legat närmast till hands, utan med litteraturens fria luft, som oföränderligt innehåller 0,03 % kolsyra. Hans tillvägagångssätt i detta fall är så mycket egendomligare som han hade till sitt förfogande en förträfflig jämförelsepunkt, ett torn nående 5 m över trädtopparna, där han emellertid ej brytt sig om att göra mer än 12 bestämningar. Dessa ge i stället för 0,03 % ett medelvärde av 0,04 %, vilket är alldeles den siffra, som MEINECKE nämner som medeltalet för alla nivåer i bestånden och alltså är högre än genomsnittliga kolsyrehalten i kronhöjd.

Naturligtvis kan å andra sidan markens kolsyreavgivning tillfälligt höjas vida över den därpå växande högre vegetationens kolsyrefångst. Det är vad som sker på ett hygge, måhända ock vid en del gallringsingrepp. Från kolsyrehushållningssynpunkt borde man sörja över allt det kol, som där går upp i luften ovan trädtopparna. Även i ett annat fall kommer denna synpunkt i ohjälplig konflikt med vad skogsmannen av erfarenhet tror vara lyckligt: i fråga om bränningen. Ur kolkapitalistisk synpunkt är det uppenbarligen urbotat att för alla vindar förslösa det dyrbara kol, som ligger sparat i en präktig råhumuspåls. Den skogsbruksform, som är mest ägnad att tilltala en kolsyreentusiast är blädningen; ty i blädningsskogen finnas alltid träd till hands att ta vara på kolsyran efter hand som den avges från marken.

För övrigt sammanfalla kolsyreteoretikernas önskemål med de allmänt skogsmarksvårdande på ett sätt som är lyckligt icke minst därför att det i det stora hela synes befria skogsmannen från att behöva ägna några extra bekymmer åt trädens kolsyreförsörjning. Att söka hålla god omsättning i marken under ett lagom slutet bestånd, motarbeta råhumusbildningen; gödsla marken med ris och löv, allt detta är ägnat att tillfredsställa ur både allmänt markvårdande och speciell kolhushållningssynpunkt. Det är lika svårt att bestrida som att påstå att den gynnsamma effekten med åtgärder sådana som risgödsling och lövinblandning i beståndet med minskad råhumusbildning som följd delvis beror på en något förbättrad kolsyreförsörjning av beståndet.

**Beståndstäthet och kolsyrekonkurrens.** När de föreliggande undersökningarna igångsattes planerades de med bl. a. den avsikten att möjligtvis

få ett bidrag till utredningen av den ekologiskt dunkla gallringsfrågan. Parallellserierna i gallrade och ogallrade bestånd ha emellertid icke visat några skillnader annat än mellan den hårt gallrade ytan 297 i Björkvik med dess glesa trädbestånd, där kolsyrehalten i kronhöjd var lika med den i »fria luften», och det ogallrade beståndet intill, där den å samma höjd befanns omkring 3 % lägre. Samtidigt framkom förvånande nog ingen säker skillnad mellan »fria luften» och luften i kronhöjd i ett tätt ungbestånd av tall.<sup>1</sup> I tätare bestånd måste naturligtvis konkurrensen om kolsyran vara större, och man har från den synpunkten att vänta sig genomsnittligt lägre kolsyrehalter. Å andra sidan tyder tendensen i bestämningarna av kolsyreavgivningen från marken på att beståndstätheten inverkar även i motsatt riktning, i det att kolsyreavgivningen tycks vara något större å de ogallrade ytorna. I det nyss nämnda täta ungbeståndet kunde tyvärr på grund av avståndet till de tillhörande skåpen inga bestämningar med markklockorna utföras. En kraftigare kolsyreavgivning å de ogallrade ytorna skulle kunna bero dels på kraftigare barrfall och starkare rotandning, dels på jämnare fuktighet i marken. Att i alla händelser en god slutenhet hos beståndet kraftigt befördrar vissa omsättningar i humustäcket har HESSELMAN (1926 s. 329, 330) funnit vid sina studier över kvävemobiliseringen. Vad orsaken må vara till att den väntade skillnaden i luftens kolsyrehalt mellan gallrade och ogallrade ytor utblivit eller endast uppgått till en ren obetydlighet, så har undersökningen i alla händelser ej givit något stöd för åsikten att en skillnad i kolsyre-försörjningen skulle vara någon väsentligt bidragande orsak till lägre produktion i ogallrade än i rationellt gallrade mossrika tallbestånd — om nu en dylik skillnad i produktion brukar förekomma, vilket ej heller tycks vara så säkert (jfr om Bispgårdsytorna HOLMGREN & MONTELL 1927, s. 39—41).

**Underväxtens villkor.** Den högre kolsyrehalt nära marken, som alla å olika höjder utförda jämförelseserier av analyser visat, torde i många fall ha en ej oväsentlig betydelse för ungpantornas och underväxtens ekologi, såsom LUNDEGÅRDHS vackra fysiologisk-ekologiska undersökningar visat att den har för markörternas ekologi i bokskogen på Väderön. Den högre kolsyrehalten kan nämligen i viss mån ersätta bristen på ljus.<sup>2</sup>

Vid mina egna undersökningar ha överhuvud små genomsnittliga skillnader i kolsyrehalt mellan olika stationer framkommit. Detta gäller även skillnaderna mellan halten vid markeytan och i kronhöjd i samma bestånd

<sup>1</sup> Det är dock möjligt att den införda korrektionen, som bragte skillnaden att försvinna, är för stor.

<sup>2</sup> MEINECKES eljest säkerligen föfelade resonemang om vinden som en kolsyrevärdare kan alltså ha sin riktighet för underbeståndet. Dess villkor kunna sannolikt försämrans genom att släppa vinden in i beståndet.

(mellan 4 och 8 %). Andra forskare ha funnit betydligt större kolsyreöverskott vid markytan, t. ex. FEHÉR i bokskog å Hallands Väderö genomsnittligt 40 % över luftens normalhalt. Det var knappt att vänta att finna några rekordvärden på de nämnda skillnaderna i en jämförelsevis gles skogstyp utan egentlig underväxt, där luftrörelserna äro relativt ohindrade. Snarare är det anmärkningsvärt, att det även å de gallrade ytorna med deras ringa vindfång likväl kunnat påvisas otvetydiga kolsyreöverskott ovanför mosstäckets.

**Specialfall.** Ett närmare studium av kolsyrehalten och dess variationer i olika behandlade bestånd, olika skogstyper o. s. v. och deras ekologiska betydelse skulle utan tvivel kunna ge en del intressanta specialresultat, om de fullföljdes nog ingående. Detta vore emellertid åtminstone med nu föreliggande metoder ett ytterligt arbetsamt företag, som efter vad ovan anförts knappast kunde försvara sin plats på Skogsförsöksanstaltens program. Till en tillfyllestgörande dylik undersökning måste höra ej blott serier av analyser å talrika stationer med korta mellanrum åtminstone under hela morgonens och förmiddagens lopp (jfr. den allt annat dominerande skillnaden mellan morgon och middag i mina serier!) med jämnlöpande kontroll av klyvöppningarnas öppningsförhållanden hos träden, allt detta utsträckt över hela vegetationsperioden, utan även en undersökning av beroendet mellan kolsyrehalt och produktion hos träden vid olika ljusstyrkor. Bland skogligt intressanta frågor, som kunde tänkas bli belysta genom en dylik undersökning — visserligen fortfarande utan att några nya direktiv för praktiken bleve följden — må nämnas orsaken till de vackra resultaten av de RONGE-ska »bolsjevikgallringarna» i Norrland. Tillväxten synes ej, såsom man trott, börja tidigare i de gallrade bestånden, men sätta relativt kraftigare fart under början av vegetationsperioden (jfr ROMELL 1925). Det är möjligt att vad som fattas de ogallrade bestånden under sommarens tidigare del bl. a. är kolsyra på grund av den ringa kolsyreavgivningen från deras sent tinade, kalla mark, och att de av den anledningen ej kunna utnyttja vår- och försommarsolen så som de borde.

## Förklaringar till tab. 4 och 5.

## Tabell 4.

Klockslag angivna avrundade till kvartstimmar.

De kursiva bokstavsförkortningarnas betydelse, se avd. 3, sid. 3.

En asterisk \* utmärker att värdet är medeltal av två dubbelbestämningar.

Väder och temperatur efter observationerna vid Bispgårdens skogsskola.

Väderstreck avrundade till 16-strålig kompassros. Siffran efter vindriktningen betyder vindstyrka i Beaufortgrader. Siffrorna i kol. »moln» beteckna sammanlagd molnmängd efter en 10-gradig skala. Nederbörd och minimitemperatur gälla det dygn från kl. 8 till 8, som slutade då avläsningen gjordes.

(1) värdet korrigerat med halva den genomsnittliga skillnaden mellan apparaterna (jfr tab. 1, s. 2).

(2) till (4): jfr anmärkningar med motsvarande nummer till tabell 6 (sid. 33).

## Erklaringen zu Tabelle 4.

Uhr: Tagesstunden auf  $\frac{1}{4}$  Stunde genau nach der 24-stündigen Uhr.

F, Gh, Gm, Oh, Om, G, O: vgl. Abschnitt 3, S. 46.

Wetter und Temperatur nach Beobachtungen an der Forstschule Bispgård.

Die Ziffern nach der Windrichtungsangabe (englische Bezeichnung, 16 Himmelsstriche) bedeuten Windstärke in Graden Beaufort. »Regn» = Niederschlag in den vorausgehenden 24 Stunden, »Moln» = Bewölkung nach einer 10-gradigen Skala, »dimma» = Nebel, »regn» = Regen. »Min.» = Minimitemperatur in den vorausgehenden 24 Stunden.

\* Mittel aus zwei Doppelbestimmungen.

(1) korrigiert mit der Hälfte des Unterschiedes zwischen den zwei Apparaten (vgl. Tabelle 7, S. 38).

(2) bis (4): vgl. die Anmerkungen mit entsprechenden Nummern zu Tab. 6 (S. 33).

## Tabell 5.

Beteckningar m. m. i stort sett lika med i tabell 4.

De kursiva bokstavsförkortningarnas betydelse, se avd. 3, sid. 3.

Väderleksuppgifterna: vind enligt observationerna i Nyköping (meteorologiska anstaltens årsbok 1923), nederbörd enligt observationerna i Valinge och Ålberga, dygnets maximi- och minimitemperatur medeltal av de observerade värdena i Linköping, Valinge och Ålberga (för Ålberga, där maximitemperaturobservationer ej gjorts, har vid beräkningen insatts temperaturen kl. 14).

## Erklaringen zu Tabelle 5.

Bezeichnungen usw. in der Hauptsache wie in Tab. 4.

S, U, Gh, Gm, Oh, Om, GM, GB, OM, OB: vgl. Abschnitt 3, S. 46.

Witterung: Wind nach den Beobachtungen an der Station Nyköping, Niederschlag für die Stationen Valinge und Ålberga, Maximi- und Minimitemperaturen Mittel der an den Stationen Linköping, Valinge und Ålberga (für diese Station statt der nicht beobachteten Maximitemperatur die Temperatur um 14 Uhr) beobachteten Werte.

## Berechnungsbeispiel.

Gm  $\frac{1}{8}$  1923 (App. 1, Schrank A). Daten: B 739 mm, T 16,5°, Säureverbrauch 25,65 cm<sup>3</sup>; Volumen des Apparats 3 990 cm<sup>3</sup>, Säureäquivalent der Berytportion aus A 36,25 cm<sup>3</sup>, Säure 0,009333 äquivalentnormal, also 0,009333 · 22 : 1,874 = 0,1095 Vol. CO<sub>2</sub> (15°, 760 mm) pro Vol. entsprechend. — Hieraus BT-Korr. 0,949, Säuredifferenz 10,6 cm<sup>3</sup>, gesuchter CO<sub>2</sub>-Gehalt (10,6 · 0,1095) : (3 990 · 0,949) = 3,07 · 10<sup>-4</sup> Teile pro Volumen trockne Luft.

Tabell 4. Bispgården 1922.

Datum	Klockslag Uhr	Kolsyrehalt (CO <sub>2</sub> -Gehalt) vol.-% × 100					CO <sub>2</sub> -produktion cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> , h		Väder (Wetter)				Temperatur		
		F	Gh	Gm	Oh	Om	G	O	kl	Vind	Regn mm	Moln	kl	°C	Min. °C.
16/8	8	—	3,10*	—	—	—	—	—	8	SSE 2	1,0	6	8	10	5
»	16	—	2,98*	—	—	—	—	—	19	E 2	—	1	14	14,8	
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	9	
17/8	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,19*	—	—	—	—	—	—	8	E 2	7,5	1	8	10	7
»	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	2,95*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	17,4	
»	20	—	3,01*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
»	21	3,09*	—	—	—	—	—	—	19	E 4	—	9	21	11	
18/8	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	2,95*	—	—	—	—	—	8	ENE 2	0,4	regn	8	14	8
»	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	—	—	2,93*	—	—	—	—	—	—	—	14	18,6	
»	10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,88*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
»	14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	2,89*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
»	15 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	—	—	2,90*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
»	17	2,88*	—	—	—	—	—	—	19	E 1	—	7	21	10	
19/8	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,34*	3,17*	—	3,01	—	—	—	8	ESE 1	4,0	dimma	8	10,8	5
»	18 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	3,15*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	14,6	
»	19 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —19 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,91*	—	—	2,94	—	—	—	19	E 2	—	9	21	8	
20/8	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,40*	3,35*	—	3,38*	—	—	—	8	SE 3	0	dimma	8	8,6	3
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	15,8	
»	20 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —20 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,08*	3,03*	—	2,94*	—	—	—	19	ESE 2	—	0	21	7,8	
21/8	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,17*	3,20*	—	3,21*	—	—	—	8	ESE 1	2,8	dimma	8	8	3
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	15,6	
»	18 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —18 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,81*	2,83*	—	2,88*	—	—	—	19	N 2	—	3	21	10,6	
22/8	8	3,09*	—	—	—	—	—	—	8	NNW 2	0	—	8	10,2	5
»	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	2,90*	—	2,90*	—	—	—	—	—	—	—	14	17,0	
»	17—17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	2,91	3,09	2,81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
»	19	2,87*	—	—	—	—	—	—	19	E 2	—	—	21	12,0	
23/8	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,88*	2,89*	—	2,89*	—	—	—	8	SE 4	0	—	8	15	7
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	14	
»	19 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —20	2,95(†)	2,95*	—	2,97*	—	—	—	19	SE 4	—	regn	21	14,4	

24/8	83/4	2,92*	—	—	—	—	—	—	8	S 3	11,4	regn	8	14,6	14
»	9—9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	3,00	3,31	—	—	131	—	—	—	—	—	14	16	—
»	10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	—	—	2,95*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	18 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,07*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	19 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	3,03	3,85	3,03	—	—	—	19	S 3	—	regn	21	14	—
25/8	9	2,88*	—	—	—	—	—	—	8	SE 5	14,5	—	8	13,4	9
»	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	—	2,95	2,95	2,96	3,05	—	—	—	—	—	—	14	13,6	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	19	SE 8	—	—	21	11,6	—
26/8	—	—	—	—	—	—	—	—	8	SE 1	0,1	—	8	11,8	7
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	13,2	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	19	SE 1	—	regn	21	12,4	—
27/8	—	—	—	—	—	—	—	—	8	W 0	22,7	regn	8	11,2	9
»	14	—	2,89	2,94	2,80	3,15	—	—	—	—	—	—	14	19,2	—
»	15 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,77*	—	—	—	—	—	—	19	E 0	—	4	21	9,2	—
28/8	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,96*	2,80	2,95	3,02	3,14	—	—	8	ESE 2	0	dimma	8	11,4	5
»	14—14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,84*	2,84	3,04	2,82	2,92	—	—	—	—	—	—	14	20,0	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	19	ESE 3	—	0	21	13,0	—
29/8	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3,03*	3,12	3,35	3,04	3,42	—	—	8	ESE 0	0	6	8	15,4	10
»	14—14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	2,65	2,89	2,78	3,05	—	—	—	—	—	—	14	21,6	—
»	16 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —16 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	—	—	—	—	—	267 <sup>(2)</sup>	326; 330 <sup>(2)</sup>	19	E 1	—	0	21	10,4	—
30/8	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,37*	3,49	3,59	3,48	3,65	—	—	8	ESE 1	0	dimma	8	10,0	6
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —14	2,89*	2,90	2,85	2,87	3,13	201	253; 295	—	—	—	—	14	19,2	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	19	NE 1	—	dimma	21	14,2	—
31/8	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,10*	3,22	3,71	3,16	3,47	—	—	8	SE 2	0,1	—	8	15	12
»	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,02 <sup>(1)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	19	—
»	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —15 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	2,85	2,99	2,86	2,88	216	222; 305	19	ESE 4	—	—	21	14,6	—
1/9	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,94*	3,01	3,21	3,03	3,16	—	—	8	NE 5	0	dimma	8	14	12
»	13—13 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	3,01	3,27	3,06	3,38	129; 90	183; 265	—	—	—	—	14	18,4	—
»	14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,94*	—	—	—	—	—	—	19	E 0	—	3	21	12,2	—
2/9	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,63*	3,50	3,76	3,40	3,75	—	—	8	E 1	0	—	8	14,4	9
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	16	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	19	ENE 1	—	8	21	9,2	—
3/9	—	—	—	—	—	—	—	—	8	SE 2	0	9	8	13,8	9
»	13	—	2,75	3,07	2,90	3,04	78; 75 <sup>(3)</sup>	334; 293	—	—	—	—	14	16,8	—
»	—	—	—	—	—	—	—	—	19	NNE 4	—	8	21	10,6	—
4/9	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,65*	—	—	—	—	—	—	8	E 4	0	9	8	10,2	6
»	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	3,00	3,13	3,04	3,05	9; 19 <sup>(4)</sup>	125; 196	—	—	—	—	14	16,2	—

Tabell 5. Björkvik 1923.

Datum	Klockslag Uhr	Kolsyrehalt (CO <sub>2</sub> -Gehalt) vol.-% × 100						CO <sub>2</sub> -produktion cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> , h				Väderlek Witterung					
		S	U	Gh	Gm	Oh	Om	GM	GB	OM	OB	kl	vind	regn mm		dygnstemp.	
														Va.	Åb.	max.	min.
21/7	9	—	—	2,95*	—	—	—	—	—	—	—	8	W 4	0,1	0	21,7	12,5
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	W 6	—	—	—	—
22/7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	W 5	0	0	21,6	11,6
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	W 5	—	—	—	—
23/7	9—10	2,90*	—	2,78*	—	2,92*	—	—	—	—	—	8	WSW 5	0	0	18,5	10,8
»	14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —15	2,87*	—	2,89*	—	2,79*	—	—	—	—	—	14	WSW 4	—	—	—	—
24/7	8—9	2,88*	—	2,84*	—	2,93*	—	—	—	—	—	8	WSW 6	8,1	4,4	21,5	11,4
»	14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,81*	—	2,82*	—	2,88*	—	—	—	—	—	14	W 6	—	—	—	—
25/7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	W 3	0,7	0,8	19,9	9,8
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	SW 4	—	—	—	—
26/7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	SE 1	0,6	0	17,3	8,1
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	S 5	—	—	—	—
27/7	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,03*	—	2,95*	—	—	—	—	—	—	—	8	NW 2	11,3	12,4	17,1	8,8
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	WNW 4	—	—	—	—
28/7	8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,93*	—	2,93*	—	—	3,10*	—	—	—	—	8	SW 2	0,2	1,2	18,7	7,7
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	— 0	—	—	—	—
29/7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	S 2	3,3	6,8	15,1	8,2
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	SE 4	—	—	—	—
30/7	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,93	2,95	2,98*	—	2,89*	—	—	—	—	—	8	E 1	3,3	3,5	19,0	10,9
»	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,91	2,85	2,90*	—	2,81	3,57	—	—	—	—	14	S 1	—	—	—	—
31/7	7—7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,98	2,96	2,92*	—	2,80*	—	—	—	—	—	8	SSW 2	27,8	30,4	19,1	10,1
»	13—13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	—	2,89	2,89*	—	2,78	3,08	—	—	—	—	14	SW 3	—	—	—	—
1/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,39	3,47	3,23*	—	3,09*	—	—	—	—	—	8	SE 4	2,7	2,6	17,8	9,3
»	13—14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,97	3,00	2,89	3,07	2,89	3,17	196	283	271	319	14	SE 5	—	—	—	—
2/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —8	3,02	3,03	2,89*	—	2,84*	—	—	—	—	—	8	NW 5	28,7	51,2	17,1	12,4
»	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,90	2,88	2,89	3,00	2,74	3,01	172	221	216	258	14	NW 6	—	—	—	—
3/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,00	3,11	2,98*	—	2,96*	—	—	—	—	—	8	W 1	1,0	2,5	20,0	10,1
»	13 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —14	2,88	2,66	2,89	2,98	2,67	3,03	173	256	234	283	14	SW 2	—	—	—	—
4/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	W 3	0,1	0	17,9	11,6
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	SE 3	—	—	—	—
5/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	NE 5	1,2	2,2	18,6	12,6
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	S 2	—	—	—	—
6/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,18	3,06	2,99*	—	3,05	—	—	—	—	—	8	W 1	0,1	0,4	22,6	9,8
»	13—13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,13	2,93	2,92	3,25	2,91	3,11	268	457	296	360	14	W 5	—	—	—	—
7/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	SW 1	0	0	21,7	12,2
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	SW 3	—	—	—	—

8/8	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	—	—	2,99*	—	2,99*	—	—	—	—	—	—	8	O	0,2	0	20,5	11,6
»	13 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —14	2,93	2,86	2,83	3,05	2,79	3,04	—	—	—	—	—	14	E 1	—	—	—	—
9/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,13	3,07	3,09*	—	3,05*	—	—	—	—	—	—	8	W 1	16,9	0	21,5	8,9
»	13—13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,91	2,82	2,88	3,05	2,87	2,98	—	—	—	—	—	14	S 2	—	—	—	—
10/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	NW 2	2,4	2,0	21,7	12,9
»	12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —13	—	—	3,04	3,13	2,90	3,13	—	—	—	—	—	14	W 4	—	—	—	—
11/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	WSW 4	0,1	0,2	19,7	11,5
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	W 9	—	—	—	—
12/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	NW 3	1,5	1,6	19,0	9,2
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	W 5	—	—	—	—
13/8	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,16	2,93	3,07*	—	2,87*	—	—	—	—	—	—	8	NNE 2	1,7	2,5	19,1	9,7
»	13 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,89	2,72	2,70	2,92	2,61	2,89	—	—	—	—	—	14	NW 3	—	—	—	—
14/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,01	2,98	2,82*	—	2,78*	—	—	—	—	—	—	8	W 1	4,2	3,6	18,3	10,9
»	13 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —14	2,91	2,81	2,87	3,06	2,83	3,12	—	—	—	—	—	14	NW 1	—	—	—	—
15/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,94	2,86	2,94*	—	2,68*	—	—	—	—	—	—	8	NW 5	0	0,1	18,7	10,2
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3,01	2,84	2,88	3,12	2,85	3,02	—	—	—	—	—	14	WNW 3	—	—	—	—
16/8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> —7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,96	2,93	2,93*	—	2,92*	—	—	—	—	—	—	8	W 4	5,6	14,4	13,4	10,2
»	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,83	2,71	2,77	2,93	—	2,84	—	—	—	—	—	14	W 7	—	—	—	—
17/8	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —8	2,91	2,80	2,88*	—	2,85*	—	—	—	—	—	—	8	W 4	10,1	2,5	17,6	9,3
»	14—14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,74	2,80	2,84	2,93	2,72	2,90	—	—	—	—	—	14	W 5	—	—	—	—
18/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	S 1	0,5	3,2	19,4	5,5
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	E 4	—	—	—	—
19/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	E 3	0,1	0	16,3	9,0
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	ESE 6	—	—	—	—
20/8	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2,87	2,79	2,82*	—	2,76	—	—	—	—	—	—	8	E 6	0	0	18,0	9,6
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,81	2,66	2,79	2,85	—	2,78	—	—	—	—	—	14	ENE 2	—	—	—	—
21/8	7	2,96	2,90	3,03*	—	2,71*	—	—	—	—	—	—	8	NE 2	0	0	19,8	3,6
»	13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	2,81	2,65	2,79	2,62	2,90	—	—	—	—	—	14	S 2	—	—	—	—
22/8	7—7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	2,71	2,80*	—	2,71*	—	—	—	—	—	—	8	S 10	0	0	16,1	10,5
»	12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —13 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	—	—	2,86	2,98	2,74	2,98	—	—	—	—	—	14	S 8	—	—	—	—
23/8	7—7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,80	2,79	2,84*	—	2,80*	—	—	—	—	—	—	8	S 7	1,6	3,5	16,9	9,2
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —14	2,93	—	2,78	2,97	2,62	2,87	—	—	—	—	—	14	SW 2	—	—	—	—
24/8	7—7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,06	3,02	3,02*	—	2,88*	—	—	—	—	—	—	8	S 5	1,5	1,4	17,7	8,7
»	12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> —13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,87	1,71	2,79	2,94	2,60	2,79	—	—	—	—	—	14	S 4	—	—	—	—
25/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	S 2	1,8	1,8	16,1	9,4
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	— 0	—	—	—	—
26/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	SW 6	3,5	3,7	15,6	9,8
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	SW 7	—	—	—	—
27/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	S 2	0,9	1,7	16,3	10,9
»	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	S 2	—	—	—	—
28/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	WSW 1	9,4	10,4	17,9	10,7
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —14	—	—	—	—	—	3,14*	—	—	—	—	—	14	S 4	—	—	—	—
29/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	S 4	5,3	2,4	15,8	8,5
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	—	—	3,05*	—	3,08*	—	—	—	—	—	14	S 6	—	—	—	—
30/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	SE 2	2,8	8,4	12,9	6,4
»	13 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	—	—	2,84*	—	2,82*	—	—	—	—	—	14	SSE 6	—	—	—	—

Tabell 6. Kolsyreavgivning från marken  
CO<sub>2</sub>-Abgabe des Bodens.

Ort	Datum	kl. Uhr	t	gallrad yta (G) durchforstete Fl.		ogallrad yta (O) undurchforstete Fl.	
				GM	GB	OM	OB
Bispgården (1922)	24/8	9	15	131		—	
	29/8	16 <sup>1/2</sup>	15	(267) <sup>(2)</sup>		— (330) <sup>(2)</sup>	
	»	»	12	—		(326) <sup>(2)</sup>	—
	30/8	14	6	201		295	
	»	»	12	—		253	—
	31/8	15 <sup>1/2</sup>	6	216		222	305
	1/9	13 <sup>1/2</sup>	6	129; 90 <sup>(1)</sup> (3)		183	265
	3/9	13	6	78; 75 <sup>(1)</sup> (3)		334	293
4/9	7	6	(—9); (19) <sup>(1)</sup> (4)		125 <sup>(3)</sup>	196	
Björkvik (1923)	28/7	10	10	—		246	—
	»	»	6	—		—	221 211; 250 <sup>(1)</sup>
	30/7	14	12	—		247	255 234 207
	31/7	13 <sup>1/2</sup>	15	—		235	229 — —
	»	14	6	—		—	— 219 202
	1/8	14 <sup>1/2</sup>	12	196	283r	271	319
	2/8	14 <sup>1/2</sup>	12	172	221r	216	258
	3/8	14	12	173	256r	234	283
	6/8	13 <sup>1/2</sup>	15	268	457r	296	360
	8/8	14	12	260	185	275	301
	9/8	13 <sup>1/2</sup>	12	470	365	317	326
	10/8	13	12	359	323	341	306
	13/8	13 <sup>1/2</sup>	12	291	267	450	303
	14/8	14	12	276	267r	352	323
	15/8	14	12	240	275	340	312
	16/8	14 <sup>1/2</sup>	12	210	190	325	298
	17/8	14 <sup>1/2</sup>	12	204	264	314	291
	20/8	14	12	395	329	264	349
	21/8	14	12	289	199	204	276
	22/8	13 <sup>1/2</sup>	12	302	315r	209	340
	23/8	14	12	218	344	268	312r
	24/8	13 <sup>1/2</sup>	12	267	542r	289	327r
	28/8	14	6	—	—	—	591r <sup>(5)</sup>
	29/8	14	6	384	—	293	—
	»	»	»	411	—	288	—
	30/8	14	6	223	—	257	—
	»	14 <sup>1/2</sup>	6	251	—	292	—

## Berechnungsbeispiel.

GM 1/8 1923 (App. 1, Schrank I). Daten: B 739 mm, T 15,5°, CO<sub>2</sub>-Volumgehalt vor dem Versuch  $3,07 \cdot 10^{-4}$ , Versuchszeit 12 Min. = 0,2 St., Säureverbrauch 19,45 cm<sup>3</sup>; Grundfläche des Apparats 0,04004 m<sup>2</sup>, Volumen oberhalb der Bodenoberfläche (unteren Rinnenkante) 4 151 cm<sup>3</sup>, oberhalb des Deckels D 2 576 cm<sup>3</sup>, Säureäquivalent der Barytportion aus I 35,2 cm<sup>3</sup>, Säure 0,009333-n, pro Vol. 0,1095 Vol. CO<sub>2</sub> (15°, 760 mm) entsprechend. — Hieraus BT-Korr. 0,953, Säuredifferenz 15,75 cm<sup>3</sup>, gesuchte CO<sub>2</sub>-Abgabe in cm<sup>3</sup> (15°, 760 mm) pro Stunde und m<sup>2</sup> Bodenfläche:

$$(15,75 \cdot 0,1095 \cdot 4 \cdot 151 : 2 \cdot 576 - 4 \cdot 151 \cdot 0,953 \cdot 3,07 \cdot 10^{-4}) : (0,2 \cdot 0,04004) = 196.$$

## Förklaringar till tabell 6.

De angivna värdena betyda kolsyreavgivning pr timme och m<sup>2</sup> markyta i cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> (av 15° och 760 mm Hg), ehuru de med hänsyn till noggrannheten hellre borde uttryckts i liter med endast 2 decimaler. Beträffande noggrannheten, jfr avd. 2, sid. 43—45.

*t* försökstid i minuter.

*GM, GB; OM, OB*: Fläckar med olika markbetäckning (med och utan mosstäck) å resp. gallrad och ogallrad yta, jfr avd. 3, s. 3. Denna skillnad gjordes först fr. o. m. 1/8 1923.

*r* efter ett värde anger att det härstammar från en fläck med multnande ris.

000 } Klammer till höger om siffrorna betyder, att de hopklamrade värdena äro bestämning-  
000 } gar vid olika tillfällen å samma fläck (apparatens underdel kvarlämnad mellan försöken).  
000 }

000 } Klammer till vänster om siffrorna betecknar dubbelbestämning (2 bestämningar i följd  
000 } å samma fläck).

Klockslag äro angivna summariskt i hel- och halvtimmar.

(1) ej dubbelbestämningar (olika fläckar).

(2) värdena osäkra, då utgångskoncentrationerna av CO<sub>2</sub> vid marken bestämdes ett par timmar tidigare.

(3) uppskattad osäkerhet (jfr. s. 44) hos dessa värden över 5 %, upp till 10 % (siffran 75).

(4) dessa två värden undersåga 3 ggr den uppskattade osäkerheten vid 6 minuters försökstid.

(5) fläck med fem fruktkroppar av en liten spindelskivling (borttagna före denna bestämning; en i tabellen ej upptagen bestämning med svamparna kvar gav ett värde motsvarande 676 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> pr m<sup>2</sup> och timme).

## Erklärung zur Tabelle 6.

Die angegebenen Werte bedeuten CO<sub>2</sub>-Abgabe pro Stunde und m<sup>2</sup> Bodenfläche und sind, um Dezimalbrüche zu vermeiden, in cm<sup>3</sup> (15° C, 760 mm Hg) angegeben, obgleich die Einheitsziffer wertlos und meistens nicht einmal die Zehnerstelle sicher ist. Betr. die Genauigkeit der Werte vgl. ferner Abt. 2, S. 43—45.

*t* Versuchszeit in Minuten.

Uhr: Tagesstunden in ganzen und halben Stunden summarisch angegeben.

*GM, GB; OM, OB*: Flecke mit verschiedener Bodendecke (mit und ohne Moosteppich) bzw. auf der durchforsteten und der undurchforsteten Fläche, vgl. Abt. 3, S. 46. Diese Unterscheidung erst vom 1. August 1923 ab.

*r* nach einem Wert bedeutet dass dieser von einem Fleck mit moderndem Reisig stammt.

000 } Bestimmungen an verschiedenen Gelegenheiten an demselben Fleck.  
000 }  
000 }

000 } Doppelbestimmung (2 Bestimmungen nacheinander am selben Fleck).  
000 }

(1) keine Doppelbestimmungen (verschiedene Flecke).

(2) die Werte unsicher, da die Anfangskonzentration von CO<sub>2</sub> am Boden ein paar Stunden im voraus bestimmt wurde.

(3) berechnete Unsicherheit dieser Werte über 5 %, bis 10 % (der Wert 75).

(4) diese zwei Werte erreichen nicht das dreifache der berechneten Unsicherheit bei 6 Minuten Versuchszeit (vgl. S. 44).

(5) Fleck mit fünf Fruchtkörpern eines kleinen *Cortinarius* (entfernt vor dieser Bestimmung; eine Bestimmung vor ihrer Entfernung ergab einen Wert, der einer CO<sub>2</sub>-Abgabe pro m<sup>2</sup> und Stunde von 676 cm<sup>3</sup> entsprach).

## Litteratur.

- BJERRUM, N., 1914, Die Theorie der alkalimetrischen und azidimetrischen Titrierungen. — Stuttgart. [Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge herausg. von HERZ, Bd 21.]
- BROWN, H. T. & ESCOMBE, F., 1900, Static Diffusion of Gases and Liquids in relation to the Assimilation of Carbon and Translocation in Plants. — Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. B 193 (London), p. 223.
- EBERMAYER, E., 1876, Die gesammte Lehre der Waldstreu. — Berlin.
- FEHÉR, D. & VÁGI, 1926, Biochemische und biophysikalische Untersuchungen über die Einwirkung einiger wichtiger biologischer Faktoren des Waldes auf das Leben und Wachstum der Waldbäume. — Erdészeti kisérletek (Sopron) 28, p. 27, 105.
- FEHÉR, D., 1927, Untersuchungen über die Kohlenstoffernährung des Waldes. — Flora 121 (N. F. 21), p. 316.
- FODOR, J. VON, 1881—1882, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. — Braunschweig.
- HESELNAN, H., 1926, Studier över barrskogens humustäcke, dess egenskaper och beroende av skogsvården. (Resümee: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängigkeit vom Waldbau). — Dessa Meddelanden (diese Mitteilungen) 22, 1925 (1926), p. 169.
- HOLMGREN, A. & MONTELL, G., 1927, Norrlands skogsvårdsförbunds exkursion 1926. — Norrlands Skogsvårdsförb. tidskr. (Stockholm) p. 17.
- LETTS, E. A. & BLAKE, R. F., 1900, The Carbonic anhydride of the Atmosphere. — Proc. Roy. Soc. Dublin 9, p. 107.
- LIEBIG, J., 1841, Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie (2:ter unveränderter Abdruck). — Braunschweig.
- LUNDEGÅRDH, H., 1921, Ecological Studies in the Assimilation of certain Forest-Plants and Shore-Plants. — Svensk bot. tidskr. 15, p. 46.
- , 1922 a, Neue Apparate zur Analyse des Kohlensäuregehalts der Luft. — Biochemische Zeitschrift 131, p. 109.
- , 1922 b, Beiträge zur Kenntnis der theoretischen und praktischen Grundlagen der Kohlensäuredüngung I. — Angewandte Botanik 4, p. 120.
- , 1923, Über die Kohlensäureproduktion und die Gaspermeabilität des Bodens. — Ark. f. bot. (Stockholm) 18: 13.
- , 1924, Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. — Jena.
- MEINECKE, TH., 1927, Die Kohlenstoffernährung des Waldes. — Berlin.
- MÜLLER, F., 1920, Methodik der biologischen Gasanalyse. — ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden IV: 10: 1.
- ROMELL, L.-G., 1922, Luftväxlingen i marken som ekologisk faktor. (Resümee: Die Bodenventilation als ökologischer Faktor). — Dessa Meddelanden (diese Mitteilungen) 19, p. 125.
- , 1925, Växttidsundersökningar å tall och gran (Résumé: Recherches sur la marche de l'accroissement chez le pin et l'épicéa durant la période de végétation). — Ibid. 22, p. 45.
- , 1926 a, Über das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren. — Jahrb. wiss. Bot. 65, p. 739.
- , 1926 b, Über die Bedingungen des Kohlensäuretransports zu den Chloroplasten. — Flora 121 (N. F. 21), p. 125.
- SCHMIDT, W., 1926, Die Problemstellung in der waldbaulichen Kohlensäurefrage. — Forstarchiv (Hannover) 2, p. 145.
- SCHOTTE, G., 1917, Om skogsproduktionens höjande genom beståndsvårdsåtgärder. — Skogar och skogsbruk (Studier tillägnade Frans Kempe, Bil. 1 till Skogsvårdsfören. tidskr. 15), p. 105.
- , 1921, Beskrivning av Skogsförsöksanstaltens försöksytor i södra Södermanland. — Skogsförsöksanstaltens exkursionsledare 2.
- SCHWAPPACH, A., 1893, Wachstum und Ertrag normaler Rotbuchenbestände. — Berlin.
- STOKLASA, J. & ERNEST, A., 1905, Über den Ursprung, die Menge und die Bedeutung des Kohlendioxyds im Boden. — Centralbl. f. Bakt., Abt. 2, 14, p. 723.
- WEBER, R., 1913, Die Bedeutung des Waldes usw. — LOREY's Handbuch der Forstwissenschaft 1, 3. Aufl., p. 36. — Tübingen.
- VESTERBEBG, A., 1911, Über einige Analysenmethoden für Bodenuntersuchungen. — Verh. d. zweiten intern. Agrogeologenkonferenz Stockholm 1910, p. 125.
- WINOGRADSKY, S., 1925, Études sur la microbiologie du sol. — Ann. Inst. Pasteur 39, p. 299.

## RESÜMEE.

### Studien über den Kohlensäurehaushalt in moosreichem Kiefernwald.

#### 1. Einleitung.

Die Untersuchungen wurden in den Sommern 1922 und 1923 ausgeführt bezw. in Bispgården, Provinz Jämtland, und im Kirchspiel Björkvik, Provinz Södermanland, Schweden. Sie betreffen in beiden Jahren nur den späteren Teil des Sommers. Näheres über die untersuchten Lokalitäten siehe unten Abt. 3.

Es wurden teils der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft an verschiedenen Punkten, teils die  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens bestimmt.

#### 2. Methodik.

Aus mehreren Gründen sind bei einer Untersuchung der Art wie der vorliegenden ziemlich ausführliche Angaben über die Methodik erwünscht. Diese sind aus Sparsamkeitsrücksichten nicht in den schwedischen Text aufgenommen, nur hier.

**Die Luftanalysen.** Die Analysenapparate waren vom Typus LUNDEGÅRDHS (1922 a S. 111—113, 1924 S. 9—11), 4 Liter unter der gehobenen Glocke fassend, aus Zinkblech angefertigt, innen überall paraffiniert. Sie wurden je zwei in einem an einem Baum befestigten Schrank untergebracht mitsamt den Pipetten aus Jenaer Glas und den (paraffinierten, vgl. LETTS & BLAKE 1900) Flaschen für Baryt und Spülwasser (Fig. 4).

Die verschiedenen Teile der Apparatur waren ein für allemal durch Rohrleitungen aus Jenaer Glas mit möglichst kurzen Stücken von mit Vaseline bestrichenem dickwandigem sogenanntem Vakuumschlauch verbunden. Die Verbindungen waren normalerweise durch gewöhnliche federnde Quetschhähne gesperrt. Das Füllen bzw. Entleeren einer Pipette geschah durch Andrücken des betr. Quetschhahnes. Der Druckausgleich zwischen dem Luftraum in Flaschen und Pipetten und der freien Luft konnte durch einen Natronkalkturm stattfinden. Die Pipetten fassten etwa 30  $\text{cm}^3$ . Sie hatten Steig- und Auslaufsrohren von kaum 2 mm lichter Weite, wurden aber trotzdem bis an bestimmte Marken an den Röhren gefüllt und entleert. Es wurde etwa 1/100-n Baryt verwendet.

Die Luftproben wurden eingesogen durch Rohrleitungen von 7 mm lichter Weite, zusammengesetzt aus Glasröhren und kurzen Schlauchstücken. Ein mechanisches Verstärkungssystem aus Messingblechhülsen, Messingdrähten und Kupferblechzungen gestattete das Aufhissen und Hängenlassen der bis zu 11 m langen Leitungen. Vor der Probenahme wurden die Leitungen gespült durch Ansaugen mittels eines Gummigebläses. Das Einsaugen der Probe besorgte der Analysenapparat selbst nach Auflegen eines losen Gewichts auf das die Glocke balancierende Gegengewicht. Das Füllen der Glocke durch die langen Leitungen erforderte bei der verwendeten Saugung (ein paar cm Wassersäule) bis zu etwa 10 Minuten. Die Temperatur wurde an einem im Schrank zwischen den beiden Glocken hängenden in ganzen Graden geteilten Thermometer abgelesen, wobei Zehntel geschätzt wurden. Vor dem Ablesen wurde die Tür des Schranks bei gefüllten, mit der Luftleitung in offener Verbindung gelassenen Glocken eine Zeitlang geschlossen gelassen, damit die Temperatur sich notdürftig ausgleiche. Nur bei einer Reihe der allerletzten Bestimmungen wurden innerhalb der Glocken angebrachte Thermometer benutzt. Die im Moment des Verschliessens der Glocken abgelesene Temperatur wurde wie der notierte — in Björkvik mit den Ablesungen an der meteorologischen Station Nyköping verglichene — Barometerstand bei den Berechnungen der Analysen in üblicher Weise berücksichtigt unter der Annahme, dass die Luft immer mit Feuchtigkeit gesättigt war (die Absorptionsschale innerhalb des Apparats war immer durch das Spülwasser der vorhergehenden Analyse feucht).

Das Volumen unter den Glocken (d. h. die Raumdifferenz zwischen höchstem und niedrigstem Stand der Glocken) wurde bestimmt in einem Kellerraum im Laboratorium durch wiederholtes Überführen von Luft aus den Apparaten in eine grosse Glasflasche und umgekehrt, indem diejenige Wassermenge (durch Wägen und Messen in einer Bürette) bestimmt wurde, die in der Flasche genau die ausgeblasene Luft ersetzte oder durch eingegogene Luft ersetzt wurde. Solche Reihen von Volumbestimmungen wurden teils im Herbst 1922, teils nach Abschluss der Arbeiten 1923 angestellt. Sie ergaben ein wenig abweichende Werte, was darauf zurückgeführt wurde, dass am 7. Aug. 1923 die Glocken mit

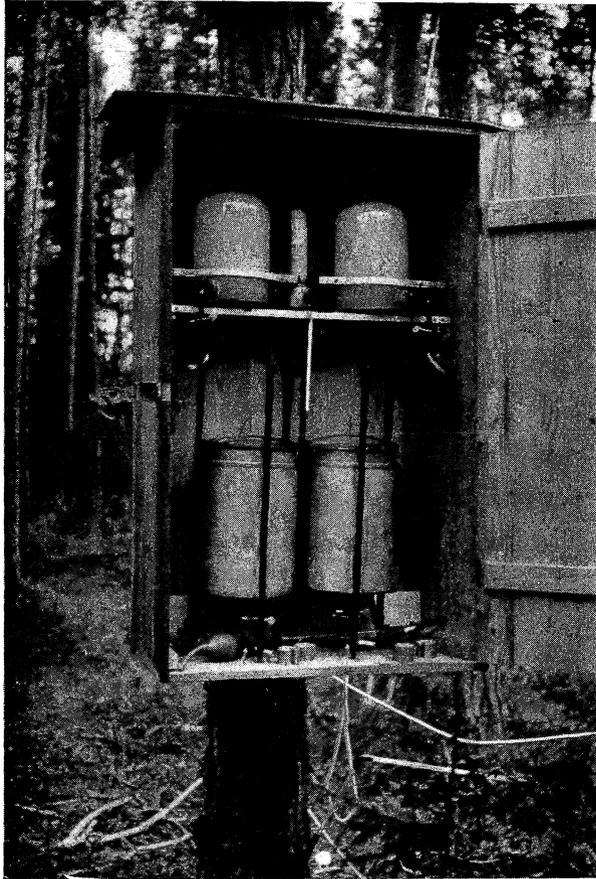


Fig. 4. Ett av apparatskåpen för luftkolsyreanalyser.  
Einer der Schränke mit Apparaten für  $\text{CO}_2$ -Analyse der Luft.

einer besonderen Steuerung am unteren Rand versehen wurden. Vor dem genannten Datum wurden daher die früheren, danach die späteren Werte zur Berechnung benutzt. Die Standardabweichungen in den Reihen (also der zu erwartende mittlere Fehler einer einzelnen Volumbestimmung) betragen einige wenige  $\text{cm}^3$  ausser in einer Reihe, wo infolge eines einzigen stark abweichenden Wertes ( $30 \text{ cm}^3$  zu niedrig) die Abweichung grösser war. Bei den Bestimmungen nach Anbringen der genannten Steuerung betragen alle Standardabweichungen zwischen 3 und  $10 \text{ cm}^3$ . Eine Reihe, wo die Hemmvorsprünge für die Glocke zwischen jeder Bestimmung entfernt und wieder nach den angebrachten Marken an ihrem Platz befestigt wurden, ergab keinen Unterschied von der früheren Ver-

gleichsreihe, weder in bezug auf Standardabweichung noch Mittelwert. Die Unterschiede zwischen den vor und nach dem 7. Aug. verwendeten Volumwerten betragen bis zu 50 cm<sup>3</sup>.

Als Sperrflüssigkeit wurde in den Apparaten im ersten Sommer Paraffinöl, im zweiten Sommer Glycerin benutzt.

Die Oberfläche der Barytportion in der Absorptionsschale der Apparate betrug etwa 75 cm<sup>2</sup>. Trotzdem war eine Absorptionszeit von 5 Stunden nötig, vgl. Fig. 5, wo die Versuche mit verschiedenen Absorptionszeiten zusammengestellt sind<sup>1</sup>. Dieselbe Absorptionszeit wurde nach Möglichkeit immer innegehalten. Nach Ablauf der Absorptionszeit wurde die Barytportion in evakuierte<sup>2</sup> langhalsige Rundkolben aus Jenaer Glas von 100 cm<sup>3</sup> Rauminhalt durch die Zentralröhre des Apparats abgesogen und mit 30 cm<sup>3</sup> einer mit

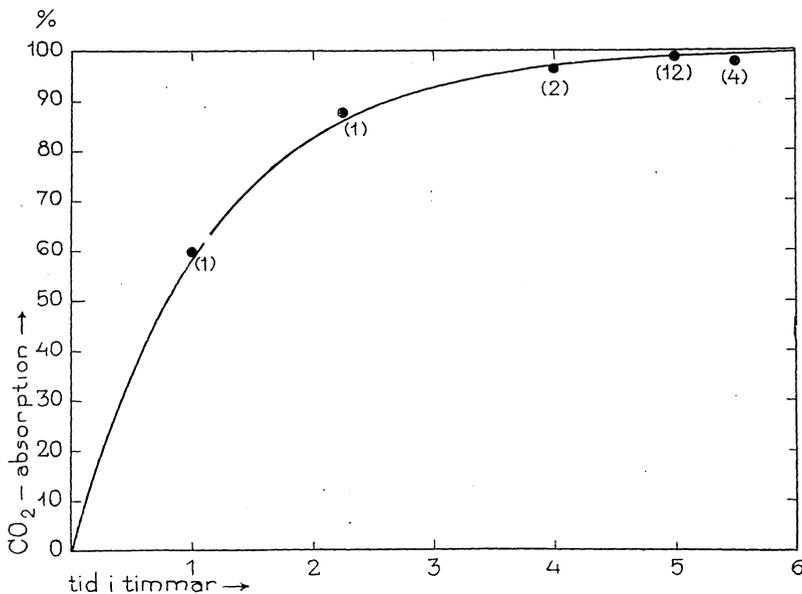


Fig. 5. Kolsyreabsorptionens gång i analysapparaterna.

Verlauf der CO<sub>2</sub>-Absorption in den Analysenapparaten. Abszissen = Zeit in Stunden.

Phenolphthalein als Indikator genau neutralen Lösung von BaCl<sub>2</sub> (= »Spülwasser«), in zwei Portionen verteilt, nachgespült. Die Ausspülung funktionierte bei den vielen zur Prüfung angestellten Kontrollversuchen immer tadellos. Das Auslaufen der Flüssigkeiten wurde übrigens immer durch den — aufgeschliffenen, mit Vaseline gedichteten — Spiegelglasdeckel der Glocke beobachtet<sup>3</sup>. Nachher wurde in dem Kolben Atmosphärendruck herge-

<sup>1</sup> Die (nach Augenmass) den Punkten möglichst angepasste Kurve in der Figur ist eine logarithmische von MITSCHERLICH'schem Typus, die wenigstens dann zu erwarten ist, wenn die Invasionsgeschwindigkeit (BOHR) allein die CO<sub>2</sub>-Aufnahme regelt. Die Invasionskonstante würde dann nach den Konstanten der Kurve, falls keine Evasion stattfindet,  $0,013$  (cm, sek) betragen, also nahezu das 6-fache des BOHR'schen Wertes bei 16° für reines Wasser und CO<sub>2</sub> von 1 Atm. Die Ziffer ist bei dem geringen vorliegenden diesbezüglichen Material von einem gewissen Interesse (vgl. ROMELL 1926 a S. 139). Sie stellt offenbar einen Minimumwert dar u. A. auch weil in ihr Diffusionswiderstände mit einbegriffen sind.

<sup>2</sup> Durch Ausaugen der nach der Titrierung in den Kolben enthaltenen neutralen Flüssigkeit (nicht der Luft) mittels einer einfachen Quecksilberpumpe, was sehr wenig Zeit beanspruchte.

<sup>3</sup> Da das Spülwasser Phenolphthalein enthielt, konnte so direkt die Vollständigkeit der Ausspülung kontrolliert werden.

stellt durch Einlassen von Luft aus dem Analysenapparat, wo zu diesem Zweck beim Ausblasen der Luftprobe immer ein Rest belassen worden war.

Die Titrierungen, die selbstverständlich nicht im Wald, sondern in einem provisorischen Laboratorium erfolgten, wurden mit 1/100-n HCl ausgeführt mit Phenolphthalein als Indikator<sup>1</sup>. Da die für die Absorption benutzte Barytlösung sowie das Spülwasser 2 % BaCl<sub>2</sub> + 2 aq enthielt, konnte die Titration an der Gesamtmenge ohne Abfiltrieren des Niederschlags vorgenommen werden (vgl. z. B. VESTERBERG 1911). Auch der Säure war sicherheitshalber die entsprechende Menge von BaCl<sub>2</sub> zugesetzt, so dass die Konzentration von Ba-Ionen in der Lösung immer praktisch dieselbe blieb. Vor Entfernen des Gummistopfens zwecks der Titration wurde im Kolben ein geringer Überdruck hergestellt durch Einlassen von ein wenig CO<sub>2</sub>-freier Luft aus einem Gasometer mit Lauge. Während der Titration selbst war die Öffnung des Kolbens wieder bis auf einen winzigen Kanal durch einen an der Bürette befestigten Gummistopfen verschlossen. Die Titration erfolgte durch diese einfachen Massnahmen in kohlenstofffreier Luft, eine nach LUNDEGÄRDHS Erfahrungen unnötige, nach LETTS & BLAKES und den meinigen jedenfalls erwünschte Vorsichtsmassregel. Während der Arbeit wurde selbstverständlich fortlaufende Kontrolle gehalten, teils über den Titer der Salzsäure und teils über das Säureäquivalent einer vollen Pipette Baryt (nebst Spülwasser) aus den verschiedenen Apparaten. Wo immer möglich, sind diese fortlaufenden Reihen von Bestimmungen durch die Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen worden. Zur Titerstellung der Säure wurden mitgebrachte, auf 0,1 mg genau abgewogene Portionen (etwa 50 bis 70 mg) von Oxalsäure (COOH)<sub>2</sub> + 2 aq benutzt, die, in einem Messkolben von 100 cm<sup>3</sup> gelöst, eine etwa 1/100-n Oxalsäure lieferten. Mit dieser Säure wurden, vergleichend mit der HCl, Portionen desselben Baryts titriert. Alle Titrationen erfolgten somit von rot auf farblos, keine umgekehrt, und bei etwa derselben Stärke der Lösungen.

Die aus dem Titrationsfehler und dem Abmessungsfehler für die Barytportion (einschliesslich eventueller Unregelmässigkeiten bei der Ausspülung) herrührende Unsicherheit einer Titration berechnet sich aus einigen daraufhin untersuchten Reihen zu zwischen 0,03 und 0,05 cm<sup>3</sup>. Da die Säuredifferenz, aus der die im Versuch absorbierte CO<sub>2</sub>-Menge berechnet werden soll, etwa 10 cm<sup>3</sup> beträgt und das eine Glied dieser Differenz als Mittel einer Reihe fortlaufender Kontrollbestimmungen als praktisch fehlerfrei anzusehen ist, sollte man eine Genauigkeit der gesamten Analysetechnik von etwa 0,5 % der gefundenen CO<sub>2</sub>-Menge erwarten. Diese Genauigkeit wurde aber lange nicht erreicht, wie die Reihen von Doppelbestimmungen lehren. (Tab. 7).

Tab. 7. Mittlerer Fehler einer Einzelbestimmung, sowie systematische Differenzen zwischen den paarweise verglichenen Apparaten, aus den Reihen von Doppelbestimmungen berechnet.

Schrank, Apparate	Benutzt <sup>2</sup>	Zufälliger Fehler		Systematische Diff.		n
		% CO <sub>2</sub>	% von 0,03	% CO <sub>2</sub>	% von 0,3	
A, 1—2	Bispgården G	0,0002	0,7	0,0000	0,0	14
B, 3—4	Bispgården O	0,0002	0,7	0,0001	0,45	11
C, 5—6	Bispgården F	0,0004	1,4	0,0007	2,2	26
		(0,0009)	(3,1)	(0,0009)	(2,9)	(27)
A, 1—2	Björkvik G	0,0005	1,8	0,0003	1,1	26
B, 3—4	Björkvik S-U	—	—	0,0002	0,8	5
		—	—	0,0005	1,6	6
C, 5—6	Björkvik O	0,0006	2,0	0,0004	1,3	20

In der Tabelle bedeutet n die Anzahl von Paaren von Analysen. Für die Berechnung des zufälligen Fehlers aus den Doppelbestimmungen diente folgende Formel, die ich Herrn Aktuar J. ÖSTLIND verdanke:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{2(n-1)}}$$

<sup>1</sup> Ausser der im Spülwasser enthaltenen Menge pro Kolben 7 Tropfen einer 1-% Lösung, also ziemlich reichlich, was im vorliegenden Fall angezeigt ist (vgl. BJERRUM 1914, S. 50, 86—87).

<sup>2</sup> Über die Bedeutung der kursiven Lettern siehe unten Abt. 3.

wo  $d$  die Differenz zwischen den beiden Analysen eines Paares ist. Der Unterschied zwischen den beiden Zifferreihen für Bispgården  $F$  rührt von einem einzigen ganz allein stehenden Differenzwert, 0,0067 %  $\text{CO}_2$ , hier, der in der oberen nicht eingeklammerten Reihe nicht mit berücksichtigt worden ist und sicherlich auf einem unbeachteten groben Fehler, Fehlablesung an der Bürette, Fehlschreibung o. dgl., beruht. Für Björkvik  $S-U$  sind zwei Reihen angeführt, um zu zeigen, dass bei der geringen Zahl der Bestimmungen in der vollständigen Reihe ein einziger sehr grosser Differenzwert 0,0016 das Mittel sehr wesentlich beeinflusst.

Bei Beurteilung der Zahlen kann man zunächst von den Ziffern in der dritten Zeile absehen. Der Schrank C war weniger geräumig als die beiden anderen, das Aufmontieren und die Betätigung der Apparate waren daher in Bispgården schwieriger. Es müssen zunächst ein das Volumen beeinflussender Unfall beim Aufmontieren des einen Apparats und dann Ungenauigkeiten während der Arbeit vorliegen. Für das nächste Jahr wurden einige Einzelheiten in diesem Schrank praktischer angeordnet.

Es zeigt sich im grossen ganzen, dass der zufällige Fehler einer Einzelbestimmung etwa 1 bis 2 % beträgt. Das entspricht zwar nicht den Erwartungen, ist aber nicht so gefährlich<sup>1</sup>. Viel schlimmer ist es, dass so grosse systematische Differenzen auftreten. Diese waren mir zunächst ganz unverständlich, ich glaube aber einen Fingerzeig zur Aufdeckung ihrer Ursache darin gefunden zu haben, dass es durchweg der linke Apparat im Schrank ist, der den höheren Wert gegeben hat. In Björkvik — wenn ich mich recht erinnere, nicht so systematisch in Bispgården — wurde aber stets zuerst der linke Apparat mit Baryt aus der für die beiden Apparate gemeinsamen Barytpipette versorgt. Die Ursache der Differenz könnte dann darin liegen, dass infolge Diffusion von  $\text{CO}_2$  durch den Kautschuk der Schlauchverbindungen hindurch die zuerst abfliessende Portion Baryt nicht ihren vollen Titer hatte. Dass in der Tat die Diffusion durch die Schläuche merklich war, scheint aus der folgenden Reihe von Titrationen hervorzugehen, die Blindproben betreffen, d. h. Barytportionen, die in gewöhnlicher Weise in den Analysenapparat aus der Pipette eingelassen und gleich wieder mit Nachspülung wie üblich herausgenommen wurden. Die Reihe stammt von einer Gelegenheit her, wo zufällig vier ganze Tage hindurch mit den Apparaten nicht gearbeitet worden war.

Schrank .....	A		B	
Apparat .....	1	2	5	6
	31,1	31,25	30,7	30,85
	31,45	31,45	30,85	30,9
	31,45	31,4	30,95	—
	31,45	31,45	30,9	30,9
	31,45		30,8	

Diese Blindproben wurden in jedem Schrank abwechselnd aus dem linken (1 bzw. 5) und dem rechten (2 bzw. 6) Apparat genommen, mit dem linken beginnend. Es zeigt sich, dass die erste Probe in jeder Reihe, aber besonders die erste Probe aus dem linken Apparat, die also als erste genommen wurde, merklich weniger Säure als die folgenden verbraucht. Der Fehlbetrag von 0,35  $\text{cm}^3$  Säure bei der ersten Portion aus Apparat 1 entspricht dem gesamtcm Baryttiter in etwa 5 cm Schlauch, d. h. praktisch der ganzen in Frage kommenden Strecke. Es scheint mir also recht wahrscheinlich, dass die gefundenen systematischen Differenzen zwischen Links- und Rechtsapparaten auf dem systematischen Vorgehen bei der Barytversorgung der Apparate im Verein mit  $\text{CO}_2$ -Diffusion durch die Schlauchverbindungen beruhen. Ich werde daher bei der Diskussion der Ergebnisse im folgenden die Annahme machen, dass die Rechtsapparate direkt miteinander verglichen werden dürfen, und für die Linksapparate die Korrekturen anbringen, die sich aus den Doppelbestimmungen ergibt. Leider fand sich keine Gelegenheit, sämtliche Apparate mit Hilfe von Doppelbestimmungen miteinander zu vergleichen, was natürlich unter genau den Verhältnissen hätte gemacht werden müssen, unter denen die Apparate verwendet wurden, d. h. an Ort und Stelle im Wald.

Um eine fünfständige Absorptionszeit einzuhalten, konnten bequem nur zwei Analysen pro Tag und Apparat bewerkstelligt werden, eine am Morgen und eine am Mittag. In

<sup>1</sup> Dass man bei Doppelbestimmungen des Luftkohlendioxidgehaltes nicht die erwartete Genauigkeit erreicht, braucht nicht nur an der Apparatur zu liegen, vgl. MÜLLER 1920 S. 64 und die Tabellen von LETTS und BLAKE S. 135—141, verglichen mit ihren Analysen von künstlichen Mischungen.

Bispgården habe ich auch eine Anzahl Abendbestimmungen gemacht. Der Baryt wurde dann über Nacht im Apparat belassen. Später habe ich es besser gefunden, mich mit zwei Bestimmungen mit gleichlanger Absorptionszeit zu begnügen. Auch dann sind aber vielleicht die beiden Kategorien von Werten (Morgen- und Mittagbestimmungen) nicht ohne Gefahr eines systematischen Fehlers zu vergleichen. Die am Abend aus den Apparaten herausgenommenen zu den Mittagbestimmungen gehörigen Barytportionen konnten nämlich öfterst nicht am selben Abend titriert werden, sondern erst am folgenden Vormittag. Es ist da eine Diffusion von  $\text{CO}_2$  durch den Gummistopfen während der Nacht zu befürchten. Zur Prüfung wurden 10 Portionen Baryt in je einen Kolben gebracht, wovon fünf sogleich titriert und die übrigen fünf über Nacht, wie üblich verschlossen und mit  $\text{CO}_2$ -freier Luft gefüllt, aufbewahrt wurden. Die Differenz der beiden Reihen betrug  $0,105 \pm 0,026 \text{ cm}^3$  Säure, entsprechend etwa 1 % des normalen  $\text{CO}_2$ -Betrages. Glücklicherweise ist dieser Fehler für die Beurteilung der Ergebnisse ganz ohne Belang; ich habe den letzten Befund hauptsächlich deshalb angeführt, um zu beleuchten, eine wie heikle Aufgabe das Erreichen des erwünschten prozentualen Genauigkeitsgrades bei Luftkohlenstoffanalysen ist, und wie schwierig es im besonderen ist, sich bei der benutzten Apparatur gegen schwer aufdeckbare systematische Fehler zu sichern.

**Bestimmung der  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens.** Ich habe früher gezeigt (1922), dass der Gasaustausch des Waldbodens mit der Luft praktisch ausschliesslich durch Diffusion stattfinden muss. Die Methode, die normale  $\text{CO}_2$ -Abgabe dadurch zu messen, dass man wie LUNDEGÅRDH und seine Vorgänger die in eine dem Boden aufgesetzte Glocke (mit in den Boden eingepresstem Rand) hineindiffundierende  $\text{CO}_2$  bestimmt, ist also prinzipiell richtig. Wie diese Methode zuerst praktiziert wurde, mit Absorption der  $\text{CO}_2$ , je nachdem sie hineindiffundiert, durch unter der Glocke angebrachte Absorptionsmittel, erweckt sie jedoch gewisse Bedenken, indem durch mangelhafte Absorption zu niedrige, durch energische zu hohe Werte erhalten werden können, letzteres indem ein grösseres Diffusionsgefälle als das natürliche geschaffen wird. Man weiss also nicht, was die erhaltenen Werte bedeuten. Ich schlug daher vor, die Absorption von dem eigentlichen Versuch zu trennen, zugleich einige Bestimmungen mitteilend, die nach diesem Prinzip ausgeführt worden waren und somit sichere Minimumwerte der  $\text{CO}_2$ -Abgabe lieferten (a. a. O., S. 143—147). Auch LUNDEGÅRDH ging dann zu dieser Methode über und ist ihr treu geblieben, ohne, wie es scheint, den prinzipiellen Unterschied der beiden Methoden eingesehen zu haben (vgl. LUNDEGÅRDH 1923 S. 3 und die Fussnote S. 8), worüber sich auch MEINECKE (1927 S. 14) wundert. LUNDEGÅRDH gibt selbst an (1922 b, S. 132), einfach aus Bequemlichkeitsrücksichten zur neuen Methode übergegangen zu sein. Eine befriedigende Diskussion der Wirkungsweise der beiden Methoden steht noch aus, denn die Auseinandersetzungen MEINECKES — der beide Methoden verwendet hat — sind nicht in allen Punkten genügend. Jetzt auf das Thema zurückkommend, ergreife ich daher die Gelegenheit, einige kurze Klarstellungen zu bringen.

Der nächstliegende Ausgangspunkt, wenn man sich die Wirkungsweise der alten — vor-LUNDEGÅRDH-schen und LUNDEGÅRDH-schen — Methode zu vergegenwärtigen sucht, ist vielleicht die Annahme, dass das Absorptionsmittel unter der Glocke oder wenigstens in seiner nächsten Umgebung die  $\text{CO}_2$ -Konzentration Null (MEINECKE 1927 S. 14) schafft und unterhält. Auch als Vereinfachung (MEINECKE S. 30: »nahezu Null«) ist aber diese Annahme wenigstens in vielen Fällen unstatthaft. An der Grenzfläche Gas-Absorptionsflüssigkeit findet sich ein Übergangswiderstand, der den Prozess wesentlich beeinflusst. Dagegen findet sich offenbar kein entsprechender Übergangswiderstand für den Transport durch die Bodenoberfläche (d. h. das Niveau, wo die Bodenporen in die freie Luft münden), wie MEINECKE implizite annimmt (S. 30, oben). MEINECKES Behauptung, dass die alte Methode etwa 10 % höhere Resultate liefern müsste wie die meinige, beruht also auf durchweg falschen Vor-

aussetzungen. Sie kann vielmehr je nach den Umständen zu hohe, zu niedrige oder richtige Werte liefern, alles bei gut funktionierender Absorption, d. h. ohne Hautbildung auf dem Baryt u. dgl. Um dies klarzulegen, wollen wir einen konkreten Fall betrachten und nehmen an, dass wie bei MEINECKES Versuchen eine Schale von 10 cm und eine Glocke von 21 cm Durchmesser verwendet werden. Die Schale soll aber mit 1/100-n Baryt gefüllt und die Glocke geräumiger sein, so dass sich die Verhältnisse denjenigen in den Glockenapparaten nähern, für die die Absorptionsbedingungen durch die Fig. 5 oben dargestellt sind. Eine einfache Berechnung ergibt, dass dann zwischen  $\text{CO}_2$ -Konzentration  $m$  in der Glocke in Zehntausendstel nach Volumen und  $\text{CO}_2$ -Abgabe  $C$  des Bodens in Liter (von  $15^\circ$ ) pro Stunde und  $m^2$  im Dauerzustand die folgende ungefähre Relation bestehen muss:  $m = 95 C$ . Die Apparatur würde also, einen natürlichen  $\text{CO}_2$ -Gehalt an der Bodenoberfläche von 4 Hundertstel % vorausgesetzt, bei einer natürlichen  $\text{CO}_2$ -Abgabe von etwa 0,04 Liter genau richtige Resultate ergeben, bei lebhafterer Produktion aber zu niedrige, bei kleinerer umgekehrt zu hohe Werte. Die Methode wird also ausgleichend wirken, die natürlichen Unterschiede der untersuchten Böden verschleiern. Bei welcher  $\text{CO}_2$ -Abgabe sie richtige Werte liefert, hängt von den relativen Dimensionen der Absorptionsschale und der Glocke, von den Eigenschaften des Absorptionsmittels u. a. m. ab. Bei weniger guter solcher »Anpassung« werden die Resultate um so schlechter sein je kürzer der Versuch dauert. Bei der Kleinheit des Vorrats an  $\text{CO}_2$  in einem normalen Boden im Vergleich zum Gasaustausch (vgl. ROMELL 1922) ist es nicht ausgeschlossen, dass bei längerer Ausdehnung des Versuchs sich auch bei sehr mangelhafter Anpassung gute Werte ergeben können, wenn seitliche Diffusion nicht störend wirkt und wenn nicht durch die veränderten Konzentrationen von  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  in allen berührten Tiefen (vgl. ROMELL 1922, Kap. 8), die sich während der Entwicklung eines neuen Dauerzustandes einstellen, die  $\text{CO}_2$ -Produktion selbst beeinflusst wird.

Falls unter den Glocken MEINECKES die Luft infolge Temperaturströmungen in solchem Masse bewegt war, dass die Diffusionswiderstände in der Luft keine Rolle spielten, würde bei den gegebenen Dimensionen der Apparatur und der nach BROWN & ESCOMBES Werten interpolierten Aufnahmefähigkeit einer 5-% Kalilauge die Anpassungsgleichung lauten:  $m = 7,8 C$ . Bei einem natürlichen  $\text{CO}_2$ -Gehalt am Boden von 4 pro 10,000 wäre also die Anpassung bei einer  $\text{CO}_2$ -Abgabe von etwa 0,5 Liter pro Stunde und  $m^2$  vollkommen. Ist der Diffusionswiderstand zu berücksichtigen — die ziemlich engen Räume oberhalb und unterhalb der Schale müssen wenigstens ziemlich windstill sein — so wird die Berechnung kompliziert; wenn man jedoch in grob schematischer Weise mit einer einheitlichen Konzentration  $m$  an der Bodenfläche rechnet und die Diffusionswiderstände nach grober Schätzung (vgl. die Figur 1, S. 27, bei MEINECKE) derart in Rechnung setzt, dass man einen Diffusionsweg von 5 cm und einen Querschnitt von der Hälfte der  $\text{CO}_2$ -abgebenden Bodenfläche annimmt, so erhält man für den Fall von vollkommen stiller Luft im Apparat:  $m = 25 C$ . Die Anpassung wäre dann bei 4 Zehntausendstel  $\text{CO}_2$  am Boden für eine  $\text{CO}_2$ -Abgabe von 0,16 Liter pro Stunde und  $m^2$  vollkommen. — Die tatsächlich beobachteten Werte von  $\text{CO}_2$ -Abgabe sind von der Größenordnung 0,2 Liter pro Stunde und  $m^2$ .

Die gute Übereinstimmung zwischen den mit der alten und mit meiner Methode beobachteten Werten, die MEINECKE findet, muss teilweise auf einer unbewussten Anpassung, der Größenordnung nach, teils darauf beruhen dass bei Verwendung der alten Methode sehr lange Versuchszeiten (24 Stunden) benutzt wurden.

Die von mir in Vorschlag gebrachte Methode liefert immer Minimumwerte, die aber den wahren Werten durch Verkürzen der Versuchszeit immer näher gebracht werden können. Um diese Annäherung an die wahren Werte möglichst weit treiben zu können, habe ich für die vorliegende Untersuchung Apparate gebaut, deren Konstruktion aus Fig. 6 erhellt. *A* ist ein oben und unten offener Zylinder aus verzinktem Eisenblech, oben mit einer ringförmigen Rinne versehen; unten ist das Blech schneidenartig abgefeilt, um das Einpressen in den Boden zu erleichtern. Gleich unter der Rinne findet sich eine Tubulierung, auswendig drei klappbare Halter. *B* ist eine ringförmige Rinne aus Zinkblech mit zwei Handhaben. *C* ist eine Glocke aus Zinkblech, unten offen, oben geschlossen bis auf zwei runde Fenster, die mit vaselindichteten Glasscheiben gedeckt sind. Sie ist mit einem zentralen aufgelö-

teten eisernen Schiebelager und einer seitlichen Tubulierung versehen. *D* ist ein beweglicher Deckel, an einer durch das Schiebelager in *C* laufenden Stahlstange befestigt. Er ist zugleich als Aufnahmegefäß für den Baryt bestimmt und etwa wie der Boden in den Luftanalysenapparaten LUNDEGÄRDHS

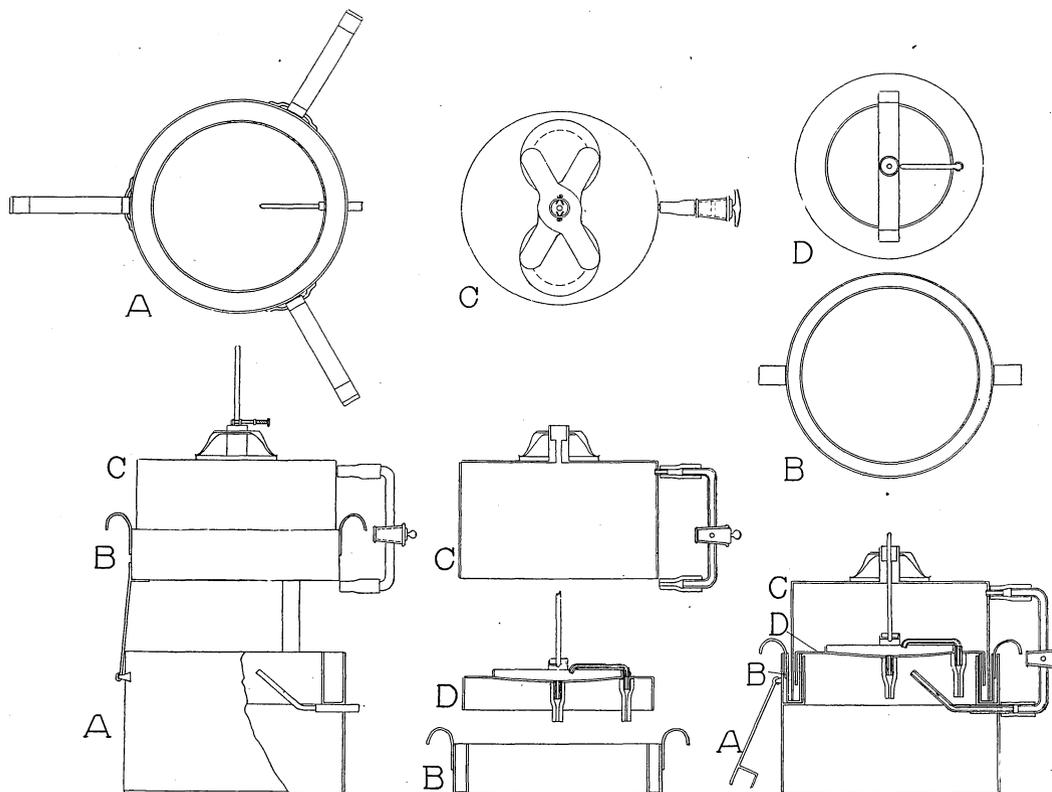


Fig. 6. Apparat för bestämning av kolsyreavgivningen från marken.

Skala 1 : 8. Nedtill till vänster apparaten sammansatt med överdelen *B*, *C*, *D* vilande på underdelens tre hållare (läge vid bestämningens förberedande). Underdelen *A* delvis visad genomskuren. Nedtill till höger lodrätt snitt genom apparaten med delarna i det läge, de ha efter diffusionsförsökets slut. Övriga figurer visa de olika delarna sedda uppifrån samt i lodrätt snitt.

Apparat zur Bestimmung der  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens. Vgl. Text. Skala 1 : 8.

gestaltet, mit Zu- und Abflussrohr für Baryt und Spülwasser. Ein  $3\frac{1}{2}$  cm hoher, an *D* aufgelöteter Rand passt in die Rinne *B* hinein.

Der Apparat ist zugleich für den Diffusionsversuch und für die Bestimmung der angehäuften  $\text{CO}_2$ -Menge bestimmt. Die anfängliche Konzentration von  $\text{CO}_2$  am Boden muss besonders bestimmt werden, was in meinen Versuchen durch einen der oben beschriebenen Analysenapparate vom Typus LUNDEGÄRDHS geschah. Das Einsaugrohr wurde dabei auf den oberen Rand des in den Boden eingepressten Teils *A* gelegt.

Der Versuch wurde vorbereitet, indem die grünen Teile der Bodenvegetation auf der ausgewählten Stelle mit einer Schere abgeschnitten wurden. Dann wurde der Unterteil *A*



Fig. 7. Två apparater enligt fig. 6 utsatta på marken. Försöket förberedes.  
 Fig. 7. Zwei Apparate gemäss Fig. 6 beim Vorbereiten eines Versuchs.

des Apparats aufgesetzt und sein unterer Rand in den Boden eingeschnitten, bis die Unterkante der Rinne die Bodenoberfläche berührte, die drei Halter aufgeklappt und der aus *B*, *C* und *D* bestehende Oberteil des Apparats aufgestellt (mit dem Deckel *D* in Höhenlage). Eine Gesamtansicht zweier ausgesetzter Apparate zeigt Fig. 7. Nach einiger Zeit wurde eine Luftprobe mittels des LUNDEGÄRDHSchen Apparats genommen und gleich nachher der eigentliche Versuch begonnen, indem die drei Halter heruntergeklappt und der Oberteil des Apparats in die mit ein wenig Wasser gefüllte Rinne des Unterteils *A* aufgesetzt wurde; Zeit und Temperatur wurden abgelesen und die Tubulierungen an *A* und *C* mittels eines gläsernen Hahnrohres verbunden. Während der Arbeit mit dem Aufsetzen des Oberteils wurde der Atem eingehalten. Gegen Ablauf der Versuchszeit wurde der Deckel ein paar mal langsam ein wenig gesenkt und gehoben, um die Luft in der Glocke zu mischen, und wenn der Sekundenzeiger die volle Minute zeigte, ganz hinuntergelassen. Nach Ausgleich des Druckes ober- und unterhalb *D* wurde der Hahn des Hahnrohres geschlossen und die Verbindung mit der Tubulierung an *A* gelöst. Nunmehr sind von der etwa 4 Liter betragenden vom Apparat und Boden eingeschlossenen Luft ungefähr 2,6 Liter im Oberteil des Apparats luftdicht abgesperrt, indem die Ränder der Glocke *C* und des Deckels *D* in die glyzeringefüllte Rinne *B* tauchen, das Schiebelager für die *D* tragende Stange mit Quecksilber abgedichtet und der Glashahn der Hahnröhre geschlossen ist. Der Oberteil des Apparats wird so geschlossen zu einem an einem Baumstamm befestigten Schrank getragen (Fig. 8), dort eine abgemessene Menge Baryt eingelassen und das Ganze sich selbst einige Stunden lang überlassen, dann der Baryt herausgenommen und mit  $\text{BaCl}_2$ -Lösung nachgespült, wie bei den Luftanalysenapparaten LUNDEGÄRDHS. Alle inwendigen Flächen waren paraffiniert, der Gummischlauch zum Hahnrohr lange Zeit in geschmolzenem Vaseline gequollen. Baryt und Säure waren auch hier etwa  $1/100$ -normal.

Es wurde also etwa 65 % der ganzen Luftmenge unter der Glocke für die  $\text{CO}_2$ -Bestimmung verwendet. Die Genauigkeit der eigentlichen  $\text{CO}_2$ -Bestimmung kann auf etwa  $\pm 0,02$   $\text{cm}^3$   $\text{CO}_2$  geschätzt werden, die Differenz der in den 4 Litern im Apparat nach und vor dem Versuch vorhandenen Menge wäre dann auf etwa  $\pm 0,03$   $\text{cm}^3$  genau bestimmt. Aus dieser Differenz ist die  $\text{CO}_2$ -Abgabe pro  $\text{m}^2$  und Stunde berechnet worden, durch Multiplikation mit einem Faktor, der ungefähr beträgt:

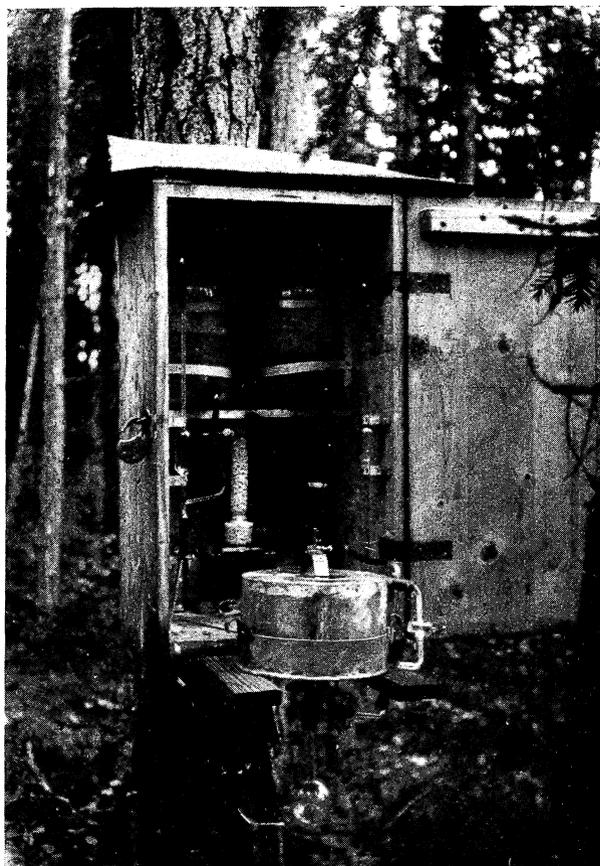


Fig. 8. Analysskåp till apparaterna figg 6—7.  
 Analysensschrank zu den Apparaten Figg. 6—7.

für 6 Minuten Versuchszeit	250
» 10 »	150
» 12 »	125
» 15 »	100.

Die berechneten Werte der stündlichen  $\text{CO}_2$ -Abgabe pro  $\text{m}^2$  sind folglich rein analysetechnisch mit einem mittleren Fehler behaftet, der geschätzt werden kann auf etwa:

7,5 $\text{cm}^3$	für 6 Minuten Versuchszeit,
4,5 $\text{cm}^3$	» 10 »
3,75 $\text{cm}^3$	» 12 »
3,0 $\text{cm}^3$	» 15 »

Einige Doppelbestimmungen, die gelegentlich vorgenommen wurden, und zwar so, dass die Oberteile zweier verschiedenen Apparate mit einer Zwischenzeit von einer halben Stunde auf demselben an seinem Platz gelassenen Unterteil aufgesetzt wurden, ergaben die Differenzen  $-27$ ,  $+5$ ,  $-28$  und  $-35 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$  pro  $\text{m}^2$  und Stunde. Die Versuchszeit war 6 Minuten, und man hätte also nach Obigem diesen Differenzen einen mittleren Fehler von etwa  $7,5 \cdot \sqrt{2} = 10,6 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$  zuzuschreiben. Die Grösse der Differenzen lässt vermuten,

dass die Unsicherheit tatsächlich ein wenig grösser als die berechnete ist. Es können aber natürlich Schwankungen der CO<sub>2</sub>-Abgabe mit hineinspielen.

Eine schwer zu schätzende Unsicherheit wird ferner verursacht durch die mangelhafte Definition des Bodenniveaus und somit des Volumens oberhalb desselben.<sup>1</sup> Ich möchte jenes als kaum auf  $\pm 1/2$  cm, aber sicher auf  $\pm 1$  cm genau bestimmt schätzen, was einen Fehler der Ziffern der CO<sub>2</sub>-Abgabe von zwischen 4 und 8 %, sagen wir 6 %, verursachen würde.

Ein gewisser Fehler kann endlich entstehen durch die Ausdehnung oder Kontraktion der Luft in der Glocke infolge Temperaturänderung während des Versuchs. Ersteres ist weniger gefährlich als letzteres und gefährdet jedenfalls nicht den Charakter der gewonnenen Resultate als sicherer Minimumwerte. Auch für die Fälle, wo die Temperatur während des Versuchs gesunken ist, habe ich indessen keine Korrektur für diesen Fehler anzubringen versucht. Der höchste Temperaturfall, der vorgekommen ist, beträgt 1,3°, was eine Kontraktion der Luftsäule von kaum 0,6 mm. bedeuten würde. Die Genauigkeit der CO<sub>2</sub>-Bestimmung beträgt nach Obigem etwa 0,03 cm<sup>3</sup>. Damit der Fehler infolge Aufsaugung von CO<sub>2</sub> aus dem Boden diesen Wert erreiche, muss der CO<sub>2</sub>-Gehalt des obersten mm Bodenluft ein paar Zehntel % betragen, ein Wert, der noch in mehreren dm Tiefe in trockenen Rohhumuswäldern selten überschritten wird.

Eine prinzipielle Voraussetzung dafür, dass meine Methode richtige Werte liefere, ist, dass die Diffusionsverhältnisse nicht kurz vor dem Versuch stark geändert worden sind, sondern dass ein natürlicher quasi-stationärer Zustand während des Versuchs fort dauert. Ich nahm daher das Wegschneiden der grünen Teile der Bodenvegetation geraume Zeit vor dem Versuch vor, meist gleich nach Anstellung der Luftkohlen säurebestimmungen am Morgen, während die Bestimmungen der Bodenatmung zur Mittagszeit um etwa 14 Uhr bewerkstelligt wurden. In Bispgärden wurde ein Teil der Bestimmungen mehrere Tage nacheinander am selben Fleck ausgeführt. Die Moosdecke, die dann behufs Verhinderung einer unnatürlichen Austrocknung nach jedem Versuch aufgelegt wurde, wurde natürlich auch eine geraume Zeit vor dem neuen Versuch entfernt. Leider habe ich mich nicht durch besondere Versuche überzeugt, inwiefern diese Massregeln ausreichend gewesen sind.

Im Gegensatz zu MEINECKE glaube ich, dass zum Bestimmen der wahren Bodenatmung eine Augenblicksmethode am geeignetsten wäre. Die ideale Methode sollte auch keiner solchen Eingriffe wie Wegschneiden der grünen Pflanzenteile und Eindringen von Gegenständen in den Boden bedürfen, die mehr oder weniger gewaltsame Veränderungen der natürlichen Verhältnisse bedeuten. MEINECKE setzt seine Zylinder einige Tage im voraus auf ihren Platz (S. 27), wodurch »sich die in ihrer Lebensäusserung beim Eindringen des Zylinders doch wohl etwas gestörte Kleinlebewelt erholen soll«. Ob aber wirklich die durch das Abschneiden der Wurzeln herbeigeführten Veränderungen zurückgehen? Vielleicht könnte meine Methode bei recht kurzer Versuchszeit und entsprechend scharfer CO<sub>2</sub>-Bestimmung auch so ausgeführt werden, dass die Glocke gar nicht in den Boden gepresst zu werden brauchte, und vielleicht könnte der Einfluss der grünen Teile der Bodenvegetation nötigenfalls so eliminiert werden, dass eine Bestimmung mit einem durchsichtigen Apparat, eine nach Verfinsterung vorgenommen würde. Dann würde diese Methode der idealen ziemlich nahe kommen. Ich habe leider keine Zeit gehabt, in dieser Richtung zu experimentieren.

### 3. Die untersuchten Lokalitäten und die Beobachtungsstationen.

Die Untersuchungen wurden 1922 in eine Durchforstungsreihe der Versuchsanstalt verlegt, Nummer 40 bei Bispgärden, Provinz Jämtland, Nordschweden (Literatur: SCHOTTE 1917, S. 121—126, HESSELMAN 1926, S. 448—452, HOLMGREN & MONTELL 1927, S. 39—41). Im Jahre 1923 wurden eine Durchforstungsfläche Nr. 297 (vgl. SCHOTTE 1921, S. 18—19 und 35) und der angrenzende undurchforstete Bestand, Kirchspiel Björkvik, Provinz Södermanland, Mittelschweden, vergleichend untersucht. Der Bispgärdener Bestand ist reiner moosreicher Kiefernwald, in den Björkviker Lokalitäten gibt es auch ein wenig Fichte, die jedoch kaum eine Rolle im Bestande spielt. Dazu wurden Bestimmungen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der »freien Luft« ausgeführt, und in Björkvik auch

<sup>1</sup> Die Volumina der Apparate selbst oberhalb und unterhalb des Deckels *D* wurden dagegen, nachdem die Rinne *B* und die Rinne des Unterteils mit Paraffin gefüllt waren, durch Auswägen mit Wasser genau bestimmt und können als fehlerfrei gelten.

Bestimmungen in einem dichten Jungbestand aus Kiefer. In den Hauptlokalitäten wurde der  $\text{CO}_2$ -Gehalt an je zwei Stationen untersucht, einer am Boden, der anderen in Kronenhöhe. Die verschiedenen Stationen werden in den Tabellen wie im Text mit Verkürzungen bezeichnet:

*F* die Fahnenstange (Bispgården).

*Gh* durchforstete Fläche, Kronenhöhe (Bispgården bezw. Björkvik).

*Gm* » » am Boden » » »

*Oh* undurchforstete » Kronenhöhe » » »

*Om* » » am Boden » » »

*S* die Sandgrube (Björkvik).

*U* der Jungbestand (Björkvik).

Die Werte der  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens werden entsprechend mit bezw. *G* und *O* bezeichnet, je nachdem sie von durchforsteter oder undurchforsteter Fläche stammen. Bei den Bestimmungen im August in Björkvik wurden Flecke mit Moosdecke und mit nur toter Bodendecke (Nadeln, Reisig usw.) in der Bodenschicht unterschieden. Die so entstandenen Kategorien werden mit den folgenden Verkürzungen bezeichnet:

*GM* durchforstete Fläche, Moosfleck.

*GB* » » Fleck mit Nadeln.

*OM* undurchforstete Fläche, Moosfleck

*OB* » » Fleck mit Nadeln.

Folgende Einzelheiten seien für die verschiedenen Stationen gegeben. *Bispgården* 1922: *F*: 11 m hoch über dem Hof eines sehr frei auf einem kleinen Hügel liegenden Bauerngutes; diese Station liegt ein paar km von den folgenden. *Gh*:  $9\frac{1}{4}$  m hoch in der Krone einer der 75-jährigen Kiefern der am stärksten durchforsteten Fläche. *Oh*:  $9\frac{1}{2}$  m hoch in der Kronenschicht der unberührten Vergleichsfläche. *Gm* und *Om*: 5 cm über dem Boden in den betreffenden Flächen. — *Björkvik* 1923: *S*: Eine grosse kahle Fläche (Sandgrube) im Wald; die Proben wurden durch eine 37,5 m lange Leitung eingesogen, die ein paar m über dem höchsten Punkt eines kleinen (gleichfalls kahlen) zurückgelassenen Rückens in der Sandgrube mündete. *U*: 6,5 m hoch mitten in den Kronen einer dichten Gruppe von Jungkiefern in einem dichten Jungbestand aus Kiefer, etwa 40 m von der vorigen Station. Die folgenden Stationen liegen von den vorigen etwa 500 m entfernt. *Gh*: 8 m hoch in der Krone einer der mittelaltrigen Kiefern auf der stark durchforsteten Fläche, vgl. die Skizze Fig 1 *G* (S. 4). *Oh*:  $8\frac{1}{2}$  m hoch in der Krone einer Kiefer im relativ unberührten geschlossenen Bestand ausserhalb der Durchforstungsfläche, vgl. die Skizze Fig. 1 *O*. *Gm* und *Om*: 5 cm über dem Boden in den betreffenden Flächen. — Der Abstand zwischen den sich entsprechenden Stationen *G* und *O* war in beiden Fällen zwischen 50 und 100 m.

#### 4. Der Kohlensäuregehalt an den verschiedenen Stationen.

Die erhaltenen Werte sind in den Tabellen 4 und 5 (S. 28—31) zusammengestellt. Eine anschaulichere Übersicht des Materials bringt die Tabelle 2 S. 5, die die Frequenzen der Werte in verschiedenen Klassen von  $\text{CO}_2$ -Gehalt für jede Station und Tageszeit (Morgen = etwa 7—9 Uhr, Mittag = etwa 13—15 Uhr, vgl. die ausführlichen Tabellen) angibt, Doppelbestimmungen als einfach gerechnet. *M* ist das aus den Frequenzen und Klassen-

werten errechnete Mittel,  $n$  die Zahl der Varianten in jeder Zeile. Die gesamte Variation bewegt sich also zwischen 2,6 und 3,9 Teile pro 10,000, d. h. zwischen etwa  $-33\%$  und  $+30\%$  des Normalgehalts der Luft. Werden die Bestimmungen am Boden ausgeschieden, so bewegt sich die Variation im übrigen Material zwischen 2,6 und 3,6, d. h. zwischen etwa  $-33\%$  und  $+20\%$  des Normalgehalts. Zum grössten Teil ist aber diese Variation für die meisten Reihen gemeinsam. Die am meisten abweichenden Mittel liegen bei  $-8\%$  und  $+12\%$  des Normalgehalts, von den Werten am Boden abgesehen bei  $-8\%$  und  $+3,3\%$ . Was ausser den höheren Gehalten am Boden am meisten in die Augen fällt, ist nicht die Verschiedenheit an verschiedenen Stationen, sondern zu verschiedenen Tageszeiten. Im ganzen Material ausser den Stationen am Boden findet sich unter den Mittagswerten nur eine Variante — unter 95 — die einer höheren Klasse als der des Normalgehalts angehört, unter den Morgenwerten aber 36 von den 128 Varianten.

Ein Blick auf die Zusammenstellung Tab. 2 zeigt, dass es in den meisten Fällen eine heikle Aufgabe sein wird zu entscheiden, ob die durchschnittlichen Differenzen zwischen verschiedenen Stationen sicher sind oder nicht. Diese Frage kann aber nicht an Hand dieser Zusammenstellung statistisch entschieden werden, weil auch nach der Sonderung in Zeitklassen eine deutliche gemeinsame Variation mit der Zeit vorliegt. So sind die vier höchsten Werte (zusammen 20) an jeder Station in Bispgården nicht nur sämtlich Morgenwerte, sondern sie fallen fast alle auf vier bestimmte Tage, den 20., 30. und 31. August, und in Björkvik fallen die Höchstwerte aller vier Lokalitäten auf den Morgen des 1. August. Entsprechendes findet man, wenn auch weniger klar, für die niedrigsten Werte. Ich habe deshalb Differenzreihen gebildet, siehe Tab. 3 (S. 6—7), die eine statistische Behandlung erlauben. Die erhaltenen Werte der durchschnittlichen Differenz können aber auch nicht ohne weiteres als innerhalb der Fehlergrenzen richtig angenommen werden. Es müssen die möglichen systematischen Fehler berücksichtigt werden, von denen oben Abt. 2 (S. 38—39) die Rede war. Leider konnten, wie an genannter Stelle gesagt, vergleichende Bestimmungen nur mit den paarweise im selben Schrank angeordneten Apparaten ausgeführt werden, die in Björkvik für alle drei Apparatenpaare so ausgefallen sind, dass der linke Apparat um etwa  $1\%$  höhere Werte gab. Ich habe oben als wahrscheinlich gefunden, dass in Björkvik dies bei der merklichen Diffusion von  $\text{CO}_2$  durch die Schlauchverbindungen auf der peinlich systematischen Arbeitsweise mit den Apparaten beruht, indem stets der linke Apparat zuerst mit Baryt gefüllt wurde, dessen Titer also etwas geschwächt war. Die wahrscheinlichste Basis für eine Korrektur der systematischen Fehler — in Ermangelung besserer Daten — scheint mir da zu sein, die Rechtsapparate als fehlerfrei und die Linksapparate als mit den in Tab. 7 angegebenen systematischen Fehlern behaftet anzusehen. Die Korrekturen spielen nur für das Björkviksmaterial eine Rolle. Nach ihrer Einführung bleiben von den verschiedenen durchschnittlichen Differenzen die auf S. 10—11 zusammengestellten, die das Dreifache ihres mittleren Fehlers übersteigen.

Von den gefundenen Differenzen zwischen verschiedenen Lokalitäten scheint also nur noch die wahrscheinlich sicher zu sein, dass in Björkvik die Luft in Kronenhöhe im relativ unberührten mittelaltrigen Bestand 8 bis 9 Volummilliontel  $\text{CO}_2$  weniger enthält, d. h. um etwa  $3\%$  kohlenensäureärmer ist als die »freie Luft« oder die Luft in derselben Höhe auf der stark durchfor-

steten Fläche. Ich möchte das Gesamtergebnis der Vergleiche verschiedener Lokalitäten so formulieren: die durchschnittlichen Unterschiede im  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft, die eventuell — wenigstens in einem Fall sehr wahrscheinlich — in Kronenhöhe zwischen den untersuchten Beständen oder zwischen den Beständen und der freien Luft vorliegen, übersteigen kaum ein paar Prozent des Normalgehalts der Luft. Sie sind derart niedrig, dass sie mit vorliegenden Methoden schwierig zu studieren sind. Die Zahlen scheinen eine Tendenz zu unternormalem  $\text{CO}_2$ -Gehalt in Kronenhöhe in undurchforstetem Bestand anzuzeigen.

Dagegen sind die Unterschiede zwischen den Werten 5 cm über dem Boden und in Kronenhöhe teils grösser, teils ganz zuverlässig. Sie betragen in Bispgården etwa 7 %, in Björkvik 4 bis 8 %.

Ebenso sind die Unterschiede zwischen Morgen und Mittag sicher. Sie betragen in Durchschnitt für die verschiedenen Stationen in Bispgården 9 %, in Björkvik 4 %.

Der Unterschied zwischen Bodenniveau und Kronenhöhe ist in Björkvik mittags etwa doppelt so gross auf der undurchforsteten wie auf der durchforsteten Fläche. Dieselbe Tendenz ist betreffs der entsprechenden Werte in Bispgården bemerkbar, der Unterschied ist aber hier nicht statistisch sicher.

##### 5. Kohlensäureabgabe des Bodens an verschiedenen Lokalitäten.

In Bispgården wurden nur einige zwanzig, in Björkvik etwa 90 Bestimmungen ausgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 6, S. 32, zusammengestellt. Das Mittel aller Bestimmungen in Bispgården ist 0,20, in Björkvik 0,29 Liter  $\text{CO}_2$  ( $15^\circ \text{C}$ , 760 mm Hg)<sup>1</sup> pro  $\text{m}^2$  Bodenfläche und Stunde. Werden die Werte für durchforstete und undurchforstete Flächen gesondert betrachtet, so erhält man im Mittel:

Bispgården	durchforstete Fläche	0,12	l	$\text{CO}_2$	pro	$\text{m}^2$	und	Stunde.
	undurchforstete	»	0,26	»	»	»	»	»
Björkvik ...	durchforstete	»	0,29	»	»	»	»	»
	undurchforstete	»	0,31	»	»	»	»	»

Vom Björkvik Material sind dabei nur die Augustbestimmungen berücksichtigt, um den Vergleich nicht zu verrücken.

Es ist von grossem Interesse, zu untersuchen, ob die Tendenz zu stärkerer  $\text{CO}_2$ -Abgabe auf den undurchforsteten Flächen sicher ist. Die wenigen Werte aus Bispgården lassen keine statistische Behandlung zu, die aus Björkvik habe ich aber einer solchen unterzogen. Für jede Observationsgelegenheit ist jeder der 4 Werte *GM*, *GB*, *OM*, *OB* in % ihres Mittels ausgedrückt worden. Die Reihe von Differenzen zwischen diesen %-Werten und 100 für jede Kategorie wurde als eine statistische Serie behandelt. Es ergaben sich die Mittel und mittleren Fehler:

$$\begin{aligned}
 GM & -5,76 \pm 4,46 \\
 GB & +0,25 \pm 5,59 \\
 OM & -0,03 \pm 4,71 \\
 OB & +5,92 \pm 2,71.
 \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Um die Werte in Gramm  $\text{CO}_2$  ausgedrückt zu erhalten, sind die Ziffern mit 1,874 zu multiplizieren.

Die Abweichungen von der Mittelreihe sind, wie man sieht, statistisch nicht sicher. Wenn man die Moos- und Nadelflecke zusammennimmt, so dass nur zwei Kategorien entstehen, durchforstete und undurchforstete Fläche, wird die Abweichung von der Mittelreihe im Durchschnitt  $3,14 \pm 2,86$ , mit Minuszeichen für die durchforstete Fläche, die Differenz zwischen undurchforsteter und durchforsteter Fläche also  $6,28 \pm 4,04$  % ihres Mittels. Es handelt sich also nur um eine Tendenz, nicht um einen statistisch sicher nachgewiesenen Unterschied. Die Grösse des mittleren Fehlers scheint teils durch die grosse Variation von Punkt zu Punkt bedingt zu sein — der Unterschied zwischen Moos- und Nadelflecken ist ja grösser als der zwischen den Flächen — teils dadurch, dass der Boden auf den verschiedenen durchforsteten Flächen auf Witterungseinflüsse verschieden reagiert. In Bispgården fällt die  $\text{CO}_2$ -Abgabe während der Trockenperiode nach dem kräftigen Regen 26.—27. Aug. anscheinend bedeutend schneller auf der durchforsteten Fläche, deren Humusdecke, wie direkt zu beobachten war, schneller austrocknete. In Björkvik liegen die Werte für die undurchforstete Fläche in der Zeit 13.—17. Aug. konstant bedeutend über denjenigen für die durchforstete Fläche, sonst öfters unter diesen. Merkwürdigerweise ist die undurchforstete Fläche hier eben während einer Regenperiode überlegen, vielleicht wegen zuviel Nässe auf der durchforsteten. Es regnete überhaupt sehr viel während der Untersuchungen in Björkvik. Die deutlichen Tendenzen zu mangelhaftem Parallelismus im Gang der  $\text{CO}_2$ -Abgabe an den verschiedenen Lokalitäten mahnt zur Vorsicht beim Vergleichen von Lokalitäten verschiedener Beschaffenheit auf Grund kurzer Bestimmungsreihen.

In der Tab. 6 sind Werte, die von Flecken mit moderndem Reisig herkommen, mit einem fetten **r** bezeichnet. Man kann wie ersichtlich nicht sagen, dass diese durchweg höher als die anderen sind, aber die besonders hohen sind unter ihnen zu finden.

Um einige Ziffern der  $\text{CO}_2$ -Produktion unter möglichst gleichen Bedingungen für die Humusdecke der durchforsteten und der undurchforsteten Fläche zu erhalten, wurden in Björkvik Humusproben eingesammelt, 18 auf der durchforsteten, 16 auf der andern Fläche, wobei teils Moosflecke, teils Flecke mit moderndem Reisig ausgesucht und an jedem Fleck zwischen oberer und unterer Humusschicht unterschieden wurde. Diese Proben wurden dann im Laboratorium auf ihre  $\text{CO}_2$ -Produktion untersucht unter Verwendung eines früher von Prof. HESSELMAN für ähnliche Untersuchungen gebauten Apparats. Die Proben werden in Glaskolben eingeschlossen, die mit einem in Wasser tauchenden Steigrohr und einer mit Kalilauge gefüllten Ausbauchung versehen sind. Der Anstieg des Wassers im Steigrohr ist ein Mass der  $\text{CO}_2$ -Produktion. Die 6 Versuchskolben tauchten in ein gemeinsames Wasserbad, um gleiche Temperatur zu gewährleisten, und bei jeder Reihe von 6 Versuchen wurden die untersuchten Proben möglichst in derselben Weise auf die verschiedenen Kategorien verteilt. Die Werte der  $\text{CO}_2$ -Produktion sind zuerst auf Gewichtseinheit von lufttrocknem Humus und Stunde reduziert und dann diese Werte für jede Reihe in % des Mittels der vier Versuche mit Proben aus Moosflecken ausgedrückt worden\* (jede der vier Kategorien aus Moosflecken war in jeder Reihe einmal repräsentiert). Um genügende Ausschläge zu erhalten, mussten die Versuche über Nacht laufen, wobei es sich leider in ein paar Fällen ereignete, dass das Wasser das Steigrohr ganz füllte und in den Kolben überlief, so dass die erhaltenen Werte nur Minimumwerte sind. Diese sind in der Zusammenstellung S. 14 mit einem > bezeichnet. Die daselbst zwischen Parenthesen gesetzten Werte sind aus demselben Grund Maximumwerte (weil der bei ihrer Berechnung verwendete Mittelwert einen Minimumwert enthält). Aus den Ziffern ergibt sich, wie ersichtlich, kein Unterschied zwischen der Humusdecke der durchforsteten und der undurchforsteten Fläche unter Moosdecke. Dagegen sind die wenigen Werte für Humus unter moderndem Reisig auf der durchforsteten Fläche auffallend hoch. Auf der undurchforsteten Fläche konnten keine wirklichen Ansammlungen von

\* Das Mittel dieser Mittel ist  $34 \text{ mm}^3 \text{ CO}_2$  pro g Trockengewicht und Stunde.

modernem Reisig aufgefunden werden. Interessant ist der auffallende Unterschied zwischen oberer (»övre») und unterer (»undre») Humusschicht<sup>1</sup>, der mit den Ergebnissen HESSELMANS (1926) über die relative Lebhaftigkeit der Umsetzung in diesen Schichten stimmt.

Der Versuch ist mangelhaft, u. a. weil die Proben naturfeucht, also mit variierendem Wassergehalt, untersucht wurden. Dieser lag im allgemeinen zwischen 63 und 70 % (Mittel 66 %) des Frischgewichts, die Extremwerte liegen aber so weit auseinander wie 54 und 76 %. Eine Korrelation zeigt sich, wie zu erwarten, für das Gesamtmaterial zwischen Wassergehalt und CO<sub>2</sub>-Produktion. So stammt der niedrigste %-Wert von der nächst trockensten Probe her und die zwei höchsten von den zwei feuchtesten. Der durchschnittliche Unterschied im Wassergehalt zwischen den verschiedenen Kategorien geht in der Richtung, dass der Humus der durchforsteten Fläche feuchter als der der undurchforsteten war. Es ist also denkbar, dass dieses Verhalten eine tatsächliche Überlegenheit des Humus der undurchforsteten Fläche verschleiert hat, wie sich eine solche aus den Feldversuchen und aus gewissen Beobachtungen HESSELMANS (kräftigere Ammoniakbildung im Humus aus der undurchforsteten Fläche zu Bispgården) zu ergeben scheint.

#### 6. Allgemeine Schwankungen des CO<sub>2</sub>-Gehalts und der CO<sub>2</sub>-Produktion.

Es ist schon bemerkt worden, dass sich eine deutliche gemeinsame Variation an den verschiedenen Stationen betreffs des CO<sub>2</sub>-Gehalts zeigt, wie das ja nicht erstaunlich ist. Der Verlauf dieser allgemeinen Variation ist in den Figuren 2 und 3 (S. 15—16), zusammen mit Daten über CO<sub>2</sub>-Produktion, Temperatur, Niederschlag und Wind zur Darstellung gebracht.

Was aus diesen Zusammenstellungen zunächst hervorgeht, ist der deutliche Zusammenhang zwischen Temperatur und CO<sub>2</sub>-Gehalt wie auch CO<sub>2</sub>-Produktion, wo die Bestimmungen genügend zahlreich sind, um einen allgemeinen Gang herauslesen zu können. Die Einwirkung des Niederschlags ist dagegen undeutlich und ein Einfluss des Windes gar nicht bemerkbar.

#### 7. Der CO<sub>2</sub>-Haushalt des Bestandes.

**Alte und neue Humustheorie.** Was die Einschätzung der Luftkohlenäure als ökologischen Faktor betrifft, so kann man, wie SCHMIDT (1926) sagt, eine ausgeprägte Periodizität beobachten, die aber längere und tiefere Wellen zeigt, als wie aus den Beispielen SCHMIDTS hervorgeht. Auf die bahnbrechenden Entdeckungen SAUSSURES um die Wende des 18. Jahrhunderts folgte bekanntlich die Zeit der neubelebten Humustheorie, für die SAUSSURE selbst ein Vertreter wurde. Dieser Humusepoche wurde durch LIEBIG und BOUSSINGAULT gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts ein Ende gesetzt. Seitdem hat es bis in die neueste Zeit im allgemeinen als eine festgestellte Tatsache gegolten, dass die grünen Pflanzen in keiner Form Kohlenstoff aus dem Boden aufnehmen, und dass sie sich mühelos aus dem grossen CO<sub>2</sub>-Vorrat des Luftmeeres ernähren können. Diese Überzeugung fusste ausser auf den Berechnungen und Auseinandersetzungen LIEBIGS einfach auf der zuerst durch SAUSSURE und BOUSSINGAULT ermittelten Tatsache, dass grüne Pflanzen bei Kultur auf humusfreiem Substrat, sich aus der Luft ernährend, zur vollen Entwicklung kommen können. Diese Versuche zeigen aber nur, dass die Pflanzen mit dem normalen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft von etwa 3 pro 10,000

<sup>1</sup> Ich habe diese neutralen Bezeichnungen gewählt, da ich nicht sicher bin, dass die Schichten den später unterschiedenen »F-» bzw. »H-» Schichten HESSELMANS ganz entsprechen.

auskommen können. Sie sagen nichts darüber aus, wie sich ungefähr diese Konzentration am Boden des Luftmeeres während des gewaltigen  $\text{CO}_2$ -Verbrauchs der das feste Land fast lückenlos bekleidenden Vegetation aufrechterhalten kann. Die Berechnungen LIEBIGS betreffen teils die Unzulänglichkeit auch einer gesättigten Humuslösung als  $\text{CO}_2$ -Quelle, teils die Grösse des allgemeinen Vorrats von  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre im Vergleich mit dem Verbrauch seitens der grünen Pflanzen. Erstere Berechnung — wie die bei LIEBIG im Anhang angeführten Versuche HARTIGS — zeigt nur, dass die Pflanzen nicht direkt auf Humus leben können, die letztere ist für das Problem ganz irrelevant. Für die Pflanzen ist es zunächst ganz gleichgültig, ob der  $\text{CO}_2$ -Vorrat des Luftmeeres gross oder klein ist; sie haben keinen Vorteil von der Kohlensäure, die sie nicht erreichen können. LIEBIG scheint selbst ein Gefühl davon gehabt zu haben, indem er in einer Fussnote (1841, S. 21) eine Berechnung anstellt über die Mengen, die eine neugekalkte Wand pro Zeiteinheit aus der Luft aufnehmen kann, damit implizite anerkennend, dass das Problem ein dynamisches ist. Ein einziges von den Argumenten, die zur restlosen Abwehr der alten Humustheorie führten, ist wirklich stichhaltig: der einfache Hinweis LIEBIGS, dass eine Vegetation den Boden auf die Dauer an Humus anzureichern pflegt. Auch diese Tatsache spricht aber nicht dagegen, dass die aus dem Boden freigemachte  $\text{CO}_2$  von wesentlicher Bedeutung für die Erhaltung der tatsächlichen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen am Boden des Luftmeeres und für die Kohlenstoffversorgung der Vegetation sein könnte. Dass eine Pflanzengesellschaft im Laufe der Zeit den Boden an Humus bereichert, sagt nämlich nichts aus über die Grösse des Kohlenstoffgewinns aus dem Luftmeer im Verhältnis zum gesamten Kohlenstoffumsatz in der Gesellschaft, die Bodenorganismen mit eingerechnet. Trotz der Tendenz zu Humusanreicherung kann es sehr gut so sein, dass der Hauptteil des Kohlenstoffumsatzes ein ganz lokaler Kreislauf zwischen dem Boden und den grünen Pflanzen ist.

Was speziell die Waldgesellschaften betrifft, so ist eben in den produktiveren Typen die Neigung zu einer Ansammlung von Humus unbedeutend. HESSELMAN (1926 S. 510) schildert die Verhältnisse in einem Urwald von üppigerem Typus (Kubani) und bemerkt, dass obwohl seit Jahrhunderten oder Jahrtausenden nichts aus dem Wald herausgenommen worden ist, nur unbedeutende Ansammlungen von Pflanzenresten oder Humus vorkommen, also »beinahe Gleichgewicht herrscht zwischen der Produktion von Pflanzenabfällen und dem Abbau derselben . . .«.

Es spricht also nichts dagegen und vieles dafür, dass in der alten Humustheorie ein Kern von Wahrheit steckte, wie die modernen Kohlensäuretheoretiker wollen, und zwar in der Weise, dass die  $\text{CO}_2$ -Bildung im Boden eine wesentliche Bedeutung für die Erhaltung der normalen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im Niveau der Vegetation und für die  $\text{CO}_2$ -Versorgung der grünen Pflanzen hat. Jedenfalls ist das Problem ein dynamisches: das, worauf es für die Pflanzen ankommt, ist die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der die Assimilationsorgane umgebenden Luft, and wie hoch diese sich während der Assimilationsarbeit halten kann, hängt von der Zufuhr — von oben oder von unten — ab, gar nicht von den absoluten Mengen von  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre. Dass die Durchmischung im Luftmeer bis an seinen Boden so vollständig sei wie früher vielfach angenommen wurde, dem widerspricht namentlich die von FODOR

(1881, 1882) und vielen anderen nachgewiesene, auch in meinen Serien klar zutage tretende Tagesperiodizität im CO<sub>2</sub>-Gehalt der unteren Luftschichten.

**Der Kreislauf des Kohlenstoffs.** In letzter Zeit haben von mehreren Forschern ausgeführte Überschlagsberechnungen wahrscheinlich gemacht, dass in der Tat die CO<sub>2</sub>-Abgabe des Bodens und der CO<sub>2</sub>-Verbrauch des Bestandes von derselben Grössenordnung sei (vgl. MEINECKE 1927, S. 120—124). Meine eigenen Bestimmungen der CO<sub>2</sub>-Abgabe des Bodens stimmen recht genau zu denjenigen MEINECKES. Das Mittel aus den Augustwerten auf der Standardfläche MEINECKES würde mit dem Mittel meiner Augustwerte aus Björkvik, 0,3 l pro Stunde und m<sup>2</sup>, fast zusammenfallen.<sup>1</sup> Die Produktivität der betreffenden Bestände entspricht einander auch ungefähr (der Bispgårdener Bestand wächst mit etwa 8, der in Björkvik mit etwa 6 m<sup>3</sup> Stammholz, der Standardbestand MEINECKES schätzungsweise mit 9 m<sup>3</sup> Derbholz pro Jahr und ha).

Die grösste Schwäche aller solcher vergleichenden Berechnungen, die bisher angestellt worden sind, ist, dass man die Grösse der Wurzelatmung nicht kennt. Die von den Wurzeln ausgeatmete CO<sub>2</sub> geht in die vom Boden abgegebene ein.<sup>2</sup> Ein entsprechender Verbrauchsposten muss in die Berechnungen eingehen und zu den CO<sub>2</sub>-Mengen hinzuaddiert werden, die in Derbholz, Astholz, Zweigholz und Nadeln oder Blätter festgelegt werden. Seine Grösse ist jedoch z. Z. nicht anzugeben.<sup>3</sup> Wahrscheinlich ist er nicht

<sup>1</sup> FEHÉR (1927) findet auf der schwedischen Insel Hallands Väderö Werte einer zehnmal höheren Grössenordnung, die mir zunächst unverständlich sind. Falls nicht die Wurzelatmung (vgl. unten) ganz enorme Werte auf dieser Insel annimmt, muss die dortige CO<sub>2</sub>-Abgabe des Bodens, nach FEHÉRS Werten zu urteilen, den Verbrauch der betreffenden Bestände übersteigen, und es zeigt sich doch daselbst eine, wenn auch nicht starke, so doch deutliche Tendenz zu Rohhumusbildung. — Für den Buchenwald auf Hallands Väderö stellt sich ein Vergleich von denkbaren Verbrauchswerten mit FEHÉRS Produktionswerten folgendermassen. Nach gef. Angaben der Kgl. Domänenverwaltung scheint von den reinen Buchenbeständen der Insel mit einem Alter von 150—200 Jahren keiner mehr als etwa 20 m Höhe zu haben und keiner eine Kubikmasse von 300 m<sup>3</sup> Stammholz pro har zu erreichen. Für den reinen Buchenbestand nahe der Sandhamner Bucht, wo FEHÉR seine Bestimmungen gemacht zu haben scheint (FEHÉR 1927, S. 325—327), wurde im Jahre 1913 angegeben: Bestandesschluss 0,7, Alter 200 Jahre, Höhe 18—20 m, Holzmasse 210 m<sup>3</sup> Stammholz pro har. Der Bestand gehört also etwa der V:ten Bonität SCHWAPPACHS. Der gegenwärtige jährliche laufende Zuwachs an Holz und Reisig in diesem Bestand kann nach diesen Ziffern kaum zu mehr als etwa 2 m<sup>3</sup> veranschlagt werden. Setzen wir aber, um einen ganz sicheren Maximalwert zu bekommen, 3 m<sup>3</sup> statt 2. Mit reichlich hohen Zusätzen für die versteckten Produktionsposten bekommt man dann etwa folgende totale Festlegung von Kohlenstoff:

1 050 kg	in Stamm- und Astholz und Reisig.
300 » »	Stock- und Wurzelholz (WEBER S. 146).
1 400 » »	Streu usw. (EBERMAYER S. 78).

Summe 2 750 kg Kohlenstoff jährlich pro har.

Eine Kohlensäureproduktion der von FEHÉR für den Buchenwald angegebenen Grösse, 8,7 g stündlich pro m<sup>2</sup>, durch nur 4 Monate hindurch fortgesetzt, ergibt aber eine Kohlenstoffproduktion pro har von über 68 000 kg, also ungefähr 25 mal so viel wie die jährliche Festlegung von Kohlenstoff im Bestand. Etwa 96 % der Kohlensäureproduktion des Bodens nach FEHÉRS Ziffern müsste somit von Wurzelatmung herrühren, damit sie als einen normalen Dauerzustand kennzeichnend denkbar wäre. (*Anm. i. d. Korr.: vgl. s. 56!*)

<sup>2</sup> Bei den Bestimmungen wird zwar der Rand der Glocke in den Boden gedrückt, wodurch die Wurzeln abgeschnitten werden, sicherlich hören sie aber deshalb nicht auf zu atmen.

<sup>3</sup> MEINECKE (1927, S. 121, 123) rechnet mit 10 % der gesamten Assimilationsleistung; woher er diese Ziffer erhalten hat, weiss ich nicht.

verschwindend klein. Es mag in Ermangelung anderer Daten an folgende von Agrikulturforschern gegebene Ziffern erinnert werden. STOKLASA & ERNEST (1905) veranschlagen die Wurzelatmung in einem Weizenfeld ungefähr ebenso gross wie die übrige CO<sub>2</sub>-Produktion des Bodens. LUNDEGÄRDH (1924) kommt für ein Haferfeld auf verschiedenen Wegen zu zwei verschiedenen Ziffern für die Wurzelatmung, bezw. 0,13 und 1,17 g pro Stunde und m<sup>2</sup>, entschliesst sich aber für ersteren Wert, der etwa  $\frac{1}{3}$  der gesamten CO<sub>2</sub>-Produktion des Bodens entspricht.<sup>1</sup>

Trotzdem kann es von einem gewissen Interesse sein, zu untersuchen, wieviel Rohhumusmaterial zur Erzielung einer gewissen CO<sub>2</sub>-Produktion aus dem Boden verbraucht werden müsste, falls alle CO<sub>2</sub> durch Abbau von Humus entstände. Das Mittel meiner Bestimmungen des Trockengewichts von 50 cm<sup>3</sup> mässig zusammenpacktem Rohhumus aus Björkvik ist 8,68 g. Eine 1 cm dicke Rohhumusschicht enthält also (der C-Gehalt des Humus zu 57,9 % angesetzt) rund 1 Kilogramm Kohlenstoff pro Quadratmeter, entsprechend 1,97 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> (15° C, 760 mm Hg). Um beziehungsweise 0,2 und 0,3 Liter CO<sub>2</sub> pro Stunde und m<sup>2</sup> während eines 4 $\frac{1}{2}$  Monate langen Sommers zu produzieren, müsste also eine 1 cm dicke Rohhumusschicht im Laufe von bezw. 3 und 2 Sommern verbrennen — Ziffern, die annehmbar erscheinen. Um eine stündliche Produktion wie die von FEHÉR für den Buchenwald auf Hallands Väderö angegebene zu unterhalten, müsste eine 8 cm dicke Schicht jeden Sommer verbrannt werden, eine Ziffer, die fast an Waldbrand denken lässt (vgl. vorhergehende Seite, Fussnote 1).

Die Ergebnisse meiner Untersuchungen können betreffs des CO<sub>2</sub>-Haushalts der untersuchten Bestände so zusammengefasst werden: 1. Der Kohlenstoffgewinn aus der Atmosphäre kann kaum beträchtlich den Betrag der Wurzelatmung übersteigen. 2. Die CO<sub>2</sub>-Produktion des Bodens, die im Durchschnitt für den Sommer nach den ausgeführten Bestimmungen, verglichen mit den längeren Serien MEINECKES, auf etwa 0,2 Liter pro Stunde und m<sup>2</sup> geschätzt werden kann, entspricht einer Entbindung pro Jahr (Sommer) des Kohlenstoffvorrats einer etwa  $\frac{1}{3}$  cm dicken Rohhumusschicht; der Kohlenstoffvorrat des Rohhumus, während Jahrhunderten angesammelt, entspricht also der Abgabe des Bodens während etwa eines Dezenniums.<sup>2</sup>

**Kohlensäuredüngung.** Ob der Kohlenstoff den Bäumen von oben oder von unten zukommt, ist aber eine Frage von sehr geringem praktischen Interesse. Dieses beginnt mit der Frage, ob es nötig oder auch nur möglich ist, mittels waldbaulicher Massnahmen die CO<sub>2</sub>-Versorgug der Waldbäume zu beeinflussen. MEINECKE und einige andere beantworten diese Fragen mit einem begeisterten Ja, ihre Kritiker sind geneigt, die forstliche »Kohlensäurefrage»

<sup>1</sup> Ohne Gewicht darauf zu legen, möchte ich auch darauf hinweisen, dass die CO<sub>2</sub>-Produktion der Rohhumusproben in meinen Laboratoriumversuchen (Abt. 5) kaum mehr als die Hälfte derjenigen beträgt, die man nach den Bestimmungen der Bodenatmung erwartet hätte, falls der Humus der alleinige Sitz der CO<sub>2</sub>-Bildung wäre.

<sup>2</sup> Es sollte aber hier daran erinnert werden, dass auch in unseren Waldpodsolböden der C-Gehalt der Mineralerde nicht verschwindend gering ist; besonders in der Orterde ist er oft beträchtlich. Inwieweit dies Kapital beweglich ist, kann z. Z. nicht gesagt werden. Bemerkenswert ist, dass nach meinen Beobachtungen mittels der direkten Methode WINOGRADSKYS (1925, S. 315) bis zur grössten untersuchten Tiefe von 20 cm im Mineralboden unter Rohhumus eine ziemlich reiche Bakterienvegetation vom »autochthonen» Typus WINOGRADSKYS vorhanden ist.

als eine Erfindung zu betrachten. Die geführte Diskussion ist wenig erspriesslich gewesen; beiderseits findet man wenig Klarheit und die sonderbarsten Argumente. Auf der Kritikerseite ist man so weit gegangen, im Hinblick auf gewisse phantastische Berechnungen MITSCHERLICH'S auf Grund einiger nichtssagender Versuche seiner Schüler, zu verneinen, dass eine Erhöhung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts bei vollem Lichtgenuss eine erhöhte Assimilationsleistung bewirken würde.

Wie LUNDEGÄRDH ausgeführt hat, muss man, wenn man danach trachtet, durch  $\text{CO}_2$ -Düngung übernormale  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zu erhalten, sich darauf bereiten, mit mehr Kohlenstoff düngen zu müssen, als man erntet. Das muss in den meisten Fällen sinnlos sein, im besonderen im Waldbau. Aussichtsvoller ist eine  $\text{CO}_2$ -Düngung, die nur darauf eingestellt ist, allzustark unternormale Konzentrationen um die Assimilationsorgane herum zu vermeiden. Diese Prinzipien haben offenbar auch im Waldbau Geltung, sofern es sich um Dauerwirtschaft handelt. Die in normalen Waldbeständen vorhandene Tendenz zu Kohlenstoffanreicherung, die jedoch im Verhältnis zum gesamten Kohlenstoffumsatz gering ist, zeigt an, dass die Verhältnisse normal so liegen, dass einerseits die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen in der Kronenschicht durchschnittlich ein wenig unter dem Gehalt der freien Luft liegen, und dass sie andererseits im allgemeinen nicht sehr tief darunter sinken. Das stimmt zu den Ergebnissen meiner Analysen, indem entweder kein Unterschied zwischen der Bestandesluft in Kronenhöhe und der freien Luft nachgewiesen werden konnte oder ein sehr kleines  $\text{CO}_2$ -Defizit im geschlossenen Bestand. Auch die interessante und prinzipiell wahrscheinliche »Normalverteilung«, die MEINECKE gelegentlich im assimilierenden Bestand findet, weist in dieselbe Richtung.<sup>1</sup> Da der Kohlenstoffvorrat der Rohhumusdecke im Verhältnis zum gesamten Kohlenstoffumsatz, wie oben ausgeführt, in normalen gesunden Beständen gering und direkte Begasung wie überhaupt künstliche Kohlenstoffzufuhr von aussen her im Wald ausgeschlossen ist, und da die gemessenen  $\text{CO}_2$ -Defizite in den Kronen in der Regel sehr klein sind, so scheint es praktisch unmöglich zu sein, einen sehr viel günstigeren Dauerzustand als den normalen zu unterhalten. Da ferner alle Massnahmen, die man erdenken könnte, um die natürliche  $\text{CO}_2$ -Produktion im Bestand zu fördern, auf das eine herauskommen, den Umsatz im Boden zu begünstigen, so will es scheinen, als ob der Forstmann im allgemeinen sehr gut davon befreit bleiben könnte, für die  $\text{CO}_2$ -Produktion im Bestand auf besondere Weise Sorge zu tragen. Ein guter Umsatz im Boden ist ja nämlich aus allerlei Gesichtspunkten erwünscht und ein heutzutage anerkanntes Ziel eines bodenpflegenden Waldbaus.

Temporär ist es natürlich möglich, dass die  $\text{CO}_2$ -Abgabe des Bodens den Verbrauch seitens des Bestandes übersteigt. Das ist im besonderen der Fall, wo der Bestand augenblicklich fehlt. Von kohlenstoffsäuretheoretischem Gesichtspunkt aus sollte man über die Kohlenstoffverschwendung auf Kahlschlagflächen trauern und über die Vergeudung des Kohlenstoffkapitals durch Verbrennen eines herrlichen dicken Rohhumuspelzes die Hände ringen. Dieser Konflikt zwischen dem theoretisch Feinsten und dem praktisch Nützlichen besteht aber unter Bedingungen, wo zu Kahlschlagbetrieb und Brennen ge-

<sup>1</sup> Die durchschnittlichen  $\text{CO}_2$ -Defizite in den Kronen müssen sehr viel geringer sein als die beträchtlichen zufälligen, die sich aus MEINECKES Kurven S. 130 ergeben.

griffen werden muss, auch wenn man nicht speziell an den Kohlenstoff denkt. Die theoretisch am meisten befriedigende Waldbaupform ist aus allerlei Gesichtspunkten der Dauerwaldbetrieb. Praktisch stellt sich bekanntlich die Sache unter verschiedenen Umständen verschieden.

MEINECKE scheint zu glauben, dass übernormaler  $\text{CO}_2$ -Gehalt bis über die Kronen des Bestandes hinauf durch die Bodenatmung dauernd unterhalten werden könne (S. 133), was selbstverständlich unmöglich ist. MEINECKE ist zu dieser eigenartigen Ansicht gekommen, indem er seine  $\text{CO}_2$ -Werte in der Bestandesluft verglichen hat nicht mit der freien Luft in Gahrenberg,<sup>1</sup> sondern mit der freien Luft der Literatur, die bekanntlich unveränderlich 0,03 %  $\text{CO}_2$  enthält. Eine entsprechende eigenartige Stellungnahme liegt in der Überschrift MEINECKES zu seinen vergleichenden Berechnungen über  $\text{CO}_2$ -Produktion und -Konsum im Bestand: »Berechnung des höchsten theoretischen möglichen Zuwachses aus der Menge der Bodenatmung«. Wäre die Anschauung, die darin ihren Ausdruck findet, richtig, so würde man nie Holz aus dem Wald erhalten können; schon das Entstehen von Wäldern wäre unmöglich gewesen. Konsequenterweise sieht MEINECKE den Wind, der den Bäumen Luft aus der freien Atmosphäre zuführt, als einen  $\text{CO}_2$ -Dieb an. Das ist sicher im allgemeinen für den Oberbestand unrichtig und steht in Widerspruch mit der von MEINECKE selbst gefundenen »Normalverteilung« der Konzentrationen im Bestand ( $\text{CO}_2$ -Defizit in den Kronen), was natürlich nicht hindert, dass der Wind in anderer Weise (dadurch, dass er die Bäume zwingt, die Spaltöffnungen frühzeitig zu schliessen) schädlich sein kann.

**Bestandesschluss und  $\text{CO}_2$ -Konkurrenz.** Meine Untersuchungen haben keine anderen Unterschiede im  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft in verschieden durchforsteten Beständen ergeben, als dass sich in Björkvik in Kronenhöhe auf der undurchforsteten Fläche ein  $\text{CO}_2$ -Defizit von 3 % des Normalgehalts zeigte. In einem dichten Jungbestand aus Kiefer konnte kein Defizit gegenüber der freien Luft sicher festgestellt werden.<sup>2</sup> Die Tendenz der Bestimmungen der Bodenatmung deutet an, dass der Bestandesschluss in zwei Weisen wirkt, indem in den dichteren Beständen einerseits die  $\text{CO}_2$ -Konkurrenz grösser sein muss, andererseits aber die Bodenatmung lebhafter ist. Das rührt wohl teilweise von lebhafterer Wurzelatmung her, ist aber auch durch reichlicheren Nadelfall und gleichmässigerer Feuchtigkeit zu erklären. HESSELMAN (1926, S. 528) hat in Laboratoriumsversuchen gefunden, dass ein guter Bestandesschluss gewisse Umsetzungen in der Humusdecke kräftig fördert.

**$\text{CO}_2$ -Genuss des Unterwuchses.** Wie alle anderen einschlägigen Untersuchungen, haben die meinigen einen deutlich höheren  $\text{CO}_2$ -Gehalt am Boden gezeigt. Für den Unterwuchs wird dieser erhöhte  $\text{CO}_2$ -Genuss von ökologischer Bedeutung besonders dadurch sein, dass er den Pflanzen ermöglicht, bei etwas geringerem Lichtgenuss auszukommen, als ihnen sonst möglich wäre, wie LUNDEGÅRDH (1921) für einige krautige Schattenpflanzen exakt nachge-

<sup>1</sup> Dies ist um so merkwürdiger, als er eine ausgezeichnete Station zu ihrer Untersuchung besass, einen hohen über die Baumgipfeln hinaufragenden Turm, wo er aber nur 12 Bestimmungen gemacht zu haben scheint. Ihr Mittel ergibt 0,04 %  $\text{CO}_2$ , genau den Wert, den MEINECKE als Mittel aller Höhen im Bestand angibt.

<sup>2</sup> Der Unterschied schwand bei Einführung einer Korrektion, die aber vielleicht etwas zu gross ist.

wiesen hat.<sup>1</sup> Folglich könnte das seitliche Hineinlassen von Wind in einen Bestand für den Unterwuchs in der Weise nachteilig wirken, wie MEINECKE es sich denkt (vgl. oben).

**Spezialfälle.** Eine genauere Untersuchung der Variationen des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Luft in verschieden behandelten Beständen, verschiedenen Waldtypen usw. könnte sicher in vielen Fällen wenigstens theoretisch interessante Ergebnisse liefern, wenn sie genügend eingehend durchgeführt würde. Befriedigende derartige Untersuchungen wären aber mit den jetzt bekannten Methoden ungeheuer mühsam, und eine Aufnahme derselben in das Programm unserer forstlichen Versuchsanstalt liesse sich kaum rechtfertigen. Als Beispiel von forstlichen Fragen, die vielleicht durch solche Untersuchungen eine Klärung erfahren könnten, sei die bis jetzt unerklärliche auffallende Produktionserhöhung nach sehr kräftigen Durchforstungen in gewissen Gegenden in Norrland genannt. Die Vegetationsperiode der Bäume wird durch die Durchforstung nicht verlängert, wie man geglaubt hat (vgl. ROMELL 1925), der Beginn der Vegetationszeit wird aber besser ausgenutzt. Vielleicht mangelt es den Bäumen in den undurchforsteten Beständen im Vorsommer u. a. an CO<sub>2</sub> wegen noch stockender CO<sub>2</sub>-Produktion im kalten, spät geaperten Boden.

---

<sup>1</sup> MEINECKE scheint diesem Gesichtspunkt keine besondere Aufmerksamkeit zu schenken, was vielleicht damit zusammenhängt, dass er in der Hauptsache auf dem Boden des alten Minimumgesetzes geblieben ist (vgl. seine Darstellung S. 2—3). Über die jüngst erfolgte Neugestaltung dieses »Gesetzes« vgl. ROMELL 1926 a.

### Nachtrag, betreffend FEHÉRS Bestimmungen der Bodenatmung.

Herr Prof. Dr. FEHÉR hat die ausserordentliche Güte gehabt, auf meine Bitte hin mir eine vollständige Berechnung einer seiner Bestimmungen auf Hallands Väderö zur Verfügung zu stellen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank aussprechen möchte. Aus dem Beispiel ersehe ich, dass Prof. FEHÉR bei der Berechnung der Daten die Formel bei LUNDEGÅRDH 1924 s. 146 gebraucht hat. In dieser Formel kommt aber leider ein Druckfehler vor, wodurch die berechneten Werte zehnmal zu hoch werden. Die Durchschnittsziffer für den Kiefernwald auf Hallands Väderö sollte also 0,3 g CO<sub>2</sub> stündlich pro m<sup>2</sup> sein, die für den Buchenwald 0,87 g. Ersterer Wert ist etwas niedriger, letzterer etwas höher als MEINECKES und meine Durchschnittswerte. Es ergibt sich also nunmehr eine erfreuliche Übereinstimmung zwischen FEHÉRS, MEINECKES und meinen Bestimmungen.

---