

NN31545.0527

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

NOTA 527

22 september 1969

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

**DE INVLOED VAN HET VOCHTGEHALTE VAN DE BODEM EN HET
ZUURSTOFGEHALTE VAN DE BODEMLUCHT OP DE ADEMHALING
VAN DE RHIZOSFEER VAN STAMSLANEN**

J.I.M. Burgers en W.B. Verhaegh

Het onderzoek werd verricht in het kader van een doctoraal-
studie biologie o.l.v. Dr ir J.F. Bierhuizen en ir J.W. Bakker.

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemidde-
len, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de
conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog
niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking



11 FEB. 1998

17807285

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

De afgevaardigden van de Staten-Generaal

I N H O U D

	blz.
INLEIDING	1
METHODIEK	2
GASMENGING	3
DE METING VAN DE O_2 CONSUMPTIE EN CO_2 PRODUKTIE	4
1. Analyse O_2	4
2. Analyse CO_2	5
UITVOERING VAN DE PROEF	5
Resultaten:	
a. Algemene opmerkingen	7
b. Droge stof produkties	8
c. Verdamping	9
d. Ademhaling	9
SAMENVATTING	13
ABSTRACT	15
LITERATUUR	16
BIJLAGEN	17

1	1000	1000
2	1000	1000
3	1000	1000
4	1000	1000
5	1000	1000
6	1000	1000
7	1000	1000
8	1000	1000
9	1000	1000
10	1000	1000
11	1000	1000
12	1000	1000
13	1000	1000
14	1000	1000
15	1000	1000
16	1000	1000
17	1000	1000
18	1000	1000
19	1000	1000
20	1000	1000
21	1000	1000
22	1000	1000
23	1000	1000
24	1000	1000
25	1000	1000
26	1000	1000
27	1000	1000
28	1000	1000
29	1000	1000
30	1000	1000
31	1000	1000
32	1000	1000
33	1000	1000
34	1000	1000
35	1000	1000
36	1000	1000
37	1000	1000
38	1000	1000
39	1000	1000
40	1000	1000
41	1000	1000
42	1000	1000
43	1000	1000
44	1000	1000
45	1000	1000
46	1000	1000
47	1000	1000
48	1000	1000
49	1000	1000
50	1000	1000
51	1000	1000
52	1000	1000
53	1000	1000
54	1000	1000
55	1000	1000
56	1000	1000
57	1000	1000
58	1000	1000
59	1000	1000
60	1000	1000
61	1000	1000
62	1000	1000
63	1000	1000
64	1000	1000
65	1000	1000
66	1000	1000
67	1000	1000
68	1000	1000
69	1000	1000
70	1000	1000
71	1000	1000
72	1000	1000
73	1000	1000
74	1000	1000
75	1000	1000
76	1000	1000
77	1000	1000
78	1000	1000
79	1000	1000
80	1000	1000
81	1000	1000
82	1000	1000
83	1000	1000
84	1000	1000
85	1000	1000
86	1000	1000
87	1000	1000
88	1000	1000
89	1000	1000
90	1000	1000
91	1000	1000
92	1000	1000
93	1000	1000
94	1000	1000
95	1000	1000
96	1000	1000
97	1000	1000
98	1000	1000
99	1000	1000
100	1000	1000

INLEIDING

De ademhaling van de rhizosfeer is van belang voor het onderzoek over de luchthuishouding in de grond. Het gastransport van CO_2 en O_2 tussen het maaiveld en het worteloppervlak hangt af van de concentratiegradiënt en de weerstand waarover het transport plaats vindt.

Door de ademhaling van micro-organismen en plantenwortels wordt het benodigde gastransport bepaald, en gegeven een bepaalde diffusieweerstand in het systeem, de concentratiegradiënt.

Door BAKKER (1965) wordt een onderscheid gemaakt in macro- en microtransport van O_2 en CO_2 .

Bij het macrotransport, voor afstanden in de orde van tientallen centimeters, is alleen de diffusie in de gasfase via de met lucht gevulde poriën van belang. De weerstand voor het gastransport van zuurstof in water, rekening houdend met de geringe oplosbaarheid van O_2 is namelijk 3×10^5 groter dan die in lucht. Het microtransport is belangrijk over een afstand van enkele millimeters, welk proces plaats vindt in de waterfilm rondom de wortels en in bodemaggregaten, waarbij de gasdiffusie in water van groot belang is. De totale afname van de zuurstofconcentratie van het maaiveld tot aan het worteloppervlak is de som van het concentratieverval van het macrotransport en van het microtransport. Een soortgelijk verband geldt ook voor de toename in de koolzuurgasconcentratie. De invloed van de zuurstofconcentraties op de ademhaling is onder andere onderzocht door BERRY en NORRIS (1949) en RAJAPPAN en BOYNTON (1960). OHMURA en HOWELL (1959) bestudeerden de invloed van het vochtgehalte op de ademhaling van wortelstelsels van maïs. De invloed van het vochtgehalte en het zuurstofgehalte in bodemaggregaten op de bodemademhaling is onderzocht door GREENWOOD (1961) en RIXON (1968).

Uit deze onderzoeken blijkt dat het O_2 transport in het plantenweefsel en het transport door de waterfilm rondom de wortels de beperkende factor voor de ademhaling kan worden genoemd. Bij een relatief hoog zuurstofgehalte van de bodemlucht kan onder vochtige omstandigheden toch een ontoereikend transport naar de plantenwortel plaatsvinden. De hoge diffusieweerstand van de waterfilm veroorzaakt een zo groot concentratieverval, dat de O_2 concentratie aan het worteloppervlak een waarde bereikt, waarbij in het wortelcentrum de O_2 concentratie 0 wordt. De ademhaling van het plantenweefsel in het wortelcentrum wordt dan onmogelijk.

Over het heterogene systeem van plantenwortels en bodem samen is nog weinig bekend. Daarom werd een onderzoek met stamslabonen uitgevoerd, waarin ademhaling van wortels en bodem werd gemeten, bij verschillend vochtgehalte, zuurstofgehalte en structuur van de grond.

METHODIEK

Het experiment werd uitgevoerd in metalen potten, die voorzien waren van een gasinvoer, een watergeefbuis tevens gasuitgang waaraan een borrelbuisje voor CO_2 absorptie gehangen kan worden en een met een kurk en kneedbaar plastic (BUCARID) luchtdicht afsluitbaar plantgat in het deksel (fig. 1).

De potten werden ingevuld met zavel (granulaire samenstelling: deeltjes $< 2 \mu$ 10 %, deeltjes $2 - 50 \mu$ 6 %, deeltjes $> 50 \mu$ 84 %, kalkgehalte 15 - 20 %, organische stofgehalte 1,5 %) tot een dichtheid van grond van $1,30 \text{ g/cm}^3$ respectievelijk $1,38 \text{ g/cm}^3$.

De zavel werd gekozen omdat deze grond vrijwel geen krimp vertoont bij uitdroging en niet zwelt bij bevochtiging. Bij krimp kan een vrije ruimte ontstaan tussen de potwand en de grond, waardoor bij doorluchting een te lage doorstroomsnelheid optreedt in de grond en een te hoge in deze ruimten. Als gevolg hiervan kunnen grote verschillen in de samenstelling van de bodemlucht ontstaan. Een pot die ingevuld was met gemalen zavel gezeefd door een zeef met maaswijdte van 2 mm, vertoonde krimp, doordat de structuur van de bodemaggregaten, door het malen van de grond was verbroken.

De vereiste dichtheid werd verkregen door grond met een vochtgehalte van 4 gewichtsprocent te zeven door een zeef met een maaswijdte van 4 mm. Vervolgens werd het drooggewicht en het vochtgehalte van de gezeefde grond bepaald, waarna de potten in lagen van 5 cm werden ingevuld. De lagen grond werden met behulp van een triltafel en stamper op de gestelde dichtheid gebracht waarbij een correctiefactor voor de vochtigheid was toegepast.

Hieronder volgt een rekenvoorbeeld voor het verkrijgen van de vereiste dichtheid:

Het volume van het met grond gevulde deel van de pot, met een hoogte (h) van 20 cm en een straal (r) van 7,75 cm is 3726 cm^3 ($\pi r^2 h$).

Bij een volumegewicht (V_g) van 1,30 respectievelijk 1,38 g/cm^3 is de hoeveelheid droge grond 4844 respectievelijk 5142 g ($V_g \times \pi r^2 h$).

Bij een vochtgehalte (M) van 0,04 g $\text{H}_2\text{O/g}$ droge grond is de totaal in te vullen grond 5038 respectievelijk 5348 g ($V_g \times \pi r^2 h + M \times V_g \times \pi r^2 h$).

Per laag van 5 cm ($\frac{1}{4} h$) is de hoeveelheid dan 1259 respectievelijk 1335 gram.

Het poriënvolume wordt als volgt berekend:

S_g (soortelijk gewicht van de vaste fase in de grond) $2,65 \text{ g/cm}^3$

V_g (volume gewicht of dichtheid) 1,30 respectievelijk 1,38 g/m^3

Poriën-volume $(1 - \frac{V_g}{S_g}) \times 100 \% = 51$ respectievelijk 48 vol. %

Onder in de pot werd een laagje grind aangebracht ter bevordering van de drainage. Op de zavel werd zand gestrooid om verslemping van de grond tegen te gaan.

GASMENGING

Door de potten werden stikstof-zuurstofmengsels geleid, die verkregen werden door stikstof en lucht uit voorraadcilinders via reduceer-ventielen en weerstanden te mengen (fig. 2).

De weerstanden bestonden uit met gips gevulde glazen pijpjes. De lengte van het gips en de diameter van het pijpje bepaalden de stroomsnelheid (in ml/min.) van het uitstromende gas bij een bepaalde

voordruk. Voor elk O_2 gehalte werd de verhouding tussen de stikstof- en de luchtweerstand berekend. Bij een uitstroomsnelheid van de menglucht van 70 ml/min bij 1 atm. overdruk en een rest- O_2 gehalte van 0,06 % in de stikstofcilinder wordt bijvoorbeeld een menglucht van 2 % O_2 verkregen uit:

$$\begin{array}{ccc} \text{N}_2 & \text{Lucht} & \text{Menglucht} \\ 0,06 \% \text{ O}_2 \times X & + & 21 \% \text{ O}_2 \times Y = 70 \times 2 \% \text{ O}_2 \end{array}$$

$$X + Y = 70 \quad \text{ml/min}$$

$$Y = 5,1 \text{ ml/min (stroomsnelheid lucht)}$$

$$X = 64,9 \text{ ml/min (stroomsnelheid stikstof)}$$

De menglucht werd via weerstanden gemaakt, van thermometer capillairen, over 7 potten verdeeld, de instroomsnelheid per pot bedraagt dus ca. 10 ml/min. Deze thermometer capillaire weerstanden verhinderen, dat de kleine weerstandsverschillen tussen de proefpotten de verdeling van de hoeveelheid gasmengsel per pot sterk beïnvloeden en een drukverval bij het loskoppelen van een van de potten.

Voor ieder gasmengsel werd de uitstroomsnelheid en de gassamenstelling gecontroleerd en zo nodig door correcties op de voordrukken gecorrigeerd, voordat de potten werden aangesloten.

DE METING VAN DE O_2 CONSUMPTIE EN CO_2 PRODUCTIE

De O_2 consumptie, respectievelijk de CO_2 productie werd bepaald, door meting van de samenstelling van de in- en uitstromende gasmengsels en de afname van het O_2 gehalte respectievelijk toename van het CO_2 gehalte na de passage door de proefpot met de stroomsnelheid te vermenigvuldigen.

1. A n a l y s e O_2

De zuurstofconcentratie van het gasmengsel werd gemeten met een Beckman-zuurstof analysator nr 777. De meetcel bestaat uit een goud en zilver electrode waar overheen een teflon membraan is gespannen. Een verzadigde KCl oplossing, als geleidende brug, verbindt de beide electroden.

Tussen de gouden kopplaat en de zilvermantel is een spanningsverschil aangebracht van 0,8 V. Hierdoor wordt de zuurstof, die door het teflon membraan diffundeert aan het goudoppervlak gereduceerd. De reductiestroom is recht evenredig met de zuurstofconcentratie aan het oppervlak van het membraan. Het te analyseren gas wordt door een cuvette geleid waarin de Beckman electrode geplaatst is.

De betrouwbaarheid van de meting via de Beckman is absoluut $\pm 0,1$ vol. % O_2 en voor een verschil meting $\pm 0,05$ vol. % O_2 terwijl relatief kleine luchtmonsters geanalyseerd kunnen worden (minimaal 1 ml).

2. Analyse CO₂

De analyse werd op verschillende manieren uitgevoerd. De uitstromende lucht van de potten werd in luchtdichte zakjes opgevangen en vervolgens met een gasvolumetrische methode geanalyseerd (Gallenkamp-Lloyd gasanalysator zie bijlage). De CO₂ wordt in het toestel door KOH geabsorbeerd en uit de volume vermindering is het CO₂ gehalte te bepalen.

Door deze methode zijn alleen percentages en niet hoeveelheden vast te stellen. De instroomsnelheid (ml/min) van het gas in de pot is dus van belang. Deze stroomsnelheidsmeting werd uitgevoerd met behulp van een, in een bak water omgekeerde, geheel met water gevulde maatcilinder. Gedurende een minuut werd het gas opgevangen, waarna de hoeveelheid gas werd afgelezen. Een snellere methode is die, met behulp van een micro-flowmeter.

Omdat deze metingen nog vrij bewerkelijk waren, werd met een andere methode getracht de geproduceerde hoeveelheid CO₂ sneller te bepalen. Dit geschiedde met een infra-rood-absorptie schrijver: U.R.A.S. (zie bijlage). Hierbij wordt continu het verschil in CO₂ gehalte van 2 luchtstromen geregistreerd. Beide luchtstromen bestonden uit atmosferische lucht (50 l/uur) met een constant CO₂ gehalte van ca 0,03 vol. %. In een van de luchtstromen werd het uit de proefpot stromende gas geleid. Deze meetmethode werd geijkt met de Gallenkamp-Lloyd gasanalysator.

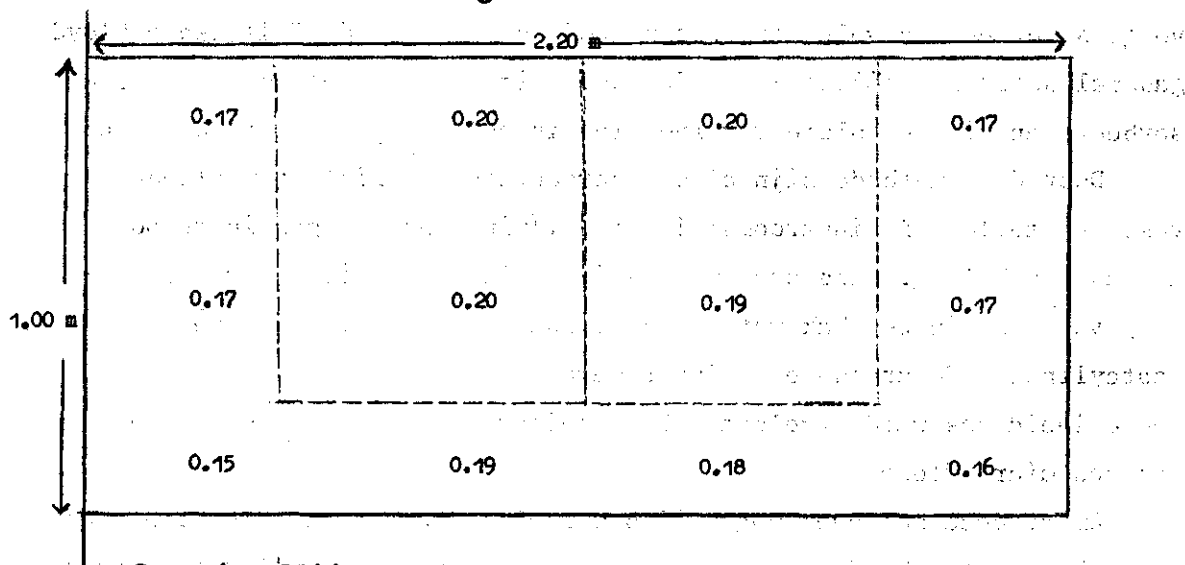
UITVOERING VAN DE PROEF

Stamslabonen (*Phaseolus vulgaris*) werden gezaaid in kweekbakjes. Na het opengaan van het eerste bladpaar werden de zaailingen in de proefpotten geplant en opgekweekt bij een temperatuur van 21°C en een relatieve luchtvochtigheid van 60-70 %. Het vochtgehalte in de potten was ca. 20 vol. %. Vier meetseries werden uitgevoerd.

Bij serie I was de temperatuur 21°C en de relatieve luchtvochtigheid 60 %, serie II had een temperatuur van 21°C en een relatieve luchtvochtigheid van 70 %. Bij serie III en IV was de temperatuur 16°C en de relatieve luchtvochtigheid 70 %.

De veertien potten (twee dichtheden met 3 vochttrappen in duplo, 1 reservepot, 1 pot zonder plant) werden geplaatst onder acht H.P.L.R.

400 W. lampen. De verdeling van de stralingsintensiteit in $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$, zoals gegeven in onderstaand schema werd op een lampafstand van 80 cm met een solarimeter gemeten.



De stippellijn geeft de plaats van de proefpotten weer. De gemiddelde calorie $\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ ontvangt voor de proefplanten was $0,192 \text{ cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$. De daglengte was 12 uur.

Nadat de bonenplanten voldoende waren ontwikkeld werden de potten luchtdicht afgesloten en werd de grond door middel van watergift op een bepaald luchtgehalte gebracht namelijk 15 %, 11 % respectievelijk 7 vol. %. Bij een lager luchtgehalte dan 7 % kon geen doorluchting worden uitgevoerd. Ook werden metingen verricht aan een pot zonder plant ($\Sigma g = 15 \text{ vol. \%}$). Hierbij moet worden aangetekend dat de pot niet onderhevig was aan periodieke veranderingen van het luchtgehalte van de grond, omdat er geen verdamping optrad. De proefpotten waren in twee groepen A en B verdeeld.

In onderstaand schema zijn de behandeling voor groep A en B in serie I weergegeven.

	A	B
1e dag	21 % O_2	12 % O_2
2e dag	12	21
3e dag	8	4
4e dag	4	8
5e dag	2	1
6e dag	1	2

In groep A werd een continue afname van het O_2 percentage toegepast en in groep B een discontinuë. De discontinuë behandeling werd uitgevoerd om eventuele tijdsinvloeden of beïnvloeding van de ademhaling door voorgaande zuurstofgehalten te onderkennen. Na de dosering van het laagste O_2 gehalte van beide groepen werd het gehalte in omgekeerde volgorde weer verhoogd, de toename van het O_2 gehalte in groep A was nu echter discontinu en in groep B continu (serie II). Vervolgens werd de behandeling van de eerste serie in serie III herhaald, groep A echter discontinu dalend en groep B continu dalend. Tenslotte werden de potten behandeld in groep IV met een zogenaamde sprongsgewijze verandering van het O_2 gehalte (wisselend laag en hoog O_2 gehalte). Zie onderstaand schema:

Groep A: 2 - 21 - 2 - 21 - 8 - 21 - 12 % O_2

Groep B: 1 - 21 - 4 - 21 - 4 - 21 - 8

Daarna werd aan groep A alleen stikstof gegeven (0,06 % O_2). De insteltijd was voor een stationaire toestand ^{was} vooral bij de omschakeling naar de lage zuurstofgehalten zeer lang (in de orde van 8-9 uur).

In de eerste meetserie werden de gasmengsels 's ochtends doorgeleid en werd 's middags gemeten, waarna op het eind van de middag een watergift werd gegeven. Door de lange insteltijd echter werd dit schema gewijzigd en werd 's nachts doorgeleid en 's ochtends gemeten. 's Middags werden de potten gewogen en op het juiste luchtgehalte gebracht door een watergift en na ca. 2 uur gekoppeld aan de aanvoerbuiss voor de gasmengsels. In sommige zeer natte potten was de gasdoorvoer dan nog vrijwel onuitvoerbaar. Om te voorkomen dat de druk bij de gasinvoer te hoog zou oplopen werd in de aanvoerleiding van deze potten een drukbegrenzer aangebracht, bestaande uit een glazen buisje met het uiteinde 3 à 4 cm onder water, zodat bij een druk hoger dan deze 3 à 4 cm waterkolom het gas door het water wordt afgevoerd.

Resultaten:

a. Algemene opmerkingen

Gemeten werd de O_2 consumptie, CO_2 productie en de verdamping per etmaal. Na afloop van de proef werden de vers- en drooggewichten van de plant bepaald. De dichtheden van grond van de potten werden gecontroleerd en bleken voor beide dichtheden niet meer dan $\pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ van de berekende dichtheid te verschillen. Dit komt overeen met een

variatie van luchtgehalte van $\pm 0,6$ vol. %. Het luchtgehalte van de grond op tijdstip van ademhalingsmeting is gevonden door een correctie voor de verdamping toe te passen op het tijdstip van wegen van de potten, voor de tijd, verlopen tussen ademhalingsmeting en wegen. Deze tijd was ongeveer 15-18 uur. De gemiddelde afwijkingen van luchtgehalte met de bijbehorende zuigspanningen (zie vochtspanningskarakteristiek fig. 3 4) zijn in onderstaand schema vermeld:

Vg 1,30 g/cm ³				
Σg	Gemidd. afw. Σg	Zuigsp.g/cm ²	Max.afw. Σg	Zuigsp.g/cm ²
7 %	9,5 $\pm$ 1	66	12,7	118
11 %	15,4 $\pm$ 1	141	19,0	159
15 %	18,8 $\pm$ 1	159	22,7	178

Vg 1,38 g/cm ³				
Σg	Gemidd. afw. Σg	Zuigsp.g/cm ²	Max.afw. Σg	Zuigsp.g/cm ²
7 %	10,0 $\pm$ 1	145	14,0	153
11 %	15,6 $\pm$ 1	159	19,7	178
15 %	19,7 $\pm$ 1	178	23,0	229

De hoogste zuigspanning die optrad was 229 g/cm². Bij deze waarde treedt er geen groeiremming van de plant op door watertekort.

b. Droge stof produkties

Er blijkt een duidelijk verband te bestaan tussen het gemiddeld luchtgehalte van een pot en de totale droge stof produktie (fig. 4). Een minder duidelijk verband is te vinden voor de droge stof produktie van de wortels en gemiddeld luchtgehalte. Dit komt waarschijnlijk doordat bovengrondse delen, die afsterven, tijdens de proef verloren gaan, terwijl afgestorven wortels in de gesloten pot blijven en worden daarna met het uitspoelen ook verzameld. Het bleek ook, bij natte potten, dat een gedeelte van de wortels was afgestorven. Door de controle op de bodemdichtheid en de worteluitspoelmethode is nog

een zeker percentage aan wortels verloren gegaan. Dit geeft een verklaring voor de spreiding van de punten.

De topwortelverhouding van de planten (dit is de verhouding bovengrondse delen ten opzichte van wortels) verschilde voor beide grond-dichtheden.

Voor Vg 1,30 g/cm³: 5,6

Vg 1,38 g/cm³: 7,4

Gemiddelde droge stof percentages

	Vrucht	Blad + stengel	Wortel
Vg 1,30 g/cm ³	11,7	18,7	6,2
Vg 1,38 g/cm ³	13,3	21,5	5,8

Het drooggewichtpercentage van de vrucht bleek bij Vg 1,38 g/cm³ toe te nemen naarmate het gemiddeld luchtgehalte lager werd (fig. 5). Dit is waarschijnlijk een afrijpingsverschijnsel. De vruchten van planten in potten met hoge grond-dichtheid en laag luchtgehalte zullen sneller rijpen. Hierdoor verschilt het droge stof percentage van deze vruchten, van het droge stof percentage van vruchten, die nog niet zo rijp zijn.

c. Verdamping

De verandering van het zuurstofgehalte van de bodemlucht is nauwelijks van invloed geweest op de verdamping, terwijl geen aanwijsbaar verschil is aan te geven tussen de potten met dichtheid Vg 1,30 en Vg 1,38. Alleen tussen de drie luchtgehaltenes was een verschil in verdamping waar te nemen (zie fig. 6).

d. Ademhaling

1. Zuurstofconsumptie

De verschillen die optraden in de zuurstofconsumptie tussen continue en discontinue O₂ behandeling waren in het begin verwarrend. Het bleek, dat bij 21°C en discontinue O₂ behandeling (serie I) de consumptie bij 12 % zuurstof lager lag dan de consumptie bij 8 % zuurstof in de bodemlucht. Dit komt waarschijnlijk, doordat in het begin van het experiment de insteltijd tot stationaire toestand te kort was genomen, door het nog onbekend zijn van deze

tijd. De resultaten van meetserie I moesten daarom komen te vervallen. Door de geringe verschillen in consumptie tussen de twee bodemdichtheden zijn de gegevens van dezelfde luchtgehalten gemiddeld en in grafiek gezet (fig. 7). De consumptie in serie II begint al bij 21 % O_2 af te nemen, het verloop is geleidelijk, zodat moeilijk een duidelijk beperkend zuurstofgehalte is aan te wijzen. Het voor O_2 verbruik beperkend zuurstofgehalte ligt echter wel boven de 12 % O_2 en zeer waarschijnlijk zelfs boven 21 % (zie BERRY en NORRIS, (1949)). In serie III (16°C) met dalend O_2 gehalte (fig. 8) is te zien dat het beperkende O_2 gehalte tussen 12 % en 8 % ligt. Het consumptieverloop bij serie IV verschilde sterk bij de 2 groepen potten (fig. 9 A.B.). In fig. 9A is een sprongsgewijze behandeling gegeven met voornamelijk hoge zuurstofgehalten (boven 8 % zuurstof). Hierin is te zien dat het beperkende zuurstofgehalte ligt tussen 11 % en 2 % O_2 . In fig. 9B is een sprongsgewijze behandeling gegeven met voornamelijk lage zuurstofgehalten (onder de 8 % zuurstof). Door het meng- en verdeelsysteem was het niet mogelijk eenzelfde O_2 gehalte, voor en na het ingelaste gehalte van 21 % O_2 , te geven, vandaar dat eerst 4,4 %, vervolgens 21 % en daarna 5,7 % O_2 werd gegeven. Er is een duidelijk verschil in consumptie waar te nemen tussen deze lage gehalten, terwijl er praktisch geen verschil is waargenomen tussen de gehalten van 21 % voor en na 5,7 % O_2 . Ook het gehalte van 8 % dat erop volgde vertoonde geen onverwachte resultaten. Voor dit consumptieverschil is nog geen verklaring gevonden. Het beperkende O_2 gehalte ligt hier rond of beneden de 8 % O_2 . Bij serie II (fig. 7) is aan te nemen dat de wortelgewichten nog niet door de Σg worden beïnvloed. Bij serie IV is dit waarschijnlijk wel het geval. Het verschil in ademhalingsintensiteit tussen een droge en natte pot neemt met de tijd toe. Dit laatste is waarschijnlijk aan een afname van het wortelgewicht door afsterfing van worteldelen toe te schrijven. Een correlatie tussen O_2 consumptie en droog wortelgewicht is binnen een vochtklasse niet gevonden.

2. Koolzuur produktie

De gegevens van de CO_2 produktie van serie I en II zijn niet be-

trouwbaar door de toen gevolgde meetmethode door middel van absorptie en titratie. De produktie bij 16°C is wel bekend.

Het blijkt dat de CO₂ produktie langer constant blijft dan de O₂ consumptie (fig. 8). Het voor CO₂ produktie beperkende zuurstofgehalte ligt tussen 8 % en 4 % O₂ bij een dalend O₂ gehalte.

Bij serie IV met de sprongsgewijze behandeling ligt het beperkende zuurstofgehalte tussen 11 % en 2 % (fig. 9A). In fig. 9B ligt het tussen 8 % en 5,7 % O₂.

Evenals bij de O₂ consumptie is nagegaan of er een correlatie bestaat tussen produktie en droog wortelgewicht. Ook hier blijkt alleen dat een hoger vochtgehalte van de pot een lagere CO₂ produktie oplevert, en dat de invloed van het wortelgewicht per vochtklasse niet aantoonbaar is.

3. Respiratoir quotiënt

In fig. 10 is de R.Q. weergegeven van alle ademhalingsmetingen.

Het blijkt dat bij 21°C (serie I + II) de R.Q. toeneemt bij een verlaging van het O₂ gehalte van de bodemlucht (fig. 10A). Bij 16°C is bij een dalend O₂ gehalte (serie III) een stijging van R.Q. waar te nemen gevolgd door een afname (fig. 10B). Bij sprongsgewijze behandeling (serie IV) blijft de R.Q. praktisch constant (fig. 10C).

21°C dalend en stijgend O ₂ gehalte (serie I + II)	16°C dalend O ₂ gehalte (serie III)	16°C spronggew. behandeling (serie IV)
gemidd. R.Q.	gemidd. R.Q.	gemidd. R.Q.
21,0 % O ₂ 1,25	21,0 % O ₂ 1,23	21,0 % O ₂ 0,96
12,0 % 1,35	12,5 % 1,32	12,2 % 1,25
8,0 % 1,66	11,4 % 1,27	9,4 % 1,00
4,0 % 6,46	8,6 % 1,54	8,1 % 1,10
2,0 % 6,88	4 % 3,30	5,6 % 1,65
1,0 % 13,5	2 % 2,00	4,4 % 1,10
	1 % 2,02	2,0 % 1,23

4. Enkele representatieve waarden omgerekend in mgr/dag van potten met luchtgehalte van 15 vol. % waarvan pot 22 zonder plant.

CO₂ produktie en O₂ consumptie in mgr/dag bij verschillende gasmengsels voor enkele potten.

T = 16°C (serie III)

	O ₂ %	21	12	8	4	2	1							
	$\overline{E_g}$	Vg	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
pot 7	20,0%	1,30	503	374	634	445	708	330	535	216	281	179	189	165
pot 12	20,0%	1,38	685	417	617	370	472	347	528	228	200	215	177	130
pot 22	15,0%	1,38	205	76	202	-	177	84	98	-	27	12	32	20

HARRIS en VAN BAVEL (1957), RAJAPPAN en BOYNTON (1961) hebben geen rekening gehouden met de produktie en consumptie van de bodem op zich, dit door de waarschijnlijk geringe consumptie en produktie van het door hen gebruikte ongesteiriliseerde kwartszand.

De produktie en consumptie van alleen de wortels is hier, de bovenstaande waarden van pot 12 verminderd met de produktie en consumptie van pot 22.

Deze waarden zullen de echte waarden van consumptie en produktie van de wortels slechts benaderen, ten eerste omdat de ademhalingsintensiteit van de micro-organismen in een bodem met gewas hoger ligt dan de ademhalingsintensiteit van micro-organismen in een bodem zonder gewas (ROUATH, 1960), ten tweede omdat bij een pot met alleen grond bijna geen verdamping optreedt. Het luchtgehalte verandert dus praktisch niet, wat de produktie en consumptie mogelijk anders zal beïnvloeden dan bij een veranderend luchtgehalte.

Productie en consumptie in mgr/dag per gram droog wortelgewicht van pot 12

O ₂	21		12		8		4		2		1	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
	190	135	160	-	117	104	171	-	69	81	58	48

Vergelijkbare literatuurwaarde gegeven door HARRIS en VAN BAVEL

(1957) CO₂ productie van planten in zuiver niet gesteriliseerd

kwartszand bij 20 % O₂.

mais 197 mgr CO₂/dag gram droog wortelgewicht

tabak 214

katoen 488

CO₂ produktie bij een goed doorluchte cultuur en een zuurstofge-

halte van 20 %: tabak 133 mgr CO₂/uur (voor de wortels van 1 plant)

van 15 %: tabak 134 mgr CO₂/uur (voor de wortels van 1 plant)

SAMENVATTING

Nagegaan werd de invloed van het zuurstofgehalte van de bodematmosfeer, de bodemdichtheid en het luchtgehalte van de bodem op de ademhaling van bodem en plantenwortels en de verdamping van het gewas. Verschillende gasmengsels van N₂ en O₂ werden geleid door luchtdicht afgesloten proefpotten ingevuld met lichte zavelgrond, waarop stamslabonen waren geplant. Variabelen waren: bodemdichtheid Vg 1,30 g/cm³ Vg 1,38 g/cm³ luchtgehaltes: gemiddeld 9,5 vol. % 15,5 vol. % en 19,5 vol. % en voor wat de zuurstofgehaltes betreft: dalend zuurstofgehalte bij 21°C en 60 % relatieve luchtvochtigheid. Stijgend zuurstofgehalte bij 21°C en 70 % relatieve luchtvochtigheid dalend en sprongsgewijs veranderend zuurstofgehalte (wisselend laag en hoog gehalte) beide bij 16°C en 70 % relatieve luchtvochtigheid.

De ademhalingsintensiteit wordt bepaald door analyse van in- en uitstromend gasmengsel en meting van de hoeveelheid doorgestroomd gas. Het zuurstofgehalte en het luchtgehalte blijken invloed te hebben op de ademhaling. Beneden een bepaald O₂ gehalte (tussen 8 % en 21 %), afhankelijk van de temperatuur, wordt de ademhaling sterk beïnvloed door het O₂ gehalte.

De ademhalingsaktiviteit bij gelijke zuurstofgehaltes bleek bij het laagste luchtgehalte duidelijk minder.

De transpiratie wordt niet merkbaar beïnvloed door het zuurstofgehalte. Het luchtgehalte heeft indirect een invloed op de transpiratie, doordat bij een lager luchtgehalte minder bladeren in leven blijven.

De dichtheid van de grond had geen aantoonbaar effect op de ademhaling en transpiratie.

De weerstand van de planten tegen lage zuurstofgehaltenes was opmerkelijk. De ademhaling werd niet blijvend gereduceerd door lage O_2 gehaltenes. Werd na 3 dagen 1 à 2 vol. % O_2 het zuurstofgehalte van de bodemlucht weer op 21 vol. % gebracht dan was de ademhalingsintensiteit na ca. 24 uur weer terug op het oorspronkelijke niveau.

WAS

ABSTRACT

Influence of soil humidity and oxygen content of soil air on the respiration of the rhizosphere of *Phaseolus vulgaris*.

The influence of oxygen concentration and humidity on respiration of plant roots as well of soil micro-organisms has been investigated by several authors. Their experiments show that transport of oxygen through the water phase (waterfilm surrounding the roots and water filled pores in saturated soil aggregates) can become the limiting factor for respiration of roots and micro-organisms in soil. As far as known no measurements has been made of the influence of humidity and oxygen concentration on the whole root system and soil together.

In this experiment the plants (*Phaseolus vulgaris*) were grown in metal containers (3.700 cm^3) filled with sandy loam in two densities: 1.30 g/cm^3 and 1.38 g/cm^3 . The average air content of the soil was 9.5 vol %, 15.5 vol. % and 19.5 vol. %. During the experiment these air contents were kept on their value by weighing and irrigating the containers.

After grown-up of the plants the containers were made air-tight. Several oxygen nitrogen mixtures were flowed through the soil. Respiration was calculated from the composition of the in and out flowing gas mixtures and gasflux through the containers. Oxygen concentration was measured by a polarographic method (Beckman oxygen analyser no 777). Carbon dioxide by a volumetric method (Gallenkamp-Lloyd gasanalyser) or by infra-red-absorption method.

The respiration was influenced by the oxygen concentration in the soil air. Also the air content had some influence. At a temperature of 21°C the respiration is influenced by the oxygen concentration over the whole range of 0-21 vol. % O_2 . At a temperature of 16°C the respiration started to decrease at an oxygen concentration lower than 12 % O_2 . The respiration of containers with an average air content of 9.5 vol. % was lower than the respiration of the containers with 15.5 % and 19.5 %. Oxygen concentrations did not influence transpiration. The resistance of the plants to low O_2 concentrations was remarkable. The consumption and production at 21 vol. % O_2 after three days of 2 % and 1 % O_2 was 24 hours later almost the same as the consumption and production at 21 % O_2 before these low percentages.

LITERATUUR

- ALBERDA, T., 1954. De zuurstofvoorziening van plantenwortels.
In: De plantenwortel is de landbouw Ned. Genootschap van Landbouw-
wetensch. 98-106.
- BAKKER, J.D., 1965. Luchthuishouding van bodem en plantenwortels. Lite-
ratuurstudie I.C.W. nota 302.
- BERRY, L.J. and W.E. NORRIS Jr., 1949. Onion root respiration. *Biochimica
et Biophysica acta* 3:593-606.
- GASANALYSATOREN GEBRUIKSAANWIJZING:
Gallenkamp en Co., L.T.D. Gasanalysers (G.C. 412) Amroh Muiden.
Hartman und Braun, A.G. Mess und Regeltechnik U.R.A.S. I. Gas-
analysator Frankfurt/Main.
_____ Die physikalische Gasanalyse Allgemeine Grundlagen blz. 5-15.
- GREENWOOD, D.J., 1961. The effect of oxygen concentration on the
decomposition of organic materials in soil. *Plant and soil* 14: 360-376.
- HARRIS, D.G. and C.H.M. VAN BAVEL, 1957. Root respiration of tobacco,
and cotton plants. *Journal* 49: 182-184.
- HOFMANN, Ed. und Gg. HOFFMANN, 1963. Über Herkunft und Weg des Kohlen-
dioxyds im Boden. *Zeitschr. für Pflanzenernährung,
Bodenkunde* 96-97.
- OHMURA, T. and R.W. HOWELL, 1960. Inhibitory effect of water on oxygen
consumption by plant materials. *Plant physiol.* 35: 184-188.
- RAJAPPAN, P.V. and D. BOYNTON, 1960. Responses of black and red raspberry
root systems to different oxygen and carbondioxyde pressures. *Proc.
Amer. Soc. Hort. Sci.* 75: 402-406.
- RIXON, A.J., 1968. Oxygen uptake and nitrification at various moisture levels
by soils and mats from irrigated pastures. *The Journal of Soil
Science* 19/1: 56-66.
- ROUATT, J.W., H. KATZNELSON and T.M.G. PAYNE, 1960. Statistical evalua-
tion of the rhizosphere effect. *Proceedings Soil Science Soc.
Am.* 24: 271-273.
- TACKETT, J.L. and R.W. PEARSON, 1964. Oxygen requirements of Cotton
seedling roots for penetration of compacted soil cores. *Proc.
soil Sci. Soc. of America* 28:5.
- VALK, VAN DER, G.C.M., 1961. Proefveld voor onderzoek van grondwater-
stand en herontginning te Oudkarspel. I.C.W. mededel. 29.

INFRA - ROOD - ABSORPTIE TECHNIEK

URAS

D o e l

Met deze apparatuur kan relatief gemakkelijk de gassamenstelling of concentratie gemeten en continu geregistreerd worden.

P r i n c i p e

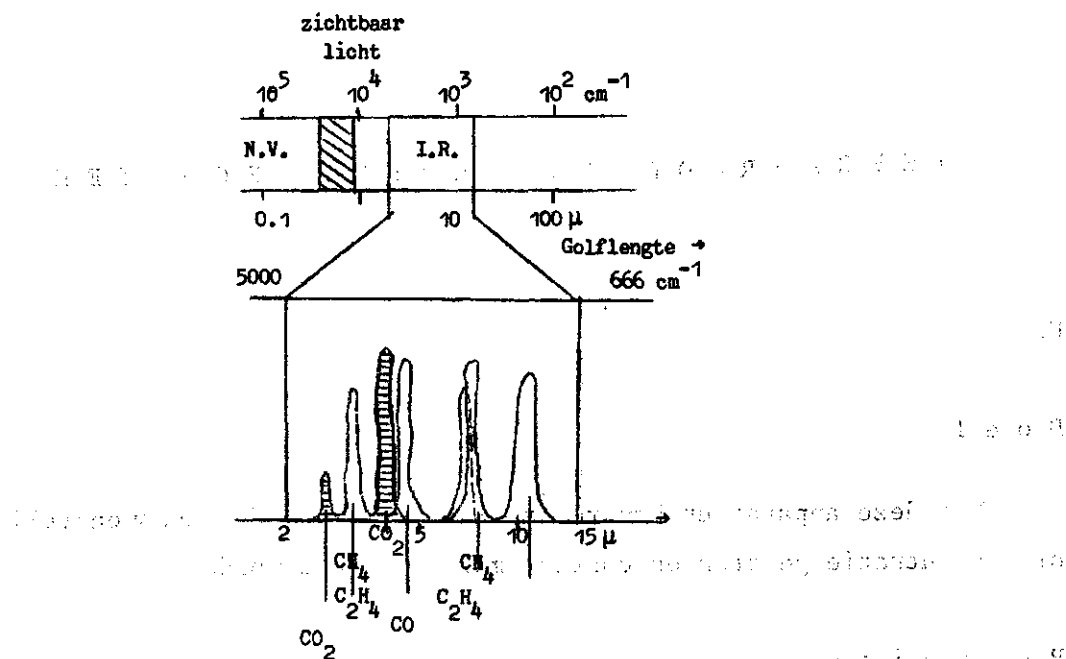
Het principe berust op specifieke absorptiebanden van gassen in het infra-rode gebied. Door nu het verschil te meten in absorptie van de golflengte, die specifiek door het meetgas wordt geabsorbeerd, tussen twee cuvetten, waarvan één doorstroomd wordt met het te meten gas en de andere met een referentiegas kan de concentratie van het meetgas worden bepaald.

F y s i s c h e a c h t e r g r o n d

Een infra-rode straling met een golflengte λ en een intensiteit I_0 wordt over een afstand d door een gas met een bepaalde concentratie c geleid. Volgens de Wet van Beer is de stralingsintensiteit I aan de andere zijde van het cuvet:

$$I = I_0 \cdot e^{-E(\lambda) \cdot c \cdot d}$$

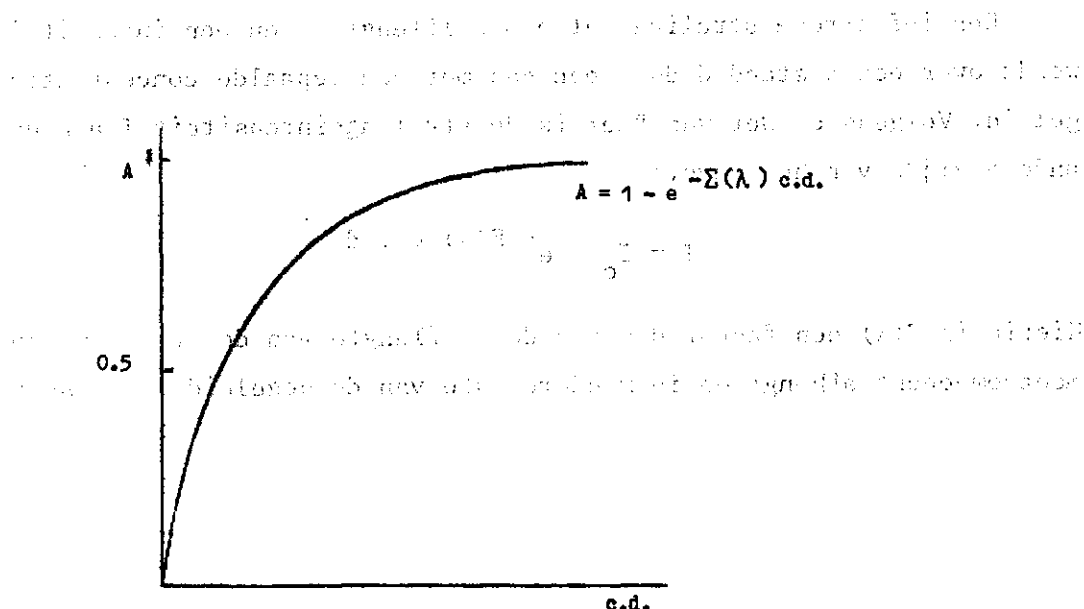
Hierin is $E(\lambda)$ een factor die van de golflengte van de straling van de meetcomponent afhangt en in mindere mate van de begeleidende gassen.



Absorptie spectrum van enkele gassen
in het Infra-rode gebied

Het grafisch verband tussen het geabsorbeerde deel van de straling A en het produkt $c \cdot d$ is exponentieel. Over korte meetafstanden is het verband als lineair te beschouwen.

De grootte van de cuvetten hangt af van het te bestrijken meetbereik. De onderste grens van de grootte van een cuvet wordt bepaald door de storing die ten opzichte van de signaaluitslag ongunstige verhoudingen aanneemt.



Indien bij een bepaalde concentratie c gemeten wordt, kan door de keuze van de cuvetlengte vrijwel een rechte worden verkregen.

Voor de absorptiemeting wordt een lichtbron gebruikt die verschillende golflengten uitzendt. Om nu toch het apparaat gevoelig te maken voor die golflengte, welke alleen door het meetgas wordt geabsorbeerd, worden de andere golflengten door een filter geabsorbeerd.

In de beide kamers van de ontvanger, die gescheiden zijn door een metaal membraan, is een gas gebracht dat uitsluitend bestaat uit de te meten gascomponent.

De kamers zijn beide even groot en de druk in de kamers wordt door een capillair gelijk gemaakt. De straling die niet in de meetcuvetten wordt geabsorbeerd wordt in de kamers geabsorbeerd door het aanwezige gas, dit zet daardoor uit en een drukverschil in de kamers is er het gevolg van. Door een molentje wordt de stralengang periodiek onderbroken. Daardoor ontstaat een periodisch drukverschil tussen de kamers. Een membraancondensator komt in beweging en veroorzaakt door de capaciteitsverandering een wisselstroom. De wisselstroom wordt versterkt en gelijkgericht en daarna door een meetinstrument aangegeven.

G e b r u i k b i j CO_2 - m e t i n g

Bij de CO_2 -meting is van het principe van gelijktijdige doorstroming van de cuvetten uitgegaan. Er wordt zowel door het referentiecuvet als door het meetcuvet atmosferische lucht aangezogen en het nulpunt wordt ingesteld. Aan de meetbuis wordt een zijbuisje vastgemaakt waar doorheen het te meten gas van de bodemademhaling stroomt.

De Uras geeft nu direct het verschil aan tussen de atmosferische lucht (met 0,03 % CO_2) en de lucht die in de meetbuis komt (50 liter met 0,03 % CO_2 tegenover 49,5 liter . 0,03 % + 0,5 liter 2-5 % CO_2) van de bodemademhaling.

M e e t b e r e i k

Het kleinste meetbereik is zeer verschillend voor verschillende gassen

voor CO_2 is dit	0 - 0,005 vol. % CO_2
maximum bereik	0 - 100 vol. % CO_2
voor H_2O is dit resp.	0 - 1,0 gr/cm^3 en
	0 - verzadiging

Storingen die op konden treden:

- storing in de aanzuiginstallatie (lekkage flowmeters of verstopte aanvoerbuizen)
- verplaatsing van het nulpunt. Bij de aanvang van de proef werd door meet- en referentiebuis dezelfde lucht aangezogen en de registratie-apparatuur werd op 0 gezet. De plaats van het nulpunt op de registratiestrook kon zich na verloop van tijd verplaatsen. In de drie weken dat de apparatuur werkte is hier nauwelijks sprake van geweest
- vocht in de zijbuis kon door onregelmatige gasaanvoer uit de proefpot de registratie ernstig storen. Een puntenwolk is er het gevolg van. Na zo'n voorval was het nodig een droge reserve zijbuis aan te sluiten, waarna de uitslag weer normaal werd.
- verandering in CO_2 concentratie bij de aanzuigopeningen (door ademhaling van personen) verstoorde de registratie aanmerkelijk.

Omdat vocht een grote invloed heeft op de absorptiemetingen werd door een koelinstallatie en vervolgens door een exciccator gevuld met Mg Cl O_4 het vocht verwijderd. Het in een buisje opgevangen vocht werd voor de aanvang van een nieuwe meetserie verwijderd, om het oplossen in, of vrijkomen van CO_2 uit het water te voorkomen. De exciccator stof Mg Cl O_4 werd regelmatig vernieuwd.

De CO_2 produktiemeting met de U.R.A.S. werd geijkt met de CO_2 analyses van de Gallenkamp-Lloyd en de stroomsnelheidsmeting. Dit geschiedde over een groot aantal dagen. Uit de punten gevonden met de Lloyd en U.R.A.S. kon een ijklijn worden berekend met een correlatie-coëfficiënt van $r = 0,97$ (fig. 11).

$$\text{Productie} = \Delta C \cdot V$$

C = concentratie

V = stroomsnelheid (ml/min)

Foutenberekening voor de Gallenkamp-Lloyd en U.R.A.S.

Gallenkamp-Lloyd

fout in CO_2 bepaling volumetrisch

bereik 0,5 - 3 % $\text{CO}_2 \pm 0,03$ %

voor lage percentages dus een relatieve fout van ± 6 %. Voor hoge percentages ± 1 % relatieve fout.

Stroomsnelheidsmeting: $10 \pm 0,1 = 1 \%$ fout

voor lage waarden van CO_2 is de totale fout $\pm 7 \%$

voor hoge waarden van CO_2 is de totale fout $\pm 2 \%$

U.R.A.S. alleen fout in de aflezing

lage percentages $0,5 \pm 0,05$ schaaldelen $\pm 10 \%$

hoge percentages $5,0 \pm 0,05$ schaaldelen $\pm 1 \%$

De ijklijn gevonden uit de metingen met de Lloyd heeft nog een geringe afwijking. De ijklijn is een gemiddelde lijn van de ijklijnen gevonden op diverse dagen. De fout van de gemiddelde ijklijn ligt in de orde van 2% .

Het voordeel van de U.R.A.S. is de snelle werkwijze. De apparatuur heeft een insteltijd van ongeveer 40 seconden en kan na 5 minuten registreren op een ander meetobject worden overgeschakeld. Daarbij moet worden aangetekend, dat de aanvoerbuizen in de proefneming lang waren. De aanvoerbuis was ongeveer 6 meter en de zijbuis 3 meter. Voor de Lloyd-Gallenkamp is minimaal 5-6 minuten nodig voor een goede meting van het percentage, terwijl de stroomsnelheidsmeting ook nog tijd in beslag neemt.

S p e c i a l e v o o r z o r g e n

- A. De filters dienen om een storende invloed van andere gassen met absorptiebanden die dicht bij die van het meetgas liggen te verwijderen. De filtercuvetten worden daartoe met deze stoorgassen gevuld, waardoor na de filters alleen die straling uittreedt, die door het meetgas maximaal wordt geabsorbeerd. In dit experiment is geen gebruik gemaakt van deze filters.
- B. Het apparaat heeft een werktemperatuur van ca. 53°C . Hierdoor wordt voorkomen dat eventueel niet verwijderd vocht in de meetcuvetten van het apparaat condenseert.
- C. De vensters die in het apparaat voorkomen zijn voor deze straling volledig doorlatend. Er worden vensters gebruikt van:
 - vloeispaat
 - kwarts
 - saffier
 - steenzout
- D. Daar de meting soms beïnvloed wordt door de luchtdruk is voor sommige gevallen een luchtdruk compensator ingebouwd.

10
11
12

13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300

301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400

401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500

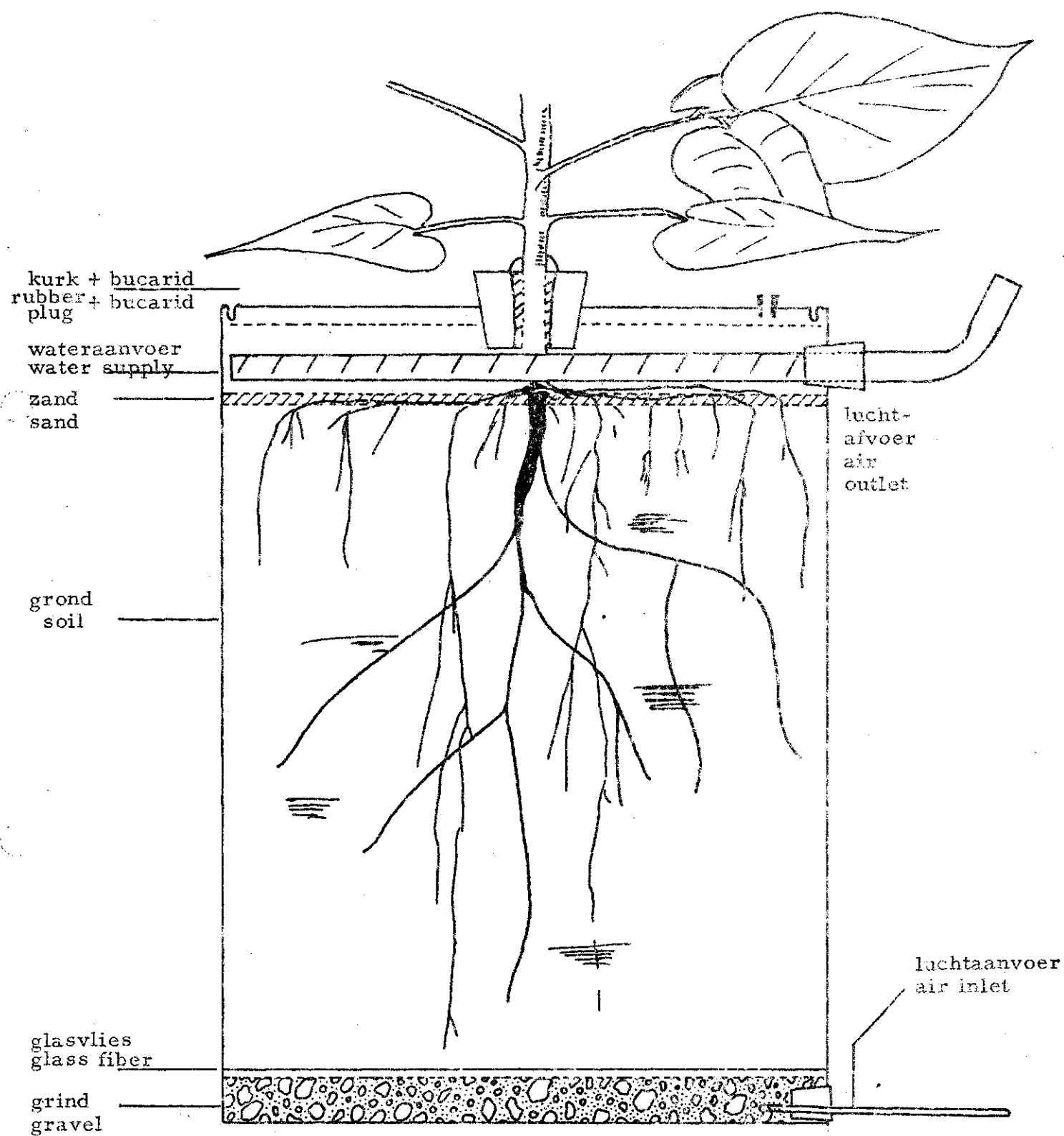


Fig. 1. Overlangse doorsnee pot bonenproef
A diagram of a container used in our experiment

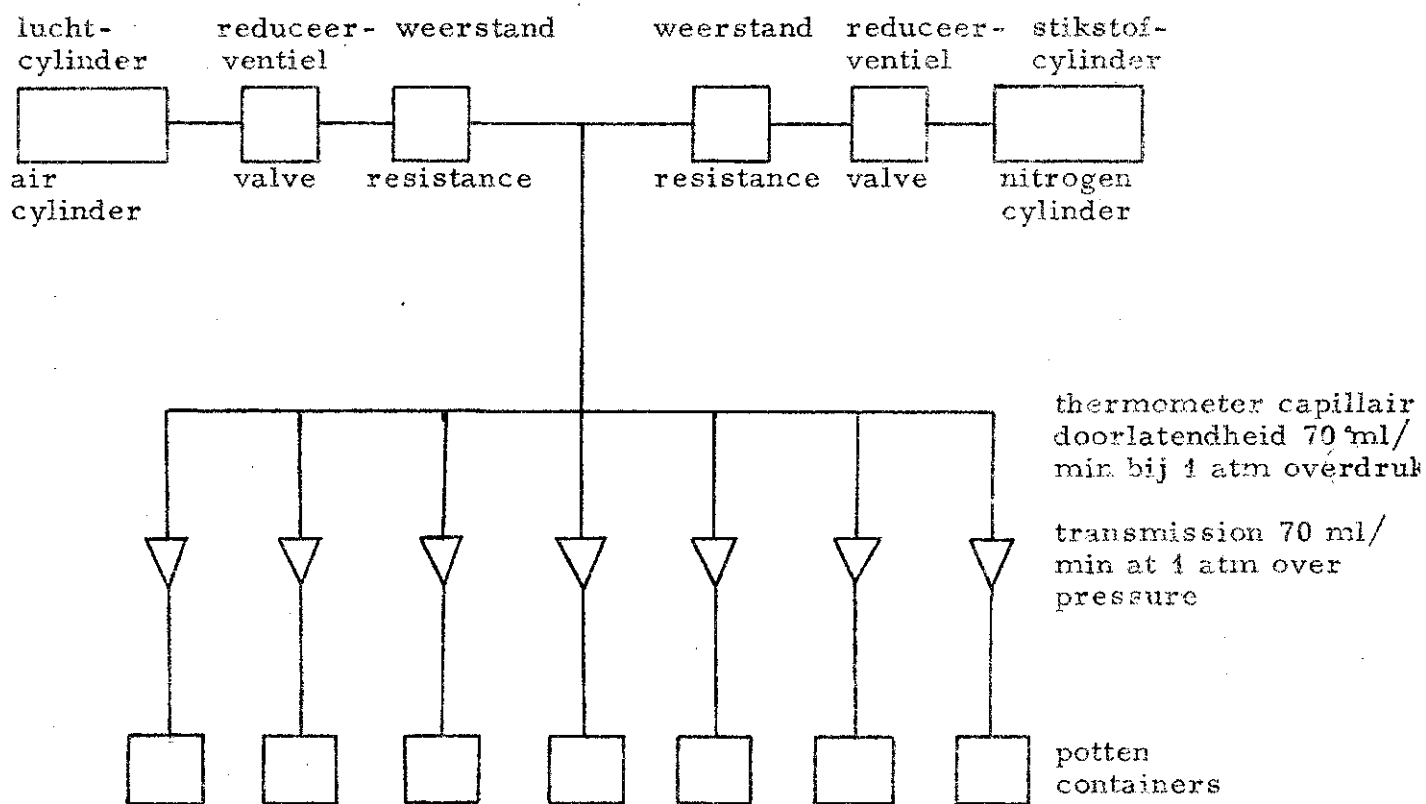


Fig. 2. Gasaanvoerschema
Gas distribution system

zuigspanning water in grond g/cm^2
 suction of water in soil g/cm^2

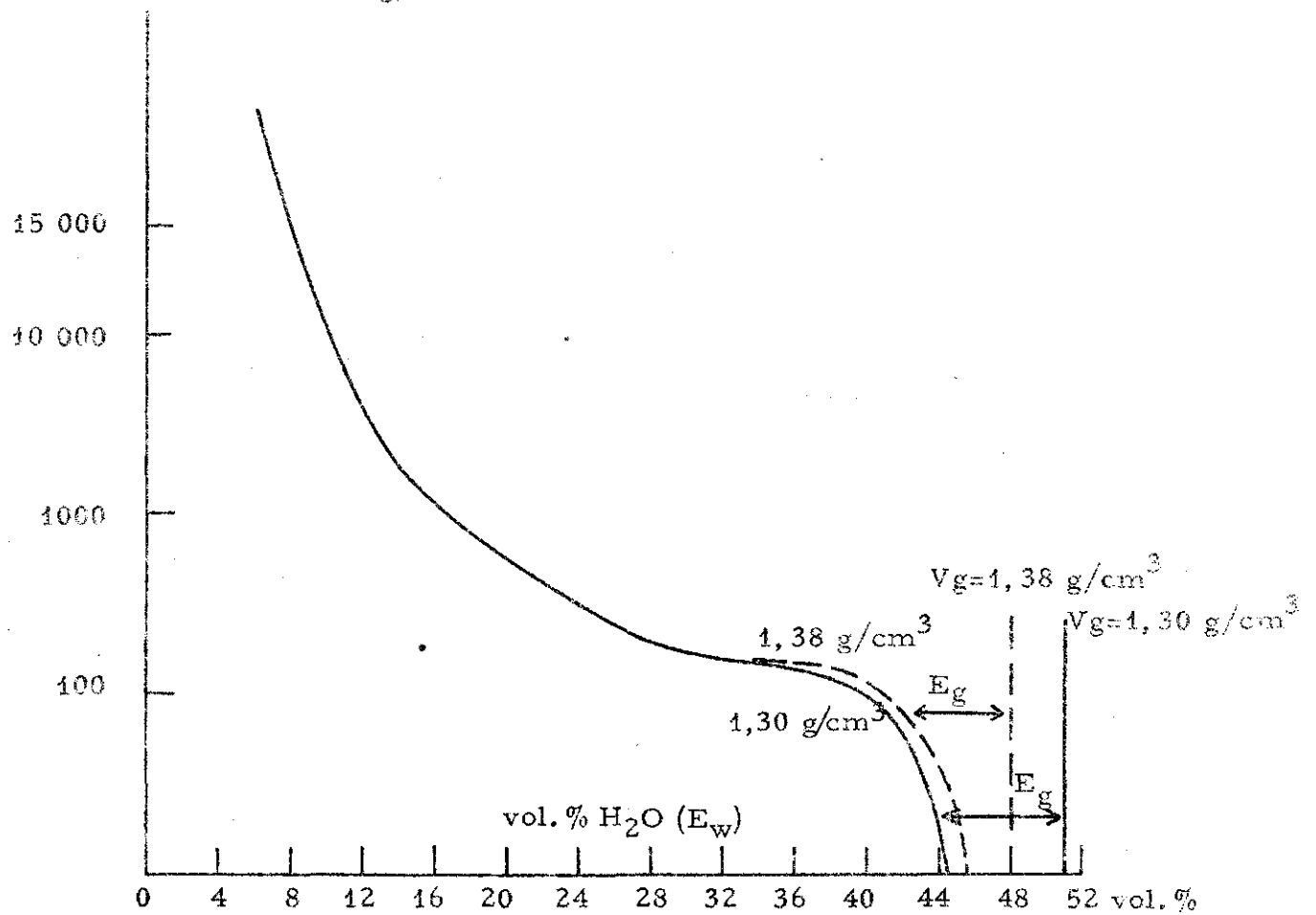


Fig. 3. Vochtkarakteristiek
 Soil moisture retention curve

Totaal droge stofproduktie in gram
Total dry matter production in gram

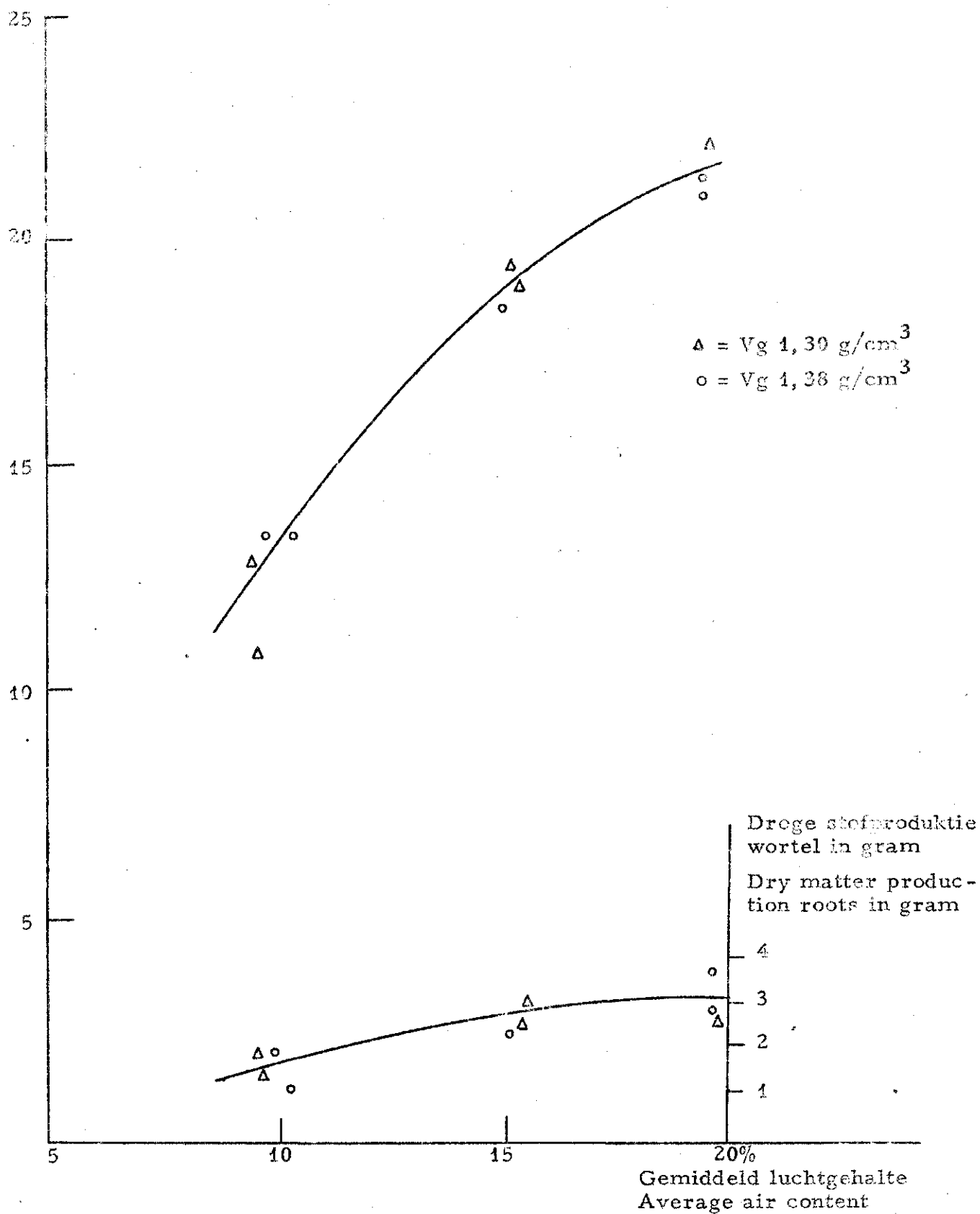


Fig. 4. Droge stofproduktie in gram voor de gehele plant uitgezet tegen luchtgehalt
Droge stofproduktie in gram voor de wortels uitgezet tegen luchtgehalte
Dry matter production in gram of a whole plant versus the air content
Dry matter production in gram of roots versus the air content

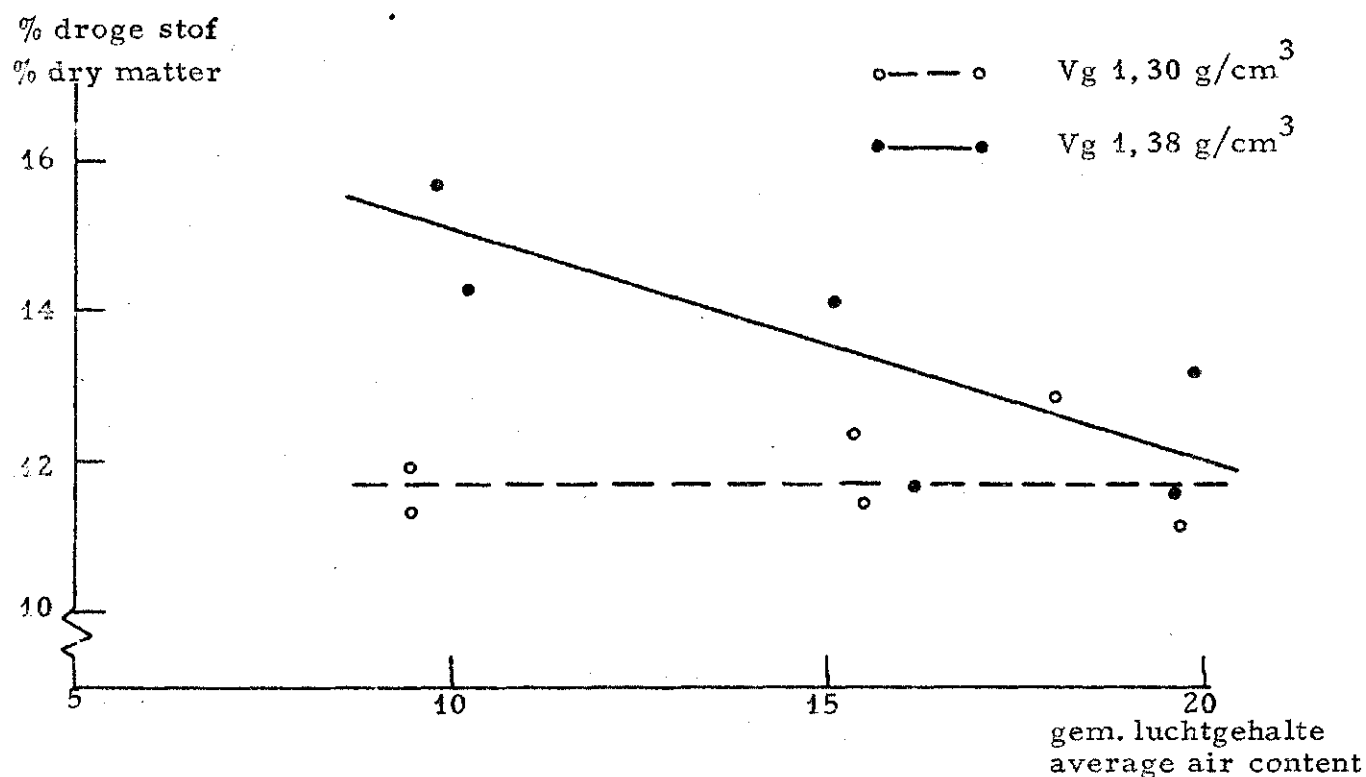


Fig. 5. Percentage droge stof, vrucht uitgezet tegen luchtgehalte
Dry matter percentage fruit versus air content

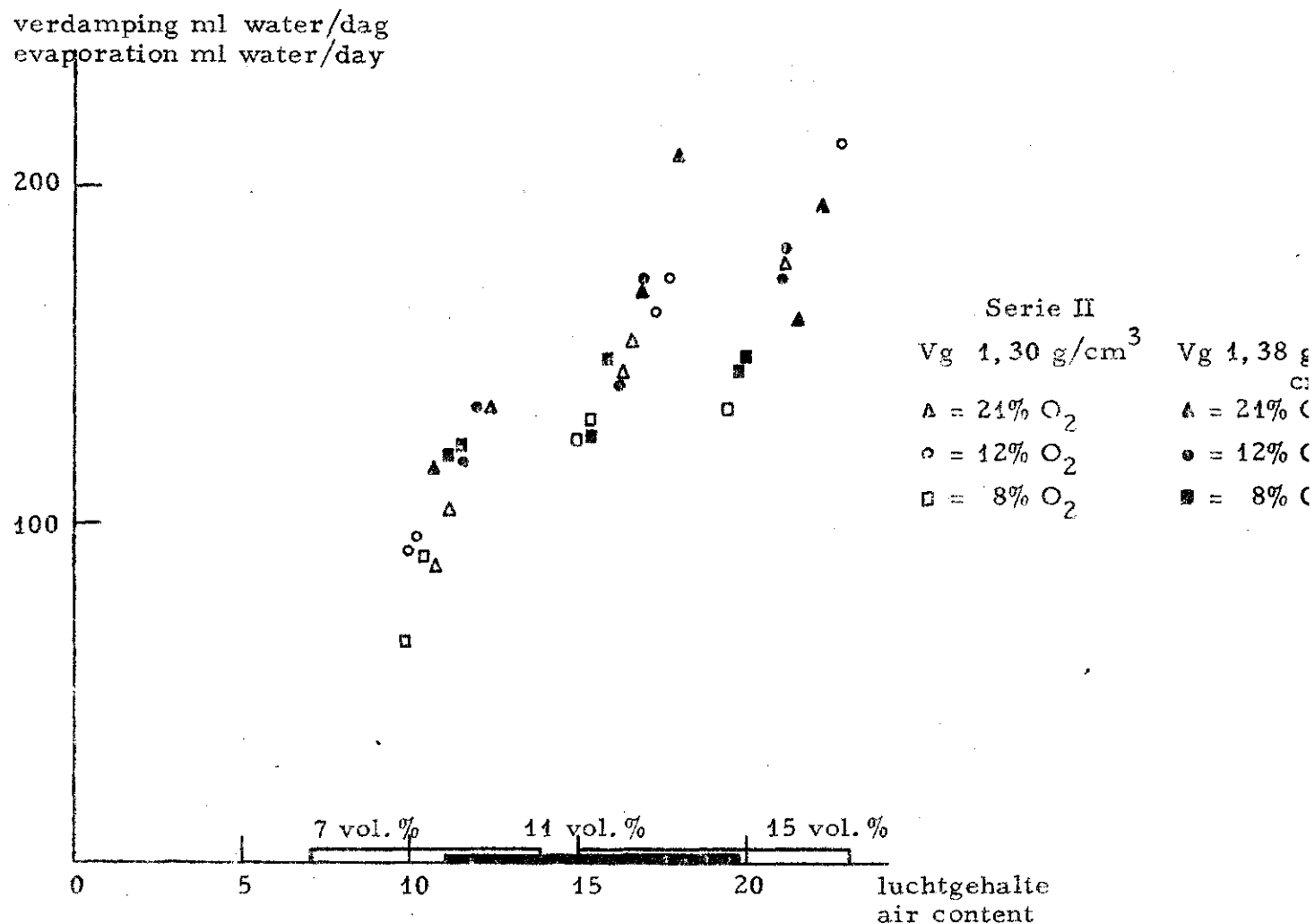


Fig. 6. Verdampte hoeveelheid water op tijdstip van ademhalingsmeting, uitgezet tegen luchtgehalte voor 3 zuurstofgehalten
Loss of water on the amount of respiration measurement versus air content for three oxygen concentrations

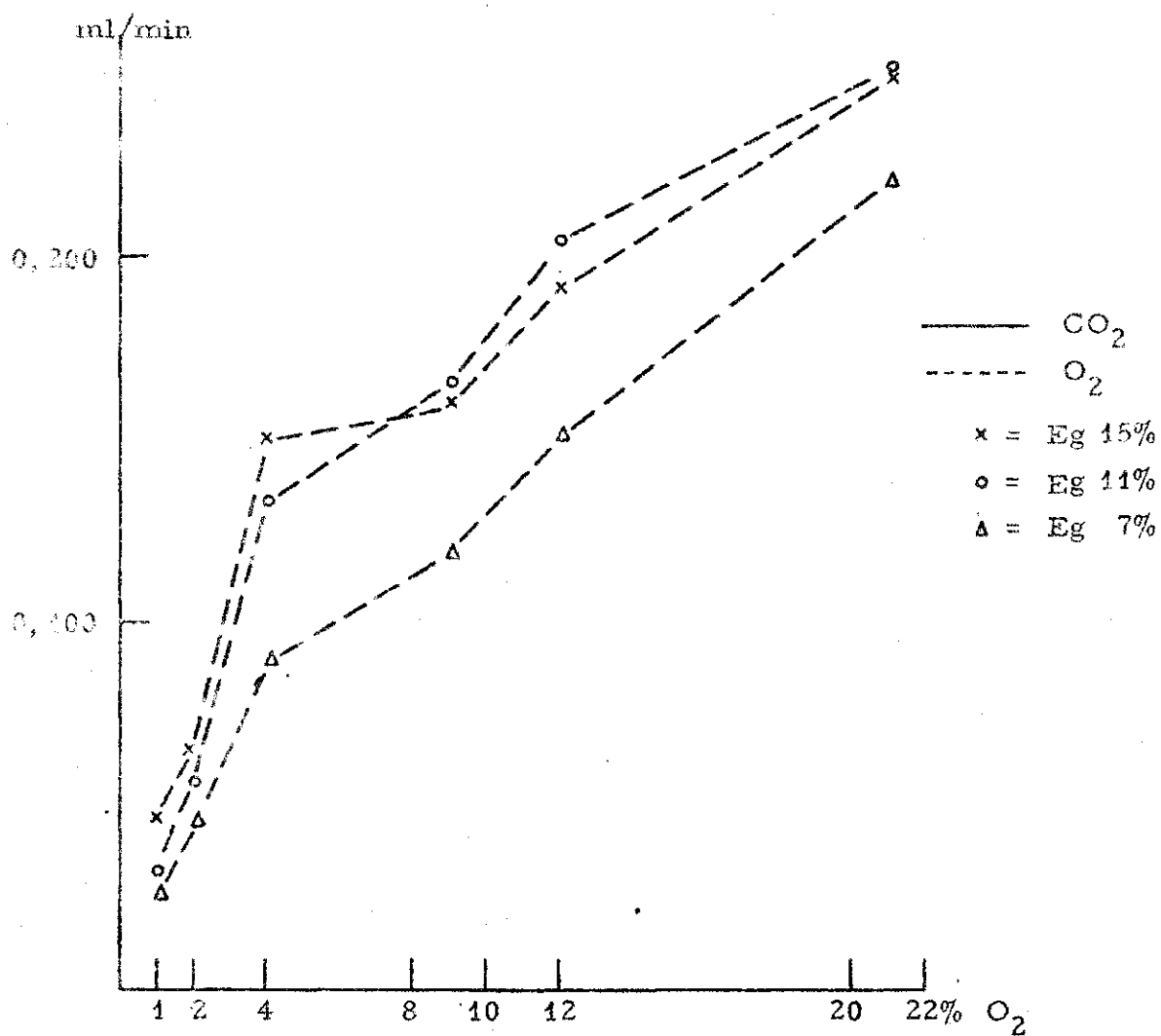


Fig. 7. Gemiddelde O_2 consumptie van 4 potten in ml/min tegen stijgend O_2 gehalte van de bodemlucht bij 21°C en 70% rel. luchtvochtigheid

Average O_2 consumption of 4 containers in ml/min versus increasing O_2 concentration in soil air at 21°C and 70% rel.humidity

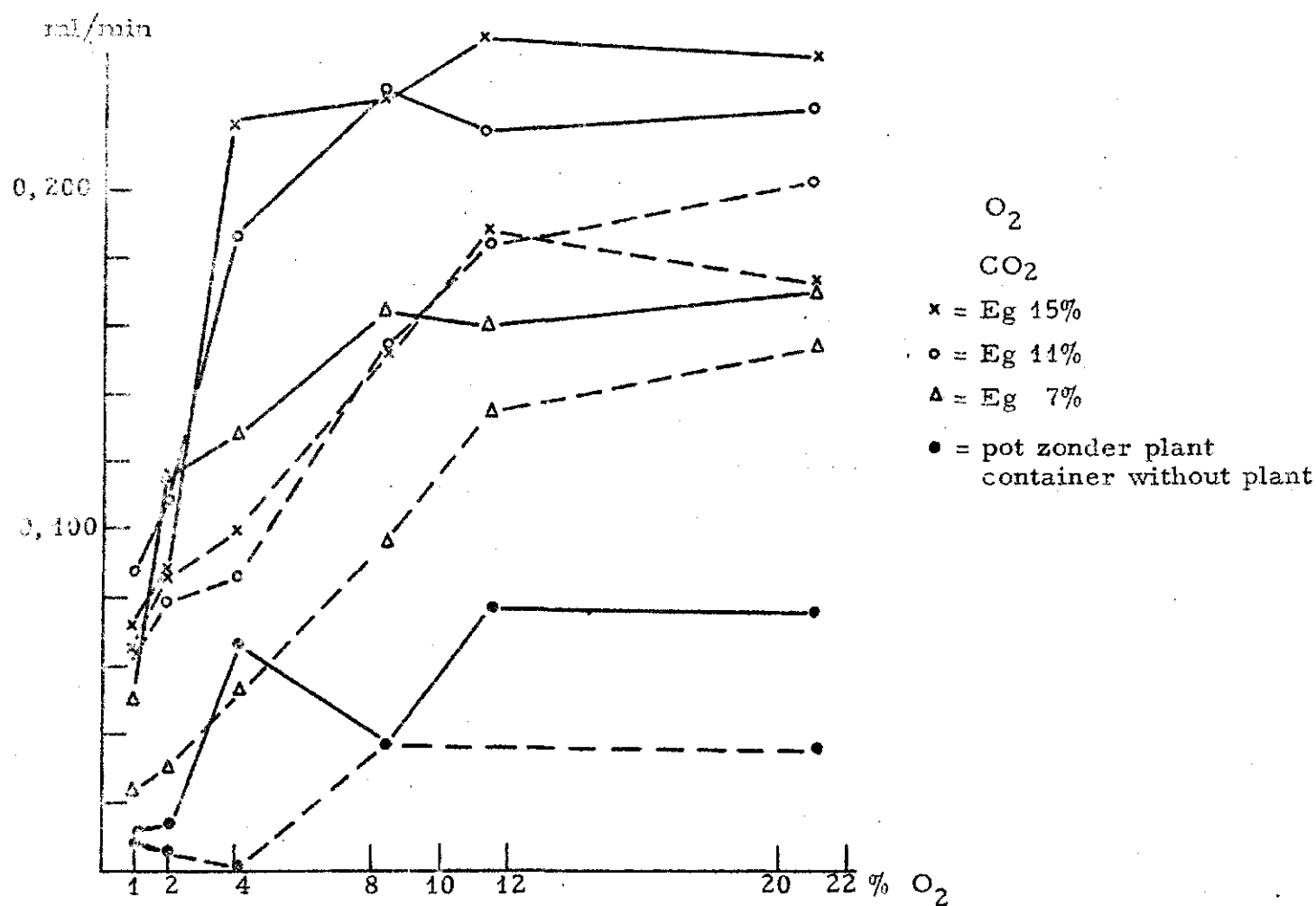


Fig. 8. Gemiddelde O₂ consumptie en CO₂ produktie in ml/min van 4 potten met plant en een pot zonder plant uitgezet tegen dalend O₂ gehalte van de bodemlucht bij 16°C en 70% relatieve vochtigheid

Average O₂ consumption and CO₂ production in ml/min of 4 containers with plant and one container without plant versus decreasing O₂ concentration in soil air at 16°C en 70% relative humidity

— = CO₂
 - - - = O₂

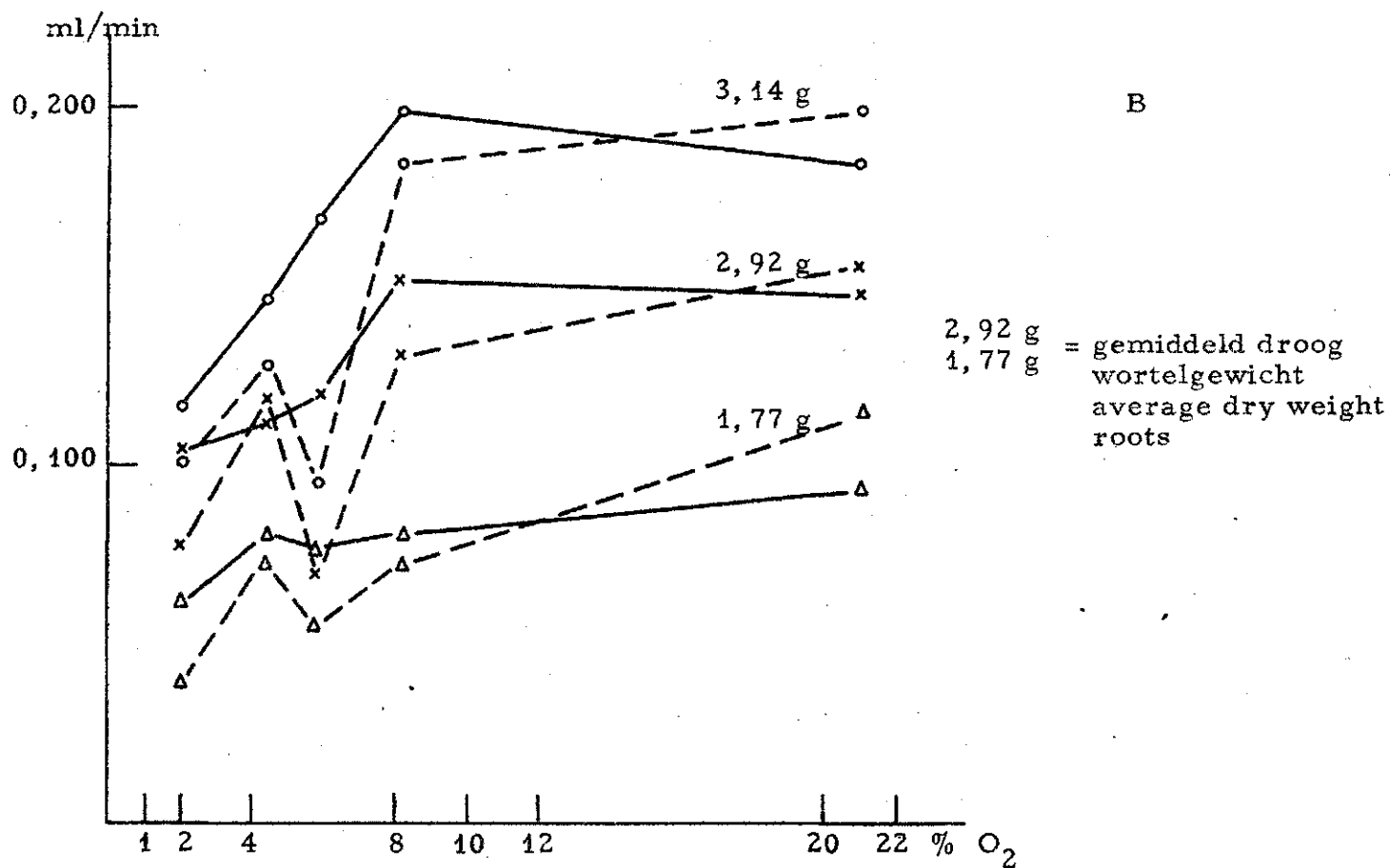
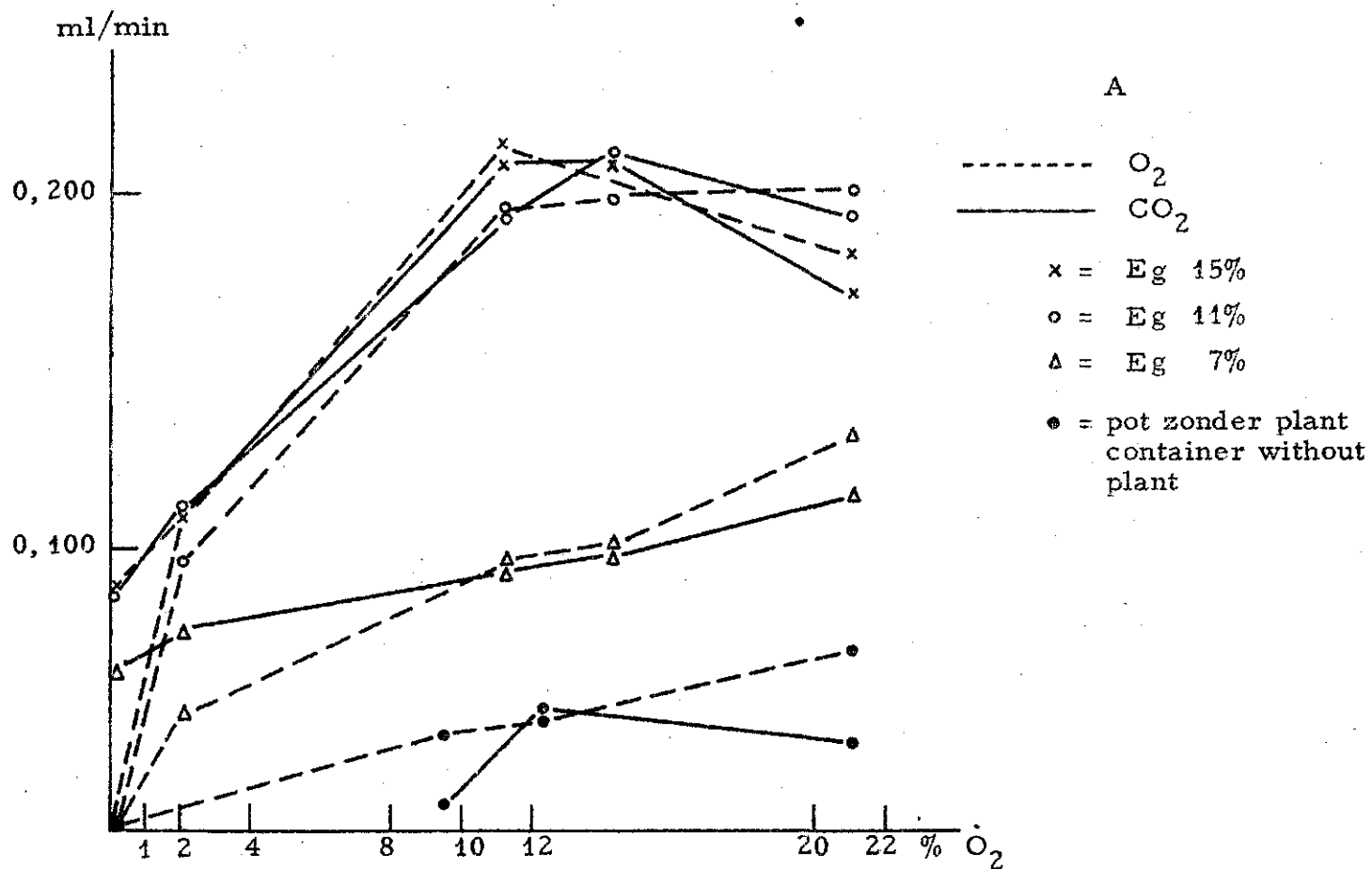


Fig. 2. Gemiddelde O_2 consumptie en CO_2 produktie in ml/min van 2 potten tegen sprongsgewijs veranderend zuurstofgehalte van de bodemlucht bij 16°C en 70% rel. vochtigheid

Average O_2 consumption and CO_2 production in ml/min of 2 containers versus changing concentration O_2 in soil air at 16°C and 70% rel. humidity

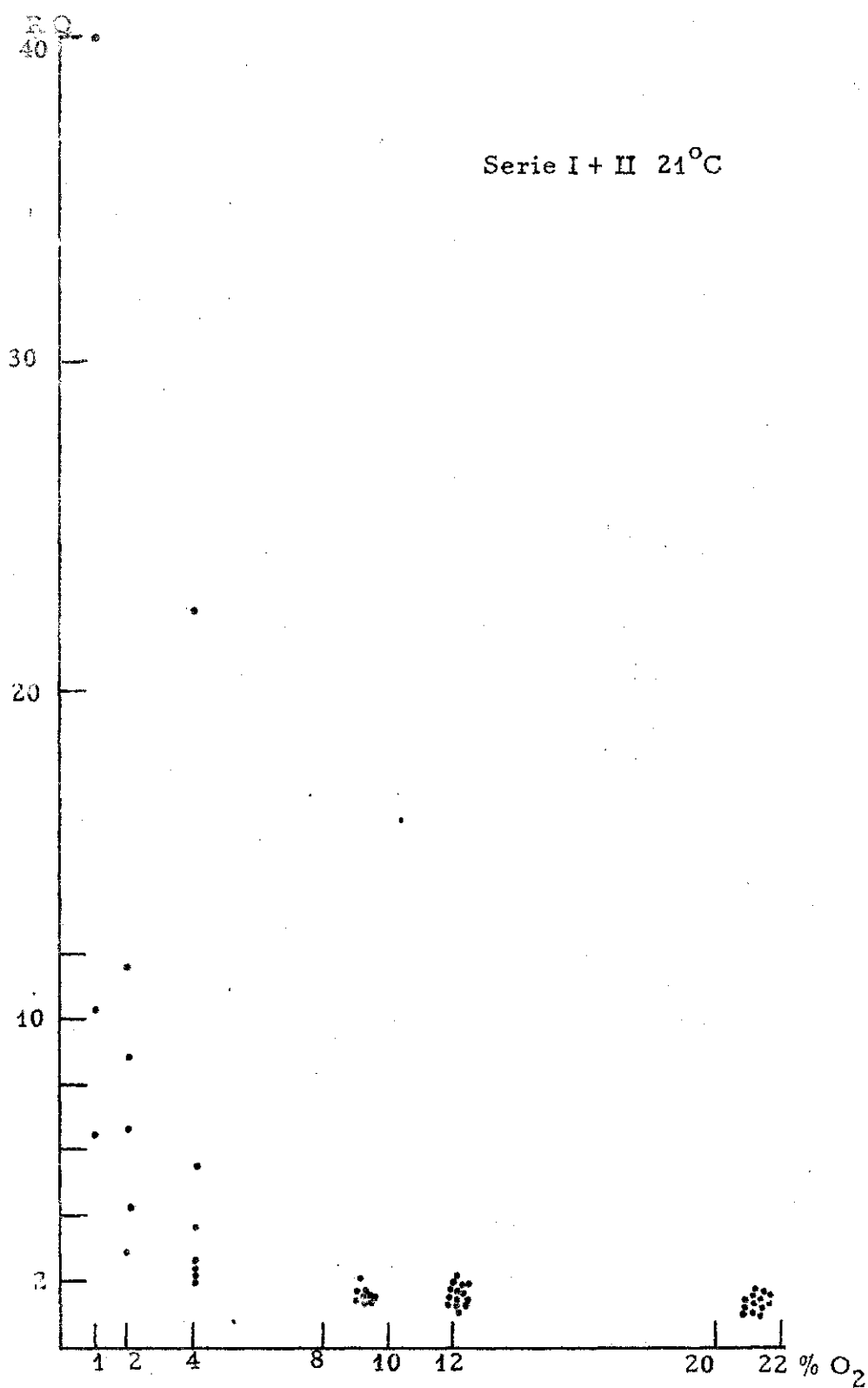


Fig. 10A. Respiratie Quotiënt van alle ademhalingsmetingen bij 21°C
Respiration Quotient of all respiration measurements at 21°C

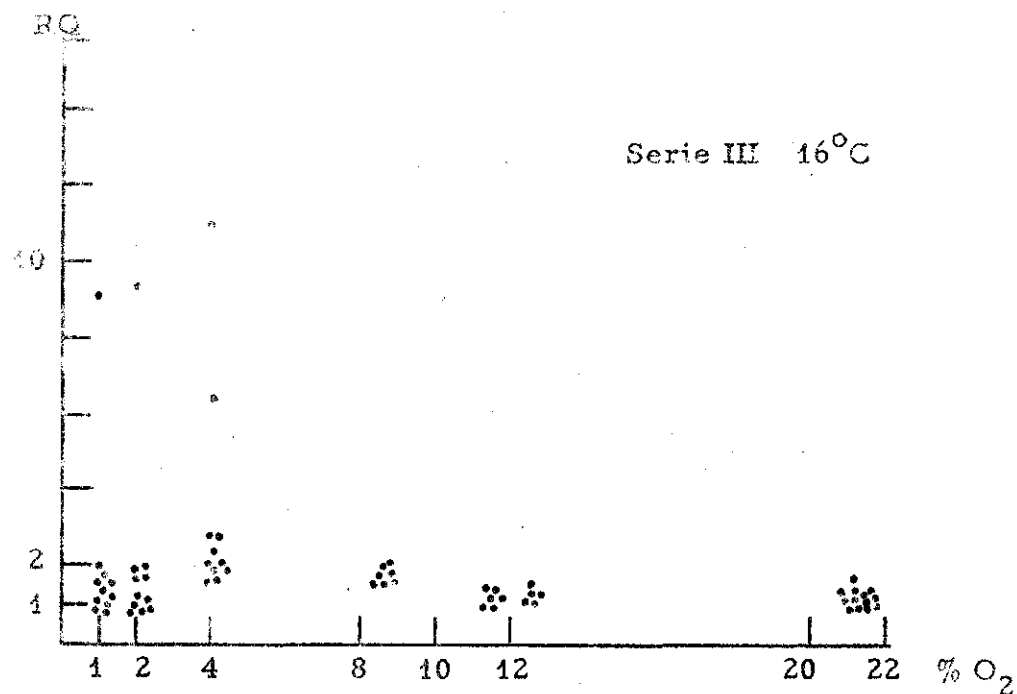


Fig. 10B. Respiratie Quotiënt van alle ademhalingsmetingen bij 16°C en dalend O₂ gehalte
Respiration Quotient of all respiration measurements at 16°C and decreasing O₂ concentration

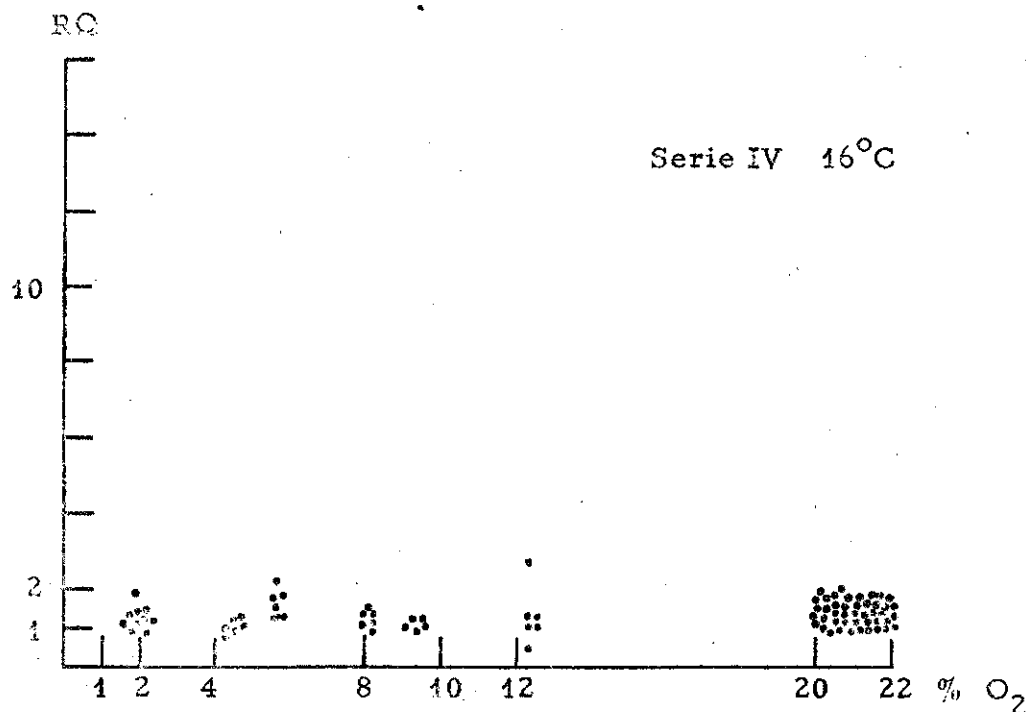


Fig. 10C. Respiratie Quotiënt van alle ademhalingsmetingen bij 16°C en sprongsgewijs veranderend zuurstofgehalte
Respiration Quotient of all respiration measurements at 16°C and changing O₂ concentration

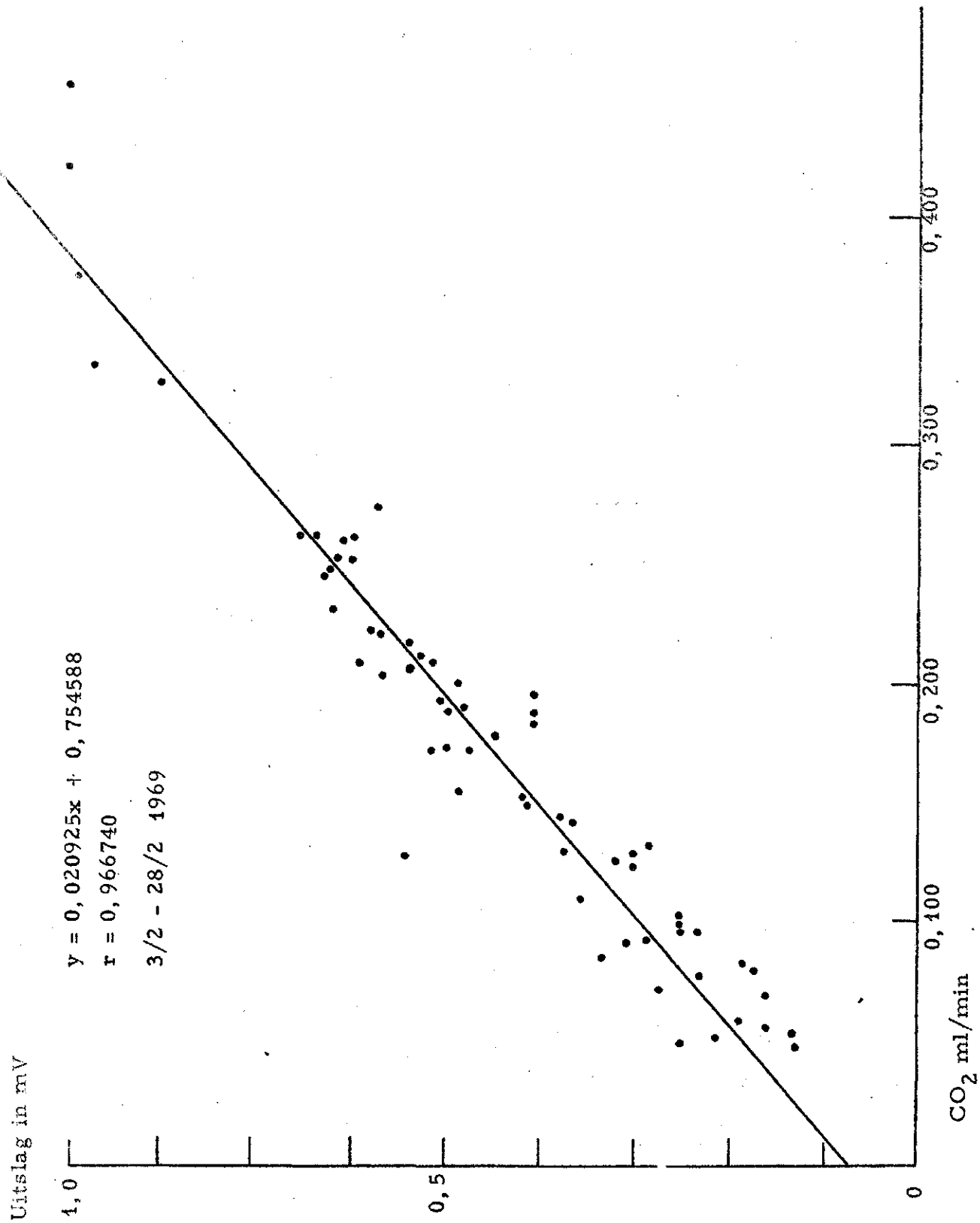


Fig. 11. URAS ijkljn $r = 0,966$
URAS standard line

1

2

3