

NN31545.0548

NOTA 548

11 februari 1970

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

DE INVLOED VAN DE STRUCTUUR, DE ONTWATERING EN DE HIERMEE SAMENHANGENDE
LUCHTHUISHOUDING VAN DE GROND OP DE PRODUCTIE VAN DE ANJER

ir A.L.M. van Wijk en J. Buitendijk

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

265142

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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.

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. PROEFOPZET	3
3. HET EFFECT VAN DE VERSCHILLEN IN DICHTHEID EN ONTWATERING OP DE LUCHTHUISHOUDING VAN DE GROND	5
Analyse van de pF-curven	5
De luchthuishouding van de grond	11
4. DE REACTIE VAN HET GEWAS OP DE DICHTHEID VAN DE GROND EN DE HIERMEE SAMENHANGENDE AERATIETOESTAND	16
De Beworteling	16
Beworteling-aeratie van de grond	21
De bloemproductie	23
Aantal bloemen-aeratie van de grond	27
Analyse van het productieverloop	29
5. CONCLUSIES	36
6: LITERATUUR	37

TABLE
 showing
 the
 results
 of
 the
 examination
 of
 the
 specimens
 submitted
 for
 analysis
 on
 the
 15th
 day
 of
 the
 month
 of
 the
 year
 1900

1. INLEIDING

In de bloemteelt onder glas wordt bij de start van een nieuw bedrijf of bij het begin van een nieuwe teelt veel zorg besteed aan de structuur van de grond en worden vaak hoge investeringen gedaan om deze in optimale conditie te brengen.

Redenen hiervoor zijn:

1. het meerjarig karakter van verschillende bloemteeltgewassen zoals bijvoorbeeld: roos 5-6 jaar; anjer 2 jaar. Maatregelen tegen de achteruitgang van de structuur van de grond tijdens de teelt zijn nagenoeg uitgesloten en beperken zich tot bescherming van het bodemoppervlak.

2. het intensieve karakter van de teelten. Dit brengt zware anorganische bemesting met zich mee. Om te voorkomen dat hierdoor het zoutgehalte daarmede de osmotische druk van het bodemvocht te hoog oploopt houdt men de grond zeer vochtig, in de orde van pF 1.8.

Vele gronden geven echter onder dergelijk natte omstandigheden geen optimale productie. De oorzaak hiervan moet mede gezocht worden bij de bodemfysische eigenschappen, welke samenhangen met de poriënverdeling van de grond, dus met de vorm van de pF-curve. Processen als de infiltratie van water in de grond en de gasuitwisseling worden in belangrijke mate bepaald door de grootte van de poriën. Daar men in de bloemteelt de gewassen bij een hoog vochtgehalte kweekt, is het aandeel van de grotere poriën, welke al bij een geringe vochtspanning met lucht gevuld zijn op te voeren, juist met het oog op de luchthuishouding van de grond.

De middelen welke hiertoe ter beschikking staan zijn het losmaken van de grond door grondbewerking en het mengen van de grond met een organisch materiaal. Grondbewerking verhoogt niet alleen het totaal poriënvolume, maar verhoogt ook het aandeel van de grotere poriën in het totaal poriënvolume. Het toenemend aandeel van de macroporiën doet

niet alleen het luchtgehalte van de grond stijgen, maar beïnvloedt ook direct de transportprocessen van water en lucht.

Voor de gasuitwisseling van de grond is diffusie het belangrijkste transportproces. De diameter van de porie is voor de gasdiffusie in feite van minder belang, aangezien de grootste weerstand voor de diffusie gelegen is in de onderlinge wrijving van de gasmoleculen. In een sterk vochtige grond is de poriëndiameter wel van betekenis, aangezien de grootste poriën de enige zijn die niet met water gevuld zijn en zo het voor diffusie beschikbare oppervlak vormen.

Ook met het oog op teeltmaatregelen als watergeven en doorspoelen van de grond is de poriëndichtheid van belang. Het transport van water door een uit capillairen opgebouwd medium, als de grond is, volgt de wet van Poiseuille, welke zegt dat de hoeveelheid water stromend door een capillair evenredig is met de vierde macht van de straal van de capillair.

Het losmaken van de grond verhoogt het poriënvolume echter maar tot een bepaalde waarde, welke bovendien tijdens de teelt door verschillende oorzaken weer kan dalen.

Een ander middel om een nog hoger poriënvolume te bereiken, maar ook te stabiliseren is het mengen van de grond met een volumineus organisch materiaal zoals bijvoorbeeld doorgevroren zwartveen, compost en diverse mestsoorten. Sommige van de toegepaste organische materialen zijn chemisch nagenoeg inert en worden louter toegepast vanwege hun fysische eigenschappen: een laag volumegewicht, dus een hoog poriënvolume en een hoog aandeel van water en lucht bij een lage vochtspanning.

De vraag of een grond bewerkt moet worden (er zijn voorbeelden in de praktijk waar het een aantal jaren achtereen voor de teelt van tomaten niet gebeurd is zonder nadelige gevolgen) en of organische stof moet worden toegediend en zo ja, welke hoeveelheid, kan in feite pas beantwoord worden, wanneer men de eisen kent, welke de plant aan de door de bodembehandeling te beïnvloeden bodemfysische eigenschappen stelt.

Het onderzoek naar het geschikt maken van de structuur van een grond voor de teelt van een gewas kan van twee kanten benaderd worden. Een weer praktische benadering gaat uit van de beïnvloeding van de bodemstructuur door grondbewerking, gevolgd door een bestudering van het effect van de gewijzigde bodemstructuur op de plantengroei. De tweede

benaderingswijze gaat uit van het onderzoek naar de eisen welke de plant stelt aan die eigenschappen van de grond, welke door de bodembehandeling beïnvloed worden. Kennis van deze eisen biedt de mogelijkheid tot het formuleren van de omvang van sommige bodemfysische eigenschappen, waaraan de structuur moet voldoen en tevens tot het beoordelen in hoeverre een door grondbewerking verkregen structuur aan de eisen van de plant voldoet. Deze volgorde van onderzoek heeft bovendien het voordeel, dat de invloed van een of meerdere door grondbewerking te beïnvloeden grootheden op de plantengroei, zoals lucht- en waterhuishouding, mechanische weerstand en bodemtemperatuur, bestudeerd kunnen worden onder constant houden van de overigen.

Bij het onderzoek naar een juiste structuur van de grond voor een bloemengewas is gekozen voor de laatste benaderingswijze. Algemeen gesteld zal een grond voor de teelt van bloemen een optimale structuur hebben, wanneer hij naast een voldoende hoeveelheid beschikbaar water in het bij de teelt gebruikelijke vochtspanningstraject van pF 1.5 - 2.0, met een gemiddelde rond pF 1.8, nog een voldoende hoog percentage lucht heeft. Gezien het hoge vochtgehalte van de grond tijdens de teelt is de luchthuishouding of de aeratietoestand van de grond uit bodemfysisch oogpunt het belangrijkste criterium bij de beoordeling van het bodembehandelingsresultaat. De hoeveelheid beschikbaar water is dan van meer ondergeschikte betekenis, temeer daar men de mogelijkheid heeft water kunstmatig toe te dienen.

2. PROEFOPZET

Veronderstellend, dat zware kleigronden het eerst in aanmerking komen voor een intensieve grondbewerking gecombineerd met een organische stofgift, is als grond gebruikt een rivierklei met 35 % lutum en 38 % organische stof en wel de aggregaatgrootte < 10 mm. Door combinatie van een aantal dichtheden van de grond (poriënvolumina) met een drietal ontwateringstrappen werd naast een verschil in structuur ook een differentiatie in de luchthuishouding van de grond verkregen.

Tabel 1. Overzicht van de proef

grondwaterstand cm - m.v.	40	65	geen (pF 2.3-2.7)
	39 - 43	43 - 45	45 (2 x)
poriënvolume	52	52	52
in %	59 (2 x)	59 (2 x)	59 (2 x)
	65	65	65
	74 (2 x)	74 (2 x)	74 (2 x)

Binnen elke ontwateringstrap waren 8 potten vertegenwoordigd, waarvan de poriënvolumina van 52 en 65 % in enkelvoud vanwege de beperkte ruimte in de kas. De poriënvolumina 39 en 43 voor grondwatertrap 40 cm - m.v. en 43 en 45 bij 65 cm grondwater verschillen alleen qua poriënvolume, doch wat de luchthuishouding betreft waren ze identiek (zie fig. 3 en tabel 3). Het invullen van de potten (inhoud: 140 liter, hoogte 70 cm en diameter 50 cm) is gedaan aan de hand van uit laboratoriumonderzoek verkregen volumegeichten. Om een met de diepte zo homogeen mogelijke structuur te verkrijgen is steeds per laagje van 2 cm ingevuld. Alle poriënvolumina vanaf 39 % t/m 52 % werden verkregen door de pure kleigrond meer of minder te verdichten. Om nog hogere poriënvolumina te bereiken, maar ook gedurende de proef in stand te houden waren de volgende mengverhoudingen vereist:

	vol. klei : vol. tuinturf	
por. vol. 59 %	5	: 1
65	2	: 1
74	2	: 3

De grondwaterstanden werden met behulp van een mariottesysteem op peil gehouden.

Het vochtverlies ten gevolge van de verdamping van het gewas, werd voor zover niet gedekt door capillair opgestegen water elke twee dagen aangevuld. Dit vochtverlies werd bepaald met behulp van tensiometers welke in de potten met het grondwater op 65 cm - m.v. en zonder grond-

water geïnstalleerd waren op 20 en 40 cm - m.v. In de potten met het grondwater op 40 cm - m.v. was een tensiometer op 20 cm - m.v. aangebracht. Aan de hand van de vochtspanningsregistraties door de tensiometers werd vanuit de voor elk poriënvolume bepaalde vocht karakteristiek berekend, welke hoeveelheid water gegeven moest worden om de verdampingsverliezen aan te vullen.

Na het op peil brengen van het voedingsstoffenniveau bij de start van de proef is elke pot iedere twee maanden bemonsterd. De analyse en advisering is verricht door het Proefstation voor de Groenten- en Fruitteelt onder glas. Aangezien bij de grondwatertrap van 40 cm - m.v. de waterbehoefte van het gewas grotendeels gedekt werd door capillair aangevoerd water was de kans op verzouting van de bovengrond zeer reëel. Vandaar werd regelmatig (in de zomer wekelijks) doorgespoeld met een hoeveelheid water die ongeveer gelijk was aan de in de voorafgaande periode capillair opgestegen hoeveelheid.

Als proefgewas is gekozen: de anjer (William Sim stam 2). Hoewel van de roos bekend is dat zij sterker reageert op de structuur van de grond was de veeljarigheid van dit gewas een bezwaar. Per pot zijn 15 januari 1968 vier stekken geplant. De proef is beëindigd eind juli 1969, zodat de totale duur 18 maanden bedroeg. Het kweken van het gewas (ziektebestrijding en klimaatregeling) en de standbeoordeling heeft in nauw overleg plaatsgevonden met de heer W. Belgraver van het Rijkstuinbouwconsulentschap te Aalsmeer.

3. HET EFFECT VAN DE VERSCHILLEN IN DICHTHEID EN ONTWATERING OP DE LUCHTHUISHOUDING VAN DE GROND

A n a l y s e v a n d e p F - c u r v e n

Veel informatie omtrent veranderingen in de lucht- en waterhuishouding na een bepaalde bodembehandeling kan verkregen worden vanuit de pF-curve, welke de relatie weergeeft tussen vochtspanning en vol. % vocht (of lucht). Het effect van verdichten, losmaken en toedienen van organisch materiaal in verschillende hoeveelheden wordt gedemonstreerd in fig. 1. Een vergelijking van het verloop van de pF-curve tot pF 2.0 van de grond met het poriënvolume van 52 % en de lagere poriënvolumina toont de invloed van het losmaken van de grond door grondbewerking.

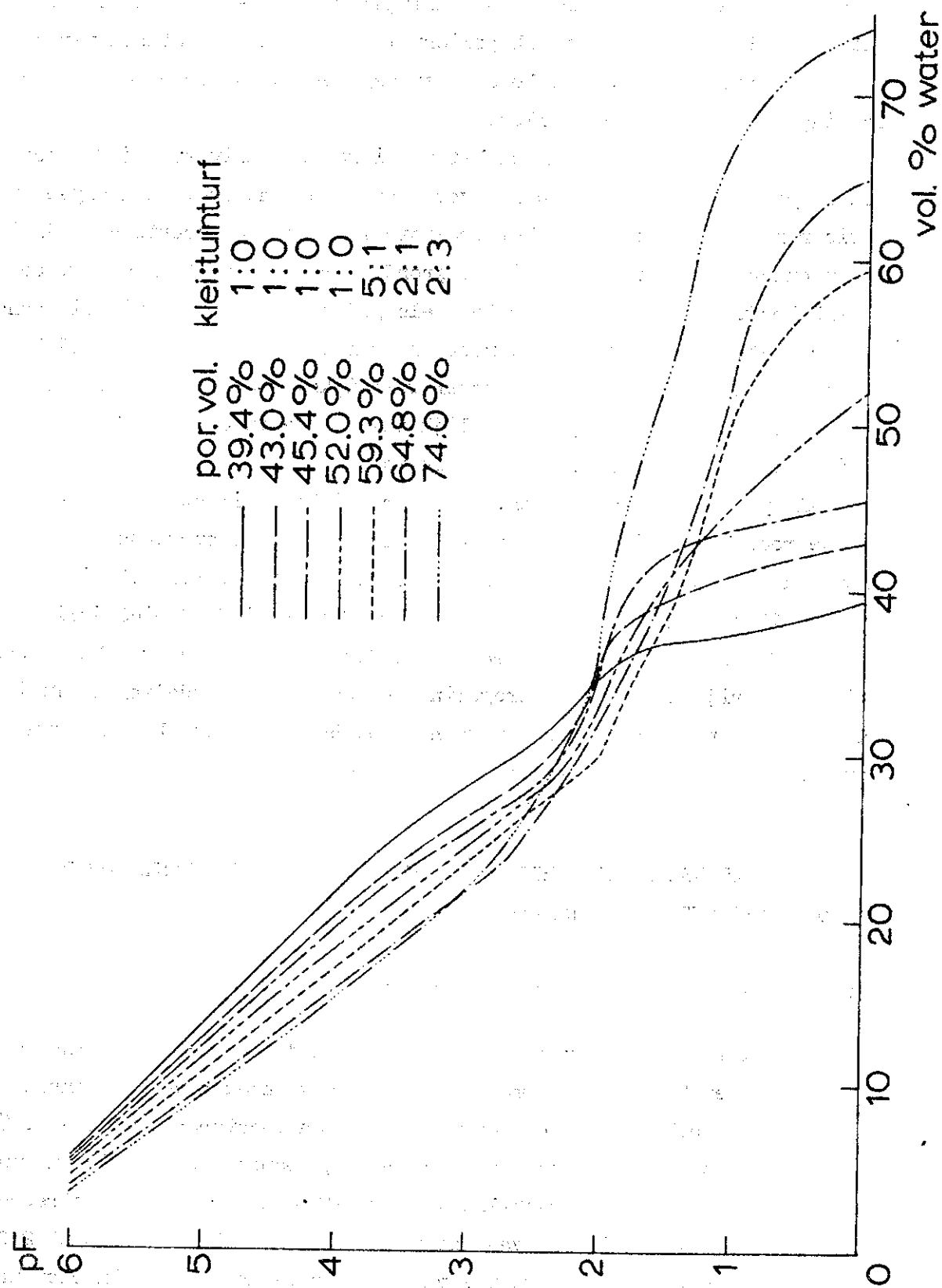


Fig. 1. De invloed van verschillende bodembehandelingen op het verloop van de relatie tussen het volumepercentage water en de vochtspanning in de grond

De pF-curven van de dichtere gronden hebben een steil verloop, wat wijst op een zeer hoog percentage kleine poriën. De curve behorend bij 52 % poriën heeft een veel minder steil verloop, doordat het luchtgehalte redelijk snel toeneemt bij stijging van de vochtspanning in het lage vochtspanningstraject. Het intreden van lucht in de grond bij een lage vochtspanning wijst op een geringe binding van het water in de poriën tengevolge van een grotere diameter, aangezien de vochtspanning waarbij een porie geleidigd wordt omgekeerd evenredig is met de straal van die porie. Naast een stijging van het totaalporiënvolume neemt dus vooral het percentage grotere poriën toe. Een berekening van de verdeling van het totaal poriënvolume over de diverse grootte-klassen volgens de formule van de capillaire stijghoogte is hier niet toegestaan omdat het een kleigrond betreft waarbij de waterbinding vooral een gevolg is van osmotisch krachten en niet van capillaire krachten (geen korrelspanning). Toevoegen van organische stof aan de grond resulteert in een nog verdere stijging van het poriënvolume en het luchtgehalte van de grond. De hoeveelheid beschikbaar water neemt slechts weinig toe bij stijgende organische giften, dus bij stijgend poriënvolume (fig. 2). In de bloementeel onder glas was men (en gedeeltelijk is men dat nu nog gezien de hoge giften van organisch materiaal) sterk geporteerd voor gronden met een pF-verloop als hier gedemonstreerd voor de gronden met 65 (org. stof : 6.8 %) en 74 % poriën (org. stof: 11.0 %). Kleigronden met organische stof percentages opgevoerd tot 10 tot 15 % vormen geen zeldzaamheid. Om het organische stof percentage tot dit niveau op te voeren zijn grote giften dus ook grote investeringen nodig.

De achtergrond van deze maatregelen is de zware bemesting die men toepast. Om te voorkomen dat tengevolge van de grote hoeveelheid zout, die men in de vorm van kunstmest aan de grond toevoert, de concentratie van de bodemoplossing te hoog oploopt en daardoor de wateropname bemoeilijkt wordt, kweekt men de gewassen bij een hoog vochtgehalte. Tevens fungeert dit hoge vochtgehalte als een buffer tegen sterke veranderingen in de zoutconcentratie, dus tegen sterke schommelingen van de osmotische potentiaal van de bodemoplossing bij vochtonttrekking door de plant. Volgens onderstaande formule (RIJTEMA 1965) is de verdamping recht evenredig met het verschil in zuigspanning tusen blad en grond.

$$E = \frac{\psi_1 - \psi_s}{R_{pl} + b/k}$$

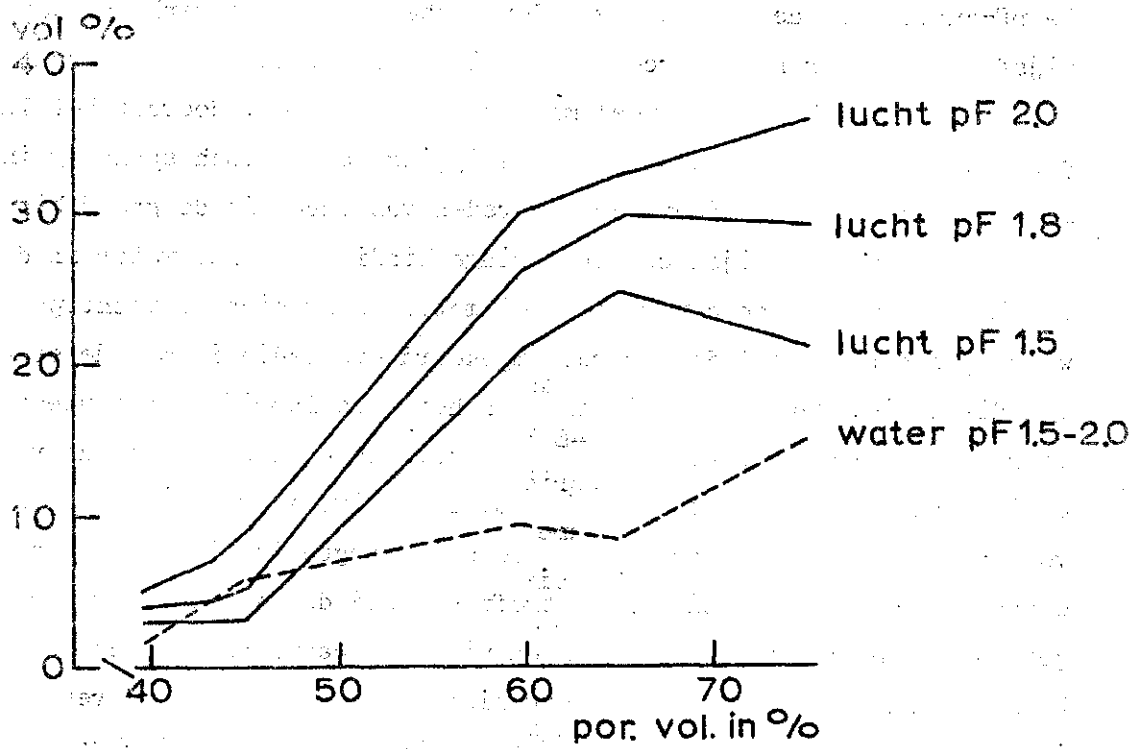


Fig. 2. Het verband tussen het bij verschillende bodembehandelingen verkregen poriënvolume en de beschikbare hoeveelheid water en lucht bij pF 1,5 tot 2,0

waarin:

E : verdamping

$\psi_l - \psi_s$: verschil in zuigspanning tussen blad en grond

R_{pl} : som van weerstanden voor waterstroming in de plant

b : factor bepaald door de geometrie van het wortelstelsel, de wortelactiviteit en bewortelingsdiepte

k : capillair geleidingsvermogen

De totale potentiaal van het bodemvocht wordt samengesteld uit enkele deelpotentialen.

$$\psi_s = \psi_m + \psi_o$$

waarin:

ψ_s : totale potentiaal

ψ_m : matrix potentiaal: potentiaalverlaging van het bodemvocht door binding aan de vaste fase

ψ_o : osmotische potentiaal: potentiaalverlaging van het bodemvocht door de aanwezigheid van zouten in de bodemoplossing

Nu worden in de bloementeelt de gewassen gekweekt bij een matrix potentiaal van ongeveer pF 1.8, dit is 65 cm waterkolom. Daarentegen kan tengevolge van de bemesting de osmotische potentiaal liggen in de orde van 0.5 à 1 tot 3 à 4 atm., zodat het aandeel van de osmotische potentiaal in de totale potentiaal veel groter is dan dat van de matrixpotentiaal. Wel moet hierbij aangenomen worden, dat de plant hetzelfde reageert op een potentiaalverlaging van het bodemvocht tengevolge van zout als door binding aan de vaste fase. Op grond van het bovenstaande verdient een grond met een hoog vol. percentage water in het vochtspanningstraject waarin men de gewassen kweekt, de voorkeur. Dit traject loopt globaal van pF 1.5 na het beregenen tot pF 2.0 wanneer men weer gaat beregenen. Van belang is nu dat de grond in dit traject een zo hoog mogelijk vochtgehalte heeft als buffer tegen de sterke stijging van de zoutconcentratie tengevolge van bemesting en vochtonttrekking, maar bovendien nog voldoende lucht bevat.

Tabel 2. De invloed van de dichtheid van de grond op de verdeling van water en lucht in het lage vochtspanningstraject

volumever- houding klei : veen	por. vol. pF	vol.% lucht			vol.% water		vol.% besch.w.	vol.% water pF 2.0
		1.5	1.8	2.0	1.5	2.0	1.5 - 2.0	vol.% water pF 1.5
1 : 0	39.4	2.8	3.4	4.8	36.6	34.6	2.0	0.95
1 : 0	43.0	3.0	4.6	7.0	40.0	36.0	4.0	0.90
1 : 0	45.4	3.0	5.2	9.0	42.4	36.4	6.0	0.81
1 : 0	52.0	11.4	15.6	19.0	40.6	33.0	7.6	0.81
5 : 0	59.3	20.6	26.0	30.0	38.7	29.3	9.4	0.76
2 : 1	64.8	24.8	20,8	32.6	40.0	32.2	7.8	0.80
2 : 3	74.0	21.0	29.0	36.2	53.0	37.8	15.2	0.71

Bovenstaande tabel laat zien, dat de luchtgehalten bij poriënvolumina tot 45.4 % in het vochtspanningstraject van pF 1.5 tot 2.0 aan de lage kant zijn. Een poriënvolume van 52 % zou wat luchtgehalte betreft reeds voldoende kunnen zijn. Het opvoeren van het poriënvolume van 59 tot 74 vol. % heeft wat het luchtgehalte betreft weinig effect. Bovendien is het bij 59 % poriën reeds voldoende hoog. De totale hoeveelheid water in de grond bij pF 1.5 en 2.0, welke de buffer vormt tegen een sterke concentratiestijging tengevolge van de bemesting, is voor de poriënvolumina van 39.4 tot 64.8 nagenoeg gelijk en alleen bij 74 % poriën duidelijk hoger. Dit laatste resulteert in een grotere hoeveelheid beschikbaar water tussen pF 1.5 en 2.0 en tevens in een risicovermindering van een te sterke stijging van de ionenconcentratie in het bodemvocht tengevolge van de wateropname door de plant. Bij een vochtonttrekking tot pF 2.0 is de concentratieverhoging bij de gronden met de poriënvolumina van 59.3, 64.8 en 74 % van ongeveer gelijke grootte zoals uit de laatste kolom van tabel 2 blijkt, alleen duurt het langer bij de grond met 74 vol. % poriën alvorens pF 2.0 bereikt wordt. De frequentie van het begieten kan bij een dergelijke grond dus lager zijn. Men kan zich echter afvragen of deze beperkte voordelen opwegen tegen de hoge kosten, die het tot dit niveau opvoeren van het poriënvolume met zich meebrengt. Een hoeveelheid beschikbaar water van 7 à 8 vol. % (afgezien van capillair aangevoerd water) geeft bij een bewortelingsdiepte van 50 cm en een verdamping van 5 mm/dag een

frequentie van gieten van eens in de 7 à 8 dagen, wat niet te frequent is.

De l u c h t h u i s h o u d i n g v a n d e g r o n d

Voor de potten met het grondwater op 40 en 65 cm - m.v. is gekozen voor een luchtgehalteverloop in de grond wat heerst bij de evenwichtssituatie van het bodemvocht boven het grondwater. De vochtspanning uitgedrukt in cm waterkolom, op elke hoogte boven het grondwater is dan gelijk aan die hoogte, gemeten in cm en is in evenwicht met de zwaartekrachtspotential. Om een drogere, dus ook beter geaëreerde serie te hebben werden de acht potten zonder grondwater in de proef opgenomen. Bij deze potten werd gekozen voor een luchtgehalteverloop dat heerst tussen pF 2.3 en 2.7.

Voor de instandhouding van een constante luchthuishouding werd zoals reeds vermeld, om de twee dagen nauwkeurig water gegeven aan de hand van de in de potten geïnstalleerde tensiometers en de per dichtheid bepaalde pF-curve.

Karakterisering van de luchthuishouding is gebeurd door meting van

1. het vol. % lucht
2. het O_2 -gehalte van de bodemlucht
3. de zuurstofdiffusiesnelheid (O.D.R.).

Het verloop van het luchtgehalte in de grond werd verkregen vanuit de pF-curven. In fig. 3 is dit weergegeven. Handhaving van de evenwichtssituatie van het bodemvocht boven het grondwater impliceert dat het hier gegeven verband tussen vochtspanning en vol. % lucht tevens het verloop van het luchtgehalte met de diepte weergeeft, uitgezonderd dan voor de potten zonder grondwater. Voor de potten met het grondwater op 40 cm wordt het verloop van het luchtgehalte met de diepte weergegeven door het onderste deel van de curven tot 40 cm, voor de potten met een ontwatering van 65 cm door het gedeelte tot 65 cm.

Het O_2 - gehalte van de bodemlucht is een vijftal malen gemeten, verspreid over de proefperiode, op 20 cm - m.v. Om een gasmonster te kunnen onttrekken was per pot op genoemde diepte een gaskamertje ingegraven. Uit het zuurstofgehalte van de bodemlucht kan informatie verkregen worden omtrent de transportmogelijkheden van zuurstof over grote afstand door de gasfase van de grond. Wordt een laag O_2 - gehalte

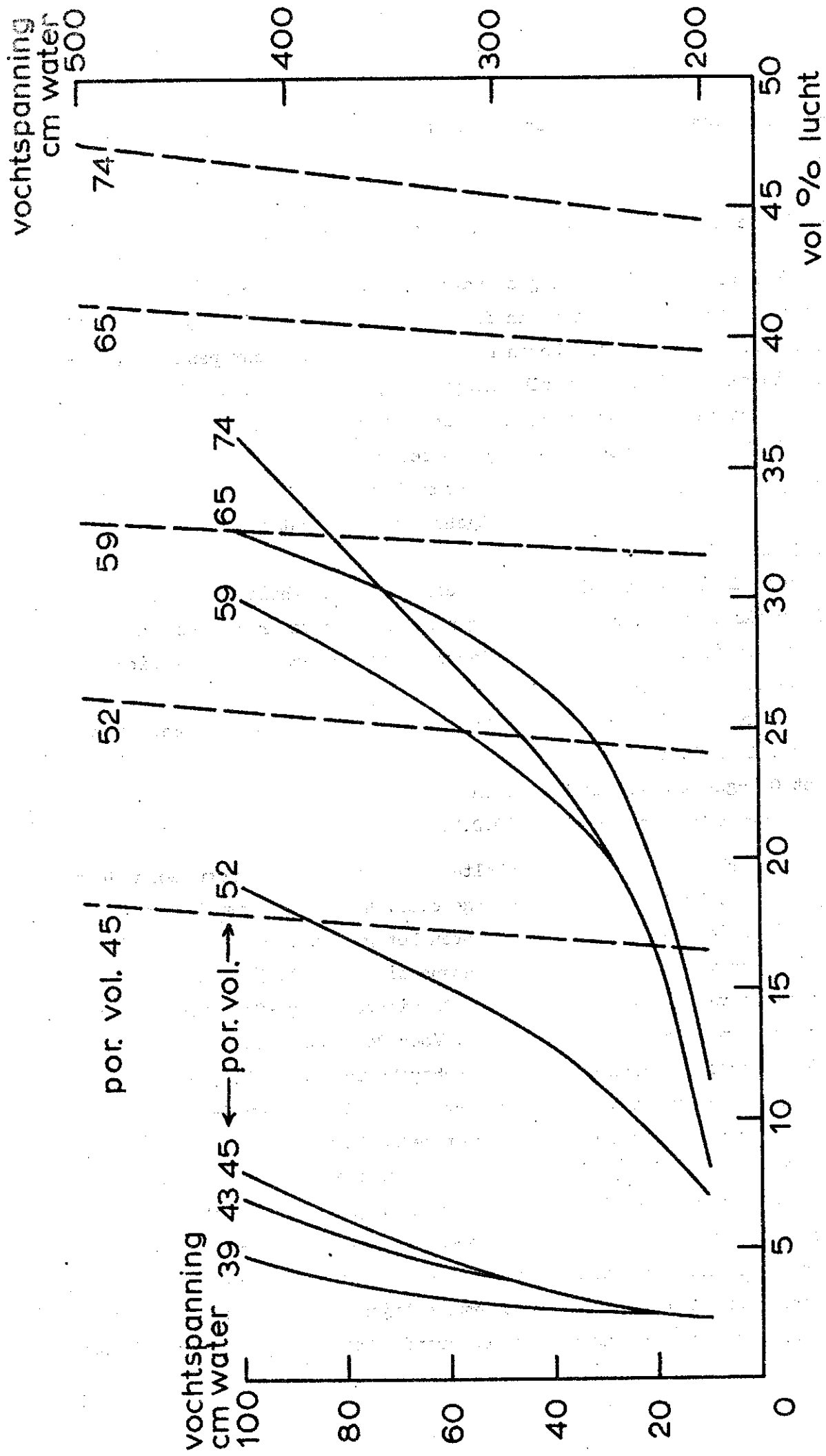


Fig. 3. Het verloop van het luchtgehalte in afhankelijkheid van de vochtspanning en het poriënvolume. Grondwater op 40 en 65 cm - mv: ——— ; geen grondwater (pF 2, 3 - 2, 7) : - - - - -

gemeten dan betekent dit, dat voor het O_2 - transport een grote gradient tussen atmosfeer en grond nodig is en het O_2 - transport dus moeilijk verloopt.

De zuurstofdiffusiesnelheid (O.D.R.) verschaft informatie omtrent de O_2 - transportmogelijkheden over kleine afstand door de waterfase direct naar de wortel. Deze meting is ook vijf maal gedaan, verspreid over de proefperiode, op een diepte van 20 cm - m.v. en in drievoud per pot. De diffusiemeting gebeurt met behulp van een in de grond gestoken platina-electrode, welke beoogt een nabootsing te zijn van een O_2 - consumerende wortel (zie onder andere LEMON en ERICKSON, 1952, 1955). Onder een constant spanningsverschil wordt aan het electrodeoppervlak zuurstof gereduceerd, waardoor een te meten stroom gaat lopen. Rond de electrode wordt de O_2 - concentratie verlaagd waardoor een concentratiegradient naar de electrode wordt opgebouwd. Onder invloed hiervan diffundeert zuurstof naar de electrode. Doordat de diffusie van zuurstof door lucht ongeveer 10^4 maal zo snel verloopt dan door water wordt de O.D.R. in belangrijke mate beïnvloed door het vochtgehalte van de grond, in casu de dikte van de waterfilm welke de electrode omgeeft.

In fig. 4 is het verband tussen enerzijds het vol. % lucht en anderzijds het O_2 - gehalte van de bodemlucht en de O.D.R. weergegeven. Het zuurstofgehalte neemt toe met toenemend luchtgehalte tot 15 à 20 vol. % lucht, in welk traject het maximale O_2 - gehalte bereikt werd. Duidelijk lagere waarden van het O_2 - gehalte werden gemeten bij de poriënvolumina tot 52 % gepaard met de grondwaterstanden van 40 en 65 cm - m.v.

In de samenhang tussen de O.D.R. en het vol. % lucht komt enerzijds de invloed van het vochtgehalte van de grond (grondwater 40 cm - m.v.) en anderzijds de invloed van de structuur (grondwater 65 cm - m.v.) tot uitdrukking. Binnen de serie met 65 cm ontwatering neemt de O.D.R. sterk toe met stijgend luchtgehalte en poriënvolume. Voor de drogere serie potten zonder grondwater is er slechts een zeer geringe toename van de O.D.R. over een breed traject van luchtgehalten. De diffusie is naar ervaring van diverse onderzoekers een functie van de water-vrije porositeit (WIERSMA en MORLAND, 1953, HANKS en THORP, 1956, DOYLE en MCLEAN, 1958). RANEY (1949) vond bij een luchtgevuld poriënvolume > 22 % een lineair verband tussen de O.D.R. en de water-vrije porositeit, doch beneden 22 % was dit verband curvilineair. Hier wordt

O.D.R. 10^{-8} g O₂ cm⁻² mm⁻¹

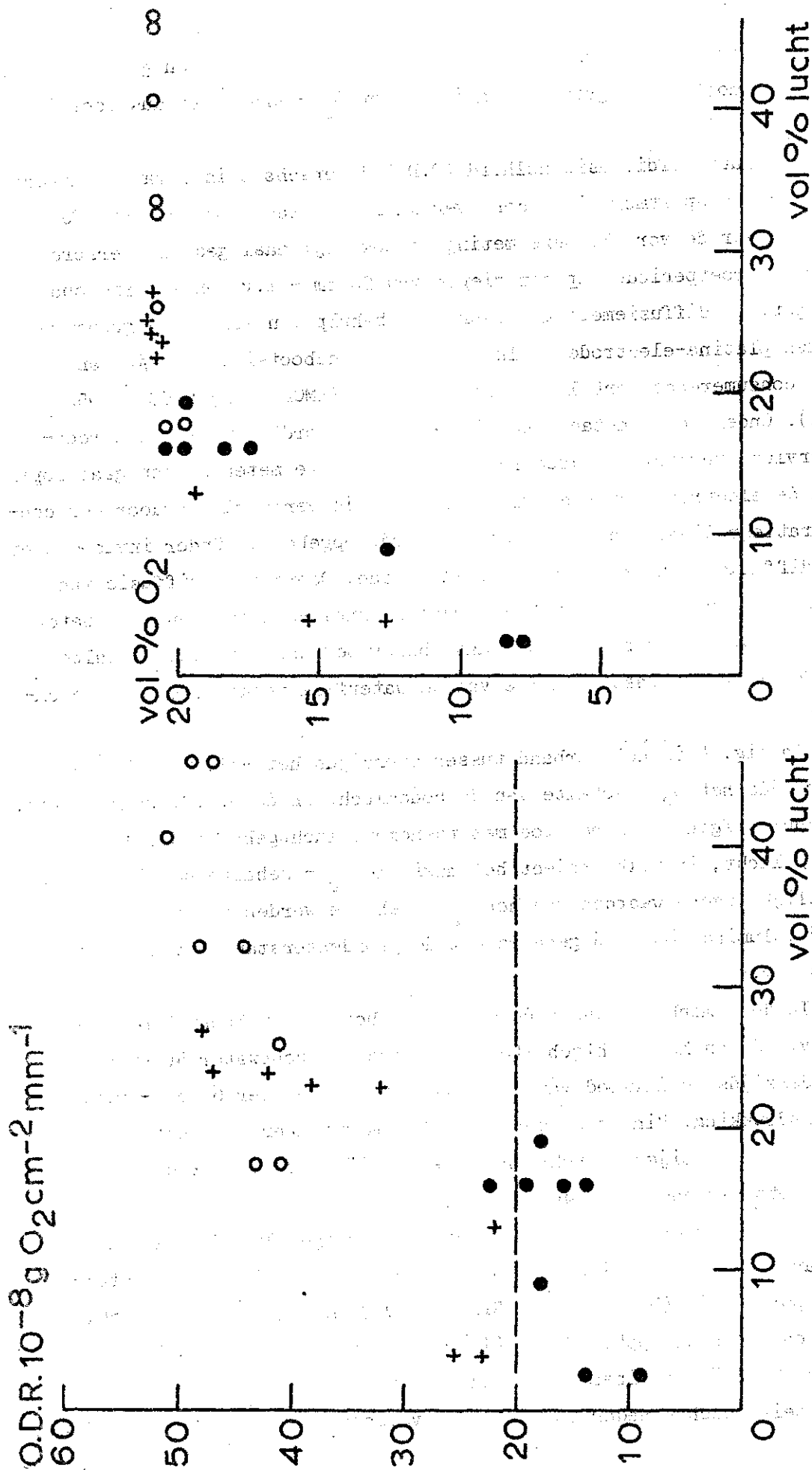


Fig. 4. Het verband tussen het volumepercentage lucht en de zuurstofdiffusiesnelheid (O.D.R.) en het zuurstofgehalte van de bodemlucht (vol. % O₂). Grondwater 40 cm - mv (+); 65 cm - mv (+); geen grondwater (pF 2, 3 - 2, 7) (o)

een ongeveer lineair verband tussen de O.D.R. en het luchtgevulde poriënvolume gevonden in het traject van ± 12 tot ± 22 vol. % lucht. Verschillenden auteurs geven de O.D.R.-waarde kleiner dan $20 \times 10^{-8} \text{ g O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ als limiterend voor de wortelgroei op (voor suikerbiet WIERSMA en MORTLAND, 1953; voor katoen, zonnebloem en gerst door LEEY, STOLZY, en anderen 1961 en 1962). Bij waarden $40 \text{ gr O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ wordt geen reactie van de plantengroei op de O.D.R. meer gevonden.

In onderstaande tabel zijn de grootheden waarmee de luchthuishouding van de grond gekarakteriseerd is, samengevat. Voor het luchtgehalte is de waarde, welke op 20 cm - m.v. gemeten werd, opgenomen.

Tabel 3. Enige grootheden ter karakterisering van de luchthuishouding

gr.w.st. cm - m.v.	por.vol. %	lucht vol.%	O ₂ -gehalte %	O.D.R. $\times 10^{-8} \text{ g O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$	luchtdoorlatendheid $\times 10^{-10} \text{ cm}^2$
	39,4	2.5	7.8	9	< 1
	43,0	2.5	8.4	14	
40	52.0	9.0	12.6	18	8
	59.3	16.0	18.4	14	9
	59.3	16.0	17.5	16	
	64.8	19.2	19.9	18	70
	74.0	16.0	20.5	19	
	74.0	16.0	20.2	22	82
	43.0	3.6	12.6	23	
	45.4	3.8	15.4	26	3
	52.0	13.0	19.5	22	23
65	59.3	22.8	20.8	38	
	59.3	22.8	20.8	32	43
	64.8	26.9	20.9	48	210
	74.0	24.0	21.0	42	
	74.0	24.0	21.0	47	240
	45.4	17.5	19.9	41	
	45.4	17.5	20.5	43	14
	52.0	25.8	20.8	41	56
geen	59.3	32.4	20.8	44	
(pF 2.3 -	59.3	32.4	21.0	48	68
2.7)	64.8	40.5	20.8	51	> 700
	74.0	46.0	21.0	47	
	74.0	46.0	21.0	49	

Ter completering zijn aan de tabel gegevens toegevoegd omtrent de luchtdoorlatendheid bepaald aan ringmonsters met dezelfde poriënvolumina als in de proef en gebracht op de vochtspanning, welke bij de drie ontwateringstrappen op 20 cm - m.v. heerste. De doorlatendheid, welke de reciproke waarde van de stromingsweerstand is, is een maat voor de bodemstructuur vanwege de samenhang met de poriëngrootte en het totale poriënvolume.

Doorlatendheidsklassificatie (Handleiding kandidaatspracticum Algemene Bodemkunde L.H.).

	$\text{cm}^2 \times 10^{-10}$
zeer langzaam	< 3
langzaam	3 - 15
matig langzaam	15 - 60
matig	60 - 170
matig snel	170 - 350
snel	350 - 700
zeer snel	> 700

Naast een toename van de luchtdoorlatendheid binnen de ontwaterings-trap tengevolge van een toenemend poriënvolume wordt de grootste toename bewerkstelligd door verbetering van de ontwatering. Het effect van de structuur komt tot uitdrukking bij een vergelijking van de luchtdoorlatendheidswaarden binnen de afzonderlijke ontwateringstrappen. Een vergelijking tussen de ontwateringstrappen levert het effect van het vochtgehalte van de grond.

4. DE REACTIE VAN HET GEWAS OP DE DICHTHEID VAN DE GROND EN DE HIERMEE SAMENHANGENDE AERATIE-TOESTAND

De B e w o r t e l i n g

Bewortelingsintensiteit

De bewortelingsintensiteit is vastgelegd bij beëindiging van de proef door telling van het aantal wortels op een verticale doorsnede van 40 cm breed over de bewortelbare diepte van de potst.

In fig. 5 is het verloop van de bewortelingsintensiteit met de diepte weergegeven, gemiddeld over 8 potten per ontwateringstrap (fig. 5A) en voor het laagste en hoogste poriënvolume binnen elke ontwateringstrap (fig. 5B).

Opvallend in fig 5A is de zeer hoge bewortelingsintensiteit in de bovenste 10 cm van de potten met het grondwater op 40 cm - m.v. en de sterke afname met de diepte. In de laag van 10-20 cm is de bewortelingsintensiteit nog slechts de helft van die in de bovenste 10 cm. Beneden 30 cm - m.v. werden nauwelijks nog wortels aangetroffen. Bij een groter doorwortelbaar volume bedraagt de bewortelingsintensiteit in de bovengrond slechts de helft van die bij een geringe ontwateringsdiepte en neemt zeer geleidelijk af met de diepte.

Een verschil in bewortelingsintensiteit tengevolge van een verschil in dichtheid of poriënvolume komt vooral tot uitdrukking bij de grondwatertrap 40 cm - m.v. en de serie zonder grondwater (fig. 5B). Bij het laagste poriënvolume (39.4 vol. %) binnen de grondwatertrap 40 cm - m.v. was de beworteling bijna volledig geconcentreerd in de bovenste 10 cm en werd in de laag 10-20 cm nog slechts een zeer gering aantal wortels gevonden. Dit was in overeenstemming met het zeer lage luchtgehalte in deze laag (2.5 vol. %). De hoge wortelconcentratie in de laag 0-10 wijst erop, dat het niet gelukt is in de bovengrond het gewenste luchtgehalte te handhaven. Een globale berekening van het luchtgehalte in deze laag kwam op 7 à 8 vol. % uit. Deze berekening was mogelijk vanuit de hoeveelheid water, welke met het oog op het doorspoelen gegeven werd en het gedeelte hiervan dat het grondwater bereikte. De aanzienlijk betere aëratie omstandigheden bij het hoogste poriënvolume binnen de grondwatertrap 40 cm - m.v. resulteerde in een aanzienlijk hogere bewortelingsintensiteit in de lagen 10-20 en 20-30 cm, doch door het geringe voor beworteling beschikbare volume is de beworteling ook hier nog sterk in de bovenste 20 cm geconcentreerd.

Bij een ontwateringsdiepte tot 65 cm is er nauwelijks verschil in de bewortelingsintensiteit tussen het laagste en hoogste poriënvolume ondanks het lage luchtgehalte bij het laagste poriënvolume

*Voor de wortelopname zijn de schrijvers de heer J.W.J. Loeters van het R.T.C. voor Bodemaangelegenheden zeer dankbaar.

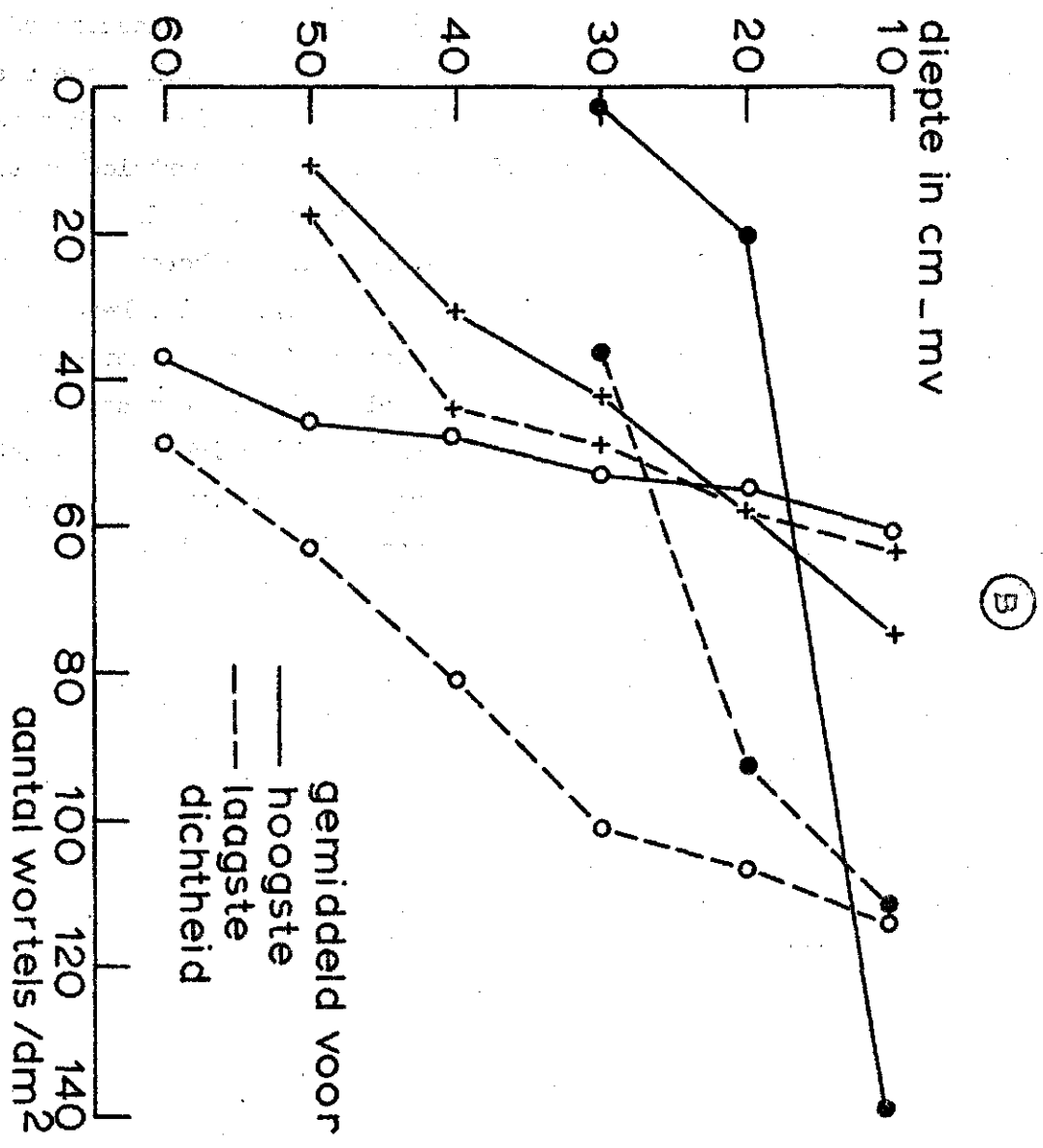
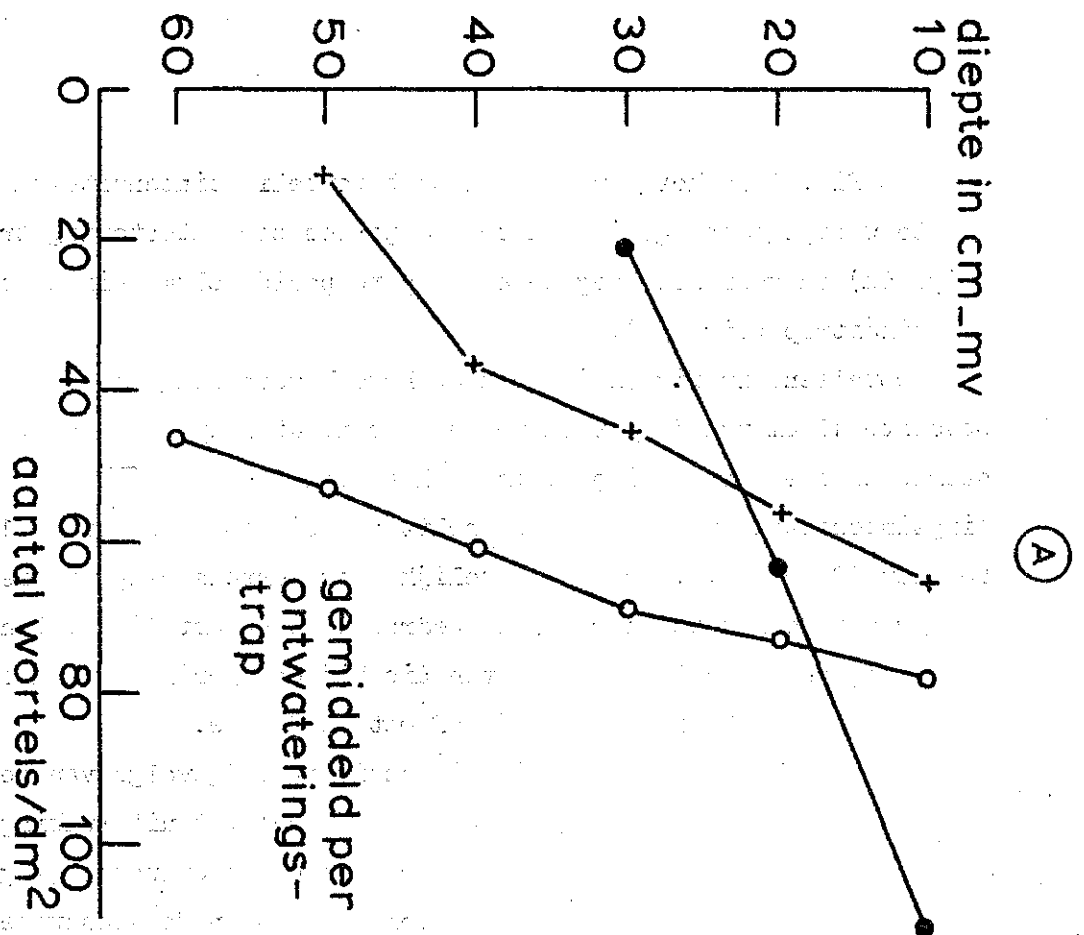


Fig. 5. Het verloop van de bewortelingsintensiteit met de diepte. Grondwater 40 cm - mv (●); 65 cm - mv (+); geen grondwater (PF 2, 3 - 2, 7) (○)

(zie tabel 3). Het met de penetrometer gemeten verschil in mechanische weerstand van 14 kg/cm^2 en 2 kg/cm^2 voor respectievelijk de hoogste en laagste dichtheid heeft geen invloed op de beworteling gehad. De hoogste mechanische weerstand werd gemeten bij het laagste poriënvolume van de serie zonder grondwater namelijk 25 kg/cm^2 . De bewortelingsintensiteit was van dezelfde orde als die bij 65 cm ontwatering, zodat de grote verschillen in mechanische weerstand niet gevolgd zijn door een verschil in bewortelingsintensiteit.

Bij de serie zonder grondwater werd ondanks de goede ontwatering en luchthuishouding een sterk verschil in bewortelingsintensiteit gevonden tussen de dichte en losse structuur. De oorzaak hiervan kan niet gezocht worden bij het uiteenlopen van de aeratietoestand van de grond zoals bij de ontwateringstrap 40 cm - m.v., maar zal gevonden moeten worden bij een verschil in de transportmogelijkheden van water naar de wortels.

Hoewel het capillair geleidingsvermogen niet bepaald is, is het aannemelijk dat het in het vochtspanningstraject van $pF 2.3 - 2.7$ groter is naarmate de structuur van de grond dichter is. RIJTEMA, (1965) veronderstelt, dat het vochttransport bij vochtspanningen tussen $pF 2.0$ en 4.0 vooral plaats vindt als waterfilm over het oppervlak der bodemdeeltjes en het capillair geleidingsvermogen in dit traject vooral afhangt van het oppervlak der bodemdeeltjes per volume eenheid grond, dus van de dichtheid van de grond. De totale verdamping gemeten in de periode van 4 april 1968 tot 10 augustus 1969 was voor planten gegroeid op de dichte zowel als losse structuur nagenoeg gelijk namelijk 2468 en 2406 mm/pot. Blijkbaar was voor de handhaving van een ongeveer gelijk verdampingsniveau bij de losse structuur een grotere wateropnamecapaciteit in de vorm van een groter aantal wortels per volume eenheid grond nodig om minder gunstige transportmogelijkheden voor water naar de wortel te compenseren door verkleining van de transportweg. Zoals fig. 6 laat zien is dit groter aantal wortels niet direct effectief geweest bij de productie van droge stof. De figuur toont een toename van de droge stof productie per pot bij een toenemend aantal wortels tot ± 1200 wortels per pot. Dit komt overeen met een bewortelingsintensiteit van 0.5 per cm^2 . Uit een bewortelingsonderzoek bij anjers door het R.T.C. voor Bodemaangelegenheden aan elf verschillende bodemprofielen werd als hoogste in de praktijk voorkomende

productie g.d.s./ pot

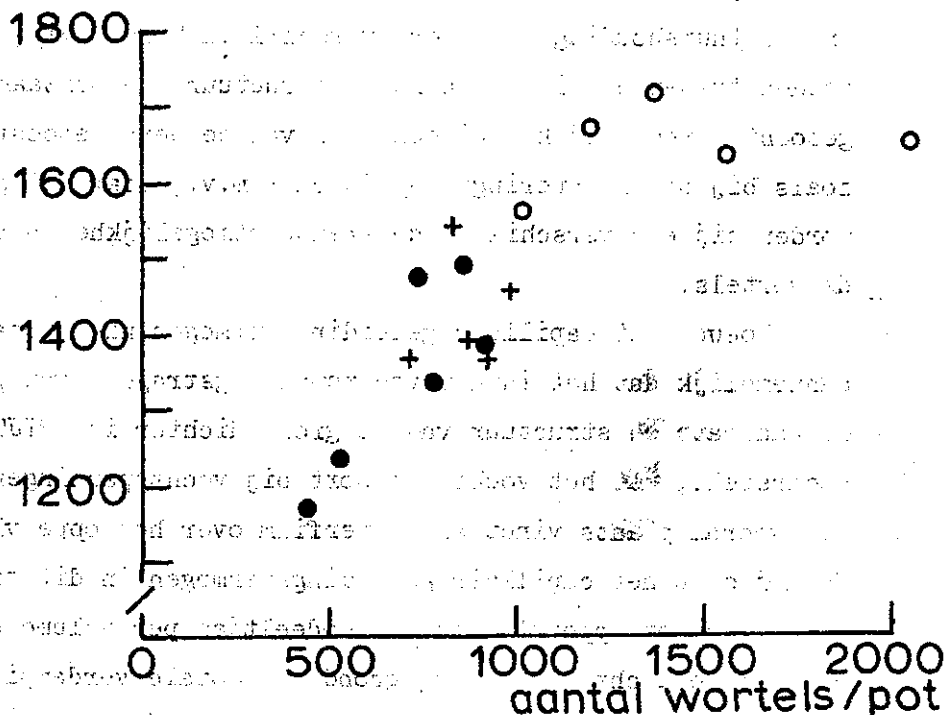


Fig. 6. Het verband tussen het aantal wortels per pot en de totale droge stofproductie (bloemen + gewas). Grondwater 40 cm - mv (•); 65 cm - mv (+); geen grondwater (PF 2,3 - 2,7) (o).

bewortelingsintensiteit onder een als zeer goed beoordeeld gewas 0.4 per cm^2 berekend. Een bewortelingsintensiteit van 0.5 per cm^2 blijkt dus voldoende te zijn. Het afvlakken van de curve boven een intensiteit van 0.5 wortel per cm^2 (hier bij 1200 wortels per pot) kan enerzijds bij een goede vochtvoorziening duiden op een overcapaciteit aan wortels ten aanzien van de drogestof-productie of anderzijds bij een vertraagd transport van water naar de wortel, wat in deze proef voor de droge serie (pF 2.3 - 2.7) het geval geweest kan zijn, op een extra wateropnamecapaciteit om een bepaald verdampingsniveau te kunnen handhaven.

Beworteling-aeratie van de grond

Het effect van de luchthuishouding van de grond op het totaal aantal wortels per pot is nagegaan aan de hand van de metingen omtrent het luchtgehalte, O_2 -gehalte van de bodemlucht en de zuurstofdifusiesnelheid naar een platina-electrode, alle gemeten op 20 cm - m.v. Alle drie grootheden worden vaak gebruikt als karakteristiek voor de aeratietoestand van de grond, maar lang niet altijd leidt een van de grootheden tot een bevredigende verklaring van de gewasreactie op de luchthuishouding van de grond. Een van de oorzaken hiervan is het zeer complexe karakter van het gasuitwisselingsproces van de grond, dat dikwijls onvoldoende gekarakteriseerd wordt door meting van een gedeelte van het gastransport (O.D.R. en O_2 -gehalte) of door meting van een statische grootheid als het luchtgehalte. Met behulp van een correlatieberekening is nagegaan of er verband was tussen het aantal wortels en de aeratietoestand van de grond en door welk van de gemeten grootheden de luchthuishouding het best gekarakteriseerd werd.

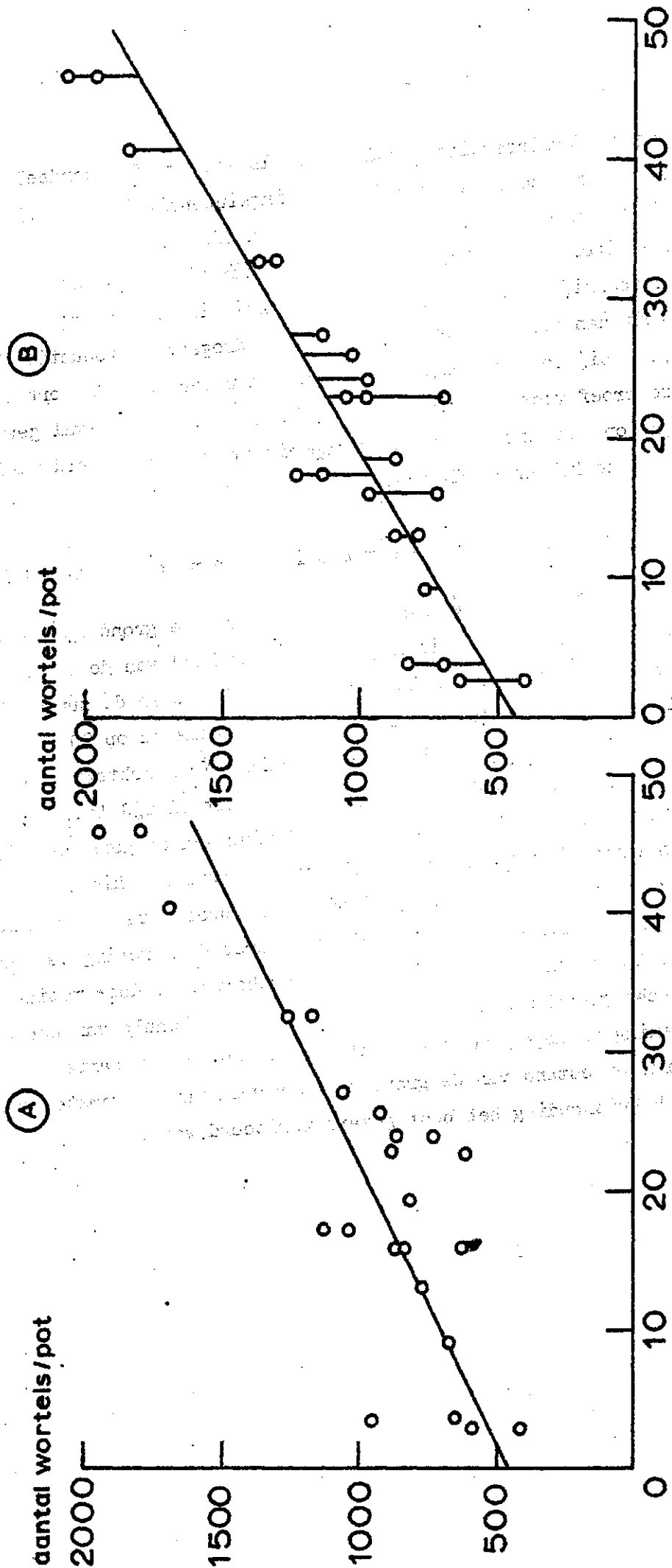


Fig. 7A. De relatie tussen het gemeten aantal wortels per pot na eliminatie van het effect van de O.D.R. ($A_g - a_2$. O.D.R.) en het luchtgehalte van de grond

Fig. 7B. De relatie tussen het aantal wortels per pot en het luchtgehalte van de grond berekend volgens:
 $A_b = 28,8 V + 442,8$ bij $R = 0,84$
 A_b : aantal wortels; V : luchtgehalte van de grond

Tabel 4. De correlatie tussen het aantal wortels per pot (A) en de luchthuishouding van de grond, gekarakteriseerd door het luchtgehalte (V), O₂-gehalte en O.D.R. en de combinatie van deze grootheden²

	R	R ²
$A = a_1 V + b$	0.84	0.70
$= a_2 \text{ O.D.R.} + b$	0.70	0.49
$= a_3 \text{ O}_2 + b$	0.52	0.27
$= a_1 V + a_2 \text{ O.D.R.} + b$	0.85	0.72
$= a_1 V + a_3 \text{ O}_2 + b$	0.84	0.70
$= a_2 \text{ O.D.R.} + a_3 \text{ O}_2 + b$	0.70	0.49
$= a_1 V + a_2 \text{ O.D.R.} + a_3 \text{ O}_2 + b$	0.86	0.74

Uit de tabel blijkt, dat het verband tussen het aantal wortels en de luchthuishouding van de grond het best benaderd wordt bij karakterisering van de luchthuishouding door het luchtgehalte. De gevonden reactie van de beworteling op de aeratietoestand wordt voor 70 % verklaard (R²) door het verband tussen de variabelen: het aantal wortels en het luchtgehalte. Combinatie van de gemeten grootheden leidt tot een nauwelijks hogere correlatie. In fig. 7 is het verband tussen het gemeten aantal wortels (A), het berekende aantal wortels (B) en het luchtgehalte van de grond weergegeven. De hoeveelheid wortels neemt over het beschouwde traject ongeveer lineair toe. De afstand van de punten tot de getrokken lijn in fig. 7B vertegenwoordigt de door het luchtgehalte niet verklaarde afwijking tussen het berekende en het werkelijke aantal wortels.

De bloemproductie

Bloemkwaliteit

De geldelijke opbrengst van een bloemengewas wordt bepaald door aantal geoogste bloemen en de kwaliteit ervan. In de praktijk gebeurt de kwaliteitsbeoordeling voor elke bloem apart evenwel visueel. De normen die men hierbij hanteert liggen niet vast, maar volgen in sterke mate het verloop van de aanvoer naar de veiling. De bloemproductie van

De relatie tussen het volumepercentage lucht in de grond en het droge stofpercentage van het gewas.

droge stof gehalte %

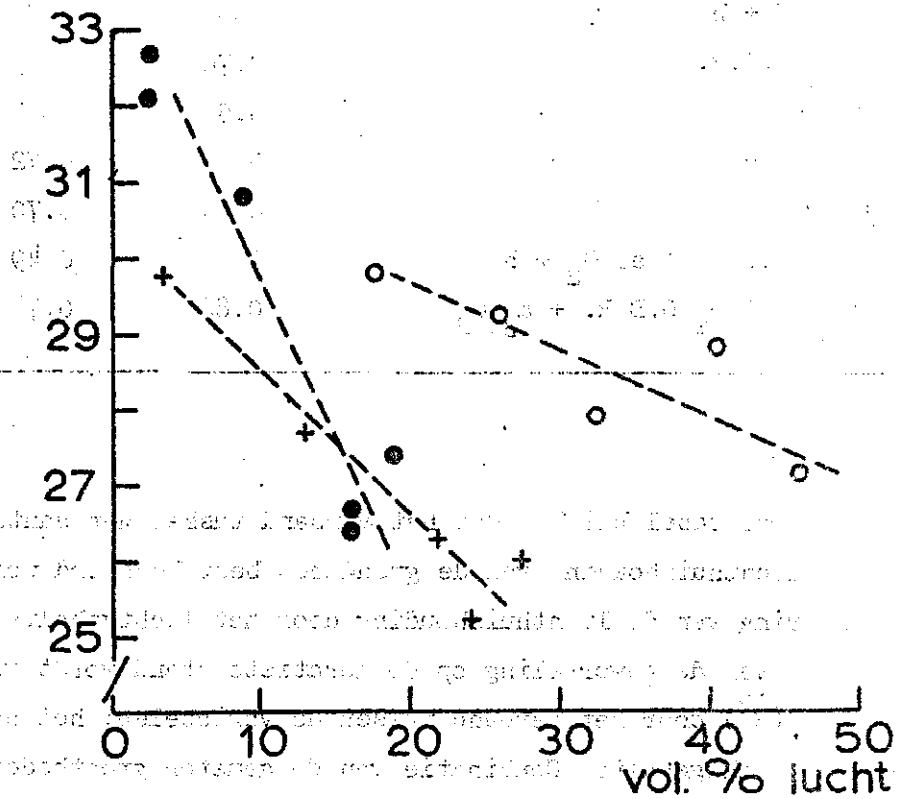


Fig. 8. De relatie tussen het volumepercentage lucht in de grond en het droge stofpercentage van het gewas. Grondwater 40 cm - mv (•); 65 cm - mv (+); geen grondwater (pF 2,3 - 2,7) (o)

de anjer is groot in de zomermaanden en slechts gering in de winter. Door de grote aanvoer zijn in de zomer de kwaliteitseisen zwaarder dan in de winter. Om een indruk te krijgen van de bloemkwaliteit en om deze te kunnen vergelijken onder de verschillende structuur- en ontwateringsomstandigheden zijn van elke geoogste bloem gewicht, lengte en stevigheid (mate van doorbuiging van de bloemsteel) bepaald. De stevigheid hangt nauw samen met het gewicht en de lengte, omdat hij in belangrijke mate bepaald wordt door de verdeling van het gewicht over de lengte. Hiernaast hanteert men in de praktijk nog enkele criteria zoals vorm, grootte en kleur van de bloem welke zich niet in een cijfer laten vastleggen. Door enkele malen verspreid over de proefperiode in de praktijk metingen te verrichten aan anjers, waarvan de sortering bekend was, werd een globale kwaliteitsbeoordeling verkregen. In de zomer van 1968 en voorjaar en zomer van 1969 sloot de kwaliteitsverdeling goed bij de praktijk aan. In de wintermaanden bleven de bloemen geoogst op de potten met 40 en 65 cm grondwater beneden de kwaliteitseisen die men in de praktijk stelt. Dit vond zijn oorzaak in de afwijkende teeltmethode welke gedurende de wintermaanden moest worden toegepast om de gewenste luchtgehalten in de grond te kunnen handhaven. Om de groei af te remmen houdt men bij de teelt van anjers de grond in de winter vrij droog. Sterke groei bij weinig licht levert een slap gewas en leidt tot kwaliteitsvermindering van de bloemen.

Een vergelijking van de kwaliteit, wat betreft gewicht en stevigheid van de bloemen in afhankelijkheid van de structuur van de grond viel duidelijk in het voordeel uit van de bloemen gegroeid op de grond met de dichtste structuur binnen de twee series met het grondwater op 40 en 65 cm - m.v., dus met de slechtste aeratie omstandigheden. Een tragere groei van het gewas op deze potten is hiervan de oorzaak geweest. De bloemstevigheid wordt bepaald door de hoeveelheid drogestof per eenheid vers gewicht. Fig. 8 demonstreert voor de twee grondwatertrappen 40 en 65 cm - m.v. een sterke afname van het drogestofpercentage van het bij beeindiging van de proef geoogste plantenmateriaal bij toename van het luchtgehalte van de grond. Bij een goede ontwatering (de serie zonder grondwater pF 2.3 - 2.7) was de afname van het drogestofpercentage veel geringer. Een duidelijk verschil in bloemstevigheid ten gevolge van een verschil in poriënvolume werd binnen deze serie dan ook niet waargenomen.

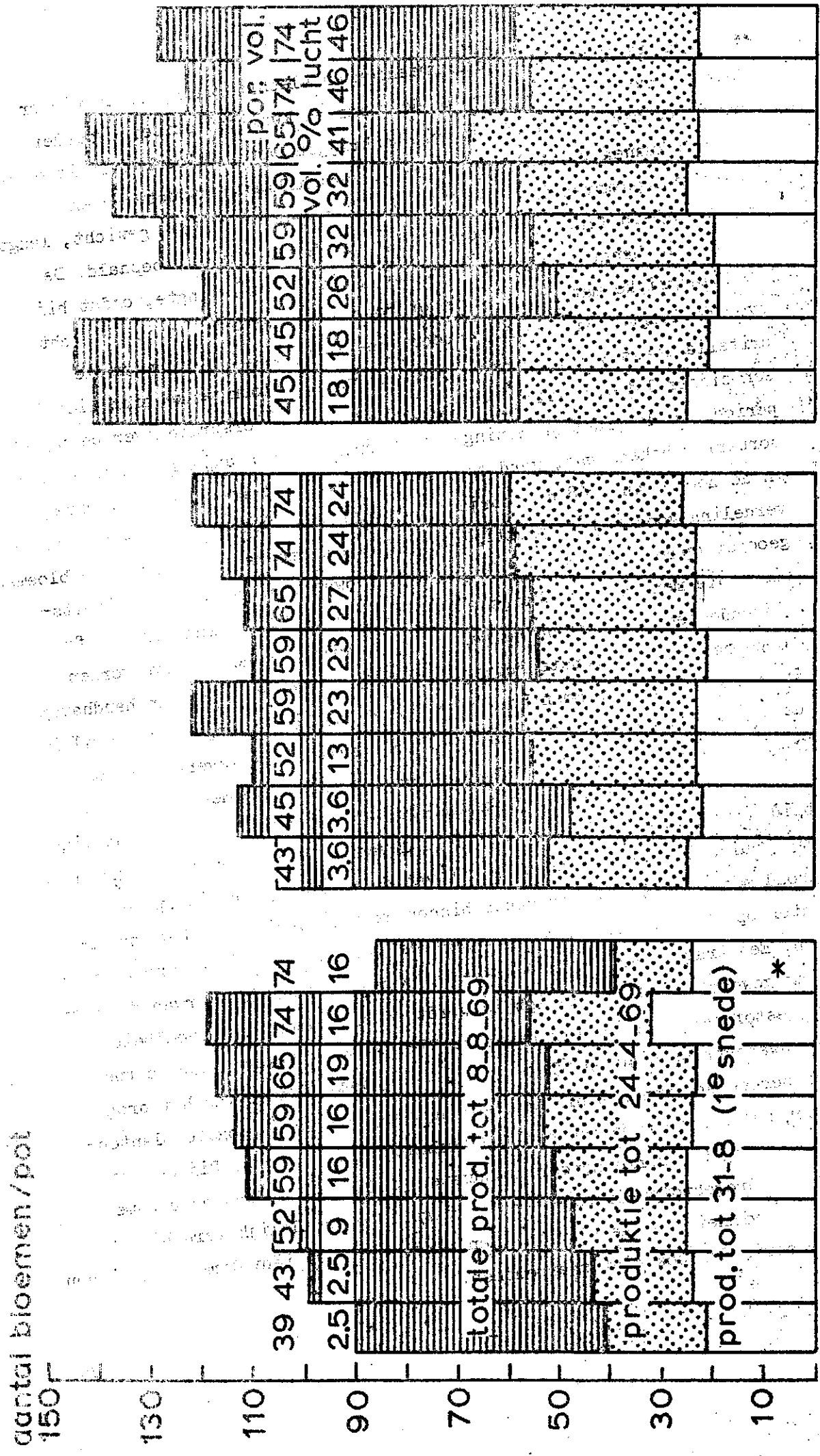


Fig. 9. De totale bloemproductie per ontwateringstrap en per poriënvolume
 * Lage productie is een gevolg van enkele tijdens de proef uitgevallen planten

Aantal bloemen - aeratie van de grond

Enigszins verrassend was het, dat de hoogste productie gehaald werd op de serie potten, waarin de vochtspanning gehandhaafd werd tussen pF 2.3 en 2.7 (zie fig. 9). Dit is aanzienlijk droger dan men in de praktijk toepast waar men gedurende het groeiseizoen de vochtspanning rond de pF 1.8 houdt. Afgezien van de verschillen in poriënvolume binnen elke ontwateringstrap was de totale productie bij de droge serie respectievelijk 19.1 en 12.4 % hoger dan bij 40 en 65 cm drooglegging. Naast het verschil in luchthuishouding tussen de drie series bleek de mechanische weerstand, welke samenhangt met het vochtgehalte en de dichtheid van de grond geen invloed gehad te hebben op de bloemproductie. De mechanische weerstand bereikte de hoogste waarde, 25 kg/cm², bij het laagste poriënvolume van de serie zonder grondwater. Ondanks deze hoge waarde bleek dit geen effect gehad te hebben op de groei en productie gezien:

1. de bewortelingsintensiteit van 0.5 per cm² (fig. 5B), welke met het oog op de drogestof productie voldoende hoog was.
2. de totale hoeveelheid drogestof, geproduceerd gedurende de proefperiode. Deze was van dezelfde grootte als de productie op de potten met een hoger poriënvolume binnen de serie zonder grondwater.
3. de hoge bloemproductie

Bij een minder goede ontwatering nam de bloemproductie toe met toenemend poriënvolume, dus naarmate in het lage vochtspanningstraject het voor gasuitwisseling beschikbare luchtgevulde poriënvolume toenam.

Tabel 5. Het verschil in bloemproductie per pot gemiddeld over de poriënvolumina < 52 en > 52 % per ontwateringstrap

Gr. water cm - m.v.	por.vol. %	aantal bloemen per 4 planten/pot	luchtgehalte vol. %	O ₂ -gehalte % + % =	O.D.R. 10 ⁻⁸ g O ₂ cm ⁻² min ⁻¹
40	< 52	98,0	4,7	9,6	14
	> 52	115,0	16,6	19,1	18
60	< 52	109,3	6,8	15,8	24
	> 52	116,2	24,1	20,9	41
geen	< 52	135,3	20,3	20,4	42
pF 2.3-2.7	> 52	132,0	39,5	20,9	48

Omdat niet alle poriënvolumina in tweevoud vertegenwoordigd waren en de proef geen herhalingen had, zijn ter vergelijking van het effect van de dichtheid van de grond op de bloemproductie van de poriënvolumina lager, gelijk en groter dan 52 vol.% de algebraïsche gemiddelden in de tabel weergegeven. Tevens zijn de gemiddelden van de gemeten luchthuishoudingskarakteristieken gegeven. De grens is gelegd bij 52 % poriën omdat dit poriënvolume in de bloemteelt nog als laag gekenmerkt wordt.

Het verschil in productie tussen de dichte en losse structuur bedroeg 17.0 en 7.1 bloemen per 4 planten per pot bij respectievelijk 40 en 65 cm grondwater. Dit is een verschil van respectievelijk 15 en 6 %. Bij een goede ontwatering is er nauwelijks een verschil in productie ten gevolge van een structuurverschil. De productie op de dichte grond is zelfs iets hoger (2 %). Bij een goede ontwatering bleek het effect van de dichtheid van de grond nauwelijks relevant, doordat ook van de dichtere gronden de aeratietoestand voldoende was. Het verschil in bloemproductie tussen de dichte en losse structuur bij de grondwaterstanden 40 en 65 cm - m.v. is vooral een gevolg van het verschil in luchthuishouding. Van de gemeten grootheden aan de hand waarvan de aeratietoestand gekarakteriseerd werd bleek uit een correlatieberekening dat het O_2 -gehalte de hoogste correlatie gaf met de bloemopbrengst.

Tabel 6. De correlatie tussen de bloemopbrengst (A) en de luchthuishouding van de grond, gekarakteriseerd door het luchtgehalte (V), O_2 -gehalte en de O.D.R. en de combinaties van deze grootheden.

	R	R^2
$A = a_1 V + b$	0.72	0.52
$A = a_2 O_2 + b$	0.88	0.77
$A = a_3 O.D.R. + b$	0.60	0.36
$A = a_1 V + a_2 O_2 + b$	0.89	0.80
$A = a_1 V + a_3 O.D.R. + b$	0.73	0.53
$A = a_2 O_2 + a_3 O.D.R. + b$	0.88	0.77
$A = a_1 V + a_2 O_2 + a_3 O.D.R. + b$	0.89	0.80

De correlatiecoëfficiënten zijn berekend uit de gegevens ontleend aan de twee series met het grondwater op 40 en 65 cm - m.v. Werden ook de resultaten van de serie zonder grondwater in de berekening betrokken, dan leidde dit tot aanzienlijk lagere correlatiecoëfficiënten, omdat op basis van de goede luchthuishouding van deze serie geen effect van de aeratietoestand op de bloemproductie gevonden werd.

Bij karakterisering van de luchthuishouding van de grond door middel van het luchtgehalte, het O_2 -gehalte en de O.D.R. werd 77 % van het gevonden effect verklaard door de gemeten O_2 -gehalten. In fig 10A is het verband tussen het O_2 -gehalte en het geoogste aantal bloemen gegeven na eliminering van de invloed van de twee andere gemeten variabelen. Het verloop van de lijn duidt er op, dat de hoogste productie bereikt wordt bij een maximaal O_2 -gehalte van de bodemlucht. Dit O_2 -gehalte werd bereikt bij de respectievelijke ontwateringstrappen van 40, 65 cm - m.v. en geen grondwater (pF 2.3 - 2.7) bij de respectievelijke poriënvolumina van 74, 59 en 45 vol.%. De afstand tussen de in fig. 10B weergegeven lijnen, berekend volgens de gegeven regressievergelijking bij twee niveaus van het luchtgehalte en de O.D.R. laat zien, dat de relatie tussen het aantal bloemen en de luchthuishouding, gekarakteriseerd door het O_2 -gehalte, nauwelijks beter verklaard wordt door de informatie verkregen uit de metingen van het luchtgehalte en de O.D.R. De in de berekening ingevoerde O.D.R.-waarden van 173 en 38.9 zijn de algebraïsche gemiddelden van alle O.D.R.-waarden ≤ 25 en $> 25 \times 10^{-3} \text{ g } O_2 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. De afstand van de punten tot de onderste lijn is het verschil tussen het aantal geoogste en het aantal bloemen dat volgens de formule berekend werd ofwel een restterm, welke niet door de drie gemeten variabelen verklaard werd.

A n a l y s e v a n h e t p r o d u c t i e v e r l o o p

In fig. 9 is aangegeven hoe de totale productie over de proefperiode tot stand is gekomen. Gedurende de zomer van 1968 (1e snede) was de bloemproductie onafhankelijk van het poriënvolume en de ontwatering voor alle potten ongeveer gelijk. De verschillen in gewasontwikkeling en daarmee en bloemproductie manifesteerde zich eerst in de herfst en winter van 1968-1969. Dit sluit aan bij de ervaring die men in de praktijk heeft, dat wanneer de grond de limiterende factor is voor een optimale groei van anjers, dit zich pas voordoet na de zomerproductie

(B)

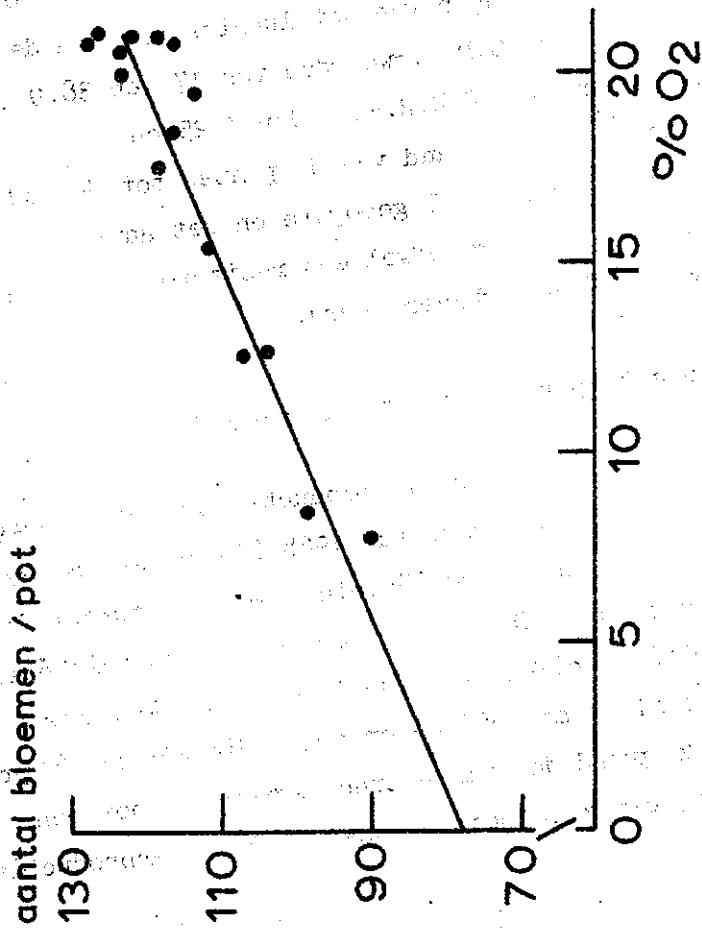


Fig. 10A. De relatie tussen de bloemproductie per pot na eliminatie van het effect van het luchtgehalte (V) en de O.D.R. ($A = a_1 V - a_2$ O.D.R.) en het O₂-gehalte van de bodemlucht.

(A)

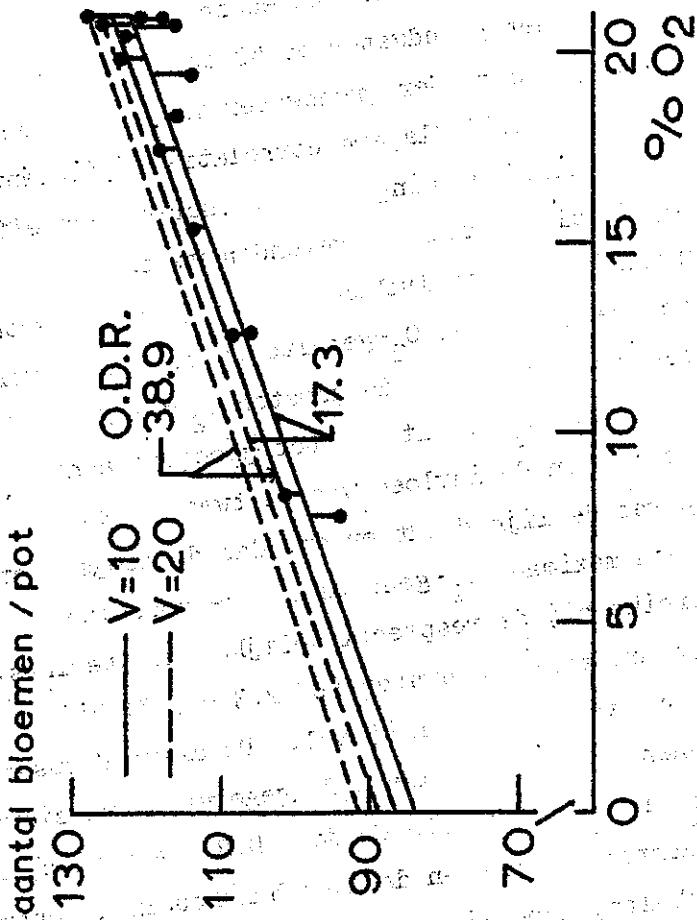


Fig. 10B. De relatie tussen het aantal bloemen per pot en het O₂-gehalte van de bodemlucht bij twee niveaus van het luchtgehalte en de O.D.R., berekend volgens: $A_b = 2,15 O_2 + 0,110$ O.D.R., $+0,44 V + 77,68$ bij $R_b = 0,89$. A_b : aantal bloemen; V: luchtgehalte van de grond

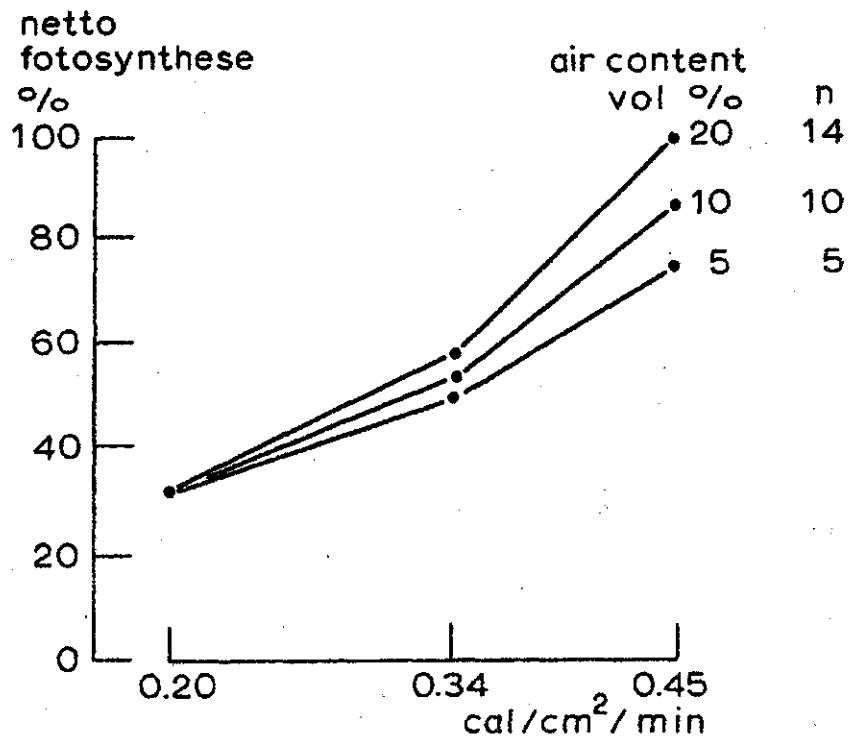


Fig. 11. De invloed van het luchtgehalte van de grond op de netto fotosynthese van de anjer bij drie lichtintensiteiten. De gegevens zijn uitgedrukt als percentage van de fotosynthese gemeten bij 20% lucht en de hoogste lichtintensiteit. n = aantal potten

verdamping
mm/dag

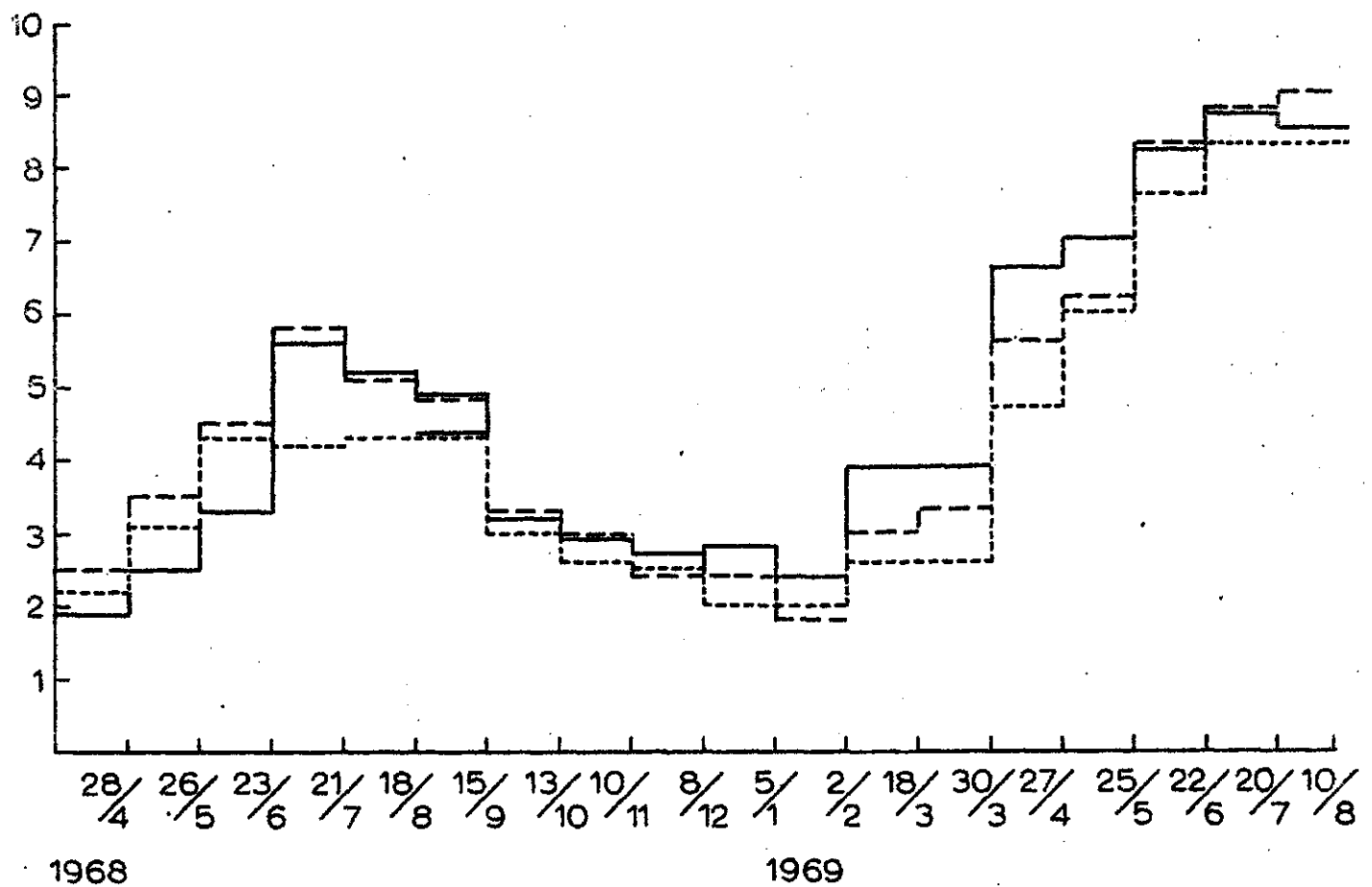


Fig. 12. Het verloop van de verdamping in mm/dag, gemiddeld over 8 potten, voor vier weekse perioden bij de drie ontwaringsstrappen. Grondwater 40 cm - mv ----- ; 65 cm - mv - - - - ; geen grondwater (pF 2,3 - 2,7) ———

van het eerste jaar. Het achterblijven van de bloemproductie deed zich vooral voor op de gronden met de slechtste luchthuishouding. Met het oog op de hoge veilingprijzen in deze periode kan dit zeer schadelijk zijn.

Uit een onderzoek (VAN WIJK e.a. 1970) waarin de invloed van het luchtgehalte van de grond op de groei van anjers (gemeten aan de fotosynthese) werd onderzocht, kwam naar voren, dat de invloed van het luchtgehalte van de grond nauw samenhangt met de lichtintensiteit waarbij het gewas groeit (fig. 11). Bij lage lichtintensiteit werd een gelijke fotosynthese gemeten voor planten groeiend bij 20, 10 en 5 vol.% lucht in de grond. Bij toenemende lichtintensiteit bleef de fotosynthese van planten groeiend bij 5 en 10 vol.% lucht steeds meer achter ten opzichte van de fotosynthese van planten groeiend bij 20 vol.% lucht. Op heldere dagen in de zomer wordt onder glas een lichtintensiteit bereikt rond $0.35 \text{ cal. cm}^2 \text{ min}^{-1}$, zodat op deze dagen bij onvoldoende aeratie een vermindering van de groei verwacht mag worden.

Een analyse van de verdamping gemiddeld over 8 potten per ontwateringstrap (fig. 12) leverde de volgende informatie over het verloop van de verdamping van 4 april - 15 september 1968.

1. Aanvankelijk is de gemiddelde potverdamping bij de ontwateringstrappen 40 en 65 cm - m.v. ongeveer gelijk en is iets groter dan de verdamping bij de serie zonder grondwater, waarschijnlijk ten gevolge van de drogere groeiomstandigheden en een nog niet aangepast wortelstelsel.
2. Na half juni blijft de verdamping van de potten met een ontwateringsdiepte van 40 cm - m.v. aanzienlijk achter op die met 65 cm ontwatering. De sterkste toename van de verdamping treedt op bij de serie zonder grondwater.

Het achterblijven van de verdamping per pot bij 40 cm ontwatering ten opzichte van die bij 65 cm ontwatering en de goed ontwaterde serie werd veroorzaakt door de aanzienlijk lagere verdamping van de planten groeiend op de potten met een poriënvolumen $< 52 \%$, dus de slechtst geaëreerde grond. Over de periode 23 juni tot 21 juli 1968 bijvoorbeeld bedroeg de gemiddelde potverdamping respectievelijk 3.0 en 5.4 mm/dag voor planten groeiend bij poriënvolumina < 52 en $> 52 \%$. Dit verschil in verdamping deed zich in mindere mate voor bij 65 cm ontwatering en helemaal niet bij de serie zonder grondwater. Het achterblijven van de gemiddelde verdamping in het voorjaar en zomer van 1969 van de grondwatertrap 40 cm - m.v. op beide andere ontwateringstrappen zal naast

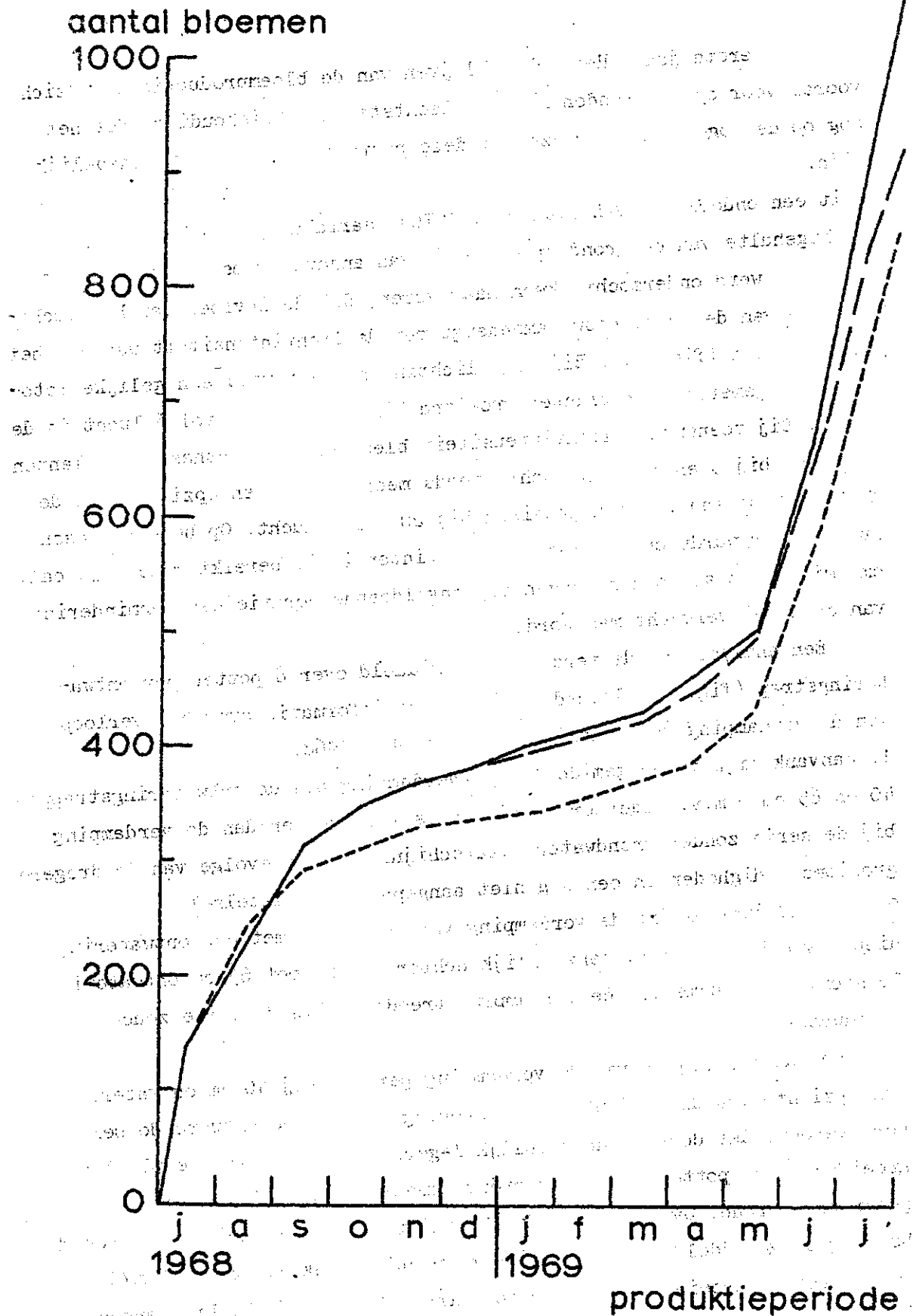


Fig. 13: Het verloop van de bloemproductie gesommeerd per ontwateringstrap.
 Grondwater 40 cm - mv ----- ; 65 cm - mv ; geen grondwater
 (pF 2,3 - 2,7) —————

de ongunstiger aeratie-omstandigheden in de zomer vooral veroorzaakt zijn door de afname van het totaal verdampend bladoppervlak in de voorafgaande periode.

De afname van de fotosynthese, gemeten bij hoge lichtintensiteiten in het vermelde onderzoek en het achterblijven van de verdamping gemeten tijdens de zomer in deze proef wijzen beiden op hetzelfde mechanisme namelijk een verminderde wateropname door de plant bij onvoldoende aeratie en een hoge lichtintensiteit.

Slechte aeratie kan de wateropname afremmen door:

1. beïnvloeding van de metabolische processen in de wortelcellen, waardoor de permeabiliteit van het wortelweefsel afneemt. (MEES and WEATHERLY, 1957, RIJTEMA, 1965).
2. vertraging van de wortelgroei. Tengevolge van onvoldoende aeratie van de grond vermindert niet alleen de hoeveelheid wortels, maar ook de groeisnelheid. Volgens LETEY e.a. 1961 is bij snelgroeiende wortels de onverkurkte zone van de wortel, welke de wateropname verzorgt, groter dan bij traag groeiende wortels.

De relatie tussen de bodemaeratie enerzijds en de transpiratie en fotosynthese anderzijds hangt nauw samen met de waterbalans van de plant. Wordt de wateropname door de wortels belemmerd door een te laag O_2 -aanbod aan het worteloppervlak dan gaat, mits de andere groei-omstandigheden zich niet wijzigen, de waterbalans naar een nieuw evenwicht tussen de wateropname en de verdamping door verlaging van de transpiratie. Onderdeel van het regelmechanisme, dat de plant voor de herinstelling van de waterbalans ter beschikking heeft, is de huidmondjesopening. Sluiting van de huidmondjes om de transpiratie te drukken zal echter ook een verminderde CO_2 -opname tot gevolg hebben..

De verlaging van de transpiratie en de fotosynthese ten gevolge van onvoldoende aeratie heeft een verminderde groei tot gevolg. Deze groeiafname zal niet onmiddellijk uit het gewas afgelezen kunnen worden, maar pas na een zekere periode. Dit deed zich ook voor bij het proefgewas. Duidelijke verschillen in stand van het gewas deden zich pas voor in de herfst van 1968. Tot eind augustus 1968 liep de totale bloemproductie voor de drie ontwateringstrappen volledig parallel. In de hierop volgende maanden bleef de bloemproductie op de grondwatertrap 40 cm m.v. ver achter op beide anderen (fig. 13).

De oorzaak van de teruggang in de productie was vooral gelegen in het sterke achterblijven van de bloemproductie op de minder goed geaereerde potten. Dit trad ook op bij de twee potten met het laagste poriënvolume binnen de ontwateringstrap van 65 cm - m.v. maar niet bij de hogere poriënvolumina (fig. 9). De conclusie lijkt dan ook gerechtvaardigd, dat de oorzaak van de achteruitgang van de bloemproductie na de 1e snede (in de praktijk zegt men wel: de 1e snede is op alle gronden goed) gezocht moet worden bij een onvoldoende luchthuishouding van de grond tijdens de zomer, wanneer de bloemen worden aangelegd welke in de herfst geoogst worden.

5. CONCLUSIES

1. Uit de proef blijkt dat een goede ontwatering de meest effectieve grondverbeteringsmaatregel is. De hoogste bloemproductie werd verkregen bij de serie zonder grondwater, ondanks een vochtspanning (pF 2.3 - 2.7) welke aanzienlijk hoger lag dan in de praktijk (ongeveer pF 1.8). Dit werd bereikt bij een zeer homogene profielopbouw en wat voor de lagere poriënvolumina van belang was bij een regelmatige (elke twee dagen) en juiste watergift. Naarmate de ontwatering beter is, reageert de plant minder op structuurverschillen, doordat een grond met een laag poriënvolume gunstiger aeratie-omstandigheden verkrijgt, zoals blijkt uit de toename van het lucht- en zuurstofgehalte en de O.D.R.-waarden. Hoewel de grond met een poriënvolume van 45 % bij een goede ontwatering een hoog productieniveau haalde, zal met het oog op teeltmaatregelen als watergeven en doorspoelen met voorzichtigheid te werk moeten worden gegaan, aangezien de lage infiltratiecapaciteit snel aanleiding kan geven tot plasvorming.
2. Bij een minder goede ontwatering gaat het verschil in structuur wel een belangrijke rol spelen en blijft de productie op minder goed geaereerde gronden duidelijk achter. Ter beantwoording van de vraag wat de juiste bodembehandeling voor een bepaalde grond moet zijn, is de ontwateringstoestand van grote betekenis.
3. De bloemproductie blijkt bij karakterisering van de luchthuishouding van de grond door lucht-, zuurstofgehalte en O.D.R. het meest gecorreleerd te zijn met het O_2 -gehalte. Uit het gevonden verband tussen O_2 -gehalte en luchtgehalte van de grond wordt het maximale O_2 -gehalte bereikt bij

de in de proef aanwezige poriënvolumina en ontwatering in het traject van 15-20 vol.% lucht. Bij de in de proef gebruikte grond voldoet een poriënvolume van + 55 % aan de eis van 20 % lucht bij een pF 1.8, de gemiddelde vochtspanning waarbij men in de bloemeteelt de gewassen kweekt. Grote organische stofgiften om een poriënvolume rond 70 % te verkrijgen lijken dan ook wat overbodig, temeer wanneer men zorg draagt voor een goede ontwatering.

4. Aangezien de invloed van een laag luchtgehalte op de groei toeneemt bij toenemende lichtintensiteit zal vooral in de zomer de frequentie en de grootte van de watergift aangepast moeten zijn aan de structuur van de grond.

6. LITERATUUR

- BRUGGENWERT, M.G.M., A.R.P. JANSE, F.F.R. KOENINGS, 1966. Handleiding kandidaats Practicum, Alg. Bodemkunde. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- DOYLE, J.J. and A.A. MC LEAN, 1958. The effect of soil aggregate size on availability of oxygen and on growth of tomatoes. Can. Journ. Soil Science 38 : 143 - 146.
- HANKS, R.J. and F.C. THORP, 1956. Seedling emergence of wheat as related to soil moisture content, bulk density, oxygen diffusion rate and crust strength. S.S.S.A. Proc. 20 : 307- 310.
- LETEY, J., O.R. LUNT, L.H. STOLZY and J. SZUSZKIEWICZ, 1961. Plant growth, water use and nutritional response to rhizosphere differentials of oxygen concentration S.S.S.A. Proc. 25 : 183 - 186.
- LEMON, E.R. and E.A. ERICKSON, 1952. The measurement of oxygen diffusion in the soil with platinum micro electrode S.S.S.A. Proc. 16 : 160 - 163.
- _____ 1955, Principle of the platinum micro electrode as a method of characterizing soil aeration. Soil Science 79 : 383 - 392.
- MEES, G.L. and P.E. WHEATHERLY, 1957. The mechanism of water absorption by roots. Proc. Roy. Soc. London B 147 : 367 - 391.
- RANEY, W.A. 1949. Field measurements of oxygen diffusion through soil, S.S.S.A. Proc. 14 : 61 - 65.

RIJTEMA, P.E. 1965. An analysis of actual evapotranspiration.
Agric. Res. Rep. 659 : 1 - 107.

SCHELLEKENS, A.F.C.M. 1967. Bewortelingsonderzoek bij anjers.
Rapport R.T.C. voor Bodemaangelegenheden, Wageningen.

WIERSMA, D and M.M. MORTLAND, 1953. Response of sugar beets to
peroxide fertilization and its relation to oxygen
diffusion. Soil Science 75 : 355 - 360

WIJK, A.L.M. VAN and J. BUITENDIJK, 1970. The influence of air
content of the soil on the growth of carnation measured on
net photosynthesis. Neth. Journal of Agric. Sci.