CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 403, d. d. 17 juli 1967

De invloed van verslemping op zuurstofdiffusie in de grond

ir. J. W. Bakker en ir. A. P. Hidding

Doel onderzoek

Met het oog op de mogelijkheden van het mechanisch planten en oogsten van bol- knol- en wortelgewassen geeft men binnen de groep van kleihoudende gronden de voorkeur aan gronden met een vrij laag kleigehalte. Met het afnemen van het kleigehalte daalt echter ook de structuurstabiliteit. Onder invloed van klimaatsinvloeden (voornamelijk neerslag) neemt het poriënvolume van de bovengrond sterk af (verslemping). Hierdoor daalt de doorlatendheid zowel voor water als voor gassen, waardoor de zuurstofvoorziening en koolzuurafvoer van bodem en plantenwortels (aeratie) onvoldoende kan worden.

De mate van verslemping bepaalt men, onder andere, door het luchtgehalte van de grond te meten door middel van volume-bemonstering. Op grond van dit luchtgehalte wordt dan een indruk verkregen van het al of niet voldoende zijn van de aeratie van de grond. Deze indruk is gebaseerd op veldwaarnemingen waar voor sommige gronden het verband tussen het luchtgehalte of het luchtgehalte bij pF 2,0 en de groei van verschillende gewassen is bepaald (BOEKEL, 1963, 1966).

Voor de aeratie van een grond is echter de mogelijkheid van gastransport een meer directe maat dan het luchtgehalte. Dit gastransport heeft voornamelijk plaats door diffusie (BUCKINGHAM, 1904; ROMELL, 1922), zodat de mogelijkheid van gastransport bepaald wordt door de grootte van de diffusiecoëfficiënt voor zuurstof en koolzuurgas in de grond.

De diffusie-coëfficiënt voor een gas in de grond (D_b) wordt gedefinieerd als:

$$D_b = - \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dx}{dc} \cdot \frac{1}{A} \qquad (1)$$

Q = hoeveelheid gediffundeerd gas (g)
t = tijd (sec.)
x = lengte van het grondmonster in de richting van de stroming (cm)
c = gasconcentratie (g gas per cm^3 gas)
A = doorstroomde oppervlakte grond (cm^2)
D_b = diffusie-coëfficiënt van gas in de grond (cm^2/sec.)

De diffusie-coëfficiënt voor een gas in de grond (D_b), is aanzienlijk lager dan die in lucht (D_l);

Tabel 1. Invloed luchtgehalte op de diffusie-coëfficiënt van gas in de grond

Auteur		Materiaal	$\sum_g$	D_b/D_1
		Geroerde monsters		
Penman	1940	droog zand, glasbolletjes en grond	0,18 - 0,50	$0,66 \sum_g$
		idem	> 0,5	$1,0 (\sum_g - 0,25)$
Currie,	1960	droog zand, glasbolletjes, carborundum polder	0,2 - 0,55	$0,7 (\sum_g - 0,05$ à $0,1)$ of $0,89 \sum_g^{1,35}$
Van Bavel,	1952	droog zand en mengsel grond en zand en glasbolletjes en zand	0,415, 0,355 0,250	$0,6 \sum_g$
Taylor,	1949	vochtig zand	0,04 - 0,15	$0,55 \sum_g$
		idem	0,15 - 0,45	$1,0 (\sum_g - 0,09)$
Currie,	1961	idem	0,05 - 0,18	$0,25 \sum_g$
		idem	0,18 - 0,30	$0,8 (\sum_g - 0,15)$
			> 0,16	$6,25 \sum_g^{3,44}$
Taylor,	1949	vochtige leem	0,1 - 0,49	$0,67 \sum_g$
Penman,	1940	'Rothamsted subsoil'	0,15 - 0,5	$0,66 \sum_g$
Call,	1957	meerdere grondsoorten	0,14 - 0,39	$0,66(\sum_g - 0,1)$
		Gronden met verschillen in structuur		
Blake & Page,	1948	veldmeting:		
		blokkige structuur	0,05 - 0,3	$0,77 \sum_g$
		kruimelige structuur	0,15 - 0,3	$1,3 (\sum_g - 0,1)$
Gradwell,	1960	kaolien aggregaten	0,12 - 0,33	$0,65(\sum_g - 0,10)$
		idem, dichtere pakking	0,22 - 0,33	$0,7 (\sum_g - 0,17)$
		ongestoorde monsters uit oppervlakte weiland (silt loam)	0,02 - 0,4	$0,27 \sum_g$
Domby & Kohnke,	1956	1. silt loam verslempt 2. idem niet verslempt	} 0,13	$D_{b1}/D_{b2} = 0,55$
		1. idem verslempt 2. idem niet verslempt	} 0,25	$D_{b1}/D_{b2} = 1,0$

1e omdat in de grond een groot deel van het te doorstromen oppervlak bestaat uit water en vaste delen, waardoor praktisch geen gas kan diffunderen;

2e omdat de met lucht gevulde poriën, waardoor diffusie plaats moet hebben, onregelmatig van vorm zijn en bovendien voor een gedeelte geblokkeerd kunnen zijn door water of vaste delen.

Verschillen in vorm en het al of niet geblokkeerd zijn van met lucht gevulde poriën van de verschillende gronden zijn de oorzaak dat er niet voor alle gronden hetzelfde verband bestaat tussen het luchtgehalte en de diffusie-coëfficiënt. Het is daarom niet mogelijk het voor voldoende aeratie noodzakelijke luchtgehalte te berekenen uit een schatting van het zuurstofverbruik en een algemeen geldend verband tussen D_b en het luchtgehalte.

Van verslempte gronden is te verwachten dat vele poriën door verspoeld materiaal zijn geblokkeerd en dus geen transportfunctie meer vervullen; waardoor D_b in deze gronden aanzienlijk lager zal zijn dan op grond van het luchtgehalte te verwachten is. Om te bepalen of en in welke mate deze veronderstelling juist is, werd van een aantal ongeroerde monsters van de bovengrond van wel en niet verslempte percelen D_b bepaald bij verschillende luchtgehalten.

Literatuurgegevens over diffusie-coëfficiënten

Het verband tussen D_b en het luchtgehalte ($\sum_g$ in cm^3 lucht/cm^3 grond) kan het best beschreven worden met de functie $D_b/D_1 = \gamma \sum_g^{\mu}$ (CURRIE, 1960). Volgens PENMAN (1940) is D_b/D_1 onafhankelijk van de gassoort.

Over kortere trajecten of bij waarnemingen met grotere spreiding is het verband tussen D_b en $\sum_g$ te beschrijven met de lineaire functie

$$D_b/D_1 = a(\sum_g - b) \qquad (2)$$

Voor een aantal in de literatuur vermelde metingen zijn de in vergelijking (2) genoemde constanten bepaald en in tabel 1 gegeven.

Het blijkt dat bij de lagere luchtgehalten ($\sum_g < 0{,}18$) de waarde van de constante a aanzienlijk kleiner is dan die bij de hogere luchtgehalten.

Van de diffusie-coëfficiënt bij lagere luchtgehalten bestaan relatief

weinig metingen, hoewel dit juist het traject is waarin het gastransport de voor plantengroei beperkende factor kan worden.

Vergelijken we de diffusie van droge en vochtige materialen over een gelijk traject van $\sum_g$ dan blijkt de factor b bij vochtig materiaal meest hoger te zijn dan bij droog materiaal (deze factor b wordt wel geïnterpreteerd als het volume van de geblokkeerde luchtporiën - CALL, 1957; VAN DUIN, 1956).

Uit de metingen aan geroerde monsters zijn geen conclusies te trekken over verschillen tussen grondsoorten.

Een mogelijke reden hiervan is dat door het zeven en kunstmatig pakken van de grondmonsters de vorm en afmetingen van de met lucht gevulde poriën der verschillende grondsoorten weinig meer van elkaar afwijken.

Enige vergelijkende studies van gronden met duidelijk verschillende structuur (BLAKE en PAGE, 1948; DOMBY en KOHNKE, 1956; GRADWELL, 1960) tonen echter aan dat er een belangrijke invloed bestaat van de structuur op het verband tussen D_b/D_1 en $\sum_g$.

Meetmethode

De bepaling van de gasdiffusie-coëfficiënt in grondmonsters berust op de bepaling van de hoeveelheid gas die door een monster diffundeert als gevolg van een gasconcentratie-verschil tussen de beide uiteinden van het monster (zie verg. 1).

Bij de zogenaamde stationaire methode wordt een constant concentratieverschil tussen de uiteinden van het monster gehandhaafd. Hiervoor gebruikte gassen zijn onder andere zwavelkoolstof, aceton en aethyleendibromide (PENMAN, 1940; CALL, 1957).

Bij de niet-stationaire bepalingsmethode is het te handhaven concentratie-verschil niet constant. Hierbij wordt het grondmonster op een vat geplaatst waarin zich een gas bevindt met een concentratie die afwijkt van de concentratie in lucht.

De gasdiffusie-coëfficiënt wordt dan berekend uit de concentratie verandering van gas in het vat met de tijd.

Als gas is onder andere gebruikt zuurstof (TAYLOR, 1949) en waterstof (CURRIE, 1960). Door ons werd de niet stationaire bepalingsmethode gebruikt.

De onderzochte monsters werden gestoken in een 5 cm hoge monsterring

met een diameter van ongeveer 15 cm. Voor het begin van de meting werd van de onderkant van het monster eventuele versmeerde lagen verwijderd en voorkomende scheurtjes tussen grondmonster en ring afgedicht. Het grondmonster werd daarna geplaatst op een gazen bak waarvan de maaswijdte 2 mm was. Boven op de monsterring werd vervolgens een plexiglas kap geplaatst, met een hoogte van 10,5 cm en een oppervlakte van 124 cm^2. Hierbij werd zorggedragen voor een gasdichte afsluiting tussen monster en kap door middel van een kneedbare plastic (Bucarid). De kap werd gedurende 2 minuten met 100% zuurstof gespoeld en daarna afgesloten. De afname van de zuurstofconcentratie in de kap werd vervolgens gedurende één tot enkele uren geregistreerd. De registratie is uitgevoerd met een registrerende Cambridge millivoltmeter die was verbonden met een polarografische zuurstofanalysator (merk:Beckman, oxygen analyser model 777) waarvan de membraan overdekte electrode in de plexiglas kap was bevestigd.

Voor en na de meting werd de zuurstofconcentratie van de lucht buiten het meetvat geregistreerd.

Berekening

Voor de berekening van D_b wordt aangenomen dat het gastransport buiten het monster zo snel is dat concentratie gradiënten zowel in het vat boven het monster als in de buitenlucht onder het monster te verwaarlozen klein zijn.

Voor de één dimensionale diffusie-stroming door het monster geldt:

$$V \cdot A \cdot = \frac{dQ}{dt} = - D_b \cdot \frac{dc}{dx} \cdot A \qquad (3)$$

waarbij V de diffusie snelheid is door het monster en
A het monsteroppervlak.

Wordt de zuurstofberging in het monster verwaarloosd dan volgt uit formule (2):

$$\frac{dQ}{dt} = - D_b \frac{C_v}{h_m} \cdot A \qquad (4)$$

C_v is de zuurstofconcentratie in het vat wanneer de zuurstofconcentratie van

de buitenlucht nul gesteld is, h_m is de monsterdikte.

Voorts geldt:

$$\frac{dQ}{dt} = - \frac{d\ C_v}{dt}\ h_v\ .\ A \qquad (5)$$

Waarbij h_v . A gelijk is aan het volume van het vat. Combinatie van formule 4 en 5 geeft:

$$\frac{d\ C_v}{dt}\ .\ h_v = \frac{D_b\ C_v}{h_m} \qquad (6)$$

Intergratie van formule 6 voor de grensvoorwaarden

$t = 0 \qquad C_v = C_{vo}$

$t > 0 \qquad C_v = C_{vt}$

geeft als oplossing voor D_b:

$$D_b = \frac{h_m\ .\ h_v}{t}\ .\ 2{,}303\ \log \frac{C_{vo}}{C_{vt}} \qquad (7)$$

Hierbij is $\log \frac{C_{vo}}{C_{vt}}$ dus lineair afhankelijk van de tijd. De gemeten waarden van $\log \frac{C_{vo}}{C_{vt}}$ uitgezet tegen de tijd blijken inderdaad op een rechte te liggen (fig.1).

Wordt wel rekening gehouden met de berging in het monster, dan geldt volgens het continuiteitsprincipe:

$$\frac{dV}{dx} = - \frac{1}{\sum_g} \frac{dc}{dt} \qquad (8)$$

formule (7) ingevuld in (3) geeft dan:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{D_b}{\sum_g} \frac{d^2c}{dx^2} \qquad (9)$$

De oplossing van deze diffusie-vergelijking voor de bij de diffusiemeting aanwezige voorwaarden is analoog aan die van het probleem van warmtestroming door een plaat welke aan één kant op constante temperatuur wordt gehouden en met de andere zijde op tijdstip t = 0 in contact wordt gebracht met een bepaalde hoeveelheid goed geroerde vloeistof met afwijkende temperatuur (CURRIE,1960; CARSLAW and JAEGER,1950, pag.128,verg.8).De oplossing wordt:

$$\frac{C_{vt}}{C_{vo}} = \sum_{n=1}^{n=\infty} 2 \cdot \frac{\sum_g}{h_v} \cdot \frac{e^{-D\alpha_n^2 \cdot t/\sum_g}}{h_m\{\alpha_n + (\sum_g/h_v)^2\} + \sum_g/h_v} \qquad (10)$$

α_n = de n^e wortel van $\alpha h_m \tan \alpha h_m = \sum_g \frac{h_m}{h_v}$. Voor getabelleerde oplossingen $\alpha \tan \alpha = C$ zie CARSLAW and JAEGER, pag. 491.

Voor de gebruikte meetopstelling is bij $\sum_g = 0{,}27$ en $\frac{D_b}{D_l} = 0{,}05$ de 2e term van deze reeks na 60 seconden kleiner is dan 1% van de 1e term. D_b berekend uit de 1e term geeft:

$$D_b = \frac{\sum_g}{\alpha^2 t} 2{,}303 \log \frac{C_{vo}}{C_{vt}} \qquad (11)$$

Vergelijken we D_b berekend met inachtneming van de berging in het monster (D_{b2}) met D_b berekend met verwaarlozing van de berging (D_{b1}); dan blijkt dat door verwaarlozing van de berging D_b iets te laag berekend wordt, vooral bij grotere $\sum_g$ en een, in verhouding tot h_v, grotere h_m.

De afwijking tot waarden van $\frac{\sum_g \cdot h_m}{h_v} < 0{,}5$, is te beschrijven met de lineaire functie:

$$\frac{D_{b2}}{D_{b1}} = 1 + 0{,}342 \sum_g \frac{h_m}{h_v} \qquad (12)$$

Wanneer de berging in het monster nul wordt, dan wordt $\sum_g \frac{h_m}{h_v} = 0$ en geldt:

$$(\alpha h_m)^2 = \alpha h_m \tan \alpha h_m = \sum_g \frac{h_m}{h_v}$$

waardoor formule (11) gelijk wordt aan formule (7).

Bij de door ons uitgevoerde diffusie-metingen zijn de waarden van $\sum_g \frac{h_m}{h_v}$ kleiner dan 0,19 waardoor de maximale afwijking bij verwaarlozing van de berging 6,5% zou zijn.

De aanname dat concentratie-gradiënten buiten het monster te verwaarlozen zijn is niet correct wanneer het gastransport buiten het monster alleen door diffusie plaats zou hebben. Vooral bij monsters met een hoge diffusie-coëfficiënt, dus een lage diffusie-weerstand, zou de diffusie-weerstand buiten het monster de meting gaan beïnvloeden. Verhoging van de turbulentie door ventilators zowel in de kap als in het monster blijkt echter niet van invloed te zijn op de gemeten diffusie-coëfficiënt. Waarschijnlijk is daar dus nog zoveel luchtbeweging dat er geen merkbare concentratie-gradiënten ontstaan.

Uit diffusie-metingen aan monsters, bestaande uit luchtdicht materiaal waarin een aantal gaten zijn aangebracht van bekende diameter, is de diffusie-coëfficiënt van zuurstof in lucht (D_1) berekend. De op deze manier gevonden waarde van 0,203 cm^2/sec., bij een temperatuur van 20°C en luchtdruk van 1013 mb komt overeen met de in de literatuur gegeven waarde welke varieren van 0,200 tot 0,216 cm^2/sec. (Smithonian tables, 1956, WILLEY and TANNER, 1964).

Foutenbronnen bij de meting van de diffusie-coëfficiënt

Zuurstofverbruik van het grondmonster:

Het zuurstofverbruik van het monster als gevolg van bodemademhaling veroorzaakt een extra daling van de zuurstofconcentratie in de plexiglas kap. D_b wordt hierdoor te hoog bepaald.

Een zeer hoge waarde van het zuurstofverbruik is 10×10^{-6} g O_2/cm^2 uur en dit veroorzaakt in de kap een daling van 0,1 vol % zuurstof per uur. Bij een meetduur van 5000 seconden wordt hierdoor bij werkelijke waarden van D_b/D_1 van 0,05, 0,01 en 0,00 waarden voor D_b/D_1 bepaald van respectievelijk 0,05022, 0,0101 en 0,00009. Bij waarden van $D_b/D_1 > 0,01$ blijft dus de fout ook bij zeer hoog zuurstofverbruik beneden 1% van D_b.

Bij monsters met een lagere diffusie-coëfficiënt kan dit zuurstofver-

bruik een hogere procentuële fout veroorzaken, doch het is waarschijnlijk dat het zuurstofverbruik van deze dan meest zeer vochtige monsters aanzienlijk lager is (KZRYSCH, 1963).

In de door ons doorgemeten monsters is het zuurstofgebruik bij benadering $2,5 \times 10^{-6}$ g O_2/cm^2 uur. Bij waarden van D_b/D_1 hoger dan 0,001 is de fout van D_b hierdoor kleiner dan 2,2%.

Fouten in de zuurstofanalyse:

Gedurende een meetperiode van 5000 seconden is de bepalingsfout van de zuurstofconcentratie $\pm$ 0,5 vol %. Voor $D_b/D_1 > 0,01$ betekent dit een fout van D_b van $\pm$ 2,5%.

Bij zeer lage diffusie-coëfficiënten zal de meetduur echter aanzienlijk langer moeten zijn. Bij een zorgvuldige ijking is de fout over 48 uur meten lager dan $\pm$ 1 vol % zuurstof, wat overeenkomt met een fout voor D_b van $\pm$ $0,4\ 10^{-5}$ cm^2/sec. of voor D_b/D_1 van $\pm\ 2\ .\ 10^{-5}$.

Voor totaal met water verzadigde monsters is D_b/D_1 ongeveer 1×10^{-6}. Wil men deze waarden kunnen bepalen dan zal men aanzienlijk dunnere monsters en een meetkap met geringer volume moeten gebruiken.

Verwaarlozing van de invloed van temperatuur en luchtdruk op de diffusie-coëfficiënt:

De diffusie-coëfficiënt van een gas is afhankelijk van de temperatuur en de luchtdruk volgens:

$$D_1 = D_2 \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{1,75} \frac{P_2}{P_1}$$

(Smithonian tables).

De metingen zijn verricht bij een temperatuur van 20°C $\pm$ 3 °C, dit betekent een fout voor D_b van $\pm$ 2%. Een schatting van de luchtdruk is 1013 mb $\pm$ 25 mb dit betekent een fout voor D_b van 2,5%.

Totale bepalingsfout van D_b: Gezien de grootte van de bovengenoemde bepalingsfouten, zal de bepalingsfout van D_b in de bovenste 5 cm van de verschillende gronden zoals gegeven in figuur 2 kleiner zijn dan 5%. Verder

is de bepalingsfout van $\sum_g$ kleiner dan $\pm$ 0,005 cm^3 lucht/cm^3 grond.

Beschrijving van de onderzocht monsters

In het onderzoek zijn de volgende monsters betrokken:

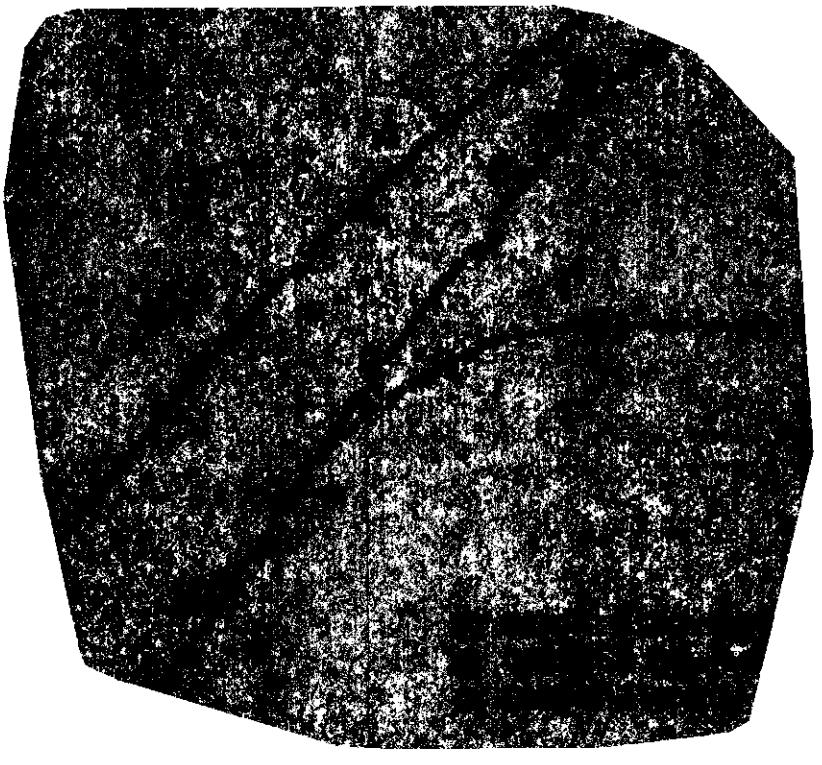
a. Noord Friesland	1. 'Hania'	7% < 2μ;	3 % humus,	M: 42; Por. vol. 50%
	2. 'Gerbens'	17% < 2μ;	3 % humus;	M: 38; Por. vol. 46%
b. Oostelijk Flevoland	1. 'Gediepploegd'	17% < 2μ;	8 % humus;	M: 30; Por. vol. 67%
	2. 'Bezand'	16% < 2μ;	1,8% humus;	M: 90; Por. vol. 43%
	(oorspr.grond M:110)	30% < 2μ;	M 30) zand 2,7% < 2μ;	
c. Schouwen	'Haamstede'	8-10% < 2μ;	1,9% humus;	M:140; Por. vol. 40-45%
d. Oud-Karspel	1. 'Lichte zavel'	12% < 2μ;	2,3% humus;	M: 50; Por. vol. 51-54%
	2. 'Zware zavel'	25% < 2μ;	1,6% humus;	M: 37; Por. vol. 51%

Ad. a. Deze Noordfriese gronden zijn zeer slempgevoelig. Object Hania is bemonsterd in zomertarwe, dus op een na de winter bewerkte bouwvoor, op een niet verslempte plek. Object Gerbens is in wintertarwe bemonsterd op een verslempte plek.

Ad. b. De bemonsterde objecten in O.Flevoland (in vak R) zijn in het kader van een onderzoek naar de mogelijkheden tot verbetering van de bewerkbaarheid gediepploegd respectievelijk bezand. De diepploeg kavel is zeer humusrijk met een uiterst gunstige structuur, de bezande kavel maakt een slempige indruk, mede omdat de vertikale doorlatendheid van de laag onder de bouwvoor sterk gedaald is tengevolge van egalisatiewerk vóór het bezanden.

Ad. c. De monsters uit Haamstede zijn afkomstig uit het overgangsgebied tussen duinen en polder. Dit gebied is berucht wegens de zeer dichte structuur van de bouwvoor, door KUIPERS (1960) betonstructuur genoemd. Onderzocht zijn drie monsters van slechte plekken (slecht gewas, reductie in de bouwvoor) en één goede plek. Deze laatste heeft ook het hoogste poriënvolume.

Ad. d. De monsters uit Oudkarspel zijn afkomstig van een gediepploegd perceel.



De oorspronkelijke zware klei (38% < 2μ) is vervangen door zware zavel (25% < 2μ) en lichte zavel (12% < 2μ). De lichte zavel heeft gedurende winter en voorjaar een hoger luchtgehalte en vertoont minder plasvorming dan de zware zavel.

Resultaten van de metingen

In figuur 2 is het verband weergegeven tussen het luchtgehalte en de diffusie-coëfficiën (D_b). Opvallend is dat de monsters uiteen vallen in twee groepen, die zich langs de lijnen A en B rangschikken.

Langs lijn A liggen de meetresultaten van de monsters uit O.Flevoland en van de goede plekken uit Haamstede en Noord-Friesland (Hania). Bij luchtgehalten tussen 12% en 25% liggen de gevonden D_b-waarden iets lager dan die, welke men bijvoorbeeld berekent met de formule van CALL (1957):

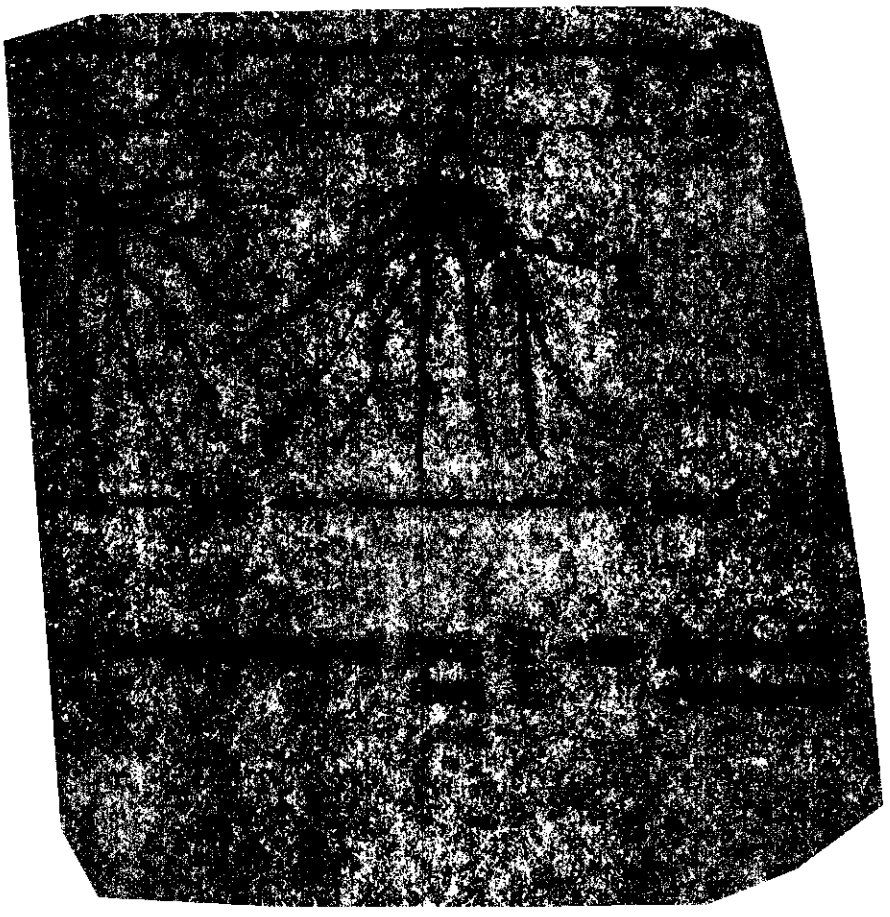
$$D_b/D_1 = 0{,}66\ (\sum_g - 0{,}1)$$

De overige meetresultaten liggen langs lijn B. Zij hebben alle betrekking op gronden, waarvan verwacht kan worden dat er relatief minder 'doorgaande' poriën in voorkomen dan in gronden met een stabiele structuur.

Dat verspoeling van materiaal inderdaad kan leiden tot een drastische verlaging van de diffusie-coëfficiënt tonen de meetresultaten van de lichte zavel uit Oudkarspel, waardoor de onderbroken lijn C is getrokken. Dit monster is in het laboratorium met een plantensproeier oppervlakkig sterk verslempt. Boven 20 vol. % lucht blijkt de diffusie-coëfficiënt niet meer beinvloed te worden door het luchtgehalte.

Betekenis resultaat

De betekenis van de afname van de diffusie-coëfficiënt wordt bepaald door de grootte en verdeling van de ademhalingsactiviteit van plantenwortels en bodem-micro-organismen en verder door de noodzakelijke zuurstofconcentratie aan de oppervlakte van de plantenwortels. Omdat vooral van de ademhalingsaktiviteit bij bloembollen weinig bekend is, is de nu volgende voorbeeldberekening (zie ook fig. 3) niet meer dan een ruwe benadering van de werkelijkheid:



Een niet aktieve bovenlaag van 5 cm (I) rust op een 25 cm dikke laag (II) waarin zuurstof wordt verbruikt. Aangenomen is dat onder laag II geen zuurstofverbruik plaatsheeft.

Voor het concentratie-verschil (dc) nodig voor het zuurstoftransport in de aktieve laag I geldt voor stationaire stroming:

$$dc = - dx \frac{(L - b)}{d_{b1}} \cdot \alpha \qquad (13)$$

en in de aktieve laag II:

$$dc = - \frac{\alpha}{D_{b2}} d(lx_1 - \frac{1}{2} x_1^2) \qquad (14)$$

(VAN BAVEL, 1951)

$l = L - b$
$x_1 = x - b$
α = zuurstofverbruik ($g/cm^3.sec$)
(overige symbolen zie fig. 3)

Daar bloembollen zich reeds vroeg in het voorjaar ontwikkelen is een redelijke aanname van het zuurstofverbruik 0,129 g/m^2 uur of per cm^3 aktieve grond gerekend (α) 0,132 . 10^{-9} $g/cm^3.sec$.

Bij een homogene niet verslempte grond met een luchtgehalte van 10 vol % is D_b voor beide lagen ca 1,5 . 10^{-3} cm^2/sec. De zuurstofconcentratie afname in laag I bedraagt dan, omgerekend in volume procenten, 0,8 vol.% en in laag II 2,1 vol.% zodat het zuurstofgehalte van de bodemlucht op 30 cm diepte 2,9 vol.% lager is dan aan het bodemoppervlak. Is laag I echter verslempt dan is bij een luchtgehalte van 10 vol% D_{b1} 0,45 . 10^{-3} $cm^2/sec.$, waardoor de concentratie-afname over laag I 2,8 vol.% wordt, de concentratie afname in laag II blijft gelijk zodat nu het zuurstofgehalte op 30 cm diepte 4,9 vol.% lager is dan aan het bodemoppervlak, ofwel 16,3 vol.%.

Of dit zuurstofgehalte voldoende is valt niet met zekerheid te zeggen. Een zuurstofconcentratie aan het worteloppervlak overeenkomend met een zuurstofgehalte in lucht van 10 vol.% is voor de meeste gewassen voldoende

(HARRIS en VAN BAVEL, 1957; CANNON, 1925). Doch in vochtige grond kan het concentratie verval vlak om de wortels zeer aanzienlijk zijn (LEMON, 1962) zodat hogere zuurstofconcentraties in de bodemlucht noodzakelijk zijn.

Als criterium voor voldoende aeratie wordt ook wel gebruikt, dat het koolzuurgehalte van de bodemlucht op 15 cm diepte niet boven 1 vol.% mag stijgen (WESSELING, 1957) {Hoewel vergiftiging van de plant door koolzuur zelf bij onvoldoende aeratie niet waarschijnlijk is (BERGMAN, 1959)} Aangenomen dat de koolzuurproduktie gelijk is aan het zuurstofverbruik, is in de evenwichtstoestand het koolzuurgehalte op 15 cm diepte bij een niet en wel verslempte bovenlaag respectievelijk 2,1 en 4,1 vol.%. Dit zou betekenen dat door de verslemping de aeratie ver beneden dit criterium zou komen.

Conclusies

1. De gebruikte meetmethode levert reproduceerbare gegevens omtrent de diffusie-coëfficiënt van gassen in grond.

2. Het luchtgehalte op zich is geen maat voor het mogelijke gastransport in de grond, omdat de gasdiffusie-coëfficiënt tevens afhankelijk is van de bodemstructuur

3. Voor een juiste interpretatie van de grootte van de diffusie-coëfficiënt met betrekking tot de gasuitwisseling in de bodem is nog onvoldoende bekend van de ademhalingsactiviteit van plantenwortels en micro-organismen in de bodem.

Literatuurlijst

BAVEL, C.H.M. VAN, 1951. A soil aeration theory based on diffusion. Soil Sci. 72: 33 - 46

_____ 1952. Gaseous diffusion and porosity of porous media. Soil Sci. 73: 91 - 104

BERGMAN, H.F., 1959. Oxygen deficiency as a cause of disease in plants. Bot. Rev. 25: 418 - 485

BLAKE, C.G. and J.B. PAGE, 1948. Direct measurement of gaseous diffusion in Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13: 37 - 42

BOEKEL, P. 1963. Soil structure and plantgrowth. Neth. J. Agric. Sci. 11: 120 - 127

_____ en A. PELGRUM, 1966. Bodemfysisch onderzoek op enkele percelen tulpen in Noord-Holland. Groningen I.B. Rapport no. 4: 8 pp

BUCKINGHAM, E. 1904. Contribution to our knowledge of the aeration of soils. U.S. Dep. Agric. Bureau of Soil 25: 51 pp

CALL, F. 1957. Soil fumugation V. Diffusion of ethylene dibromide through soils. J. Sci. Fond. Agric. 8: 143 - 150

CANNON, W.A., 1925. Physical features of roots with especial reference to the relation of roots to aeration of the soil. Carnegie Inst. Wash. 368: 168 pp

CURRIE, J.A. 1960. Gaseous diffusion in porous media.Brit. J. Appl. Phys. 11: 314 - 324

_____ 1961. Gaseous diffusion in porous media. III-Wet granular material. Brit. J. Appl. Phys. 12: 275 - 281

DUIN, R.H.A. VAN, 1956. On the influence of tillage on the conduction of heat, diffusion of air and infiltration of water in soil (Dutch) Versl. Landbouwk. Onderz. No. 62.7

DOMBY, C.W. and H. KOHNKE, 1956. The influence of soil crust on gaseous diffusion. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 1 - 5

GRADWELL, M.W. 1961. A laboratory study of the diffusion of oxygen through pasture top soils. N.Z.J. of Sci. 4: 250 - 270

HARRIS, D.G. and C.H.M. VAN BAVEL, 1957. Growth, yield and water absorption of tobaccoplants as affected by the composition of the root-atmosphere Agron. J.49: 11 - 14 and 176 - 184

KUIPERS, S.F. 1960. Een bijdrage tot de kennis van de bodem van Schouwen-Duiveland en Tholen naar de toestand voor 1953. Versl. Landbk. Onderz. no. 65.7

LEMON, E.R. 1962. Soil aeration and plant-root relations Agron. J. 54: 167 - 170

PENMAN, H.L. 1940. Gas and vapour movements in the soil (I and II). J. Agric. Sci. 30: 437 - 462 and 570 - 581

ROMELL, L.G. 1922. Der Boden-ventilation als ökologischer Faktor. Medd. Skogs forsk Inst. Stockh. 19: 125 - 359

SMITHONIAN Physical Tables 9th ed. (New York: Smithonian Institution, 1956)

WESSELING, J. 1957. Some aspects of the water government in agricultural soils (Dutch). Versl. Landbk. Onderz. 63.5

WILLEY, C.R. and C.B. TANNER, 1964. A steady-state method for laboratory measurement of the oxygen diffusivity of porous materials. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 733 - 737