

De luchthuishouding van de grond in verband met de zuurstofvoorziening van de gewassen

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen

ir. P. Boekel

1 Inleiding

Voor de groei van de gewassen is het nodig dat water en voedingsstoffen door de wortel worden opgenomen. Voor een goede ontwikkeling van het wortelstelsel is de aanwezigheid van een voldoende hoeveelheid zuurstof in de grond noodzakelijk. Ook bij de microbiologische processen die zich in de grond afspelen wordt veel zuurstof verbruikt. Het is daarom nodig dat uit de atmosfeer doorlopend zuurstof wordt aangevoerd en koolzuur, dat bij de ademhaling vrijkomt, vanuit de grond wordt afgevoerd. Er zal dus een voldoende uitwisseling moeten kunnen optreden. Een dergelijke uitwisseling komt volgens elders verricht onderzoek vrijwel geheel voor rekening van de via de met lucht gevulde poriën verlopende diffusieprocessen.

Voor een goede zuurstofvoorziening van de gewassen is dus een zodanige ruimtelijke opbouw van de grond nodig dat een voldoende diffusie kan plaatsvinden. De vraag is dan uiteraard bij welke structuurtoestand van de grond dat het geval is. Het antwoord daarop kan op verschillende wijzen worden verkregen. De eerste mogelijkheid is om gegevens te verzamelen over de hoeveelheden in de grond verbruikte zuurstof en geproduceerde koolzuur, om daarna met behulp van wetmatigheden die voor diffusieprocessen gelden af te leiden welk volume aan met lucht gevulde poriën in de grond nodig is om die hoeveelheden gas aan te vullen of af te voeren. Deze werkwijze werd door verschillende buitenlandse onderzoekers toegepast.

Een andere mogelijkheid is om de directe relatie tussen de ruimtelijke opbouw van de grond en de groei en opbrengst van de gewassen te bestuderen. Dergelijk onderzoek werd o.a. door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid verricht.

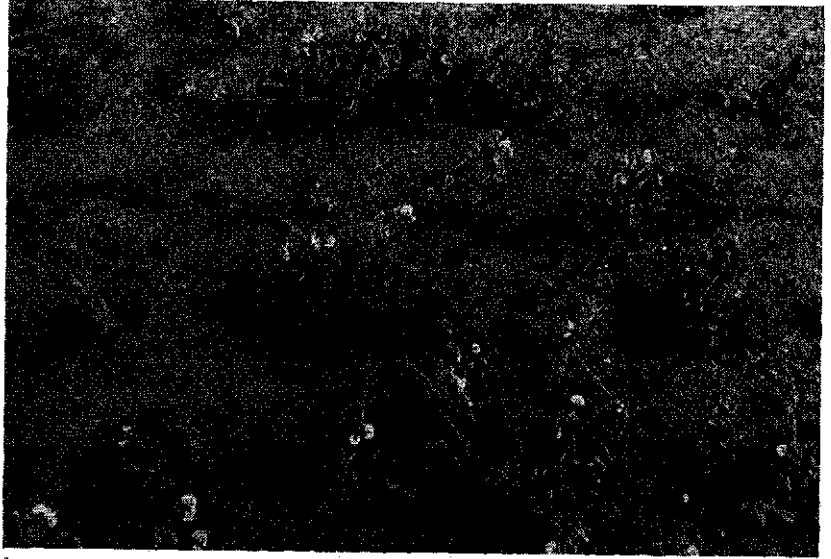
Over beide richtingen van onderzoek zal in het volgende het een en ander worden medegedeeld.

2 Zuurstofvoorziening in verband met de diffusie in de grond

Om langs deze weg tot een uitspraak over de benodigde ruimtelijke opbouw van de grond te komen zullen gegevens beschikbaar moeten zijn

Bodem no 165/66 (Herfst/Winter 1966)¹ 2-9.

a.



b.



- a: zeer dichte grond, luchtgehalte bij veldcapaciteit 14,5 vol.%, opbrengst aan korrel 40 kg/ha
b: goede structuur, luchtgehalte bij veldcapaciteit 22,1 vol.%, opbrengst aan korrel 3630 kg/ha

over de hoeveelheden zuurstof en koolzuur die resp. worden gebruikt en geproduceerd en over de gehalten aan zuurstof of koolzuur in de grond die de planten nodig hebben resp. kunnen verdragen. Verder moet voldoende over de samenhang tussen diffusie en ruimtelijke opbouw bekend zijn.

a Verbruik van zuurstof en vorming van koolzuur door gewas en grond

De in de literatuur vermelde waarden over verbruik van zuurstof en productie van koolzuur lopen enigszins uiteen. Dat is ook wel te verwachten omdat de planten nogal kunnen verschillen in activiteit en omdat er een grote variatie bestaat in microbiologische processen, voornamelijk als gevolg van verschillen in de samenstelling van de grond en veranderingen in temperatuur en vochtgehalte in de loop van de tijd.

Onderzoekers in het buitenland vonden dat het zuurstofverbruik van plantewortels van aardappelen 4,0; van gerst 4,7; van kool 6,0 en van tabak 5,4 liter per m² per dag was. Het verbruik van de grond zelf, afhankelijk van grondsoort en structuur, varieerde van 5-10 liter per m² per dag.

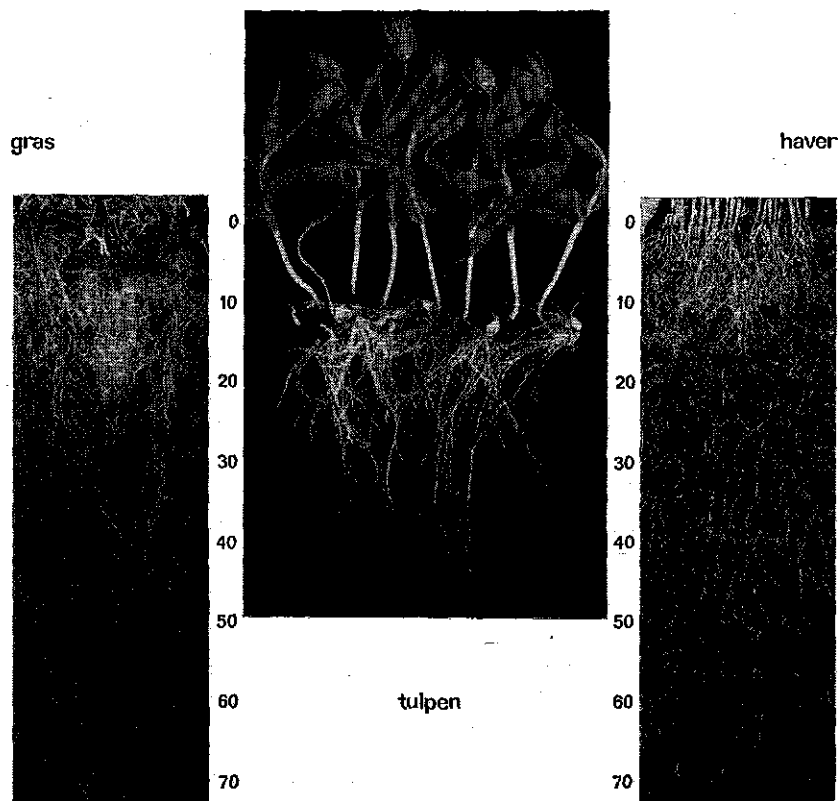
Over de hoeveelheden in de grond geproduceerde koolzuur worden in de literatuur cijfers genoemd, die uiteenlopen van 5-7 liter CO₂ per m² per dag. Alleen door het gewas zou zeker 2 (suikerbieten) - 4 (luzerne) liter per m² per dag worden geproduceerd. De productie door de plant zal uiteraard geleidelijk met de ontwikkeling van het gewas toenemen. Omdat de CO₂ vorming door de grond zelf sterk afhangt van temperatuur en vochtgehalte, is het niet verwonderlijk dat bij vochtig weer hoeveelheden van 15 liter per m² per dag worden gevonden.

b Benodigde zuurstofgehalte en toelaatbare koolzuurgehalte

Het is gebleken dat vrijwel alle planten een normale groei vertonen bij zuurstofgehalten in het wortelmilieu boven 10%. In de grond is echter de som van O₂ en CO₂ vrijwel constant ongeveer 20% en dat betekent dat bij een O₂ gehalte van 10% ook 10% CO₂ aanwezig is.

Bij een lager O₂ gehalte kan een achteruitgang in groei dus zowel het gevolg zijn van een te laag O₂ gehalte, als van een te hoog gehalte aan CO₂.

Een CO₂ gehalte van meer dan 10 à 12% schijnt inderdaad schadelijk te zijn voor de meeste planten. Maar daarbij moet wel bedacht worden dat het CO₂ gehalte rondom de wortels meestal veel hoger is dan gemiddeld in de grond, zodat het gemiddelde gehalte in de grond aanmerkelijk lager zal moeten zijn. Daarom wordt wel als eis gesteld dat het CO₂ gehalte op 15 cm diepte niet boven 1% mag komen, vooral ook omdat op grotere diepten dan nog veel hogere waarden kunnen voorkomen. We mogen dus wel aannemen dat het O₂ gehalte in de grond zeker niet meer dan enkele procenten mag dalen.



Beworteling van enkele gewassen

c De uitwisseling van gassen tussen grond en atmosfeer

De uitwisseling van zuurstof en koolzuur tussen de grond en de atmosfeer vindt vrijwel volledig door diffusie plaats. Het is daarom mogelijk in dit geval de bekende diffusiewetten toe te passen. De hoeveelheid gas die door een grondkolom diffundeert hangt daarbij samen met het concentratieverschil tussen grond en atmosfeer en met de diffusieconstante in de grond.

Aangezien de diffusie in de grond vrijwel volledig door de met lucht gevulde poriën moet plaatsvinden, is een samenhang tussen beide te verwachten. Die samenhang werd inderdaad door enkele onderzoekers vastgesteld. Er zijn echter aanwijzingen dat door verschil in vorm en

kronkeligheid van de poriën die samenhang voor alle grondsoorten niet gelijk is en dat bv. bij een bepaald volume aan grote poriën kleigronden een grotere diffusie vertonen dan zandgronden.

Wanneer we echter de door *Penman e.a.* gevonden samenhang tussen watervrije poriënvolume en diffusieconstante hanteren, kunnen we aan de hand van de gegevens over zuurstofverbruik en vereist zuurstofgehalte globaal berekenen hoe groot het volume aan met lucht gevulde poriën moet zijn om een bepaalde hoeveelheid verbruikte zuurstof op bepaalde diepte weer voldoende snel te doen aanvullen (tabel).

Hoeveelheid verbruikte O ₂ of geproduceerde CO ₂ in liter per m ² per dag	Diepte (cm) in de grond van O ₂ verbruik of CO ₂ produktie	Benodigde volume aan met lucht gevulde poriën (vol. %)
15	5	15
15	10	17
15	15	20
10	5	12
10	10	15
10	15	17
5	5	10
5	10	12
5	15	15

Volgens deze berekening zou het vereiste luchtgehalte variëren van 10-20 vol. % waarbij de hoogste gehalten nodig zijn bij groot zuurstofverbruik op grote diepte en de laagste bij gering zuurstofverbruik op geringe diepte. Dit zal betekenen dat een gewas met oppervlakkige worteling, o.a. gras, minder hoge eisen aan het luchtgehalte van de grond zal stellen dan gewassen die de grootste hoeveelheid van de wortels dieper hebben.

3 Invloed van het luchtgehalte van de grond op de groei van de gewassen

Hoewel in de literatuur veel is geschreven over het belang van een voldoende luchtgehalte in de grond voor de groei van de gewassen worden slechts weinig gegevens vermeld over de benodigde gehalten. Volgens *Kopecki* zouden voor de groei van enkele gewassen de volgende luchtgehalten nodig zijn:

gras	6-10 vol. %
tarwe	10-15 " "
haver	10-15 " "
gerst	15-20 " "
suikerbieten	15-20 " "

Hij was dus van mening dat alle gewassen niet dezelfde eisen stellen aan het luchtgehalte van de grond en dat het in geen geval groter dan 20 vol. % behoeft te zijn. Het is daarom opmerkelijk dat later van Russische zijde werd vermeld dat de hoogste opbrengsten aan katoen, gerst en zomertarwe bij luchtgehalten boven 30 vol. % werden verkregen.

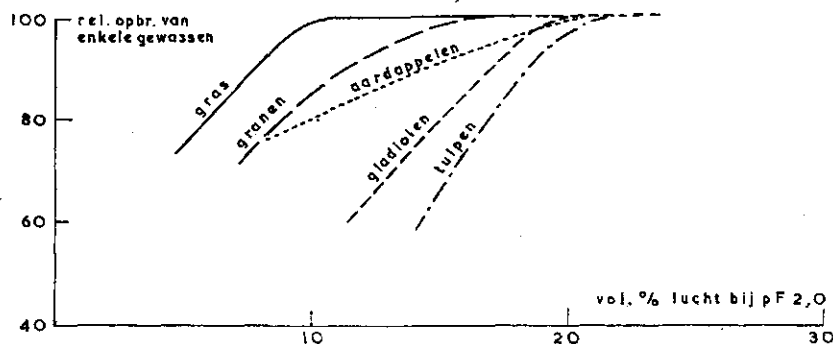
Andere onderzoekers daarentegen vonden pas een sterke teruggang in opbrengst van suikerbieten wanneer het luchtgehalte bij veldcapaciteit lager was dan 10 %. *Baver* gaf later een tabel met benodigde luchtgehalten, waarbij de variatie van 9–22 % in hoofdzaak met de grondsoort samenhangt.

Deze gegevens vormen een aanwijzing dat het benodigde luchtgehalte zowel van de grondsoort als van het gewas afhangt. Ook bij eigen onderzoek is dat duidelijk naar voren gekomen. De resultaten daarvan wijzen erop dat globaal op zware kleigrond voor akkerbouwgewassen een luchtgehalte bij pF2* vereist is van 10–15 vol. %, op zavelgrond van 15–20 vol. % en op zandgrond van 20–25 vol. %. In een droge groeiperiode kan in het algemeen met een lager luchtgehalte worden volstaan dan in een nat jaar. Onze ervaring is dat hogere luchtgehalten dan de hier genoemde in het algemeen geen voordeel meer opleveren en op de lichtere gronden als gevolg van een minder gunstige vochtvoorziening zelfs een ongunstig effect kunnen sorteren.

Het onderzoek heeft verder duidelijke aanwijzingen gegeven dat de verschillende gewassen zeer verschillende eisen aan het luchtgehalte in de bouwvoor stellen. Enkele resultaten zijn in onderstaande figuur weergegeven.

Daaruit kan worden afgeleid dat op zavelgronden grassen bij een luchtgehalte bij pF2 van 10 vol. % de hoogste opbrengsten geven, granen

* Het luchtgehalte bij pF2 of bij veldcapaciteit is het vol. % lucht dat bij een zuigspanning van 1 m water in de grond aanwezig is. Een dergelijke toestand wordt in het veld meestal enkele dagen na overmatige regenval aangetroffen.



Invloed van het luchtgehalte bij pF 2 op de opbrengst van enkele gewassen op zavelgrond.

bij een luchtgehalte van 16 à 17 vol. % en bol- en knolgewassen als aardappelen, tulpen en gladiolen bij een gehalte van ongeveer 20 vol. %.

Dit verschil in benodigd luchtgehalte tussen de verschillende gewassen hangt ongetwijfeld samen met verschil in diffusie als gevolg van verschil in de gemiddelde bewortelingsdiepte van de gewassen (tabel bladz. 6). Gras van verscheidene jaren oud heeft een zeer oppervlakkig wortelstelsel (0-20 cm), terwijl granen de wortels voornamelijk in de laag 0-40 cm hebben. Tulpen worden op een diepte van 8 à 10 cm gepoot en vormen de wortels daar beneden (zie fig. beworteling van gras, graan en tulpen).

Naarmate een gewas de grootste hoeveelheid wortels op grotere diepte heeft, zal voor een voldoende toevoer van zuurstof en afvoer van koolzuur het volume aan met lucht gevulde poriën groter en de grond dus losser moeten zijn.

Hieruit blijkt wel dat de resultaten van dit onderzoek naar de samenhang tussen luchtgehalte van de grond en groei van de gewassen in grote lijnen overeenstemmen met de gegevens die we via zuurstofverbruik en diffusie hebben kunnen afleiden.

De vraag hoe wij de luchthuishouding van de grond kunnen beïnvloeden is een vraagstuk op zichzelf. We krijgen dan te maken met de invloed van verschillende bodemfactoren (kalktoestand, organische stofgehalte, waterhuishouding) en van ingrepen van de mens (grondbewerking en bemesting) op de grond. Dit vraagstuk is van groot belang voor de landbouw.

Geraadpleegde literatuur

- Bavel, C. H. M. v. Soil aeration theory based on diffusion. Soil Sci. 72 (1951).
- Baver, L. D. Soil Physics. John Wiley-Sons New York (1956).
- Boekel, P. Soil structure and plant growth. Neth. J. Agric. Sci. Vol 11 (1963) no. 2 Special Issue.
- Buckingham, E. Contribution to our knowledge of the aeration of soil. U.S. Bur. Soils Bull 25 (1904).
- Currie, J. A. Gaseous diffusion in the aeration of aggregated soils. Soil Sci. 92 (1961) 40-45.
- Duin, R. H. A. Over de invloed van grondbewerking op het transport van warmte, lucht en water in de grond. Versl. Landbk. Onderz. F 62.7 (1956).
- Fontaine E. R. and 2000 litre soil respirometer.
- Brown, N. J. A. J. Agric. Engin. Res. 4 (1959) 307-311.

- Penman, H. L. Gas and vapour movement in the soil. I The diffusion of vapours through porous solid. Journ. Agr. Sci. **30** (1940) 438-462.
- Taylor, S. A. Oxygen diffusion in porous media as a measure of soil aeration. Soil Sci. Soc. Am. Proc. **14** (1949) 555-561.
- Wesseling, J. Enige aspecten van de waterbeheersing in de landbouwgronden. Versl. Landbk. Onderz. No. 63-5 (1957).