



Statens
Planteavlsforsøg

Planteværnscentret
Administrationen
Lottenborgvej 2 – DK-2800 Lyngby

Beretning nr. S 1773

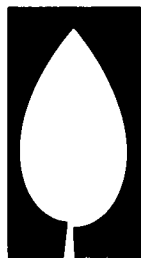
En laboratoriemetode til måling af luftdiffusion i jord

A laboratory method for determination of gas
diffusion in soil

P. Schjønning
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1985



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1773

En laboratoriemetode til måling af luftdiffusion i jord

A laboratory method for determination of gas
diffusion in soil

P. Schjønning
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1985

<u>Indholdsfortegnelse</u>	<u>side</u>
Resume	4
Summary	4
1. Indledning	5
2. Forundersøgelser	6
2.1. Måleprincipper	6
2.2. Iltmåling	7
3. Opbygning af udstyr	8
3.1. Diffusionskammeropstilling	8
3.2. Elektronik	9
3.3. Dataopsamling	9
4. Analyseprocedure	10
4.1. Kalibrering	10
4.2. Klargøring til måling	10
4.3. Diffusionsperiode	11
5. Beregninger	11
6. Kontrol af måleudstyr	16
6.1. Diffusionskamre	16
6.2. Jordprøveholderen	16
6.3. Trådnet under prøverne	16
6.4. Iltforbrug i jordprøven	17
6.5. Elektroder og elektronik	17
7. Sammenfattende vurdering	18
8. Erkendtlighed	18
9. Litteratur	19

Resumé

Porøsitets- og luftskifteforhold i jord kan vurderes ved bestemmelse af diffusionshastigheden for en luftart gennem jorden.

Ved Højer Forsøgsstation er der opbygget et udstyr til samtidig måling af ilt diffusion på 12 jordprøver.

Det anvendte metodeprincip er registrering over tiden af en initialt etableret, men aftagende koncentrationsgradient over jordprøven - en såkaldt non-steady state metode.

I beretningen beskrives udstyrets opbygning. Detaljer ved de anvendte komponenter diskuteres.

Kalibrerings- og analyseprocedure gennemgås. Typisk vil en måleserie (12 prøver) incl. kalibrering af udstyret strække sig over 1-2 timer. Dataopsamlingen er imidlertid automatiseret, hvorfor operatortid pr. måleserie indskrænkes til ca. 15 minutter.

Der findes to forskellige beregningsmetoder for at finde frem til diffusionskoefficienten, som er den parameter, der angiver transportbetingelserne i en prøve.

Diffusionskoefficienten bestemmes ud fra hældningskoefficienten til en regressionslinje for logaritmen til koncentrationsgradienten mod tiden.

Det vises, at der til beregningerne kan anvendes en formel, som kun kræver kendskab til målesystemets dimensioner.

Gennemgang af en række kontrolmålinger med udstyret viser, at der opnås en god nøjagtighed ved målinger på jordprøver med de vandindhold, der oftest findes i jorden i vækstsæsonen.

Nøgleord: Luftdiffusion, laboratoriemetode.

Summary

An apparatus is described, which is designed for determination of gas diffusion in soil. The measuring principle is a non-steady state proces of oxygen diffusion into nitrogen.

The construction of the equipment makes it possible to simultaneously analyse 12 parallel samples. Data acquisition is automized by means of a microcomputer.

Calculation of the diffusion coefficient is based on a regression line in a plot of logarithms to concentration gradients versus time.

It is shown that a simplified equation can be used in the calculation, requiring knowledge only of the dimension of the measuring apparatus.

Experiments have shown, that reasonable accuracy can be obtained with the method described, provided that the water content in the soil sample analysed is in the range normally found in agricultural topsoils in the growing season.

Key words: Gas diffusion, non-steady state method.

1. Indledning

Levende planterødder kræver tilførsel af ilt og bortskaffelse af kuldioxid under respirationen. Det har derfor afgørende betydning for en optimal plantevækst, at der til stadighed sker en udskiftning af jordluften omkring rødderne.

Transport af luft i jordens trefasede system kan ske i de luftfyldte porer og i opløst form i jordvandet. For de fleste gasarter er diffusionshastigheden dog væsentligt langsommere i vand end i luft - for O_2 således en faktor 10^4 .

En tynd vandhinde om en rod kan derfor være en større barriere for luftskiftet end et tykt jordlag over roden.

Under våde forhold ses der til tider skader på afgrøderne i marken, som skyldes et mangelfuldt luftskifte. Der er et behov for at belyse, hvilke dyrkningsforanstaltninger der via porestørrelsesfordeling og -kontinuitet påvirker luftskifteforholdene i jord.

Endvidere giver lufttransportbetingelserne værdifulde oplysninger specielt om poresystemets opbygning.

Med baggrund i ovenstående er der ved Højer Forsøgsstation opbygget en metode til måling af ilt diffusion i jord. I nærværende beretning beskrives måleprincip og anvendt teknik ved metoden.

2. Forundersøgelser

2.1. Måleprincipper

Der findes 4 principielt forskellige metoder til gasdiffusionsmåling. I fig. 1 er skitseret princippet for metoderne. For alle metoder gælder, at en jordprøve anbringes i et målesystem, hvorefter der etableres en koncentrationsgradient, som forårsager en diffusionsproces. Ved metode 1 og 2 sker transporten mellem atmosfæren og et kammer, mens 3 og 4 udgør lukkede systemer. I metode 1 skabes den koncentrationsgradient, der driver diffusionen, ved at en væske med højt damptryk er anbragt i kammeret under jordprøven. Ved de tre øvrige systemer frembringes gradienten ved fjernelse eller tilsætning af en målelig gasart et sted i målesystemet.

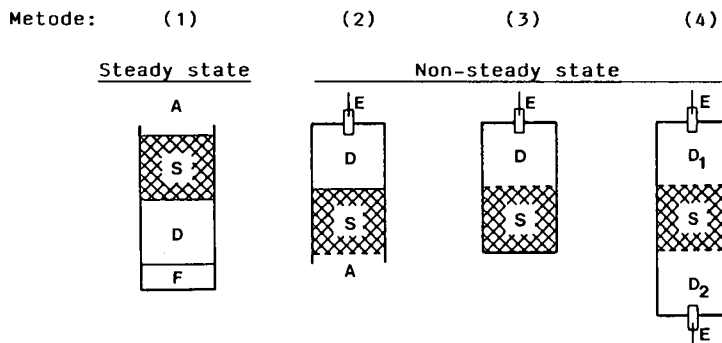


Fig. 1. Princippet i 4 metoder til måling af gasdiffusion
===== i jordprøver.

A = atmosfære

S = jordprøve

D = diffusionskammer

E = måleenhed

F = væske med højt damptryk

Der er fordele og ulemper ved alle fire måleprincipper. Metode 3 og 4 har den fordel, at ændring i barometerstand pga. det lukkede system ikke kan forårsage stoftransport ved strømning. Til gengæld er disse systemer upraktiske at arbejde med og kræver dyrt måleudstyr i form af gaskromatograf eller udstyr til

registrering af radioaktiv stråling. Udover de her nævnte faktorer er der en række aspekter, der skal tages i betragtning ved valg af metode. Der skal dog ikke her gøres nærmere rede for dette.

På grund af den naturligt forekommende variation i jord kræves analyse af et stort antal prøver for at karakterisere luftskifteforholdene. Uanset måleprincip udstrækker en analyse på en prøve sig over en til flere timer - afhængig af porøsitet og vandindhold i jorden. Derfor er det ønskeligt, at der med målesystemet kan foretages flere samtidige analyser.

Efter overvejelser over de nævnte aspekter er opbygget et målesystem efter princip nr. 2 i fig. 1. Måleprincippet er oprindeligt foreslået af *Taylor* (9), og i Danmark anvendt af *Bodholt* (2) og *Willumsen* (10).

Som diffunderende gas er valgt molekyler O_2 , idet iltkoncentrationen i kammeret initialt reduceres til næsten nul ved at "skylle" med iltfri N_2 . Samtidig med diffusion af O_2 -molekyler fra den omgivende atmosfære ind i kammeret bevæger N_2 -molekyler sig i modsat retning. N_2 - og O_2 -molekyler har omtrent samme diffusionshastighed i fri luft. Dette sikrer, at der ikke sideløbende foregår en bevægelse af luft ved trykforårsaget strømning.

2.2. Iltmåling

Diffusionshastigheden gennem jordprøven registreres ved den valgte metode gennem måling af iltkoncentration i kammeret over tiden.

Måling af iltkoncentration sker med en polarografisk elektrode. En sådan består af en platinkatode og en $Ag/AgCl$ -anode omgivet af en elektrolytvæske indeholdende bl.a. opløst $AgCl$.

Når der sættes en spænding over elektroden, vil der ske en reduktion af ilt ved katoden. Strømmen gennem elektroden er bestemt af mængden af O_2 -molekyler, som diffunderer frem til katodeoverfladen. Såfremt katode og anode med elektrolyt er adskilt fra det omgivende miljø med en membran, som er gennemtrængelig for ilt, men med en stor modstand mod stoftransport, vil antallet af reducerede O_2 -molekyler og dermed den elektriske strøm være bestemt af iltkoncentrationen uden for membranen.

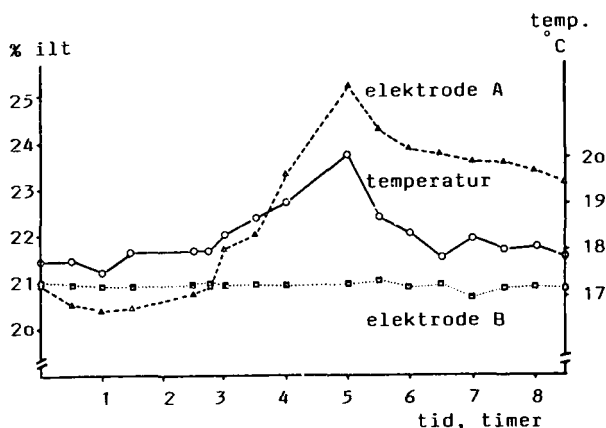


Fig. 2.
Temperaturens indflydelse på den polarografiske iltelektrode. Ved elektroden B sker der en elektronisk kompensati-
on for temperaturændringer.

Temperatur og barometerstand påvirker udgangssignalet fra en polarografisk iltelektrode. Fra de orienterende undersøgelser forud for valg af elektrode vises i fig. 2 resultater fra et eksperiment med temperaturpåvirkning af to ilt-elektroder, hvoraf der for den ene, B, sker elektronisk compensation for temperaturændring. Det fremgår, at der kræves enten meget nøjagtig kontrol af temperaturen eller elektronisk compensation i forstærkningen.

3. Opbygning af udstyr

3.1. Diffusionskammeropstilling

I fig. 3 er opbygningen af prøveholder/diffusionskammer skitseret. Der er konstrueret et stativ med i alt 12 sådanne enheder. Kammeret (nr. 1 på figuren) med tilhørende prøveholder er fremstillet af grå PVC. Elektroden (3) fastholdes med en PG-forskruning af passende dimensioner. N₂-indtag, som er forbundet med N₂-trykflaske via et rørsystem, samt N₂-afgang udgøres af kuglehaner. Jordprøven fastholdes lufttæt mod kammer og prøveholder ved sammenpresning af gummiringen (4) med skruen (5). Jordprøven understøttes af et trådnæt (6) med hulareal ca. 80 %. For at hindre luftstrømme gennem jordprøven ved eventuel barometerændring under en måling er der til hvert kammer monteret en tynd PVC-slange (7) med længde 60-80 cm og lysning ca. 0,1 mm. Slangens dimensioner medfører, at diffusion gennem den er minimal.

Kammeret er udformet til jordprøve-ringe med højde 34,2 mm samt ydre og indre diameter 63,5 henholdsvis 61,0 mm.

Som det fremgår af figuren, er kammerets diameter og dermed tvær-snitsareal identisk med prøverin-gens mål.

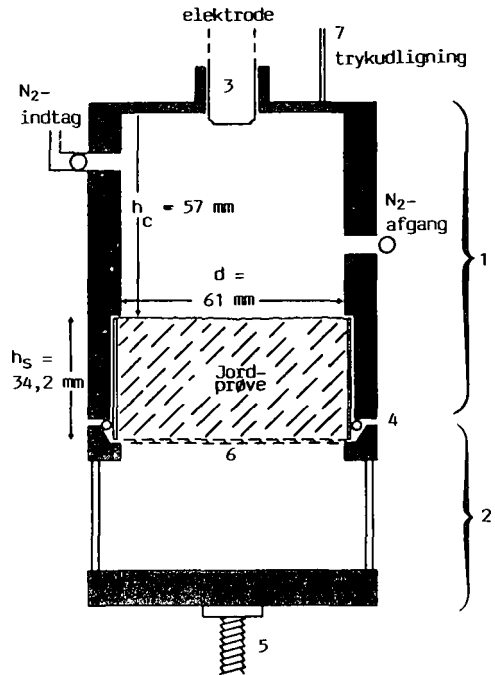


Fig. 3.
Diffusionskammer med prøveholder og elektrode, skematisk.
Se tekst for forklaring af detaljer.

3.2. Elektronik

I hvert af de 12 diffusionskamre er anbragt en polarografisk iltelektrode med virkemåde som skitseret i afsnit 2.2.

Spændingsforsyning til disse samt signalmåling foretages fra et fælles kabinet med elektronik fremstillet specielt til formålet. I systemet indgår elektronisk korrektion for temperaturændringer under måling. Der sker en konvertering af signal fra strøm til spænding, som varierer lineært med iltkoncentration.

3.3. Dataopsamling

Registrering af udgangssignal fra elektroderne foretages med mikrodatamat via et kabinet med analog/digital konvertering af signalet. Iltkoncentration måles automatisk i kamrene med et valgbart tidsinterval på 2-20 minutter. Aspekter ved denne dataopsamlingsmetode er beskrevet af Schjøning (6).

4. Analyseprocedure

4.1. Kalibrering

Forud for en måling kalibreres elektronikken ved 0 henholdsvis 20,9 % ilt (sidstnævnte værdi er atmosfærens iltindhold).

Indstilling af nulpunktet sker, mens en gummiprop er isat kammeret på jordprøvens plads, idet udgangssignalet fra elektroderne indstilles efter total udskiftning med N_2 af den oprindelige luftblanding i kammeret. Dernæst fjernes proppen, og når N_2 i kammeret er diffunderet bort, foretages indstilling af signalforstærkning til atmosfærens 20,9 % ilt.

4.2. Klargøring til måling

Udstyret er som nævnt konstrueret til brug med 100 cm³ jordprøver i metalcylindre af de tidligere anførte dimensioner. Jordprøverne udtages, forbehandles og bringes til ønsket vandindhold som beskrevet af *Schjønning* (7). Prøverne kan dog også analyseres ved det aktuelle vandindhold efter udtagning.

For at hindre lufttransport i eventuelt opståede sprækker mellem prøveringens inderside og jorden nedlægges et ganske tyndt lag af lermineralet kaolinit i en smal ring langs kanten. Kaolinit er et ikke-kvældende lermineral, hvilket betyder, at det sammenkittede materiale ikke ændrer volumen ved forskellige vandindhold. Derved opfyldes den ønskede funktion ved flere forskellige afdræninger af prøven. Jordprøven anbringes på trådnettet i prøveholderen (2) (fig. 3), og denne bringes på plads i kontakt til diffusionskammeret. På prøveholderens sokkel anbringes en flad skål med fugtet filtrerpapir. Dette giver en stor relativ luftfugtighed under prøven og reducerer dermed fordampning fra jorden i måleperioden. Desuden opstår med fordampningen af vand fra filtrerpapiret en ganske svag turbulens i luften under prøven, hvilket bidrager til at opretholde den ønskede atmosfærekonzentration af ilt umiddelbart under jordprøven.

Med jordprøven anbragt som beskrevet foretages "udskylning" af den atmosfæriske luft i kammeret. Når iltkoncentrationen registreres at være reduceret til nul, stoppes N_2 -tilledningen, afgangshanen lukkes, og den egentlige måling startes.

4.3. Diffusionsperiode

Selve måleproceduren består i periodevis registrering af iltkoncentration i kammeret. Med den anvendte dataopsamlingsmetode sker dette automatisk, og de opsamlede data lagres i mikrodatamaten med henblik på videre bearbejdning. Beregningerne (omtales nærmere senere) forudsætter mindst 4-5 sammenhørende værdier af tidsforløb og iltkoncentration i en måleperiode. Endvidere er det - især ved meget tætte prøver - nødvendigt for nøjagtige resultater at udstrække måleperioden over flere timer. Ved det aktuelle målesystem foretages oftest 20-30 registreringer over 1-2 timer.

5. Beregninger

Diffusionen gennem jordprøven foregår med den valgte metode med en stadig fallende koncentrationsgradient over prøven (engelsk: non-steady state). En sådan proces kan beskrives med ligningen (4):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{D_s}{c_a} \frac{d^2C}{dx^2} \quad (1)$$

hvor c_a = volumenandel af prøven tilgængelig for diffusion = luftfyldt porevolumen,

D_s = diffusionskoefficient.

Ligning (1) er Ficks 2. lov udtrykt for specialtilfældet med et porøst medium, idet C betegner koncentration, og t og x er tids- henholdsvis længdeangivelser. Dimensioner for diffusionskoefficienten, D_s , er $[L^2T^{-1}]$ i SI-enheder m^2/s dog oftest angivet som cm^2/s .

Carslaw & Jaeger (3) har givet en løsning for denne ligning for en analog problemstilling for termisk diffusivitet. Anvendes denne løsning, fås med tilnærmelse sammenhængen (2, 4):

$$\Delta C_t = (\exp(D_s \alpha_1^2 t / c_a)) \frac{2b \Delta C_o}{h_s (\alpha_1^2 + b^2) + b} \quad (2)$$

hvor $\Delta C_{(t),(o)}$ = koncentrationsforskel over jordprøven til tiden t henholdsvis o (start),

h_s = jordprøvens højde,

$b = c_a / h_c$, hvor h_c = højde af diffusionskammer,

α_1 = den mindste positive rod i ligningen $\operatorname{atg}(\alpha h_s) = b$

Ligning (2) gælder under forudsætningerne:

$t = o$ (start) : a) koncentration af den diffunderende gasart i prøven skal være som i atmosfæren.

$t > o$ (under måling): b) umiddelbart uden for jordprøvens frie ende skal der forekomme atmosfærekoncentration af den diffunderende gas.

c) koncentration i jordprøven er ens overalt og lig med diffusionskammerets koncentration.

d) der skal være en ensartet koncentration i hele diffusionskammeret (ingen gradient fra elektrode til jordoverflade).

Udledningen af ligning (2) samt opfyldelsen af forudsætningerne diskuteres i detaljer af *Currie* (4), *Bodholt* (2) og *Bakker & Hidding* (1). Konklusionen er, at ligningen er anvendelig til beskrivelse af diffusionsprocessen med den anvendte metode.

Med anvendelse af den aktuelle måleprocedure vil forudsætning (a) dog ikke være opfyldt. *Bodholt* (2) diskuterer dette problem og finder, at forholdet medfører en svag afvigelse fra processen beskrevet med ligning (2) i de første sekunder af diffusionsprocessen. Fejlen er dermed marginal, idet en måleperiode på en til flere timer lægges til grund for beregningen.

Ved omskrivning af (2) til

$$\ln \frac{\Delta C_t}{\Delta C_o} = - \frac{D_s \alpha_1^2 t}{c_a} + \ln \frac{2b}{h_s (\alpha_1^2 + b^2) + b} \Leftrightarrow \ln \frac{\Delta C_t}{\Delta C_o} = K \cdot t + \text{konstant} \quad (3)$$

ses, at diffusionskoefficienten, D_s , kan beregnes fra hældningskoefficienten, K , i ligning (3).

Der gælder således:

$$D_s = - \frac{c_a}{\alpha_1^2} K \quad (4)$$

En noget enklere beregningsformel fremkommer ved ikke at tage hensyn til den mængde gas, der til enhver tid findes i jordprøven.

Ficks 1. lov udtrykt på mængder lyder:

$$\frac{dq}{dt} = - D_s A \frac{\Delta C_t}{h_s} \quad (5)$$

hvor q = gasmængde,

A = tværsnitsareal af prøve.

Mængden af gas, der diffunderer ind i diffusionskammeret, kan også udtrykkes:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d(\Delta C_t)}{dt} \cdot h_c \cdot A \quad (6)$$

Kombineres (5) og (6), fås:

$$D_s dt = -h_s \cdot h_c \cdot \frac{d(\Delta C_t)}{\Delta C_t} \quad (7)$$

Integration giver $(\Delta C_t = \Delta C_o \text{ for } t = 0, \Delta C_t = \Delta C_t \text{ for } t = t)$

$$\ln \left(\frac{\Delta C_t}{\Delta C_o} \right) = - \frac{D_s}{h_s \cdot h_c} \cdot t \Leftrightarrow \ln \left(\frac{\Delta C_t}{\Delta C_o} \right) = K \cdot t \quad (8)$$

som udtrykker samme lineære sammenhæng mellem logaritmen til koncentrationsforskelle og tid som i ligning (3).

Ifølge ligning (8) kan D_s beregnes som

$$D_s = -h_s \cdot h_c \cdot K$$

(9)

Der eksisterer altså to ligninger til beregning af diffusionskoefficienten, D_s , ud fra den eksperimentelt bestemte værdi for K . Ligning (9) kan anvendes alene med kendskab til måleopstillingens dimensioner, mens den teoretisk bedre funderede ligning (4) kræver kendskab til luftfyldt porevolumen.

Faktoren c_a/α_1^2 i ligning (4) er afhængig af luftfyldt porevolumen. Relationen er kompliceret, idet brøkens tæller også er medbestemmende for nævnerens værdi, jvf. definition af α_1 i ligning (2).

Foretages en beregning, findes, at c_a/α_1^2 varierer fra $19,68 \text{ cm}^2$ for $c_a =$ luftfyldt porevolumen lig 5 % til $21,26 \text{ cm}^2$ ved et luftfyldt porerumfang på 45 %.

Med målesystemets dimensioner, se fig. 3, får den tilsvarende faktor $h_s \cdot h_c$ i ligning (9) værdien $19,50 \text{ cm}^2$.

Ved anvendelse af den tilnærmede ligning (9) begås altså en fejl ved beregning af D_s på fra ca. 1 % ved næsten vandmættet jord til ca. 8 % ved en meget tør og porøs prøve.

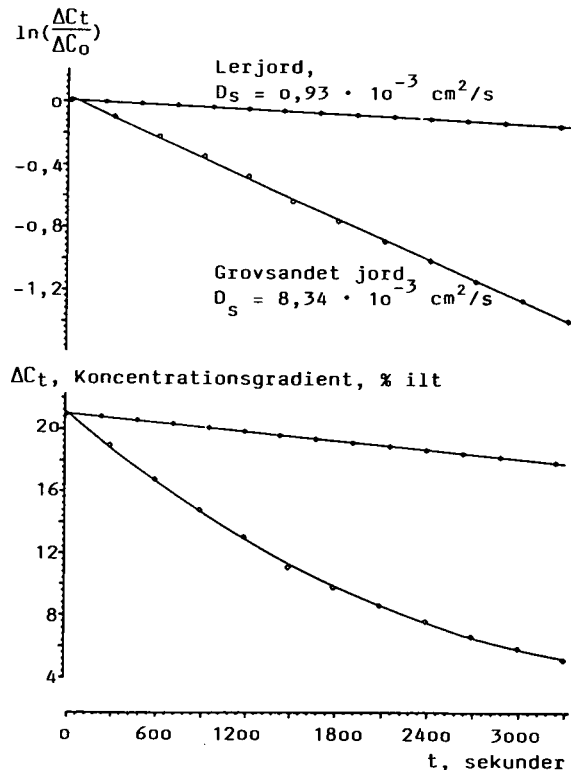
Danske jorde har ved vandindhold omkring markkapacitet et luftfyldt porevolumen på fra 10-25 %. Ved analyse af prøver ved dette vandindhold er fejlen ved anvendelse af ligning (9) fra 2-4 %.

I fig. 4 er diffusionsforløbet vist for 2 jordprøver fra forskellige jordtyper og med vandindhold omkring markkapacitet. Den nederste del af figuren viser koncentrationsgradient som funktion af tid, mens der i den øverste del er foretaget linearisering, som danner grundlag for beregning af diffusionskoefficienten. Desuden er denne angivet, beregnet efter ligning (9).

For at opnå et indeks for diffusionsbetingelserne, som er uafhængigt af den diffunderende gas, beregnes oftest forholdet D_s/D_a , som sætter diffusionsforholdene i jorden i relation til den uhæmmede diffusion af samme gasart under i øvrigt samme betingelser. Som D_a -værdi kan i det aktuelle tilfælde anvendes koefficienten for diffusion af O_2 ind i atmosfærens luft, som ifølge *Smithsonian Physical Tables* (8) er $0,205 \text{ cm}^2/\text{s}$ ved 1 atm. og 20° C .

Fig. 4.

Eksempel på diffusionsproces for to jordprøver fra forskellige jordtyper. Vandindhold omkring markkapacitet (afdræning -100 hPa $\approx$ pF 2,0). Diffusionskoefficienterne beregnet efter ligning (9).



6. Kontrol af måleudstyr

I det følgende beskrives undersøgelser, som er foretaget for at afdække eventuelle fejl, som systemet kunne tænkes at være behæftet med.

6.1. Diffusionskamrene

Kammeret over jordprøven er fremstillet af PVC med en godstykkelse, som skulle reducere diffusion gennem materialet til et uvæsentligt niveau. Samlinger, hanner m.v. giver dog risiko for utætheder, som ville kunne give en falsk koncentrationsændring i kammeret. Kamrenes tæthed testes derfor med mellemrum. Det har vist sig, at 100 % tæthed ikke kan opnås med de valgte materialer. For de fleste jordprøver strækker en måling sig over 1-2 timer. Målinger har vist, at utætheder i dette tidsrum, med størst mulig koncentrationsgradient, giver en stigning i iltkoncentrationen på fra 0,05 til 0,25 procentenheder. Dette svarer til en diffusionskoefficient for utætheder på fra ca. 1 til ca. $3,5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$. Til sammenligning kan nævnes, at diffusionskoefficienten for danske jorde ved markkapacitet normalt er i størrelsesordenen fra $2-6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$, altså en faktor ca. 200 større end utæthedernes bidrag.

Det må konkluderes, at utæthederne ikke giver anledning til væsentlige fejl ved analyse af normal landbrugsjord ved vandindhold omkring og under markkapacitet. Ved meget tætte og våde prøver kan der dog være behov for korrektion for utætheder.

6.2. Jordprøveholderen

Tæthed af forbindelsen mellem prøvering - gummiring - prøveholder, se fig. 3, kan testes ved prøvekørsel med en gummiprop isat prøveringen i stedet for jord. Det har vist sig, at det anvendte prøveholdersystem er praktisk taget 100 % tæt, idet koncentrationsstigningen i kammeret er af samme størrelsesorden som ved test af det helt lukkede system.

6.3. Trådnet under prøverne

Diffusion reduceres med mindsket tværsnitsareal tilgængelig for diffusionsprocessen. Trådnettet, som understøtter prøverne, mens de er anbragt i måleudstyret, har et hulareal på ca. 80 %. Dog findes dette tværsnitsareal kun i en diffusionsvejlængde på få tiendedele millimeter, idet trådnettet består af runde tråde med diameter ca. 1 mm.

Forsøg med gentagen måling på samme jordprøve med og uden understøttende trådnet har vist, at nettet ikke påvirker diffusionsprocessen gennem jordprøven. For porøse sandede jordprøver med høje diffusionskoefficienter på 0,016-0,017 cm²/s fandtes således, at diffusionskoefficienten for den enkelte prøve kunne reproducere med en variation på $\pm 0,5-3,0$ % - uafhængigt af trådnettets tilstedeværelse eller mangel på samme.

6.4. Iltforbrug i jordprøven

Jordprøver fra de øverste horisonter i landbrugsjord er karakteriseret ved en høj biologisk aktivitet. *Gradwell* (5) har undersøgt, hvorvidt der begås en væsentlig fejl ved at se bort fra, at der forbruges ilt i jordprøven under målingen. Effekten vil i givet fald være, at diffusionskoefficienten undervurderes.

Gradwells undersøgelser over problemstillingen er behæftet med en vis usikkerhed. Forholdet blev testet på jordprøver fra en vedvarende græsmark. For jordprøver, som *Gradwell* betegner "fugtige", fandtes en undervurdering af diffusionskoefficienten på ca. 1 %. For meget våde jordprøver var fejlen dog i nærheden af 10 %.

Med det aktuelle målesystem er forholdet undersøgt på den måde, at en serie lerjordsprøver ved markkapacitet blev anbragt i prøveholderne med atmosfærens iltkoncentration i kamrene. Dernæst måltes iltkoncentrationen gennem et tidsrum på 2 timer. Gennemsnitligt registreredes et fald på 0,35 iltprocent-enheder i kamrene. Dette giver et fingerpeg om, at respirationen i jorden kan forventes at medføre en undervurdering af diffusionskoefficienten på 1-2 %.

6.5. Elektroder og elektronik

Den valgte elektrode har indbygget en termoføler, hvilket giver god korrektion for temperaturpåvirkninger, se fig. 2.

Indflydelsen af ændring i barometerstand kan ikke umiddelbart elimineres. Denne påvirkning er ligefrem proportional med ændringen i partialtrykket af ilt og dermed totaltrykket. I løbet af måleperiodens 1-2 timer vil der sjældent forekomme store ændringer i barometerstand, hvorfor forholdet skønnes at være uden praktisk betydning.

Membranen på den polarografiske elektrode er følsom over for luftfugtigheden. Ved udtørring øges permeabiliteten for iltmolekyler. Forholdet giver sig udslag i stigende udgangssignal fra målesystemet ved fald i luftfugtigheden.

Da en måling foregår med en jordprøve med konstant (og høj) relativ luftfugtighed ved overfladen i prøvekommeret, giver fænomenet ikke anledning til problemer.

Elektronikkens stabilitet (systemet totalt) er undersøgt ved at lade elektroderne måle ved konstant iltkoncentration og tilstræbt konstant luftfugtighed i en periode på $1\frac{1}{2}$ time. I dette tidsrum fandtes drift i udgangssignal fra elektroderne på ca. + 7 ‰.

7. Sammenfattende vurdering

Den beskrevne metode har, som tidligere nævnt, både fordele og ulemper i forhold til de øvrige metoder, som er omtalt i afsnit 2.1.

En stor fordel ved det opbyggede udstyr er muligheden for at behandle et ret stort antal prøver. Dette er nødvendigt ved karakterisering af porositets- og dermed luftskifteforholdene i jord på grund af meget store variationer i jorden.

Af afsnit 6 fremgår, at de undersøgte mulige fejlkilder ikke giver væsentlige fejl ved analyse af jordprøver fra landbrugsjord med vandindhold omkring eller under markkapacitet. Der må dog peges på, at anvendelsen af ilt som diffunderende gasart samt materialevalg til diffusionskamrene komplicerer brug af metoden på jordprøver, der er meget tætte og/eller har en høj biologisk aktivitet.

8. Erkendtlighed

Diffusionskammeropstillingen er konstrueret af Forsøgsteknisk Værksted, Årslev.

9. Litteratur

1. Bakker, J. W. & Hidding, A. P. 1970. The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 18, 37-48.
2. Bodholt, O. 1972. Jordfysiske målinger. Hydrauliske, pneumatiske og mekaniske egenskaber i mineraljorde. Licentiatafhandling, KVL.
3. Carslaw, H. S. & Jaeger, J. C. 1959. *Conduction of heat in solids*. 2nd Ed. Oxford. Clarendon Press.
4. Currie, J. A. 1960. Gaseous diffusion in porous media. Part 1. - A non-steady state method. *British Journal of Applied Physics* 11, 314-317.
5. Gradwell, M. W. 1961. A laboratory study of the diffusion of oxygen through pasture topsoils. *New Zealand Journal of Science* 4, 250-270.
6. Schjønning, P. 1984. Dataopsamling med mikrodatamat. *Ugeskr. Jordbrug* 129, 587-591.
7. Schjønning, P. 1985. Udstyr til afdræning af jordprøver for jordfysiske analyser. Beretning nr. S1762, *Tidsskr. Planteavl* 89, 30.
8. *Smithsonian Physical Tables*, 1954. 9th Ed. New York, Smithsonian Institution.
9. Taylor, S. A. 1949. Oxygen diffusion as a measure of soil aeration. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 14, 55-60.
10. Willumsen, J. 1972. Vandretention, vandbevægelse og ilt diffusion i inaktive rodmedier. *Tidsskr. Planteavl* 76, 570-580.

Institutter m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafprøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 62 00
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	(03) 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	(04) 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	(08) 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Institut for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . .	(06) 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	(07) 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	(07) 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	(05) 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	(05) 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	(04) 74 21 04
Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . . .	(06) 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	(08) 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Planteværnsafdelingen på »Godthåb«, Låsbyvej 18, 8660 Skanderborg . .	(06) 52 08 77
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00