

# NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. A17 1991

## Analyse af jordvands sammensætning – metodesammenligning



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

631.12  
38  
1X-12

## Om NPo-forskningsprogrammet

*NPo-forskningsprogrammet skal tilvejebringe viden om, hvordan kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o) omsættes i jord og påvirker søer, vandløb, fjorde, hav og grundvand.*

Denne rapport er een af de ca. 50, der udsendes som et resultat af NPo-forskningsprogrammet. Med Miljøstyrelsen som ansvarlig for programmets gennemførelse er der sat ca. 70 NPo-projekter i gang ved 25-30 institutioner.

Op gennen 1970'erne og i 80'ernes begyndelse kom der en stigende erkendelse af, at udledninger af næringsstoffer kunne blive en trussel mod livet i vandløb m.v. – og af at der kunne ske en nitratforurening af grundvandet. Den eksisterende viden blev i 1984 samlet af Miljøstyrelsen i den såkaldte NPo-rapport.

Rapporten førte til, at Folketinget i 1985 vedtog de første indgreb for at begrænse forureningen med næringsstoffer – ved at stille krav om, hvordan landbruget skal opbevare og sprede husdyrgødningen.

For at skaffe en større viden om næringsstoffernes indvirkning på naturen afsatte Folketinget samtidig 50 mill. kr. til dette forskningsprogram – som løber fra 1985 og frem til udgangen af 1990.

NPo-forskningsprogrammet blev yderligere aktuelt med Folketingets vedtagelse af Vandmiljøplanen i 1987. Her vil NPo-programmets resultater indgå som et vigtigt baggrundsmateriale for vurderingen af Vandmiljøplanens virkninger.

Til at sikre den faglige og økonomiske afvejning af forskningen blev der nedsat en styringsgruppe, som således har haft det øverste ansvar for NPo-programmets gennemførelse. Desuden blev der nedsat tre koordinationsgrupper, som hver har haft det faglige ansvar for deres område: jord og luft, grundvand og overfladevand.

Rapporterne udsendes i serien »NPo-forskning fra Miljøstyrelsen« – som er opdelt i A, B og C publikationer:

- A er rapporter om jord og luft
- B er rapporter om grundvand
- C er rapporter om vandløb, søer og marine områder

Miljøstyrelsen har været sekretariat for arbejdet og har sammen med koordinationsgrupperne stået for redaktionen af denne rapportserie.

10/80

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen  
Nr. A17 1991**

# **Analyse af jordvands sammensætning - metodesammenligning**

Bjarne Hansen, Det Danske Hedeselskab  
Jørgen Djurhuus, Statens Planteavlsvforsøg  
Niels Christensen, Danmarks Miljøundersøgelser  
Ole Stig Jacobsen, Danmarks Geologiske Undersøgelse  
Carl Chr. Hoffmann, Danmarks Miljøundersøgelser

MILJØSTYRELSEN  
BIBLIOTEKET  
Strandgade 29  
1401 København K

**Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen**



## INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
SAMMENDRAG . . . . .	5
1. INDLEDNING . . . . .	7
2. MATERIALER OG METODER . . . . .	9
2.1. Undersøgte lokaliteter . . . . .	12
2.2. Prøvetagning . . . . .	13
2.3. Prøvebehandling . . . . .	19
3. RESULTATER . . . . .	21
3.1. Nitrat . . . . .	21
3.2. Ammonium . . . . .	28
3.3. Orthofosfat . . . . .	31
3.4. Total fosfor . . . . .	34
3.5. Kalium . . . . .	37
3.6. Chlorid og sulfat . . . . .	40
4. DISKUSSION . . . . .	45
4.1. Lysimetre . . . . .	45
4.2. Sugeceller og jordprøver . . . . .	49
5. KONKLUSION . . . . .	55
6. LITTERATUR . . . . .	58
7. REGISTRERINGSBLAD . . . . .	60



## SAMMENDRAG

### Sammenlignede metoder

Der er foretaget sammenligning af analyser af jordvand isoleret fra forskellige lokaliteter med de metoder, der er anvendt i projekterne under NPo-forskningsprogrammet. Metoderne omfatter sugeceller, minilysimetre, centrifugering og ekstraktion af jordprøver med KCl-opløsning.

Ved sammenligning over en kort periode er der især for nogle analyseparametre fundet betydelige afvigelser mellem metoderne. Afvigelserne kan især skyldes

- stor rumlig og tidsmæssig variation i stofkoncentrationer i jordvand
- udfældning og adsorption af stoffer under isoleringsprocessen
- ændringer af strømningsmønstret i jordvandet, så det opsamlede vand ikke er repræsentativ for jordvand i den aktuelle dybde.

Ændringer i strømningsmønstret kan især forekomme ved anvendelse af lysimetre. Disse ændringer medfører bl.a. tidsforskydninger i koncentrationerne i det opsamlede perkolat, hvilket kan være en forklaring på, at der ved korttidsafprøvning er fundet store afvigelser mellem koncentrationer i vand fra lysimetre og vand isoleret med de øvrige metoder, mens der ved beregning af udvaskningen over længere tid (1 år) er fundet sammenlignelige resultater med afvigelser mellem sugeceller og lysimetre på typisk 10-30 %.

Nitrat	<p>For <math>\text{NO}_3\text{-N}</math> har der i de fleste tilfælde været god overensstemmelse mellem de øvrige prøvetagningsmetoder. Hvor udtagning i sugeceller sker kontinuerlig over 2 uger eller en måned har der dog været nogle uoverensstemmelser. Tilsyneladende har der i et par tilfælde været problemer med højtstående grundvand på sandjord, hvor der er anvendt sugeceller.</p>
Ammonium og fosfor	<p>For <math>\text{NH}_4\text{-N}</math>, <math>\text{PO}_4\text{-P}</math> og Tot-P har der været store afvigelser mellem metoderne og der har i flere tilfælde været store afvigelser mellem enkeltprøver for de enkelte metoder. De keramiske sugeceller, der er anvendt ved Askov og Rønhave, har tilsyneladende adsorberet størstedelen af disse stoffer. Der synes at være betydelige metodemæssige problemer ved bestemmelse af disse stoffer i jordvand.</p>
Kalium	<p>For K har der i de fleste tilfælde været rimelig overensstemmelse mellem de enkelte metoder, bortset fra keramiske sugeceller, der tilsyneladende har adsorberet størstedelen af K i jordvandet. Der har også været en tendens til mindre koncentrationer i teflonsugeceller end bestemt ved centrifugemetoden.</p>
Repræsentativitet for nedsivende jordvand	<p>I projektet er undersøgt, om prøvetagningsmetoderne giver sammenlignelige resultater, men projektet omfatter ikke undersøgelser af, om jordvand udtaget ved de forskellige metoder er repræsentativ for det nedsivende jordvand under markforhold.</p> <p>Det er heller ikke undersøgt om bearbejdning af jorden under udtagning eller nedfrysning og optøning af jordprøver til ekstraktion af jordvand påvirker jordvandets sammensætning eller om nedfrysning af vandprøver før analyse påvirker analyseresultaterne.</p>



## 1. INDLEDNING

Bestemmelse af nedvaskning	Ved bestemmelse af nedvaskning af plantenæringsstoffer fra rodzonen må koncentrationerne af de pågældende næringsstoffer i det nedsivende jordvand og den nedsivende vandmængde bestemmes.
Metoder til udtagning af jordvand	<p>Udtagning af jordvand, dvs. vand i den umættede zone, til kemiske analyser kan foretages efter forskellige metoder. I de forskellige NPo-projekter udtages prøver af jordvand til kemiske analyser på følgende måder:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. opsamling i sugeceller</li><li>2. opsamling i minilysimetre</li><li>3. centrifugering af jordprøver</li><li>4. ekstraktion fra jordprøver</li></ol> <p>Ved de to førstnævnte metoder fås umiddelbart vandprøver til kemiske analyser. Ved de to sidste metoder udtages jordprøver, hvorfra der ekstraheres jordvæske i laboratoriet. Ved metode 3 centrifugeres jordvand ud af prøven og ved metode 4 tilsættes ekstra væske (1 N KCl) til jordprøven, så der fås fri væske, der kan analyseres på, hvorefter den oprindelige koncentration beregnes ud fra fortyndingen.</p>
Sammenligning af metoder	I enkelte af de øvrige NPo-projekter kan metode 1 og 2 sammenlignes, men der er ikke lokaliteter, hvor alle metoder sammenlignes. Derfor er der i dette projekt på nogle lokaliteter, hvor metode 1 og/eller 2 anvendes, også foretaget bestemmelse af næringsstofkoncentrationer i jordvandet efter metode 3 og 4.

Udvælgelse af lokaliteter

Da der er betydelige omkostninger ved etablering af sugeceller eller lysimetre, og da disse skal komme i ligevægt med omgivelserne, er der udvalgt lokaliteter, hvor disse i forvejen er installeret. Resultaterne herfra (som stammer fra andre projekter) sammenlignes derefter med resultater efter metode 3 og 4.

Statens Planteavlfsforsøg bestemmer på en række lokaliteter  $\text{NO}_3\text{-N}$  i jordvand udtaget i keramiske sugeceller. To af disse arealer, ved Askov og Rønhave forsøgsstationer, er medtaget i samarbejde med Statens Planteavlfsforsøg, som desuden har stillet yderligere resultater fra Rønhave til rådighed.

Desuden er der medtaget resultater fra et areal ved Rabis, hvor jordvandets sammensætning i et andet NPo-projekt (Christensen et al. 1990 & 1991) er bestemt i lysimetre og i udtagne jordprøver.

Beregning af nedvaskning

Ved beregning af nedvaskning skal den nedsivende vandmængde også kendes. Vandmængden beregnes som regel lettest ved vandbalanceberegninger. I dette projekt er kun sammenlignet metoder til bestemmelse af næringsstoffkoncentrationer.

Sammenligningsmaterialet for Gøderup, Fladerne, St. Lyngby, Askov og tildels Rønhave er baseret på to prøvetagninger i vinterperioden 1990.

Udførelse

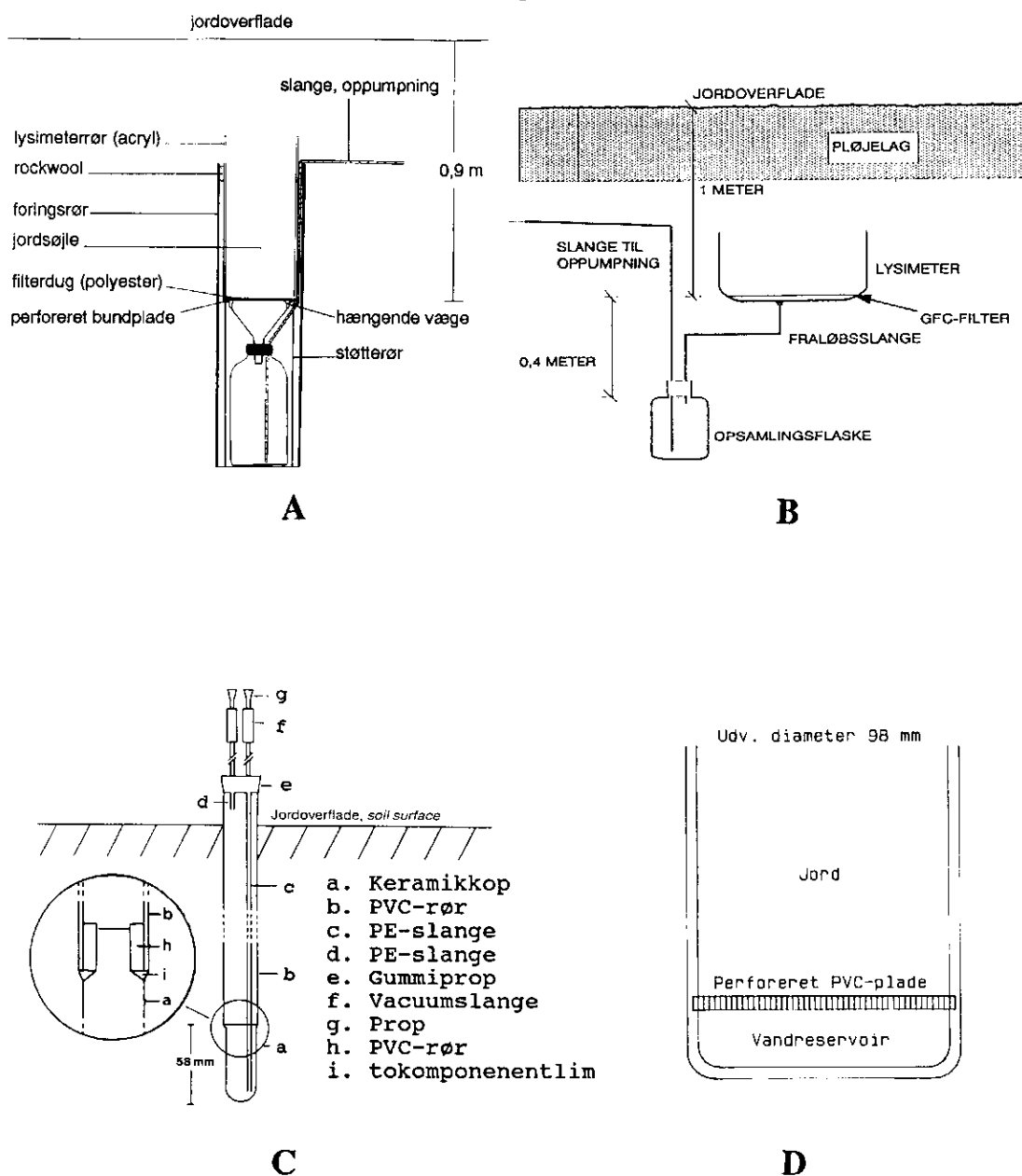
Projektet er udført af Hedeselskabets Forsøgsvirksomhed i samarbejde med Statens Planteavlfsforsøg, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Geologiske Undersøgelse.

## 2. MATERIALER OG METODER

Jord med strukturdannelse	For jord med strukturdannelse, dvs. især lerjord og organogene jorde, vil der ofte være et sammenhængende system af "makroporer" mellem aggregaterne, hvor jordvandet kan bevæge sig uden at passere de mindre porer i aggregaterne. I sådanne tilfælde kan koncentrationer i nedsivende jordvand være forskellig fra gennemsnitskoncentrationer i jordvandet og der kan muligvis udtages jordvand med forskellig mobilitet og kemisk sammensætning ved de forskellige udtagningsmetoder.
Jord med enkeltkornsstruktur	I jord med enkeltkornsstruktur vil der som regel ikke være et sammenhængende system af større porer, hvor jordvandet kan strømme uden også at passere de mindre porer. Det nedsivende jordvand må derfor passere både større og mindre porer skiftevis, og jordvandet kan ikke opdeles i forskellige mere eller mindre mobile fraktioner efter hvilken porestørrelse det befinder sig i på et givet tidspunkt.
Sugeceller	I sugeceller opsamles over en periode vand fra cellernes omgivelser proportionalt med dets mobilitet og i en afstand fra cellen bestemt af den hydraulisk ledningsevne og det effektive undertryk i systemet.
Lysimetre	I lysimetre opsamles kun vand, der bevæger sig ved gravitation og bestemt af de hydrauliske forhold i og omkring lysimetret. Der kan således gennem en periode opsamles vand, der bevæger sig i jordens kapillære poresystem (matrixflow) eller gennem makroporer (bypass-flow).

Centrifugering	Ved centrifugering isoleres jordvand i porer ned til en porestørrelse bestemt ved den centrifugalkraft prøven udsættes for.
Ekstraktion	<p>Ved ekstraktion med kaliumchlorid medtages hele jordvæsken uden hensyn til mobilitet. Derudover frigøres adsorberede stoffer fra jorden, således at ekstraktionen er et udtryk for mobiliserbart stof og ikke jordvæskens indhold. Når formålet som her er at bestemme koncentrationer i jordvæske, kan metode 4 derfor kun anvendes til stoffer, der ikke adsorberes eller udfældes i jorden, som f.eks. <math>\text{NO}_3\text{-N}</math> og <math>\text{Cl}</math>.</p> <p>Ved opsamling i sugeceller eller minilysimetre opbevares vandprøverne i naturen under aktuelle temperaturforhold indtil prøvetagningen.</p> <p>Med sugeceller eller minilysimetre anvendes faste installationer, som på grund af deres placering giver et punktmæssigt resultat, men til gengæld giver en tidsmæssig variation med et relativt niveau, bestemt af punktets stedlige placering. Ved udtagning af jordprøver udføres prøvetagningen i skiftende punkter. Derfor påvirkes forskel i analyseresultater mellem prøvetagninger af den arealmæssige variabilitet. Ved at bruge flere parallelle målepunkter kan der for alle metoder kompenseres for den arealmæssige variation.</p> <p>I figur 2.1 er vist skitser af minilysimetre, der er anvendt ved henholdsvis Fladerne og St. Lyngby samt af en sugecelle og en centrifugeindsats, der er anvendt ved centrifugering af jordprøver.</p> <p>Ved udtagning af jordprøver til centrifugering er anvendt et jordbor med 8 cm diameter og til</p>

prøver til analyser efter KCl-metoden et jordbor med diameter på ca. 2.5 cm.



Figur 2.1. Skitser af minilysimetre anvendt ved St. Lyngby (A) og Fladerne (B) samt af en sugecelle (C) og en centrifugeindsats anvendt ved centrifugering af jordprøver (D).

## 2.1. Undersøgte lokaliteter

Udvalgte lokaliteter

Udvælgelsen af lokaliteter er foretaget, så der er forskellige jordtyper repræsenteret og et rimeligt antal lysimetre og/eller sugeceller på de enkelte lokaliteter.

I tabel 2.1 er vist lokaliteterne, der er udvalgt, jordtypen på de udvalgte lokaliteter og hvilke prøvetagningsmetoder, der er anvendt. Lokaliteterne ved Rabis, Fladerne, St. Lyngby og Gøderup indgår i andre NPo-projekter.

Tabel 2.1. Undersøgte lokaliteter, jordtyper og anvendte metoder til udtagning af jordvand.

Lokalitet	Jordtype	Lysi- metre	Suge- celler	Jord- prøver
Gøderup mose	Humus		x	x
Fladerne bæk	Grovsand	x	x	x
Rabis	Grovsand	x		x
St. Lyngby	Lerbl. finsand	x	x	x
Statens Forsøgsstat. Askov	Sandbl. ler		x	x
Statens Forsøgsstat. Rønhave	Sandbl. ler		x	x

Teksturen i prøvetagningsdybden på de 5 lokaliteter er vist i tabel 2.2.

Tabel 2.2. Tekstur i prøvetagningsdybden på de 5 lokaliteter.

Lokalitet	Ler <0.002 mm	Silt 0.002- 0.02 mm	Finsand 0.02- 0.2 mm	Grovsand 0.2-2 mm	Humus
Gøderup					29.3
Fladerne bæk	----- 2.5	----	12.0	84.5	0.2
Rabis	1.0	1.0	5.0	94.0	0.1
St. Lyngby	8.1	8.4	79.9	3.3	0.1
Askov <sup>*)</sup>	23.2	11.0	35.9	28.3	1.6
Rønhave <sup>*)</sup>	14.0	21.4	42.2	22.2	0.4

<sup>\*)</sup> Efter Hansen (1976)

## 2.2. Prøvetagning

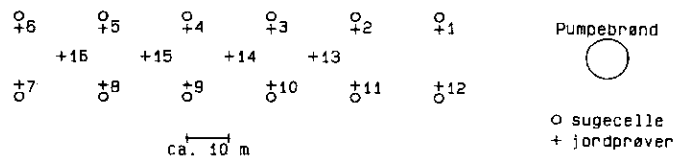
Arealet ved  
Gøderup

Ved Gøderup er installeret 12 teflonsugeceller i 30 cm dybde og 12 stk i 90 cm dybde. Der sættes undertryk på sugecellerne 2 dage før prøvetagning.

Jorden består af tørv til ca. 40 cm dybde og derunder lerblandet sand. Da formålet med at medtage denne lokalitet var at få et areal med tørv med i undersøgelsen, er her udtaget jordprøver i 20-40 cm dybde. Analyser herfra er sammenlignet med analyser af vand udtaget i sugeceller i 30 cm dybde. Jordprøver er udtaget i tidsrummet mellem etablering af undertryk på sugecellerne og prøvetagning i disse.

Udtagningssteder

Placering af sugeceller og udtagningssteder for jordprøver er vist i figur 2.2. For prøve nr 1-12 er jordprøverne udtaget ca 1 m fra sugecellen med tilsvarende nr.



Figur 2.2. Placering af sugeceller og prøvetagningssteder for jordprøver ved Gøderup.

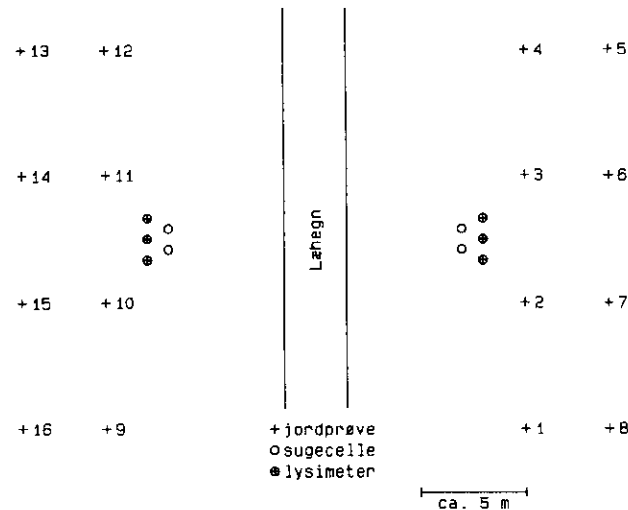
Prøvetagning

Ved Gøderup er der udtaget jordprøver 12.02.90 og 10.04.90, som er sammenlignet med vandprøver udtaget i sugeceller henholdsvis 13.02.90 og 11.04.90.

Arealet og andre resultater fra denne lokalitet er beskrevet af Hansen et al. (1990).

Arealet ved  
Fladerne

På arealet ved Fladerne er installeret 6 minily-  
simitre med bunden i 100 cm dybde. Lysimetrene  
er 30 gange 40 cm og med 20 cm høje kanter og  
med 40 cm hængende vandsøjle. Desuden er der  
installeret 4 teflonsugeceller i 100 cm dybde.  
For at forbedre kontakten til den omgivende jord  
er sugecellerne pakket med slemmet kvartsmel.  
Jordprøver er udtaget i 90-110 cm dybde. Pla-  
cering af lysimetre og sugeceller samt udtag-  
ningssteder for jordprøver er vist i figur 2.3.



Figur 2.3. Placering af lysimetre og sugeceller  
samt prøvetagningssteder for jordprøver ved Fla-  
derne.

Opsamlings-  
perioder

Vandprøver i sugeceller og lysimetre opsamles  
over en periode på 1 måned. Sugecellerne står  
med et konstant undertryk på 0.4 bar.

Prøvetagning

For at resultaterne fra de enkelte metoder så  
vidt muligt repræsenterer samme tidsintervaller,  
er der i løbet af en opsamlingsperiode for suge-  
celler og lysimetre udtaget jordprøver 2 gange.  
Vand ekstraheret ved centrifugering af jordprø-  
ver ved de to prøvetagninger er blandet fra  
hvert prøvetagningssted og analyseret sammen. På



tilsvarende måde er jord fra de to prøvetagninger blandet til NO<sub>3</sub>-analyser efter metode 4.

Sammenlignede  
resultater

Resultater fra jordprøver udtaget 08.02.90 og 16.02.90 er sammenlignet med resultater af vandanalyser opsamlet i perioden 11.01.90 til 21.02.90 og resultater fra jordprøver udtaget 05.04.90 og 20.04.90 er sammenlignet med prøver opsamlet i perioden 21.03.90 til 25.04.90. På grund af store afvigelser i resultaterne ved 1. prøvetagning blev der udtaget prøver i sugecellerne igen 27.04.90, dvs. efter en opsamlingsperiode på 2 dage, for at undersøge om vandets sammensætning ændres under prøvetagningen. Der blev dog ikke fundet større afvigelser mellem prøver udtaget 25.04.90 og 27.04.90. Dette er blevet verificeret ved tilsætning af konserveringsstof til forlagene.

Arealet og øvrige resultater herfra er beskrevet af Jacobsen et al. (1990).

Arealet ved  
St. Lyngby

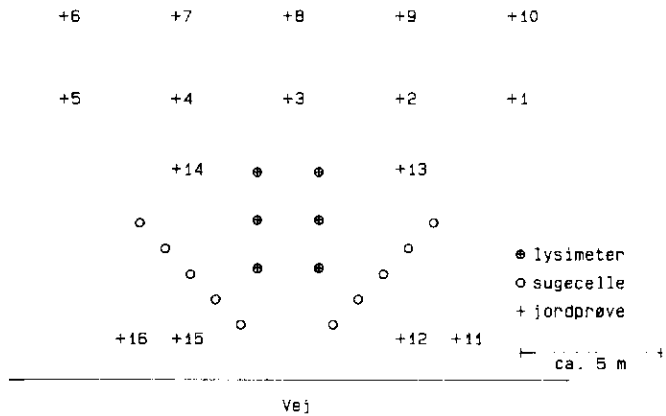
Ved St. Lyngby er installeret 6 minilysimetre med en diameter på 20 cm og en højde på 50 cm indeholdende uforstyrrede jordsøjler udtaget i dybden 40-90 cm. Lysimetrene er nedgravet med bundpladen i 90 cm dybde. Perkolat opsamles i 5-liters flasker via et hængende vægesystem af en længde på ca 25 cm i kontakt med jordsøjlen over bundpladen. Samlet udøver lysimetret således et sug på 75 cm vandsøjle. Nedsivende vand opsamles over 14 dages intervaller.

Desuden er der installeret 10 teflon sugeceller i 90 cm dybde. Ved installering af sugeceller er disse pakket med en opslemning af jord fra samme dybde. Hver sugecelle er tilsluttet en samleflasker. Med to-ugers intervaller pålægges samleflaskerne et undertryk på 0.6 bar efter tømning for opsamlet jordvand. Opsamling sker således over

to-ugers perioder. Trykfaldet i en periode var typisk 0.3 bar. Installationerne på dette areal er beskrevet af Ernstsen et al. (1989).

Prøvetagnings-  
steder

Placering af lysimetre, sugeceller og prøvetagningssteder for jordprøver er vist i figur 2.4.



Figur 2.4. Placering af lysimetre og sugeceller samt prøvetagningssteder for jordprøver ved St. Lyngby.

Prøvetagning

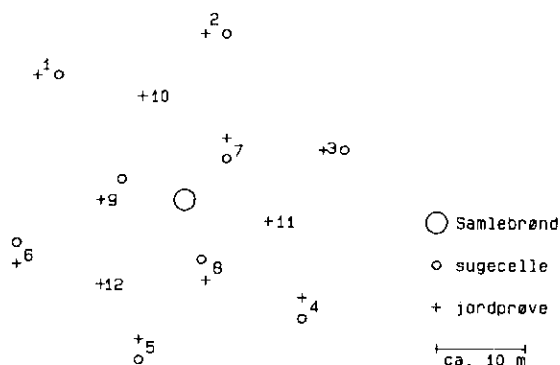
Der er som ved Fladerne udtaget jordprøver 2 gange i en opsamlingsperiode. Resultater fra jordprøver udtaget 14.02.90 og 22.02.90 er sammenlignet med vand opsamlet i perioden 09.02.90 til 23.02.90 og jordprøver udtaget 29.03.90 og 04.04.90 er sammenlignet med vandprøver opsamlet i perioden 23.03.90 til 06.04.90. Øvrige resultater fra denne lokalitet er beskrevet af Christensen et al. (1990).

Arealet ved  
Askov

Ved Askov er installeret 12 sugeceller i 100 cm dybde. Placering af sugeceller og udtagningssteder for jordprøver er vist i figur 2.5. Sugecellerne er placeret omkring en samlebrønd, hvorfra der er ført slanger ud til sugecellerne. Sugecelle nr. 1-9 er af keramisk materiale og

nr. 10-12 af teflon. Jordprøver er udtaget i 80-100 cm dybde. Jordprøve nr 1-9 er udtaget ca 1.5 m fra sugecellen med samme nummer.

Ved Askov sættes undertryk (0.7 bar) på sugecellerne 3 dage før prøvetagning. Der er udtaget jordprøver samtidig med udtagning af vandprøver i sugeceller 19.02.90. Desuden blev jordprøver udtaget 27.03.90 sammenlignet med vandprøver udtaget i sugeceller 26.03.90.



Figur 2.5. Placering af sugeceller og prøvetagningssteder for jordprøver ved Askov.

Arealet ved Rønhave

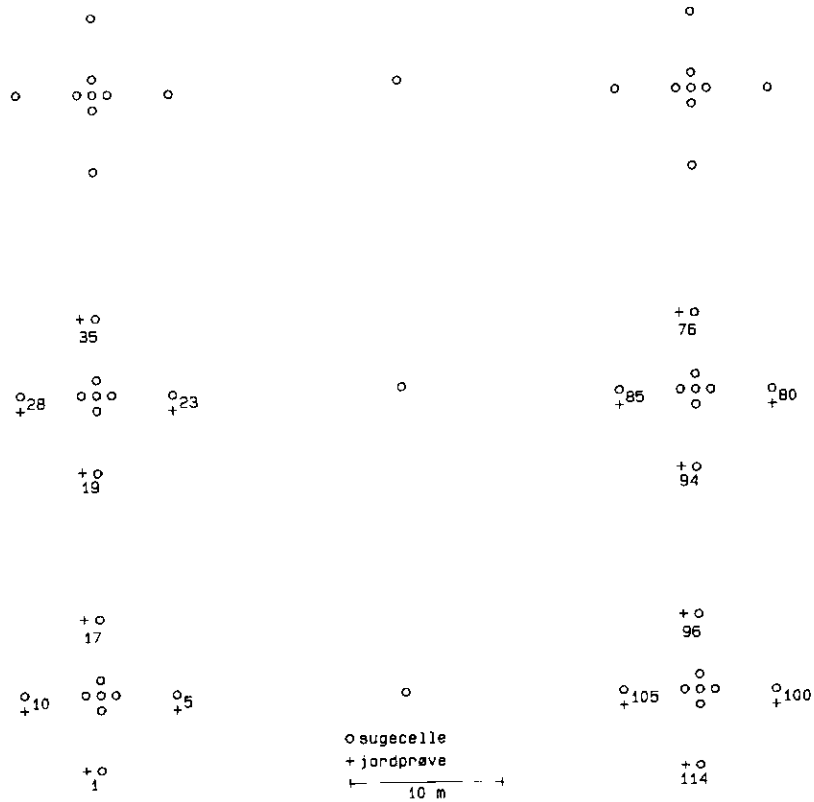
Ved Rønhave er installeret 57 sugeceller i 25 cm dybde og 57 i 80 cm dybde. Alle sugeceller er af keramisk materiale. Der sættes undertryk (0.7 bar) på sugecellerne 2 dage før prøvetagning.

Jordprøver er udtaget 16 steder i 70-90 cm dybde og analyserne herfra er sammenlignet med analyser fra sugeceller i 80 cm dybde. Jordprøver er udtaget ca. 1.5 m fra en sugecelle.

Placering af sugeceller i 80 cm dybde og udtagningssteder for jordprøver er vist i figur 2.6.

Jordprøver udtaget 20.02.90 og 27.03.90 er sammenlignet med vandprøver udtaget i sugeceller henholdsvis 21.02.90 og 28.03.90.

Desuden har Statens Planteavlsvforsøg stillet analyseresultater for  $\text{NO}_3\text{-N}$  i jord- og vandprøver til rådighed fra 2 prøvetagninger i marts 1990 ved alle 57 målesteder i både 25 og 80 cm dybde.



Figur 2.6. Placering af sugeceller og prøvetagningssteder for jordprøver ved Rønhave. Numre på sugeceller, hvor der ikke er udtaget jordprøver i dette projekt, er ikke vist.

Resultater fra arealet ved Rabis stammer som tidligere omtalt fra et andet NPo-projekt. Her er der installeret 6 lysimetre af samme type som

ved St. Lyngby. Nedsivende vand opsamles over en periode på 1 måned. Desuden er der udtaget jordprøver, hvorfra jordvandet er ekstraheret. Prøvetagningerne er sket fra efteråret 1988 til foråret 1990. Prøvetagninger efter de to metoder er ikke sket samtidig som på de øvrige lokaliteter.

### 2.3. Prøvebehandling

#### Sugeceller og lysimetre

Analyse af prøver udtaget i sugeceller og lysimetre er i de fleste tilfælde udført i forbindelse med andre projekter. Analyser fra Rabis, St. Lyngby, Melby og Gøderup er udført af Danmarks Miljøundersøgelser, analyser fra Fladerne af Danmarks Geologiske Undersøgelse og  $\text{NO}_3$ -analyser fra Rønhave af Statens Planteavlsvforsøg. Øvrige analyser fra Rønhave og Askov er udført af Hedeselskabet i dette projekt, da de ikke indgår i andre analyseprogrammer. Der er ikke udført speciel interkalibrering mellem laboratorierne under projektet.

#### Centrifugering

Prøver ekstraheret ved centrifugering (metode 3) er analyseret for  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , tot-P, og K. Da der ved 1. prøvetagning for alle analyseparametre bortset fra  $\text{NO}_3\text{-N}$  var en meget klar forskel i resultaterne ved henholdsvis udtagning i keramiske sugeceller og ved centrifugering, blev analyseprogrammet for Rønhave ved 2. prøvetagning reduceret til  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Da der ved Fladerne og St. Lyngby var store afvigelser mellem  $\text{NO}_3$ -koncentrationer ved udtagning i lysimetre og sugeceller og ved udtagning af jordprøver ved 1. prøvetagning, blev analyseprogrammet for disse lokaliteter og Gøderup ved 2. prøvetagning udvidet til også at omfatte Cl og  $\text{SO}_4$ .

Sandjordsprøver er centrifugeret ved en hastighed svarende til 1000 G og lerjordsprøver ved en hastighed svarende til 3000 G. Jordvandet er ikke filtreret i forbindelse med centrifugeringen. Hvis der er konstateret jordpartikler i det centrifugerede jordvand, er disse bundfældet ved centrifugering, hvorefter vandet er dekanteret fra jordpartiklerne.

#### KCl-metoden

Alle jordprøver er analyseret for  $\text{NO}_3\text{-N}$  efter metode 4, hvor ca 100 g fugtig jord rystes 1 time med 200 ml 1N KCl. Efter filtrering bestemmes  $\text{NO}_3\text{-N}$  i KCl-opløsningen på auto-analyser. Jordens vandindhold bestemmes og den oprindelige  $\text{NO}_3\text{-koncentration}$  i jordvandet beregnes på grundlag af fortyndingen ved tilsætning af KCl-opløsningen. Metoden er beskrevet af Landbrugsministeriet (1988).

#### Udtagning og opbevaring af jordprøver

Jordprøver er opbevaret ved  $-20^\circ\text{C}$  fra udtagning til analyse efter KCl-metoden eller centrifugering. Jordprøver er udtaget med jordbor og er således ikke udtaget i naturlig lejring.

#### Opbevaring af vandprøver

Vandprøver fra Fladerne er opbevaret nedkølet indtil analyse i løbet af maksimalt en uge. Øvrige vandprøver er opbevaret nedfrosset indtil analyserne er udført.

### 3. RESULTATER

**Analyseresultater** I dette afsnit præsenteres analyseresultaterne. Resultaterne omtales kort og de forskellige prøvetagningsmetoder sammenlignes. En nærmere vurdering af resultaterne, herunder årsager til de store variationer mellem forskellige prøvetagningsmetoder, der er fundet i nogle tilfælde, omtales nærmere i afsnit 4.

Ved statistiske beregninger er antaget, at analyseresultaterne er normalfordelt, selvom dette ikke er testet. I en del tilfælde hvor spredningen har været stor og/eller analyseantallet lille, er beregning af standardafvigelse dog udeladt.

**Præsentation af resultater** Resultaterne af de enkelte analyser er vist dels i tabelform, hvor også gennemsnit, minimums- og maksimumskoncentrationer samt standardafvigelser og variationskoefficienter (standardafvigelse/gennemsnit) ved de enkelte prøvetagninger er vist, og dels i figurer, hvor normalfordelingskurver med de beregnede middelværdier og standardafvigelser for de enkelte analysemetoder er vist. I tilfælde, hvor standardafvigelsen ikke er beregnet, er gennemsnit i disse figurer vist ved en lodret linie.

#### 3.1. Nitrat

**Nitratanalyser** Resultaterne af  $\text{NO}_3$ -analyser er vist i tabel 3.1. Normalfordelingskurver med de beregnede middelværdier og standardafvigelser for de enkelte analysemetoder er vist i figur 3.1.

Tabel 3.1. Analyseresultater for NO<sub>3</sub>-N. Koncentrationer i mg NO<sub>3</sub>-N/l.

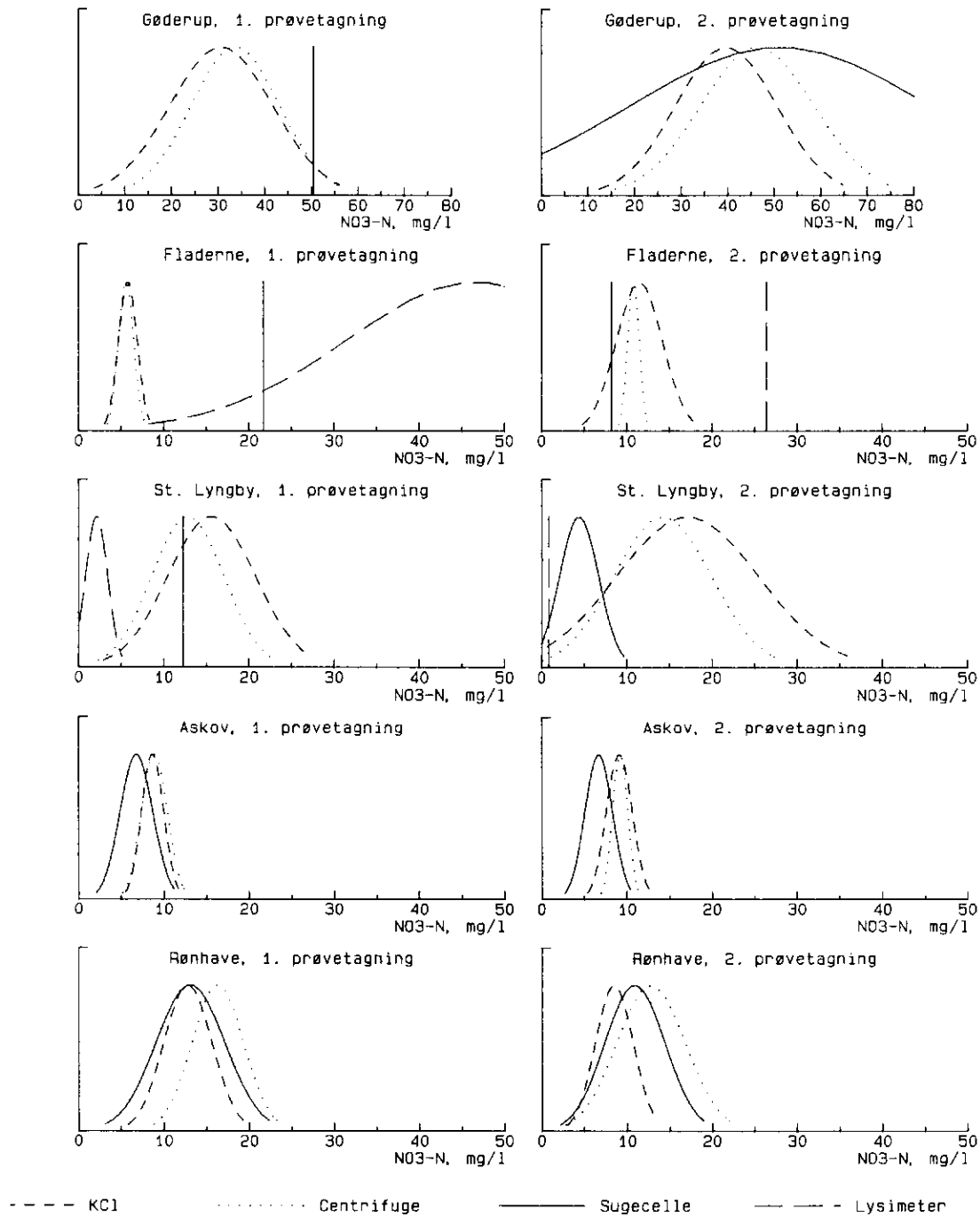
1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup			Fladerne				St. Lyngby				Askov			Rønhave		
	KCl	Cent	Sug.	KCl	Cent	Sug.	Lys.	KCl	Cent	Sug.	Lys.	KCl	Cent	Sug.	KCl	Cent	Sug.
1	20.5	20.0	28.9	6.8	5.7	14.2	55.1	13.9	14.0			8.3	6.8	7.1	17.2	17.0	16.2
2	18.3	22.0		5.5	6.0	21.0	48.3	8.2	7.2			11.1	9.2	6.5	12.6	16.8	24.7
3	48.5	51.0		4.2	6.3		70.0	14.6	11.0			9.1	9.8	5.3	15.3	20.0	18.5
4	22.7	28.0		5.1	4.5			7.1	13.9			7.8	7.0	5.2	11.2	20.0	16.1
5	18.6	24.0		6.0	5.8			18.5	12.0			7.6	8.4	5.8	8.9	13.6	13.0
6	24.5	38.0		6.4	6.6			19.3	18.0			8.5	9.4	8.2	15.8	19.6	20.4
7	52.6	39.0	71.9	5.4	5.4			14.0	12.0			9.7	9.0	6.3	11.4	17.6	15.6
8	26.5	34.0		6.6	6.4			22.9	20.0			6.4	8.4	8.9	15.4	22.0	19.4
9	25.7	27.0		5.7	4.6	27.3	45.2	22.8	11.0			9.4	12.2	7.8	15.5	15.4	10.9
10	35.8	44.0		4.6	5.0	24.4	25.1	22.8	19.0			9.5	8.8		13.3	15.0	17.0
11	43.6	42.0		7.7	6.8		36.6	14.2	13.0	0.6		9.8	7.9	10.0	10.5	11.8	15.1
12	20.2	19.0		4.6	4.5			20.4	17.0	3.4		7.2	10.2	3.5	7.4	15.0	9.7
13	35.5	40.0		6.4	5.1			15.5	13.0	1.9					15.6	16.6	10.5
14	23.4	37.0		4.6	4.6			13.9	7.8	1.4					10.5	12.4	17.3
15	36.9	42.0		7.5	7.6			8.6	6.0	10.1	3.9				11.2	13.0	13.9
16	38.0	33.0		5.1	5.3			13.6	9.1	14.2	1.1				12.8	15.6	10.2
gns.	30.7	33.7	50.4	5.8	5.6	21.7	46.7	15.6	12.8	12.2	2.1	8.7	8.9	6.8	12.8	16.3	13.1
min.	18.3	19.0	28.9	4.2	4.5	14.2	25.1	7.1	6.0	10.1	0.6	6.4	6.8	3.5	7.4	11.8	6.2
max.	52.6	51.0	71.9	7.7	7.6	27.3	70.0	22.9	20.0	14.2	3.9	11.1	12.2	10.0	17.2	22.0	24.7
st.afv	11.0	9.5	-	1.1	0.9	-	15.4	5.1	4.2	-	1.3	1.3	1.5	1.9	2.8	3.0	4.0
v.koef	36%	28%	-	19%	16%	-	33%	33%	33%	-	62%	15%	17%	28%	22%	18%	31%

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup			Fladerne				St. Lyngby				Askov			Rønhave		
	KCl	Cent	Sug.	KCl	Cent	Sug.	Lys.	KCl	Cent	Sug.	Lys.	KCl	Cent	Sug.	KCl	Cent	Sug.
1	36.9	22.0		14.2	11.2	8.6		36.4	28.0			10.7	11.4	5.6	5.9	11.0	9.7
2	35.7	52.0		14.6	10.2	8.1		28.4	13.0			9.8	9.8	6.6	8.9	13.0	11.0
3	52.6	50.0	40.0	8.8	11.0			6.8	8.1			7.5	8.6		7.6	13.0	18.5
4	51.2	56.0	61.3	9.5	11.2			6.2	5.9			7.8	9.2	4.8	7.9	13.0	10.2
5	38.6	42.0	0.8	12.7	11.6			15.9	18.0			6.1	9.0	8.2	6.4	8.9	8.8
6	52.7	68.0	55.7	10.9	11.6			24.9	20.0			9.2	9.6	9.2	9.6	11.0	16.4
7	32.9	46.0	50.7	10.6	10.6			11.4	13.0			11.1	9.0	6.6	9.2	16.0	15.2
8	43.6	48.0		7.3	10.2			7.1	11.0			9.9	8.4	8.8	8.0	15.0	8.0
9	55.2	44.0	109.	14.2	9.6	8.4		19.1	8.8			9.2	8.6	5.8	9.0	13.0	11.9
10	48.1	38.0	80.5	8.8	10.0	7.7		21.1	22.0			9.8	8.0	5.0	11.7	15.0	11.7
11	28.6	54.0	46.3	16.1	10.6		26.4	15.6	12.0	5.6		9.9	10.0		7.7	24.0	17.7
12	19.1	26.0	16.3	10.9	10.2			17.6	12.0	7.4		7.7	8.4		8.9	7.6	12.0
13	31.1	36.0		12.7	12.2			19.5	16.0	0.7					10.6	11.0	11.9
14	27.8	42.0		10.9	10.6			9.2	11.0	4.8	1.6				6.5	13.0	14.2
15	49.1	58.0		7.3	10.2			15.1	12.0	2.8	0.4				13.8	14.0	18.6
16	31.4	60.0		14.2	11.2			19.8	16.0	5.0	0.3				4.9	6.3	10.3
gns.	39.7	46.4	51.2	11.5	10.8	8.2	26.4	17.1	14.2	4.4	0.8	9.1	9.2	6.7	8.5	12.8	10.9
min.	19.1	22.0	0.8	7.3	9.6	7.7	26.4	6.2	5.9	0.7	0.3	6.1	8.0	4.8	4.9	6.3	4.7
max.	55.2	68.0	109.	16.1	12.2	8.6	26.4	36.4	28.0	7.4	1.6	11.1	11.4	9.2	13.8	24.0	18.6
st.afv	10.9	12.2	32.1	2.7	0.7	-	-	8.3	5.7	2.3	-	1.5	0.9	1.6	2.2	4.0	3.5
v.koef	27%	26%	63%	23%	6%	-	-	49%	40%	53%	-	16%	10%	24%	26%	31%	32%



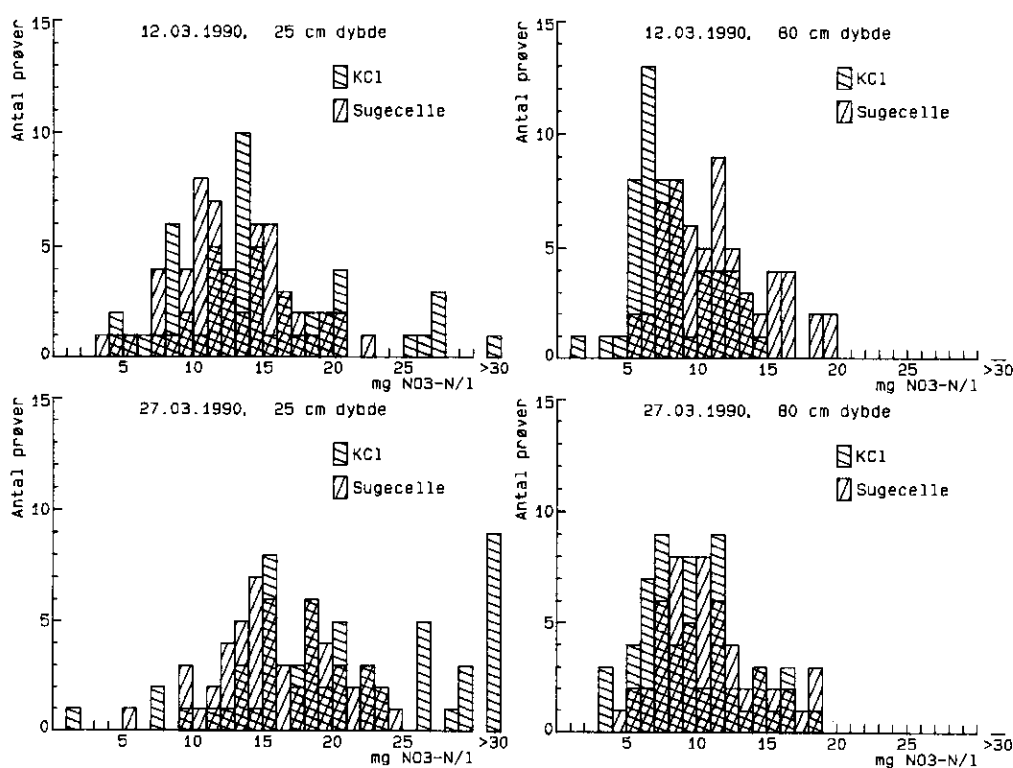


Figur 3.1. Normalfordelingskurver for  $\text{NO}_3\text{-N}$  i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.

- Gøderup På tørvejorden ved Gøderup er der store standardafvigelser for alle analysemetoder, men især for sugecellerne. Koncentrationerne er ved begge prøvetagninger mindst for KCl-metoden og størst for sugeceller, men på grund af de store standardafvigelser er forskellene ikke signifikante.
- Ved første prøvetagning er for sugeceller kun analyseret fællesprøver for henholdsvis nr. 1-6 og 7-12. Dette gælder også de andre analyseparametre.
- Fladerne Ved Fladerne giver KCl- og centrifugemetoden ved begge prøvetagninger næsten samme gennemsnit. Sugeceller har ved første prøvetagning vist næsten 4 gange så stor koncentration som KCl og centrifugemetoden, men ved anden prøvetagning har koncentrationerne været ca. 20 % mindre. Lysimetre har ved begge prøvetagninger vist langt større koncentrationer end de øvrige metoder.
- Ved sidste prøvetagning var der kun vand i den ene af de seks lysimetre.
- St. Lyngby Ved St. Lyngby er der en tendens til, at KCl-metoden viser større koncentrationer end centrifugemetoden. Også her afviger sugeceller og lysimetre fra de øvrige metoder, men viser her mindre koncentrationer i modsætning til resultaterne fra Fladerne. Ved første prøvetagning har sugeceller dog vist næsten samme koncentrationer som centrifugemetoden.
- For sugeceller er ved første prøvetagning analyseret på 2 fællesprøver fra hver 5 sugeceller.
- Askov og Rønhave Ved Askov og Rønhave er der ikke signifikant forskel mellem de enkelte metoder. Der er dog en

tendens til, at sugeceller har vist de mindste koncentrationer ved Askov og at centrifugemetoden har vist de største koncentrationer på begge lokaliteter. For Rønhave er i tabel 3.1 kun medtaget analyser fra sugeceller, hvor der er udtaget jordprøver ved siden af. Gennemsnit og spredning er dog beregnet for alle prøver.

På arealet ved Rønhave har Statens Planteavlsvforsøg 14.03.90 og 28.03.90 udtaget vandprøver med sugeceller og sammenlignet med jordprøver analyseret efter KCl-metoden. Jordprøver blev udtaget 12.03.90 og 27.03.90. Ved hver prøvetagning blev udtaget 57 prøver i 25 cm dybde og samme antal i 80 cm dybde. Resultaterne er vist i figur 3.2.



Figur 3.2. Fordeling af  $\text{NO}_3$ -analyser fra sugeceller og jordprøver analyseret efter KCl-metoden udtaget ved Rønhave.

Test af, om data er normalfordelt eller logaritmsk normalfordelt (proc univariate i SAS, SAS Procedure Guide 1988) gav følgende resultat:

Dato	12.03.1990				27.03.1990			
	25 cm		80 cm		25 cm		80 cm	
fordeling	norm	log	norm	log	norm	log	norm	log
Sugeceller	+	-	-	+	+	-	-	+
KCl	-	+	+	-	+	-	+	+

Det ses, at resultaterne i nogle tilfælde har været normalfordelt og i nogle tilfælde har de log-transformerede data været normalfordelt.

Gennemsnitskoncentrationer, standardafvigelse og variationskoefficienter ved de enkelte prøvetagninger er vist i tabel 3.2.

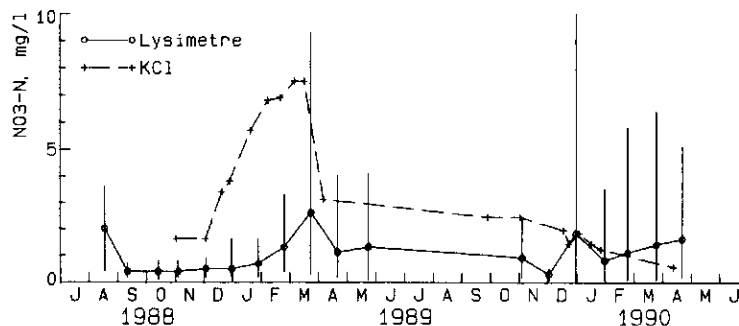
Tabel 3.2. Analyser af NO<sub>3</sub>-N, mg/l, i prøver fra Rønhave udtaget i sugeceller og i jordprøver analyseret efter KCl-metoden.

Dato	12.03.1990				27.03.1990			
	25 cm		80 cm		25 cm		80 cm	
Dybde Metode	Sugec.	KCl	Sugec.	KCl	Sugec.	KCl	Sugec.	KCl
Gennemsnit	12.8	14.6	11.6	8.2	16.2	21.4	10.9	9.6
Minimum	3.8	4.6	5.9	1.7	5.1	1.5	4.7	3.1
Maximum	22.7	32.2	19.3	14.2	24.5	41.0	18.6	18.7
Std.afv.	4.1	6.1	3.4	2.8	4.1	8.4	3.5	3.5
Var.koeff.	32 %	41 %	30 %	33 %	25 %	39 %	32 %	36 %

Variationskoefficienterne har været større for jordprøver end prøver udtaget i sugeceller. Tilsvarende forskel mellem variationskoefficienter for metoderne og tilsvarende størrelse af variationskoefficienter er fundet for grovsandet jord ved Jyndevad af Djurhuus (1990).

Variationskoefficienterne for NO<sub>3</sub>-N fra dette projekt (tabel 3.1) er dog ikke så entydige.

Resultater af  $\text{NO}_3$ -analyser i prøver udtaget ved Rabis er vist i figur 3.3. Det fremgår heraf, at KCl-metoden bortset fra den sidste del af forsøgsperioden har vist væsentlig større koncentrationer end lysimetrene.



Figur 3.3.  $\text{NO}_3$ -koncentrationer i vandprøver udtaget i lysimetre og i jordprøver analyseret efter KCl-metoden ved Rabis. Lodrette linier viser variationsintervallet for lysimetre.

For lysimetre og jordprøver er udtagnings-tidspunktet vist, dvs. at prøverne for lysimetrene er opsamlet i den forudgående periode. Kurven for lysimetre er således forskudt med ca. en halv udtagningsperiode.

### 3.2. Ammonium

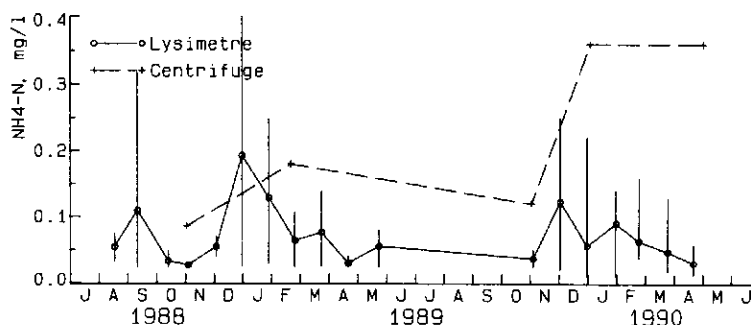
Analyseresultaterne for  $\text{NH}_4\text{-N}$  er vist i tabel 3.3 og fordelingskurver er vist i figur 3.5.

**Store variationer** Det fremgår heraf, at der generelt er store variationer mellem de enkelte prøvetagningsmetoder. I de fleste tilfælde har der desuden været meget store spredninger for de enkelte prøvetagningsmetoder, i nogle tilfælde mere end en faktor 100 forskel mellem største og mindste koncentration.

Centrifugemetoden har i de fleste tilfælde vist de største koncentrationer. Ved St. Lyngby har sugeceller dog ved begge prøvetagninger vist langt større koncentrationer end de øvrige prøvetagningsmetoder. Desuden bemærkes de store koncentrationer ved anden prøvetagning ved Fladerne. Disse koncentrationer er langt større end normalt på mineraljord. Her har variationen mellem enkeltanalyser dog været relativ beskedne.

**Rabis**

Ved Rabis er  $\text{NH}_4\text{-N}$  kun analyseret nogle få gange efter centrifugemetoden. Centrifugemetoden har i hele perioden vist større koncentrationer end lysimetre, figur 3.4.



Figur 3.4.  $\text{NH}_4\text{-N}$  bestemt ved lysimeter- og centrifugemetoden ved Rabis. Lodrette linier viser variationsintervallet for lysimetre.

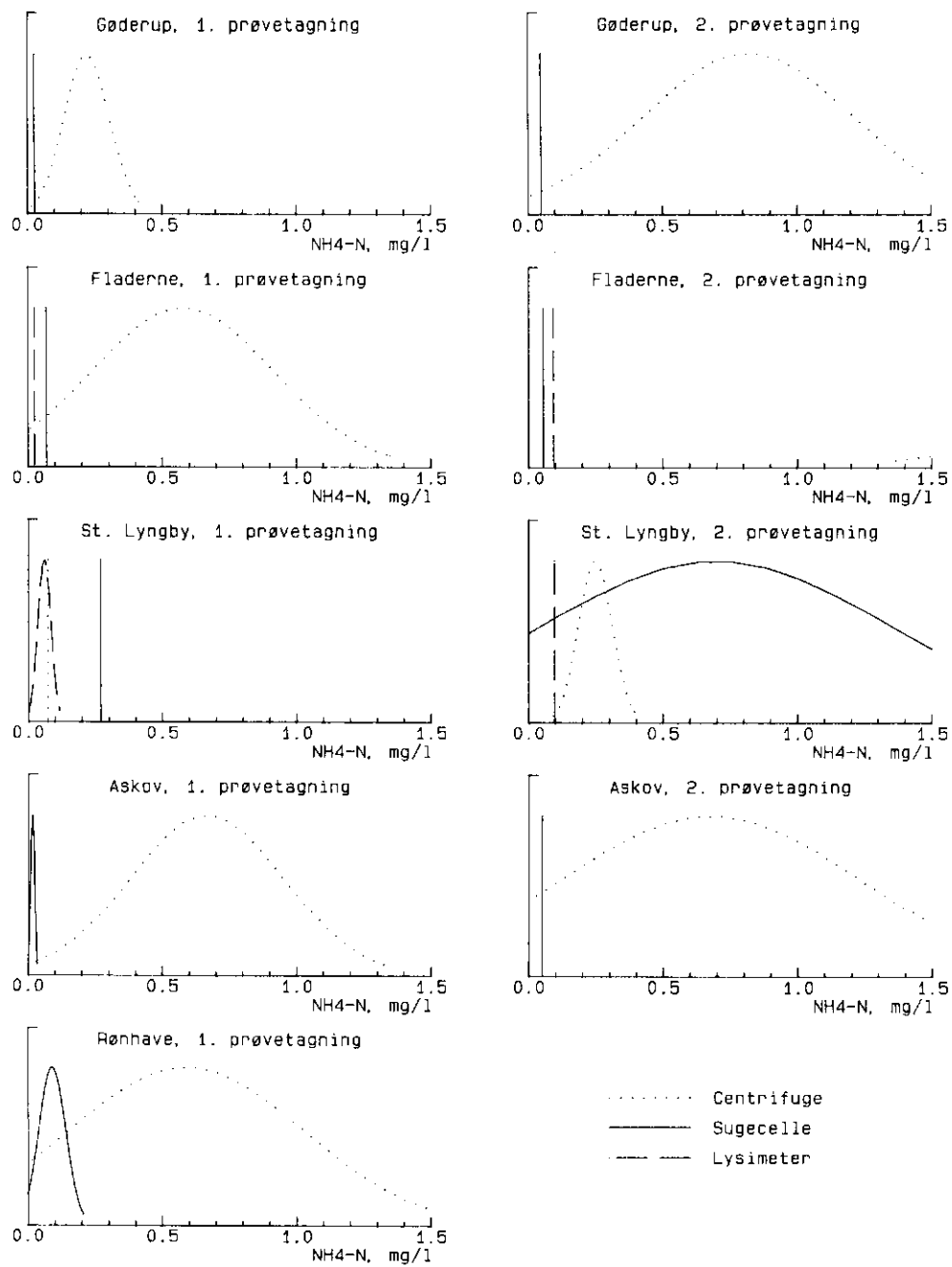
Tabel 3.3. Analyseresultater for NH<sub>4</sub>-N, mikrogram NH<sub>4</sub>-N/l.

1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	260	23	520	62	62	4			980	14	1120	38
2	240		1600	16	8	5			380	7	480	70
3	490		570		8	26			700	15	720	116
4	260		740			35			1220	31	340	138
5	260		230			29			620	14	86	56
6	180		970			65			110	19	780	48
7	200	27	390			71			460	25	380	82
8	140		530			41			700	3	760	82
9	150		430	125	47	39			880	14	80	94
10	200		360	70	8	44			550		280	52
11	170		380		8	300	107		720		135	220
12	260		510			300	60		660		340	50
13	150		320			190	61				420	48
14	190		340			7	44				900	112
15	190		530			17	233	40			960	68
16	220		810			2	306	47			1660	170
gns.	222	25	577	68	23	73	270	60	665	16	590	90
min.	140	23	230	16	8	2	233	40	110	3	80	38
max.	490	27	1600	125	62	300	306	107	1220	31	1660	220
st.afv	83	-	335	-	-	-	-	25	287	8	430	50
v.koef	37%	-	58%	-	-	-	-	42%	43%	50%	73%	56%

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	700	48	3400	46		270			1820	8		
2	700	65	3200	54		120			400	2		
3	1760		3200			280			28			
4	1560		2600			190			240	16		
5	880		2600			320			920	16		
6	1240	31	2600			310			700	42		
7	740	33	4200			330			152	18		
8	520		2600			230			900	176		
9	680		1960	39		150			980	8		
10	920	58	1880	78		210			540	152		
11	680		3800		93	290	1934		1400			
12	700		2400			220	405		32			
13	460		3000			250	418					
14	760		3600			250	181	77				
15	440		3000			210	848	151				
16	380		3200			330	393	61				
gns.	820	47	2953	54	93	248	697	96	676	49		
min.	380	31	1880	39	93	120	181	61	28	2		
max.	1760	65	4200	78	93	330	1934	151	1820	176		
st.afv	389	-	634	-	-	63	644	-	558	-		
v.koef	47%	-	21%	-	-	25%	92%	-	83%	-		



Figur 3.5. Normalfordelingskurver for  $\text{NH}_4\text{-N}$  i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.



### 3.3. Orthofosfat

Analyseresultaterne for  $\text{PO}_4\text{-P}$  er vist i tabel 3.4 og fordelingskurver er vist i figur 3.7.

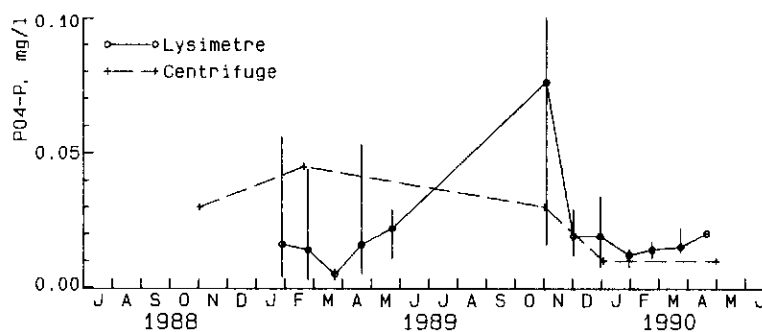
Stor variation i koncentrationer

Som for  $\text{NH}_4\text{-N}$  er der i de fleste tilfælde store variationer mellem de enkelte prøvetagningsmetoder. Desuden er der i flere tilfælde meget store variationer mellem enkeltanalyser ved de enkelte prøvetagninger.

Også for  $\text{PO}_4\text{-P}$  er koncentrationer i sugeceller ved Askov og Rønhave meget små. Desuden bemærkes de store koncentrationer for lysimetre ved St. Lyngby. Ved Gøderup har der for sugeceller været meget store variationer mellem koncentrationer ved de to prøvetagninger og meget store variationer mellem enkeltprøver ved 2. prøvetagning.

Rabis

Lysimeter og centrifugemetoden har vist nogenlunde overensstemmelse ved Rabis, figur 3.6. Det skal igen bemærkes, at prøver i lysimetre repræsenterer tidsrummet siden foregående prøvetagning og jordprøver selve udtagningstidspunktet.



Figur 3.6.  $\text{PO}_4\text{-P}$  bestemt ved lysimeter- og centrifugemetoden ved Rabis. Lodrette linier viser variationsintervallet for lysimetre.

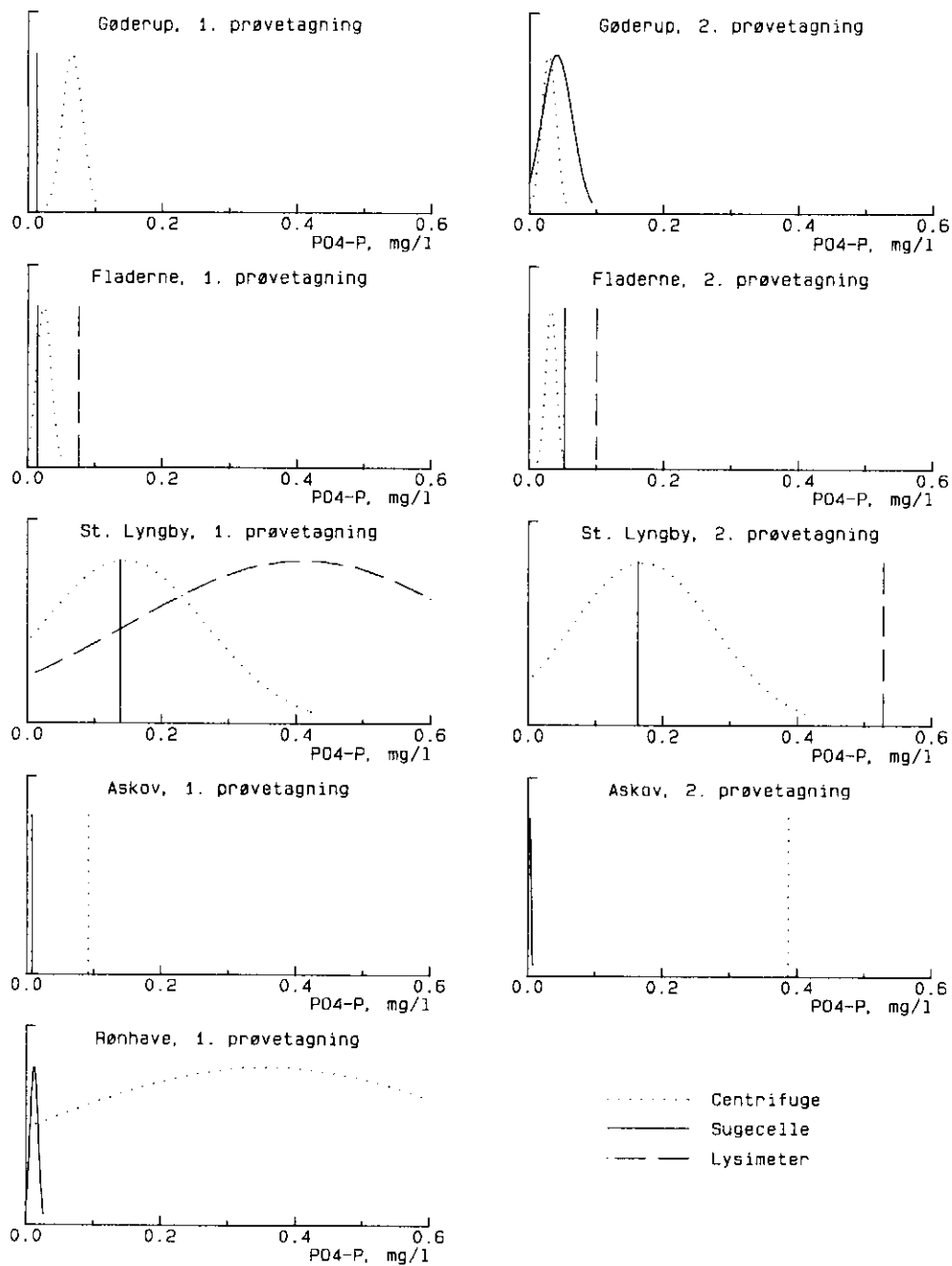
Tabel 3.4. Analyseresultater for PO<sub>4</sub>-P, mikrogram PO<sub>4</sub>-P/l.

1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	79	17	44	32	6	290			340	7	440	16
2	65		18	6	6	270			28	4	320	6
3	85		24		6	160			96	35	520	4
4	80		37			380			310	6	320	6
5	50		21			45			83		24	8
6	80		14			25			76	3	18	8
7	37	8	11			260			8	2	152	20
8	85		6			140			8	2	200	8
9	60		13	13		170			14	3	140	16
10	60		31	6	240	170			32		40	14
11	55		23		120	6	434		45		14	20
12	60		23			2	243		60		620	10
13	45		31			7	307				6	8
14	60		30			240		417			970	20
15	80		41			140	54	169			1000	6
16	70		12			7	222	898			960	20
gns.	66	13	24	14	76	144	138	411	92	8	359	12
min.	37	8	6	6	6	2	54	169	8	2	6	4
max.	85	17	44	32	240	380	222	898	340	35	1000	20
st.afv	15	-	11	-	-	121	-	259	-	-	360	6
v.koef	23%	-	46%	-	-	84%	-	63%	-	-	100%	50%

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	20	54	46	59		6			28	2		
2	32	71	36	6		65			1440	2		
3	28		32			370			720			
4	24		24			290			400	6		
5	38		24			39			360	4		
6	42	24	24			87			320	6		
7	25	39	28			280			60	2		
8	30		24			250			150	2		
9	48		36	121		150			6	4		
10	20	15	44	26		230						
11	32		24		101	180	13					
12	28		36			180	12					
13	36		38			110	145					
14	12		36			260	95	438				
15	12		42			200	456	569				
16	44		40			39	260	576				
gns.	29	41	33	53	101	170	163	528	387	3		
min.	12	15	24	6	101	6	12	438	6	2		
max.	48	71	46	121	101	370	456	576	1440	6		
st.afv	11	23	8	-	-	106	-	-	-	2		
v.koef	38%	55%	24%	-	-	62%	-	-	-	66%		



Figur 3.7. Normalfordelingskurver for  $PO_4\text{-P}$  i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.

### 3.4. Total fosfor

Analyseresultaterne for Tot-P er vist i tabel 3.5 og fordelingskurver er vist i figur 3.9.

Stor variation i koncentrationer

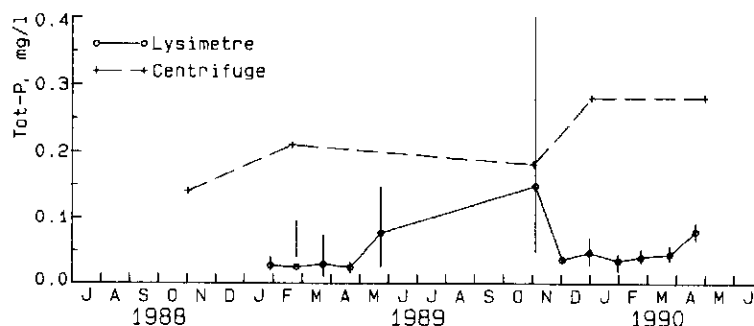
Som for  $\text{PO}_4\text{-P}$  er der i mange tilfælde store variationer mellem de enkelte prøvetagningsmetoder, og der er i flere tilfælde store variationer mellem enkeltanalyser.

Også for Tot-P er koncentrationer i sugeceller ved Askov og Rønhave meget små. Desuden bemærkes de store koncentrationer for lysimetre ved St. Lyngby.

Variationen mellem enkeltanalyser er for  $\text{PO}_4\text{-P}$  og Tot-P størst ved Askov og Rønhave, hvor jordens vandindhold er størst og luftskiftet derfor dårligst.

Rabis

Centrifugemetoden har vist betydelig større koncentrationer end lysimetermetoden ved Rabis, figur 3.8. Det skal igen bemærkes, at prøver i lysimetre repræsenterer tidsrummet siden foregående prøvetagning og jordprøver selve udtagnings tidspunktet.



Figur 3.8. Tot-P bestemt ved lysimeter- og centrifugemetoden ved Rabis. Lodrette linier viser variationsintervallet for lysimetre.

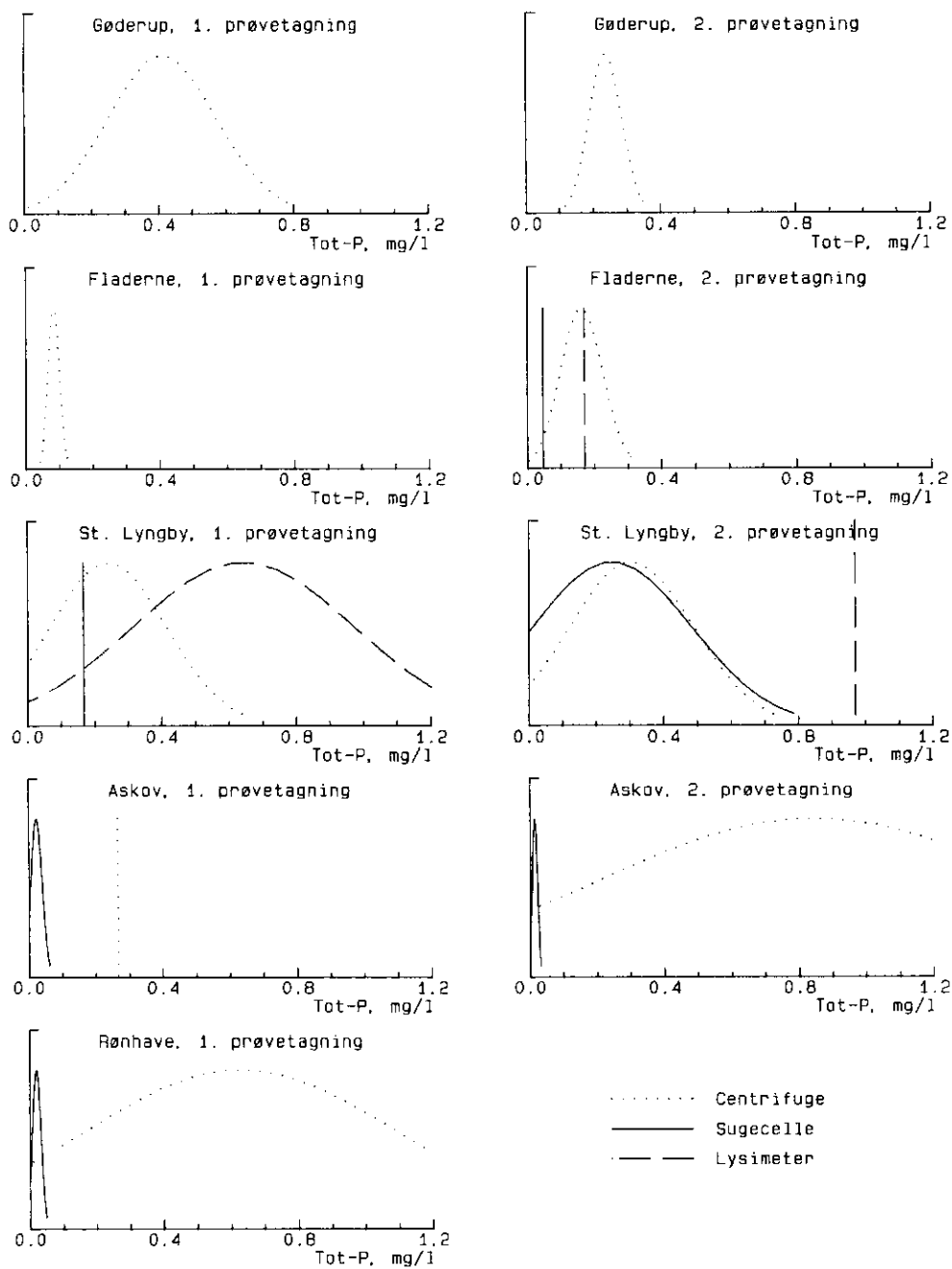
Tabel 3.5. Analyseresultater for Tot-P, mikrogram Tot-P/l.

1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup	Fladerne		St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent Sug.	Cent	Sug. Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	390	110		290			980	10	1100	16
2	400	70		490			94	10	370	26
3	300	69		240			260	34	560	56
4	560	78		550			920	10	380	14
5	410	69		110			166	32	28	10
6	450	66		65			152	33	28	10
7	220	130		290			86	57	960	28
8	400	83		210			78	12	300	10
9	240	100		230			78	6	800	28
10	310	89		200			160		380	14
11	510	72		60	437		130		280	20
12	320	80		32	531		93		870	10
13	260	74		90	645				98	10
14	550	79		410	909				1100	44
15	870	84		520	84	216			1400	10
16	400	96		70	251	1121			1400	20
gns.	412	84		241	167	643	266	23	628	20
min.	220	66		32	84	216	78	6	28	10
max.	870	130		550	251	1121	980	57	1400	56
st.afv	160	17		173	-	328	-	17	466	13
v.koef	39%	20%		72%	-	51%	-	74%	74%	65%

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup	Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	154	190	40		32			500	8		
2	260	140	20		140			2200	8		
3	240	168			490			1660			
4	340	108			410			940	24		
5	188	340			160			500	8		
6	300	220			240			680	12		
7	220	140			500			700	14		
8	200	108			640			280	30		
9	240	102	90		200			98	8		
10	164	140	40		300						
11	260	176		170	220	46					
12	280	96			200	34		860			
13	240	140			140	219					
14	240	168			580	155	594				
15	220	112			480	643	1074				
16	240	240			170	393	1241				
gns.	237	162	47	170	306	248	970	842	14		
min.	154	96	20	170	32	34	594	98	8		
max.	340	340	90	170	640	643	1241	2200	30		
st.afv	48	63	-	-	183	234	-	639	8		
v.koef	20%	39%	-	-	60%	94%	-	76%	57%		



Figur 3.9. Normalfordelingskurver for Tot-P i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.

### 3.5. Kalium

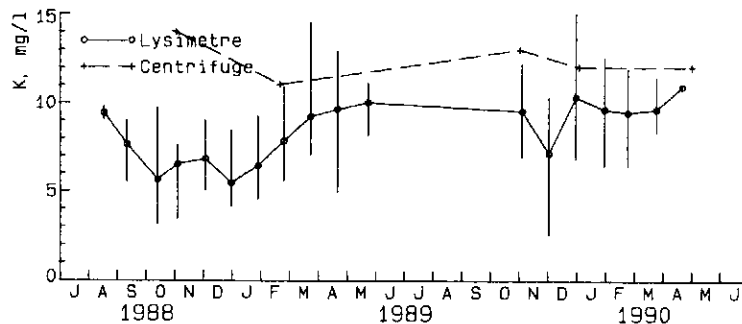
Resultaterne for kalium er vist i tabel 3.6 og figur 3.11.

Mindre K-koncentrationer i sugeceller

Ved Askov og Rønhave, hvor der er anvendt keramiske sugeceller, viser disse klart mindre K-koncentrationer end centrifugemetoden. Ved Gøderup har sugeceller også vist mindre koncentrationer end centrifugemetoden, selvom der her er anvendt teflonsugeceller.

Ved St. Lyngby er der ikke signifikant forskel mellem resultater fra de tre metoder. Der er dog en tendens til, at sugeceller også her har vist de mindste K-koncentrationer.

Ved Rabis er der en tendens til, at centrifugemetoden viser større koncentrationer end lysimeterne, figur 3.10.



Figur 3.10. K-koncentrationer bestemt ved lysimeter- og centrifugemetoden ved Rabis. Lodrette linier viser variationsintervallet for lysimeterne.

Tabel 3.6. Analyseresultater for K, mg K/l.

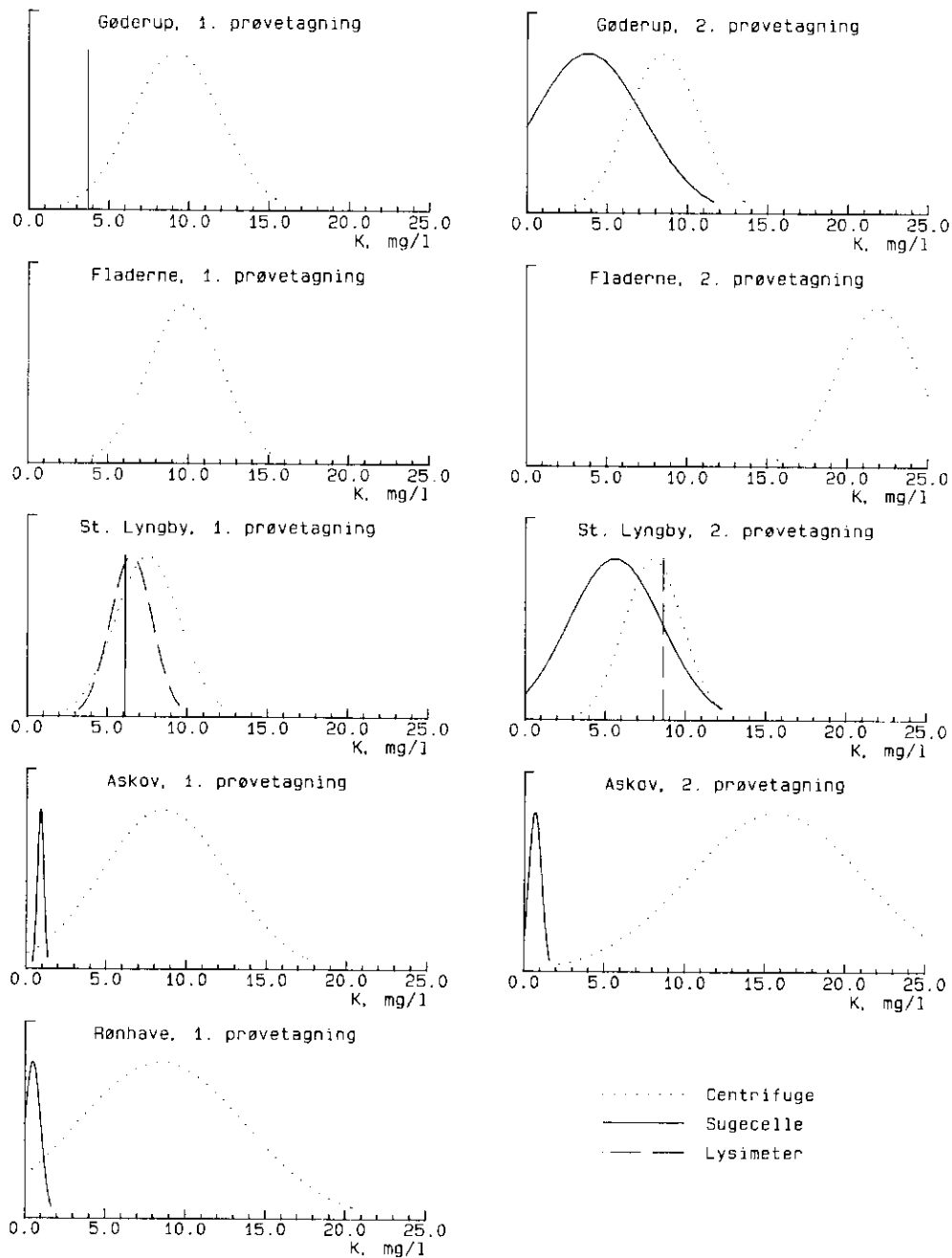
1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne		St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug. Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	9.6	4.0	12.0		12.0			10.2	1.0	9.0	2.0
2	7.6		13.0		8.4			10.8	0.8	5.4	1.2
3	8.0		14.0		7.6			12.0	0.8	9.0	0.4
4	5.4		12.0		7.0			17.2	0.8	6.8	0.4
5	8.8		9.0		5.4			8.0	0.6	5.2	0.4
6	7.2		12.0		5.6			8.0	0.6	1.2	0.4
7	13.0	3.4	8.8		9.4			3.2	0.8	8.2	0.2
8	11.0		8.0		8.8			3.6	1.2	4.4	0.2
9	7.4		5.4		6.6			5.2	1.0	7.6	0.4
10	6.0		8.6		9.6			6.5		5.6	0.4
11	10.0		9.6		4.0		5.3	9.9	1.0	3.6	
12	13.0		11.0		4.6		8.9	9.0	0.8	9.4	0.2
13	14.0		7.6		8.2		5.3			5.9	0.2
14	7.6		8.0		8.0		6.7			17.0	0.4
15	6.6		9.0		9.0	2.9	6.3			17.0	0.4
16	12.0		8.8		6.6	9.3	6.3			20.0	0.4
gns.	9.2	3.7	9.9		7.5	6.1	6.5	8.6	0.9	8.5	0.5
min.	5.4	3.4	5.4		4.0	2.9	5.3	3.2	0.6	1.2	0.2
max.	14.0	4.0	14.0		12.0	9.3	8.9	17.2	1.2	20.0	2.0
st.afv	2.7	-	2.3		2.0	-	1.3	3.9	0.2	5.2	0.5
v.koef	29%	-	23%		27%	-	20%	45%	22%	61%	100%

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne		St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug. Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1	8.9	9.3	26.0		11.0			16.8	0.8		
2		6.2	24.0		5.6			28.0	0.8		
3	6.8		24.0		10.0			22.0			
4			22.0		5.6			15.2	0.4		
5	7.2	3.3	24.0		8.2			15.6	0.4		
6	7.6	2.8	24.0		7.6			16.0	1.6		
7	8.4	0.6	22.0		9.4			13.6	0.4		
8	9.6		22.0		8.4			10.0	0.8		
9	6.4		22.0		4.8			6.9	0.8		
10	7.2	0.5	18.0		11.0			16.8	0.4		
11	8.8		18.4		7.4	7.9		12.4			
12	14.8		17.2		6.4	0.2		15.6			
13	7.2		20.0		7.8	4.7					
14	6.0		24.0		8.0	5.9	9.5				
15	9.2		22.0		8.4	7.3	8.2				
16	10.4		20.0		7.8	7.8	8.0				
gns.	8.5	3.8	21.9		8.0	5.6	8.6	15.7	0.7		
min.	6.0	0.5	17.2		4.8	0.2	8.0	6.8	0.4		
max.	14.8	9.3	26.0		11.0	7.9	9.5	28.0	1.6		
st.afv	2.2	3.4	2.5		1.8	2.9	-	5.4	0.4		
v.koef	26%	89%	11%		23%	52%	-	34%	57%		





Figur 3.11. Normalfordelingskurver for K i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.

### 3.6. Chlorid og sulfat

Udvidet analyse-  
program

Som omtalt i afsnit 2.3, blev analyseprogrammet i de centrifugerede prøver fra Fladerne, St. Lyngby og Gøderup ved anden prøvetagning udvidet til også at omfatte Cl og SO<sub>4</sub>. Årsagen var de store afvigelser i NO<sub>3</sub>-koncentrationer ved de forskellige prøvetagningsmetoder, der blev konstateret ved første prøvetagning. Formålet var, at forbedre mulighederne for at bestemme årsagerne til forskel i NO<sub>3</sub>-koncentrationer ved også at medtage disse mere konservative analyseparametre. Cl og SO<sub>4</sub> indgik i forvejen i analyseprogrammet for sugeceller og lysimetre på disse lokaliteter.

Analyseresultater for Cl er vist i tabel 3.7 og figur 3.12, og for SO<sub>4</sub> i tabel 3.8 og figur 3.13.

Stor forskel  
mellem metoder

Som det fremgår af disse tabeller og figurer, har der også for Cl og SO<sub>4</sub> været betydelige forskelle i koncentrationer bestemt ved de forskellige prøvetagningsmetoder.

Spredningen ved de enkelte prøvetagninger har, sammenlignet med de øvrige analyseparametre, været beskeden, dog har der været betydelige variationer ved Gøderup, især for sugeceller og især for SO<sub>4</sub>. De store koncentrationer og den store variation for SO<sub>4</sub> ved Gøderup skyldes muligvis pyritiltning efter afvanding af arealet sommeren 1986.

Ved St. Lyngby viser lysimetermetoden de mindste koncentrationer for både Cl og SO<sub>4</sub>, mens koncentrationerne ved Fladerne er mindst i sugeceller. Ved Gøderup er der ikke signifikant forskel på de anvendte metoder.

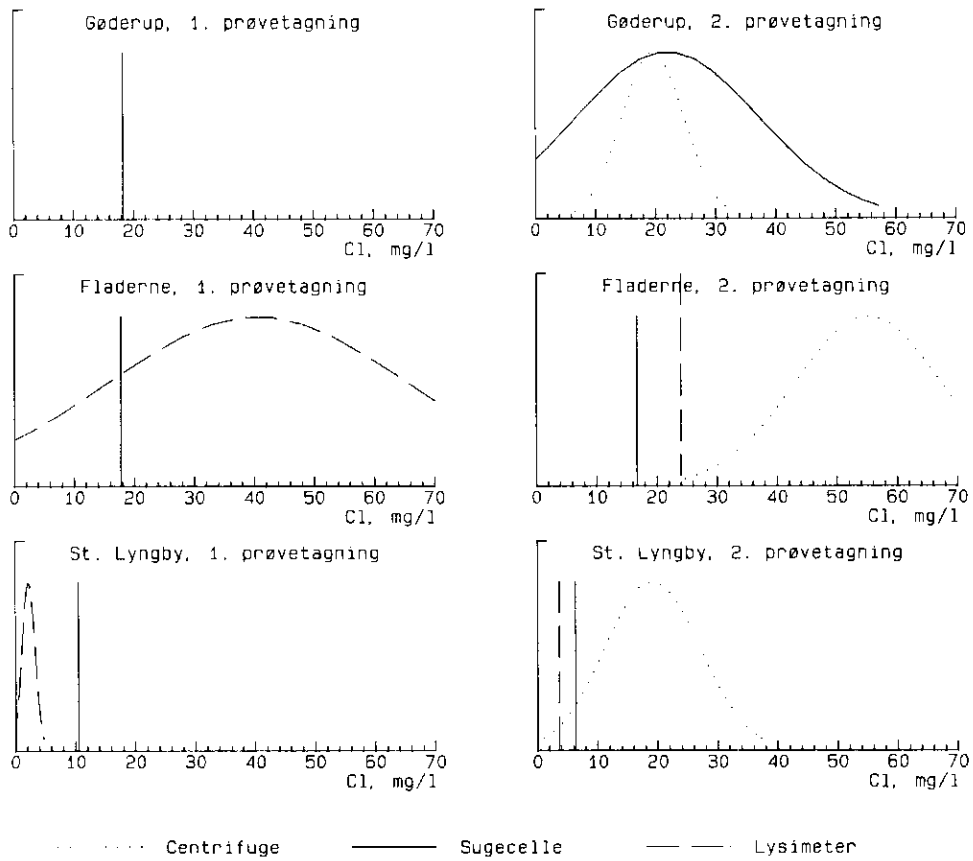
Tabel 3.7. Analyseresultater for Cl, mg Cl/l.

1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1		10.9		14.0	35.0							
2				15.0	53.0							
3					85.0							
4												
5												
6												
7												
8												
9		25.6		22.0	66.0							
10				19.0	22.0							
11					32.0						1.1	
12											1.8	
13											1.7	
14											1.7	
15								12.0	4.2			
16								9.0	2.5			
gns.		18.2		17.7	40.5			10.5	2.2			
min.		10.9		14.0	15.0			9.0	1.1			
max.		25.6		22.0	85.0			12.0	4.2			
st.afv		-		-	25.2			-	1.1			
v.koef		-		-	62%			-	50%			

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne			St. Lyngby			Askov		Rønhave	
	Cent	Sug.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Lys.	Cent	Sug.	Cent	Sug.
1			96.0	16.0		40.0						
2	22.0		64.0	16.0		14.0						
3	19.8	11.9	48.0			17.0						
4	32.0	19.8	42.0			10.0						
5	24.0	4.7	54.0			25.0						
6	18.0	14.6	48.0			28.0						
7	22.0	11.4	52.0			15.0						
8	24.0		54.0			12.0						
9	16.0	44.3	56.0	17.0		8.2						
10	14.8	26.9	54.0	18.0		17.0						
11	18.0	15.0	52.0		24.0	21.2	5.2					
12		49.0	50.0			16.0	6.4					
13	13.6		62.0			22.0	1.5					
14	22.0		52.0			15.0	19.5	2.3				
15	14.6		54.0			19.0	2.8	3.3				
16	13.2		46.0			26.0	2.4	5.1				
gns.	19.6	22.0	55.2	16.7	24.0	19.1	6.3	3.6				
min.	13.2	4.7	42.0	16.0	24.0	8.2	1.5	2.3				
max.	32.0	49.0	96.0	19.0	24.0	40.0	19.5	5.1				
st.afv	5.2	15.3	12.2	-	-	7.9	-	-				
v.koef	27%	70%	22%	-	-	41%	-	-				



Figur 3.12. Normalfordelingskurver for Cl i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.

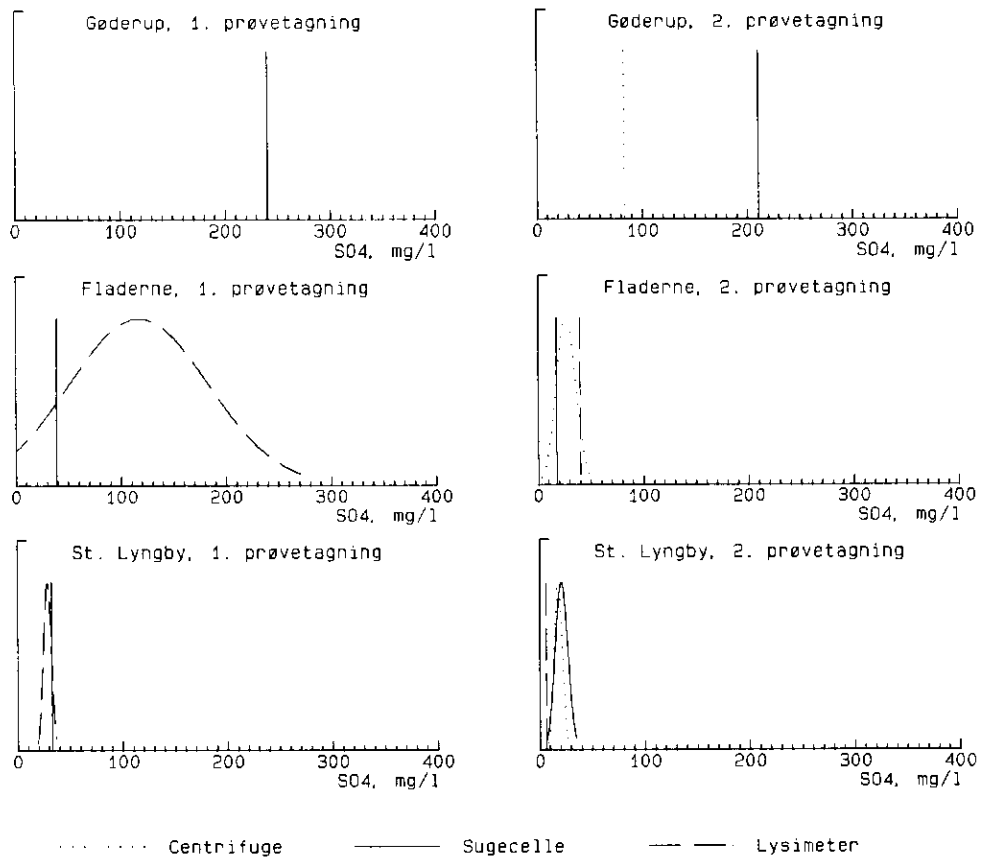
Mindre koncentrationer af Cl og især  $SO_4$  ved anden prøvetagning end ved første i lysimeter ved Fladerne skyldes delvis, at kun et lysimeter er repræsenteret ved anden prøvetagning. Koncentrationerne i dette lysimeter var ved første prøvetagning væsentlig mindre end gennemsnittet for alle lysimeter.

Tabel 3.8. Analyseresultater for SO<sub>4</sub>, mg SO<sub>4</sub>/l.  
1. prøvetagning. Februar 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne		St. Lyngby		Askov	Rønhave
	Cent	Sug.	Cent	Sug. Lys.	Cent	Sug. Lys.		
1		60		27	153			
2				38	118			
3					220			
4								
5								
6								
7		420						
8								
9				43	120			
10				47	43			
11					48		33	
12							32	
13							26	
14							26	
15						38	29	
16						27	24	
gns.		240		39	117	32	28	
min.		60		27	43	27	24	
max.		420		47	220	38	33	
st.afv		-		-	67	-	4	
v.koef		-		-	57%	-	14%	

2. prøvetagning. Marts-april 1990.

Prøve nr.	Gøderup		Fladerne		St. Lyngby		Askov	Rønhave
	Cent	Sug.	Cent	Sug. Lys.	Cent	Sug. Lys.		
1			54	16	23			
2				16	12			
3	56	196	22		15			
4	48	83	22		14			
5	34	33	20		22			
6	28	112	32					
7	26	77			18			
8	26		28		17			
9	40	193	24	20	10			
10	420	1106	16	18	18			
11	110	61	30		40	21	28	
12		34	26			18	14	
13	86		27			13		
14	128		16		18	24	6	
15	40		30		21	23	6	
16	32		26		22	23	6	
gns.	83	211	27	18	40	18	21	6
min.	26	33	16	16	40	10	13	6
max.	420	1106	54	20	40	23	28	6
st.afv	-	-	9	-	-	4	6	-
v.koef	-	-	33%	-	-	22%	29%	-



Figur 3.13. Normalfordelingskurver for  $SO_4$  i jordvand ved forskellige prøvetagningsmetoder.

#### 4. DISKUSSION

Afvi-  
gelser  
mellem prøve-  
tagningsmetoder

I figur 4.1 er vist en oversigt over analysere-  
sultaterne fra dette projekt. Som det fremgår af  
afsnit 3 og figur 4.1, er der i en del tilfælde  
betydelige afvigelser mellem de undersøgte prø-  
vetagningsmetoder. I dette afsnit søges årsager-  
ne hertil belyst.

Da der tilsyneladende har været særlige proble-  
mer med de anvendte lysimetre, vurderes resul-  
tater herfra særskilt.

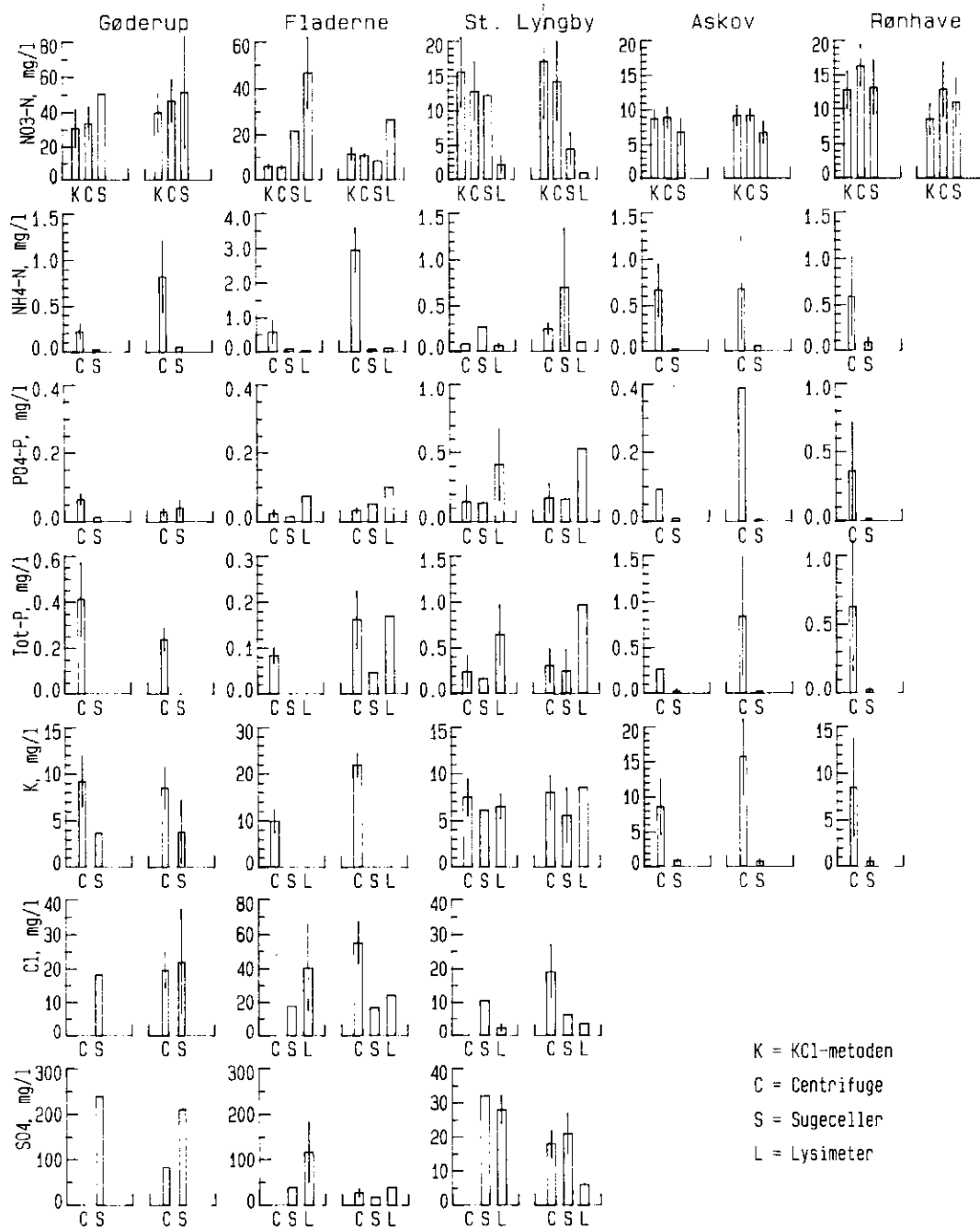
##### 4.1. Lysimetre

Lysimetre

Lysimetre ved Fladerne, St. Lyngby og Rabis har  
i de fleste tilfælde vist en sammensætning af  
jordvand, der afviger fra de øvrige prøvetag-  
ningsmetoder. En af årsagerne hertil er, at ly-  
simeterne har påvirket jordvandets strømninger.  
I figur 4.2 er vist summeret nedsivning beregnet  
på grundlag af vandmængder, der er opsamlet i  
lysimetrene og beregnet ved vandbalancebereg-  
ninger ved hjælp af programmet EVACROP (Olesen &  
Heidmann, 1990). Nedsivning i lysimetre er for  
alle lokaliteter gennemsnit af 6 lysimetre. Der  
har på alle arealer været stor forskel mellem de  
enkelte lysimetre.

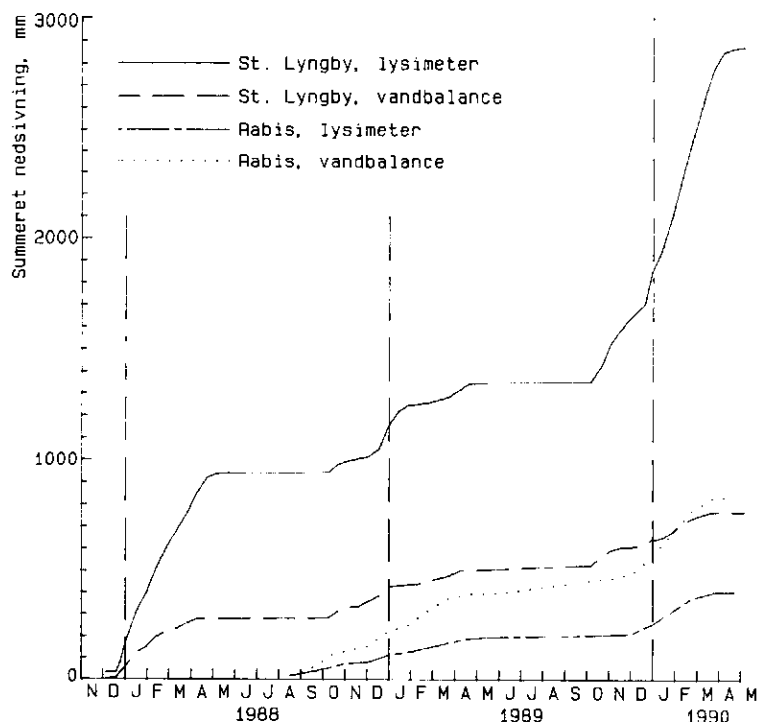
Mindre nedsivning  
i lysimetre ved  
Fladerne og Rabis

Ved Rabis er nedsivningen, der er målt i lysime-  
trene, ca. halvdelen af nedsivning beregnet ved  
vandbalanceberegninger. Ved Fladerne har den kun  
været 15-20 %. Det skyldes, at grundvandstanden  
her er betydelig under lysimetrene og at jorden  
i lysimetrene derfor ikke er så kraftig afdrænet  
som jorden ved siden af. På grund af potential-  
gradienter kan en del af det nedsivende vand  
derfor "suges" forbi lysimetrene (Beier et al.  
1988).



Figur 4.1. Oversigt over analyseresultater. Søjler viser gennemsnitskoncentrationer ved de enkelte prøvetagninger og lodrette streger viser intervallet gennemsnit  $\pm$  standardafvigelse hvor denne er beregnet. Resultater fra 1. prøvetagning er vist til venstre og fra 2. prøvetagning til højre i delfigurer.





Figur 4.2. Summeret nedsivning i lysimetre og beregnet ved vandbalanceberegninger.

Lysimetre ved St. Lyngby virker som dræn

Ved St. Lyngby har den gennemsnitlige nedsivning i lysimetrene været langt større end den beregnede nedsivning på arealet, dog har nogle lysimetre afgivet mindre perkolat end den beregnede nedsivning. Her reduceres jordens hydrauliske ledningsevne kraftigt med dybden i ca 1 m dybde på grund af ændringer i tekturen. Ved prøvetagning blev der således konstateret grundvand ved prøvetagningssted nr 1-2 og 8-10 (se figur 2.4). Nedsivende vandmængder i lysimetrene tyder på, at de har virket som dræn for de nærmeste omgivelser.

Vandbalanceberegninger

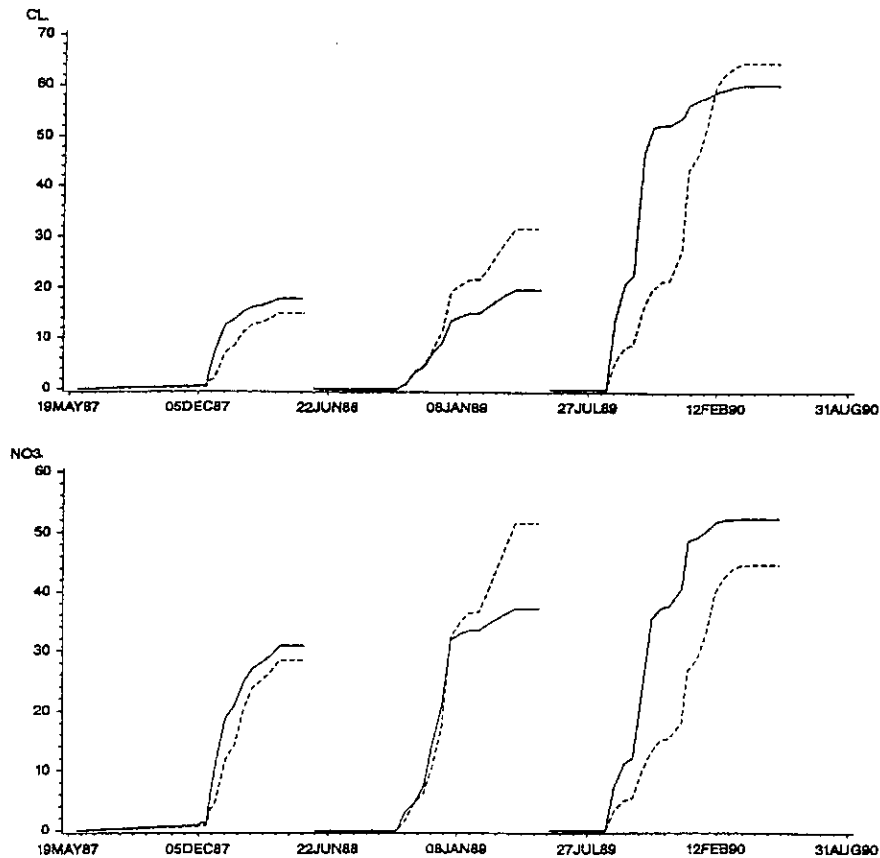
Disse forhold betyder som ventet, at nedsivende vandmængder ikke kan beregnes på grundlag af vandmængder i lysimetre af disse typer, men må beregnes ved vandbalanceberegninger.

**Tidsforskydninger** Hvor nedsivningen i lysimetrene er mindre end udenfor, som ved Fladerne og Rabis, vil vandets opholdstid i lysimetrene blive forøget tilsvarende. Et større vandindhold i lysimetrene på grund af mindre afdræning end i jorden udenfor vil yderligere forlænge vandets opholdstid i lysimetrene. Ændringer i koncentrationer i jordvandet vil derfor registreres for sent i disse lysimetre. Ved St. Lyngby vil den store nedsivning i lysimetre og forøget vandindhold modvirke hinanden mht. til tidsforskydninger, men den meget store nedsivning må her forventes at have den største betydning.

**Summeret udvaskning** Ved St. Lyngby er der trods tidsforskydningerne målt sammenlignelige udvaskninger over længere perioder (1 år) med henholdsvis teflonsugeceller og lysimetre. For Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> og NO<sub>3</sub> var afvigelserne typisk 10 - 30 %. Eksempler er vist i figur 4.3. For PO<sub>4</sub>-P var koncentrationerne væsentlig større i lysimetre end i sugeceller.

**Luftskifte i lysimetre** Et ændret vandindhold i lysimetrene kan også påvirke luftskiftet og iltforholdene (redox potentialet) i jorden og dermed mobiliteten af nogle stoffer (Beier et al. 1988). Dette problem er størst for jord med lille grovporevolumen, som f.eks. ved St. Lyngby, og mindre for jord med stort grovporevolumen, som f.eks. grovsand.

**Omsætning i vandprøver** Opsamling af vandprøver i lysimetre må nødvendigvis ske over en vis periode. I de undersøgte tilfælde har opsamlingsperioden været 2 uger eller en måned. Hvis vandprøverne, som i de undersøgte tilfælde, ikke konserveres, må der forventes en mikrobiologisk og evt. kemisk omsætning af ukendt omfang i opsamlingsperioden.



Figur 4.3. Sommeret udvaskning af Cl og NO<sub>3</sub>-N ved St. Lyngby, kg/ha. Stiplede linier viser resultater for teflonsugeceller og fuldt optrukne linier for lysimetre. (Christensen et al. 1991).

#### 4.2. Sugeceller og jordprøver

Som det fremgår af figur 4.1, har der også for sugeceller og jordprøver i en del tilfælde været betydelige uoverensstemmelser mellem metoderne.

Overensstemmelse  
for NO<sub>3</sub>-N

For NO<sub>3</sub>-N har der i de fleste tilfælde ikke været signifikant forskel mellem KCl-, centrifuge-metoden og sugeceller. Der er dog undtagelser ved Fladerne og St. Lyngby. Der synes ikke at

være systematiske afvigelser mellem prøvetagningsmetoderne, dog er der en tendens til, at centrifugering viser de største  $\text{NO}_3$ -koncentrationer på lerjord.

Keramiske  
sugeceller

Ved Askov og Rønhave har koncentrationer af  $\text{NH}_4$ -N,  $\text{PO}_4$ -P, Tot-P og K i prøver opsamlet i sugeceller været betydelig mindre end i centrifugerede prøver. Det skyldes uden tvivl, at de anvendte keramiske sugeceller adsorberer disse stoffer. Det kan dog ikke på dette grundlag afgøres, om andre faktorer er medvirkende. I de 3 teflonsugeceller ved Askov var vandmængderne så små, at disse analyser ikke kunne udføres.

Teflonsugeceller

Ved Gøderup, Fladerne og St. Lyngby blev anvendt sugeceller af teflon. For  $\text{NH}_4$ -N har der også her været store uoverensstemmelser mellem de enkelte metoder. Ved Fladerne og St. Lyngby har tilsætning af konserveringsstof og korttidsprøver vist samme resultat som langtidsopsamling, hvilket ikke tyder på omsætninger i det opsamlede vand. Ved Gøderup kan den meget store rumlige variabilitet, der er fundet for de fleste analyseparametre på dette areal, være medvirkende. Desuden har der her været store variationer mellem de to prøvetagninger, især for sugeceller. Desuden må konstant sugning med sugeceller forventes at påvirke jordvandets strømninger mere end kortvarig sugning i forbindelse med prøvetagning. Årsagen til de usædvanlig store koncentrationer af  $\text{NH}_4$ -N bestemt ved centrifugemetoden ved Fladerne er ikke fundet.

Fosfor og kalium

For  $\text{PO}_4$ -P, Tot-P og K har der ved Fladerne og St. Lyngby været rimelig overensstemmelse mellem sugeceller og centrifugemetoden, når variationen mellem enkeltprøver tages i betragtning. Der er dog en tendens til mindre koncentrationer af Tot-P og K for sugeceller. Ved Gøderup har der

også for disse analyseparametre været problemer med store variationer mellem enkeltprøver og mellem prøvetagninger.

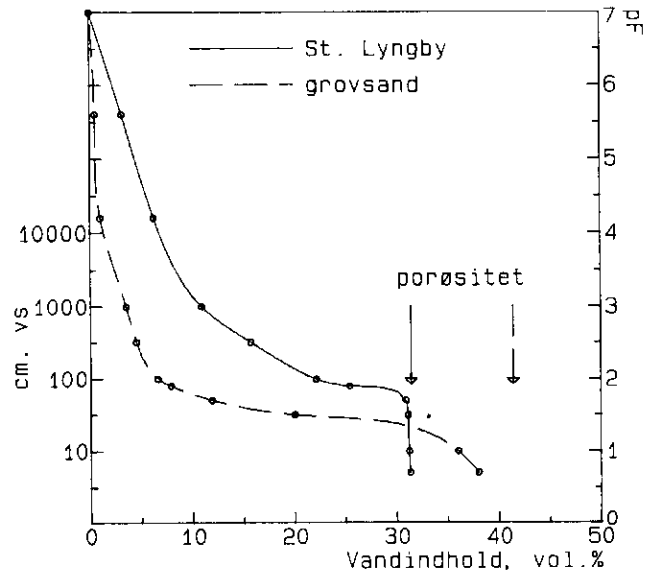
**Chlorid og sulfat** For Cl har der været betydelige afvigelser mellem sugeceller og centrifugemetoden ved Fladerne og St. Lyngby, men overensstemmelse ved Gøderup. For  $SO_4$  har der ikke været signifikant forskel mellem disse prøvetagningsmetoder. Ved Gøderup har der dog for  $SO_4$  været så store variationer mellem enkeltprøver, at standardafvigelser ikke er beregnet.

**Afvigelser ved Fladerne og St. Lyngby** De to lokaliteter ved Fladerne og St. Lyngby, hvor der har været uoverensstemmelse mellem  $NO_3^-$  og Cl-koncentrationer i sugeceller og jordprøver, opsamles jordvand i sugeceller kontinuert i perioder på henholdsvis 1 måned og 2 uger. På begge disse lokaliteter har der for  $NO_3^-$ -N været rimelig overensstemmelse ved en prøvetagning, men betydelig forskel ved en anden prøvetagning. For Cl har der været forskel ved begge prøvetagninger. Årsagerne hertil kan ikke bestemmes på grundlag af disse resultater, men i det følgende nævnes nogle mulige årsager.

**Påvirkning af grundvand** På sandjord som ved Fladerne og St. Lyngby kan vandindholdet og dermed den hydrauliske ledningsevne ændres kraftigt ved en beskeden ændring i jordvandets tension, figur 4.4. Jordens vandretention ved Fladerne er ikke målt, men må formodes at være nær den viste for grovsand.

Som det fremgår af figur 4.4, reduceres vandindholdet kraftigt i en grovsandet jord ved en øget afdræning, især indtil ca. 50 cm vs., svarende til vandindholdet ved ligevægt 50 cm over grundvandstanden. Den finsandede jord ved St. Lyngby afdrænes især kraftigt mellem 50 og 100 cm vs. Hvis sugecellerne er placeret i disse interval-

ler, vil den hydrauliske ledningsevne øges kraftigt med dybden omkring sugecellerne, som derfor må formodes hovedsagelig at opsamle vand fra større dybde. Derved opsamles tidligere nedsivet vand, som kan have en anden sammensætning. Dette problem vil være størst for sandet og enskornet jord med en flad retentionskurve, som de viste i figur 4.4, og må antages at være mindre for en lerjord, hvor retentionskurven er meget stejle.



Figur 4.4. Jordens vandretention i en grovsandet jord og i 80-100 cm dybde ved St. Lyngby.

Ved St. Lyngby har grundvandstanden været tilstrækkelig høj til at ovennævnte problem kan være opstået. Dette påvirker naturligvis også andre analyseparametre end  $\text{NO}_3\text{-N}$  og  $\text{Cl}$ . Hvis koncentrationen i jordvandet ikke varierer med dybden, vil dette dog være uden betydning.

Ved St. Lyngby blev der desuden konstateret grundvand på en del af arealet ved udtagning af jordprøver. Varierende grundvandstand vil også,

som forøget vandindhold i lysimetre, der er omtalt tidligere, kunne give tidsforskydninger af koncentrationer i en given dybde.

Det kan ikke afgøres hvilke af ovennævnte eller evt. andre muligheder, der er årsag til forskel i koncentrationer af Cl og NO<sub>3</sub>-N ved Fladerne og St. Lyngby. For Cl må stofomsætninger dog udelukkes.

#### Centrifugerings- hastighed

Ved centrifugering afdrænes jorden kraftigere ved stigende omdrejningstal og stadig mindre porer afdrænes.

For at undersøge om hastigheden har betydning for sammensætningen af det centrifugerede jordvand, blev der for en enkelt prøve centrifugeret ved 3 hastigheder svarende til 300 G, 1000 G og 3000 G, svarende omtrentlig til afdræning af jorden til henholdsvis pF 2.5, pF 3.0 og pF 3.5. Jorden blev først centrifugeret ved 300 G og vandet opsamlet. Derefter på samme måde ved de større hastigheder. Der blev anvendt en jordprøve fra Rønhave. Resultaterne er vist i tabel 4.1.

Tabel 4.1. Koncentrationer i jordvand centrifugeret ved forskellig hastighed, mg/l.

pF	G	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Tot-P	K
2.5	300	12.0	0.21	0.002	0.04	3.0
3.0	1000	12.0	0.22	0.002	0.11	3.2
3.5	3000	13.0	0.23	0.001	0.09	3.5

For de fleste analyseparametre er forskellen mindre end analyseusikkerheden. For K synes koncentrationen dog at blive forøget ved stigende omdrejningstal, men forskellen er lille sammenlignet med usikkerhederne ved prøvetagningen, der fremgår af afsnit 3. For en sandjord, hvor størstedelen af vandet ved markkapacitet til-

bageholdes i større porer, må forskellen forventes at være mindre end for en lerjord.

Centrifugeringshastigheden synes ikke at have større indflydelse på koncentrationerne i det centrifugerede jordvand.

#### Variationskoefficienter

For alle metoder er der store variationer mellem enkeltprøver. For  $\text{NO}_3\text{-N}$  fandt Djurhuus (1990) variationskoefficienter på 22 - 32 % for sugeceller og 31 - 52 % for jordprøver analyseret efter KCl-metoden for sandjord ved Jyndevad, hvilket svarer til talmaterialet fra Rønhave, der er stillet til rådighed af Statens Plan-teavlsforsøg. Resultaterne fra dette projekt er ikke så entydige. Ved Fladerne og Askov har variationerne for  $\text{NO}_3\text{-N}$  således været betydelig mindre, 5-23 %, men har ved Gøderup været ca 60 %. I en del tilfælde er antal analyser dog for lille til at der kan beregnes rimelig sikre variationskoefficienter.

Variationskoefficienterne er i de fleste tilfælde mindre ved centrifugemetoden end KCl-metoden, antagelig fordi den anvendte jordmængde er større ved centrifugemetoden.

For  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  og tot-P er der fundet væsentlig større variationskoefficienter end for  $\text{NO}_3\text{-N}$ , især ved St. Lyngby, Askov og Rønhave, hvor der har været et stort vandindhold og dermed måske utilstrækkelig luftskifte i jorden. Det kan ikke udelukkes, at koncentrationerne for disse analyseparametre lokalt har været påvirket af anaerobe forhold.



## 5. KONKLUSIONER

Nedvaskning fra rodzonen	Beregning af nedvaskning af plantenæringsstoffer fra rodzonen kræver, at koncentrationerne af de pågældende næringsstoffer i det nedsivende jordvand og den nedsivende vandmængde bestemmes.
Udtagning af jordvand	Sammenligning af forskellige metoder til udtagning af jordvand, dvs. vand i den umættede zone, til kemiske analyser baseret på 2 prøvetagninger, har i flere tilfælde vist store afvigelser mellem de enkelte metoder.
Lysimetre	I veldrænet jord med stor dybde til grundvandspejlet vil en større eller mindre del af det nedsivende vand strømme forbi lysimetre af de undersøgte typer på grund af potentialgradienter. Ved høj grundvandstand kan bedre afdræning i lysimetre end i jorden ved siden af medføre, at nedsivningen i lysimetre bliver for stor. Vandmængder i lysimetre kan således ikke anvendes ved beregning af nedsivende vandmængder, som må beregnes ved vandbalanceberegninger eller bestemmes ved andre metoder. Desuden kan det medføre tidsforskydninger ved koncentrationsændringer i det nedsivende vand.
Sugeceller	<p>De keramiske sugeceller, der er anvendt ved Rønhave og Askov, er kun egnede til stoffer, der ikke adsorberes som f.eks. <math>\text{NO}_3\text{-N}</math> og antagelig <math>\text{Cl}</math> og <math>\text{SO}_4</math>. Stoffer som <math>\text{NH}_4\text{-N}</math>, <math>\text{PO}_4\text{-P}</math>, Tot-P og K adsorberes af disse sugeceller. Sugeceller af teflon kan derimod anvendes til disse stoffer.</p> <p>For sugeceller synes der at være et problem, hvis grundvandstanden er i begrænset dybde under sugecellerne. I sådanne tilfælde må det forventes, at sugecellerne hovedsagelig opsamler vand fra større dybde end den, sugecellerne er place-</p>

ret i. Det skyldes, at vandindholdet og dermed den hydrauliske ledningsevne i sådanne tilfælde vil øges kraftigt med dybden.

#### Jordprøver

For  $\text{NO}_3\text{-N}$  er der en tendens til, at centrifugemetoden viser større koncentrationer end KCl-metoden. For  $\text{NH}_4\text{-N}$  har centrifugemetoden i næsten alle tilfælde vist større koncentrationer end de øvrige prøvetagningsmetoder. Årsagerne hertil kendes ikke, men kan skyldes forbehandling og nedfrysning af jordprøverne før centrifugeringen.

#### Betydelige metodeproblemer

Undersøgelserne har vist, at der i en del tilfælde er betydelig metodeproblemer ved bestemmelse af næringsstofkoncentrationer i jordvand. For alle de undersøgte analyseparametre er der en stor rumlig variabilitet i koncentrationerne i jorden. Derfor er det nødvendig, at der udtages et betydeligt antal prøver for at opnå en rimelig nøjagtig gennemsnitsbestemmelse af koncentrationerne i jordvandet. Tilsyneladende er der forskel i den rumlige variabilitet for de enkelte analyseparametre og mellem de enkelte arealer.

#### Rumlig variabilitet

En af årsagerne til den store rumlige variabilitet i koncentrationerne i jordvandet er uden tvivl, at der også er stor rumlig variabilitet i de nedsivende vandmængder. Desuden kan der i jord med strukturdannelse, dvs. især lerjord og organogene jorde, være et makroporeflow ved stor afstrømningsintensitet. Derved kan jordvand med en anden koncentration, end der findes i mikroporerne i aggregaterne, sive ned i makroporerne mellem aggregaterne. Desværre har det ikke været muligt at undersøge disse problemer i dette projekt.

Ved sammenligning af teflonceller og lysimetre samt keramiske celler og lysimetre over lange tidsrum, reduceres differencerne i den summerede udvaskning i forhold til sammenligning over kortere perioder. For de bestemte parametre er den årlige afvigelse typisk 10-30 %. For kortere perioder har der dog været betydelig større afvigelser. For fosfor finder man en markant forskel mellem teflonceller og lysimetre, idet lysimetrene giver højere værdier. Afvigelser mellem metoderne findes også for ammonium.

## 6. LITTERATUR

- Beier, C., M. Butts, N.E. von Freiesleben, K.H. Jensen & L. Rasmussen (1988): Monitoring of soil water chemistry and ion fluxes in forests. In: Methods for integrated monitoring in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers, Miljørapport 1989:11.
- Christensen, N., V. Ernstsen, F. Jørgensen & F. P. Vinther (1990): Ændringer i næringsstofomsætning på marginaliseret landbrugsjord. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr A13.
- Christensen, N, Magid, J. og E. Skop (1991): Input/output balance for selected seminatural ecosystems on sandy soils. A comparative study (In preparation).
- Ernstsen, V., F. P. Vinther, N. Christensen & H. P. Lorentzen (1989): Næringsstoffdynamik og udvaskning - effekter af marginalisering på sandmarker. Vand & Miljø 2, 79-83.
- Djurhuus, J. (1990): Sammenligning af nitrat i jordvand udtaget med sugekopper og ekstraheret fra jordprøver. Tidsskrift for Planteavl, under udgivelse.
- Hansen, L. (1976): Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. Tidsskrift for Planteavl, 80: 742-758.
- Hansen, B., C. C. Hoffmann, A. C. Hansen & H. Nielsen (1990): Stofbalance på lavbundsjord. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. C14.

Jacobsen, O. S., H. V. Larsen & L. Andreasen (1990):  
Geokemiske processer i et grundvandsmagasin.  
NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. B10.

Landbrugsministeriet (1988): Fælles arbejdsmetoder  
for jordbundsanalyser,

Olesen, J.E. & T. Heidmann (1990): EVACROP. Et pro-  
gram til beregning af aktuel fordampning og af-  
strømning fra rodzonen. Statens Planteavlssfor-  
søg, Afd. f. Jordbrugsmeteorologi. Arbejdsnotat  
nr. 9.

SAS Procedure Guide 1988. Release 6.03 Edition. SAS  
Institute Inc., 442 pp.











## Registreringsblad

**Udgiver:** Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

**Serietitel, nr.:** NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A17

**Udgivelsesår:** 1991

**Titel:**

Analyse af jordvands sammensætning – metodesammenligning

**Undertitel:**

**Forfatter(e):**

Hansen, Bjarne; Djurhuus, Jørgen; Christensen, Niels;  
Hoffmann, Carl Christian; Jacobsen, Ole Stig

**Udførende institution(er):**

Det Danske Hedeselskab; Statens Planteavlfsforsøg;  
Danmarks Miljøundersøgelser. Afdeling for Terrestrisk Økologi;  
Danmarks Geologiske Undersøgelse

**Resumé:**

Analyser af  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Tot-P, K, Cl og  $\text{SO}_4$  i jordvand udtaget efter forskellige metoder er sammenlignet. Minilysimetre har i de fleste tilfælde vist resultater, der afviger fra de øvrige metoder. For  $\text{NO}_3\text{-N}$  har der i de fleste tilfælde været god overensstemmelse mellem de øvrige metoder. Keramiske sugeceller adsorberer  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Tot-P og K. For K har der været rimelig overensstemmelse, bortset fra keramiske sugeceller. For  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  og Tot-P synes der at være betydelige metodeproblemer.

**Emneord:**

nedsivning; vand; analysemetoder; jord; næringsstoffer; metodik; prøvetagning; nitrogen CAS 7727-37-9; fosfor CAS 7723-14-0

**ISBN:** 87-503-9054-6

**ISSN:**

**Pris:** 70,- (inkl. 22 % moms)

**Format:** A5

**Sideantal:** 64 s.

**Md./år for redaktionens afslutning:** marts 1991

**Oplag:** 500

**Andre oplysninger:**

Rapport fra koordinationsgruppe A for jord og luft

**Tryk:** Luna-Tryk ApS, København

# NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Rapporter fra koordinationsgruppe A for jord og luft

- Nr. A 1 : Kvælstof- og fosforbalancer ved kvæg- og svinehold
- Nr. A 2 : Kortlægning af landbrugsdriften i to områder i Danmark
- Nr. A 3 : Temperatur og denitrifikation
- Nr. A 4 : Ammoniakafsætning omkring et landbrug med malkekvæg
- Nr. A 5 : Ammoniakmonitoring
- Nr. A 6 : Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark
- Nr. A 7 : NH<sub>3</sub>-fordampning fra handels- og husdyrgødning
- Nr. A 8 : Næringsstofudvaskning fra arealer i landbrugsdrift
- Nr. A 9 : Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder
- Nr. A10 : DAISY – Soil Plant Atmosphere System Model
- Nr. A11 : Bestemmelse af NH<sub>3</sub>-fordampning med passive fluxmålere
- Nr. A12 : NH<sub>3</sub>-fordampning fra gyllebeholdere
- Nr. A13 : Næringsstofomsætning i marginaliseret landbrugsjord
- \*Nr. A14 : Regionale beregninger af N-udvaskningen
- Nr. A15 : Ammoniakfordampning fra bygplanter
- Nr. A16 : Den mikrobielle biomasses variation i jordbunden
- Nr. A17 : Analyse af jordvands sammensætning - metodesammenligning
- Nr. A18 : Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark
- Nr. A19 : N-transformation in Soil, Amended with Digested Pig Slurry
- Nr. A20 : Simulation of nitrogen losses using the SOILN model
- Nr. A21 : Landbrugets gødnings- og arealanvendelse i 1983 og 1989

Den med \* mærkede titel er ikke trykt på udgivelsesdagen for denne rapport, men forventes trykt i løbet af 1991.

Nr. A19 er tidligere annonceret med titlen:  
Afgasset gylles indflydelse på N-omsætning i jorden.

Nr. A20 er tidligere annonceret med titlen:  
Simulering af kvælstoftab med SOIL-N-modellen

# Analyse af jordvands sammensætning - metodesammenligning

Analysen af  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Tot-P, K, Cl og  $\text{SO}_4$  i jordvand udtaget efter forskellige metoder er sammenlignet.

Minilysimetre har i de fleste tilfælde vist resultater, der afviger fra de øvrige metoder. For  $\text{NO}_3\text{-N}$  har der i de fleste tilfælde været god overensstemmelse mellem de øvrige metoder. Keramiske sugeceller adsorberer  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , Tot-P og K. For K har der været rimelig overensstemmelse, bortset fra keramiske sugeceller. For  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  og Tot-P synes der at være betydelige metodeproblemer.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

**Pris kr. 70.- inkl. 22% moms**

ISBN nr. 87-503-9054-6