

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. A6 1990

Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

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 en 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 gennem 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 nitratforening 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 næringsstoffers 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.

38/74

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen
Nr. A6 1990**

Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark

Lone Grundahl, Danmarks Miljøundersøgelser
Jens Grønbech Hansen, Statens Planteavlsforsøg

**MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K**

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**

Indholdsfortegnelse

	<u>Forord</u>	3
	<u>Sammendrag</u>	5
<u>1.</u>	<u>Indledning</u>	7
<u>2.</u>	<u>Materialer og metoder</u>	9
2.1	Stationernes placering og opsamlings- perioder.....	9
2.2	Anvendte nedbørsopsamlere.....	12
2.3	Placering af nedbørsopsamlere.....	15
2.4	Drift og opsamlingsmetode.....	16
2.5	Behandling og analyse af nedbørsprø- ver.....	16
2.6	Kvalitetskontrol.....	17
<u>3.</u>	<u>Resultater</u>	19
3.1	Næringssaltdepositionens størrelse 1987-89.....	19
3.2	Udviklingstendenser i atmosfærisk nedfald af næringssalte.....	22
3.3	Regional variation.....	34
3.4	Sæsonvariation.....	37
3.5	Lokalvariation.....	45
3.6	Regional variation i produktion af husdyrgødning og NH ₃ -emission.....	46
<u>4.</u>	<u>Diskussion og konklusion</u>	48
	<u>Referencer</u>	55
	Registreringsblad.....	60

Forord

Nærværende projekt er udført som et samarbejdsprojekt mellem Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening, Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) og Afdeling for Jordbrugsmeteorologi, Statens Planteavlfsforsøg (SP). SP har varetaget etablering og drift af målestationerne. DMU har stået for kemisk analyse og kvalitetskontrol af nedbørsprøver. SP har bidraget med nedbørsdata fra automatiske klimastationer, drevet i samarbejde mellem SP og Danmarks Meteorologiske Institut. Udarbejdelsen af rapporten er sket i et samarbejde mellem de to institutioner. Ole Manscher (DMU) og Jørgen E. Olesen (SP) har ydet bistand ved statistisk behandling af data.

SAMMENDRAG

Formålet med den aktuelle undersøgelse er, at tilvejebringe viden om næringssaltdepositionens størrelse i slutningen af 1980'erne, at vurdere udviklingstendensen på baggrund af tidligere måleserier samt at bestemme årstidsvariationen og den lokale og regionale geografiske variation i depositionen af næringssalte.

Depositionen af næringssalte er bestemt på baggrund af bulkopsamlet nedbør.

Stigning i depositionen af kvælstof fra 1950'erne til 1980'erne Jørgensen (1979) påviste en øget deposition af kvælstof på landsplan fra 7 kg N/ha/år i 1950'erne til 12 kg N/ha/år i 1970'erne. Depositionen af kvælstof er som gennemsnit for Danmark i slutningen af 1980'erne målt til 13.8 kg N/ha/år. Kvælstof optræder i nedbøren som nitrat og ammonium. Depositionen af nitrat er siden 1970'erne steget fra 4.9 kg N/ha/år til 5.6 kg N/ha/år sidst i 1980'erne. Depositionen af ammonium er steget fra 7.1 kg N/ha/år til 8.2 kg N/ha/år.

Variation i depositionen af kvælstof i Danmark De højeste depositionsverdier af kvælstof er målt i Midt-, Vest- og Sønderjylland. Depositionen er her som gennemsnit af perioden 1987-89 16-17 kg N/ha/år. De samme områder har samtidig den største produktion af husdyrgødning og den største emissionstæthed af ammoniak. Den laveste deposition af kvælstof på ca. 10 kg N/ha/år er målt ved Tystofte på Sjælland.

Øget nedbørsmængde i dele af Jylland Den øgede deposition af kvælstof fra 1970'erne til slutningen af 1980'erne specielt på stationer i Midt-, Vest- og Sønderjylland, falder sammen med en markant nedbørsstigning i disse områder på 100-300 mm. Tystofte, der ligger på

Sjælland i et landbrugsområde domineret af planteavl, har hverken haft en stigning i depositionen af kvælstof eller i nedbørsmængden i denne periode.

Det er således sandsynligt at den øgede deposition af kvælstof siden undersøgelsen i 1970'erne specielt i Midt-, Vest- og Sønderjylland skyldes en kombination af en markant nedbørsstigning og en relativ stor emission af ammoniak fra husdyrhold.

Variationen over året i forholdet mellem ammonium og sulfat, antyder et relativt maksimum af ammonium i foråret og efteråret. De samme maksima ses i mindre grad for perioden i 1970'erne.

Fald i depositonen af sulfat fra 1970'erne til 1980'erne

Depositionen af sulfat er som landsgennemsnit faldet fra 15.6 kg S/ha/år i 1970'erne til 11.3 kg S/ha/år sidst i 1980'erne. I den aktuelle undersøgelse er depositionen af sulfat ved stationer i Midt-, Vest-, Syd- og Nordjylland 11-15 kg S/ha/år. Ved stationer i Østjylland og på Øerne er depositionen af sulfat 8-10 kg S/ha/år. Den laveste deposition af sulfat på 8.2 kg S/ha/år er målt ved Tystofte på Sjælland.

Tørafsætning i tragte til nedbørsopsamling

En del af bulkdepositionen af næringssalte stammer fra tørafsætning af gasser og partikler i tragten. For ammonium og nitrat vurderes bulkdepositionen at være 0-30 % højere end våddepositionen. For sulfat vurderes bulkdepositionen at være 0-15 % højere end våddepositionen.

1. INDLEDNING

Baggrund for undersøgelsen	Behovet for at genoptage de nedbørskemiske målinger i landsdækkende skala skal ses på baggrund af tendensen til en øget deposition af specielt kvælstof- og svovlforbindelser fra atmosfæren. Nedbørskemiske målinger fra enkelte stationer i Danmark viser således at depositionen af ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) og ($\text{NO}_3\text{-N}$) i 1970'erne er fordoblet i forhold til tilsvarende målinger i 1950'erne på de samme stationer (Jørgensen, 1979). Samme tendens er registreret generelt i Europa i samme periode (Rohde og Rood, 1986). Den øgede deposition af $\text{NO}_3\text{-N}$ tilskrives stigningen i kvælstofemissionen som følge af afbrænding af fossilt brændstof. Deposition af $\text{NH}_4\text{-N}$ i Danmark viser regionale forskelle (Jørgensen, 1979). En øget deposition af $\text{NH}_4\text{-N}$ specielt i husdyrbelastede områder, antages at hænge sammen med en øget fordampning af ammoniak i disse områder (Sommer et al., 1989; Buijsman et al. 1987).
Anvendelsesområder for undersøgelsens resultater	Der er både landbrugs- og miljømæssige interesser knyttet til genoptagelsen af de nedbørskemiske undersøgelser. Af interesse for landbruget kan nævnes behovet for løbende oplysninger om atmosfærisk deponerede plantenæringsstoffer. Af miljømæssige interesser kan nævnes kvælstof-depositionens betydning som eutrofieringsfaktor for en række næringsfattige naturtyper, samt kvælstofforbindelsers stigende betydning som forsuringskomponent. Tilsvarende interesser knytter sig til depositionen af svovlforbindelser. Svovldepositionen har desuden interesse i byggesektoren på grund af denne faktors betydning for nedbrydningen og holdbarheden af bygninger og byggematerialer. Data fra et nedbørskemisk net bør desuden kunne danne grundlag for

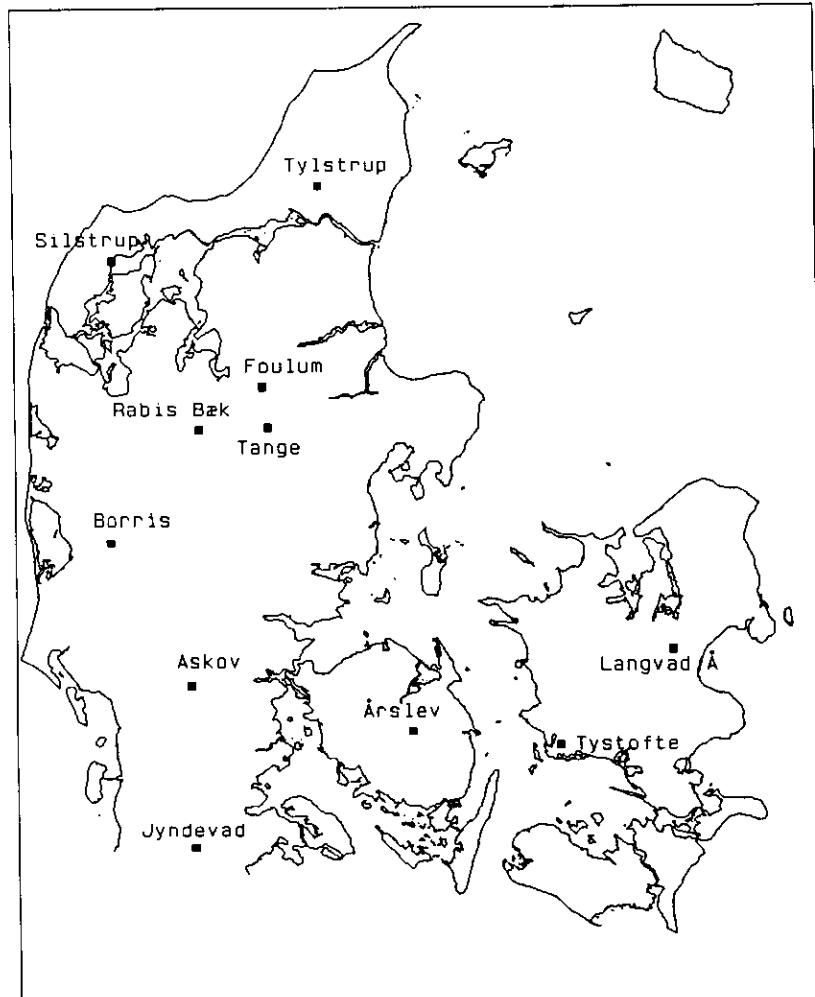
opgørelser af kvælstofbalancer, samt vurderinger af forskellige kilders betydning for de deponerede næringsstofferbindelser. Disse forhold nødvendiggør en regional placering af målestationer med hensyn til områder, hvor henholdsvis husdyrbrug og planteavl dominerer. Endvidere medfører dette også et krav om lange tidsserier med nedbørskemiske målinger.

Tidligere undersøgelser	Der er foretaget nedbørskemiske undersøgelser ved Statens Planteavlsforsøg (SP) i 1920'erne (Hansen, 1931), i 1950'erne (Jensen, 1962) og i 1970'erne (Jørgensen, 1979). I alle 3 undersøgelser indgår en del af statens forsøgsstationer. Dette giver en god mulighed for at vurdere udviklingstendenser i atmosfærisk nedfald af næringssalte ved at genoptage et nedbørskemisk måleprogram ved nogle af de samme stationer.
Undersøgelsens formål	Formålet med den aktuelle undersøgelse er at tilvejebringe viden om næringssaltdepositionens størrelse i slutningen af 1980'erne, at vurdere udviklingstendensen på baggrund af tidligere måleserier samt at bestemme årstidsvariationen og den lokale og regionale geografiske variation i depositionen af næringssalte.

2. MATERIALER OG METODER

2.1 Stationernes placering og opsamlingsperioder

I figur 1 er vist placeringen af de nedbørskemiske stationer. Måleperioderne på disse stationer, samt de anvendte trætyper er vist i tabel 1.



Figur 1. Placeringen af de nedbørskemiske stationer.

Tabel 1. De nedbørskemiske stationers måle-perioder. Endvidere er de anvendte tragtyper anført. De ældre måleperioder er beskrevet af Jørgensen (1979), Jensen (1962) og Hansen (1931).

Station	Stationstype	Tragttype	Måle-perioder
Tylstrup	SP Forsøgsstation	Hellmann	1957-61
		Hellmann	1970-77
		Nilu	1987-89
Silstrup	SP Forsøgsstation	Hellmann	1970-77
		Nilu	1987-89
Foulum	SP Forsøgsstation	Nilu, Hellman Wetonly	1987-89
Borris	SP Forsøgsstation	Hellmann	1957-61
		Hellmann	1970-77
		Nilu	1987-89
Askov	SP Forsøgsstation	var.	1921-26
		Hellmann	1957-61
		Hellmann	1970-77
		Nilu	1987-89
Jyndevad	SP Forsøgsstation	Hellmann	1959-61
		Hellmann	1970-77
		NILU	1987-89
		Hellmann	
Årslev	SP Forsøgsstation	Nilu	1987-89
Tystofte	SP Forsøgsstation	Hellmann	1955-61
		Hellmann	1970-77
		NILU	1987-89
Tange	DMU Station	Nilu	1987-89
Langvad Å	Værkstedsområde	Nilu	1988-89
Rabis Bæk	Værkstedsområde	Nilu	1988-89

Placing af nedbørskemiske stationer

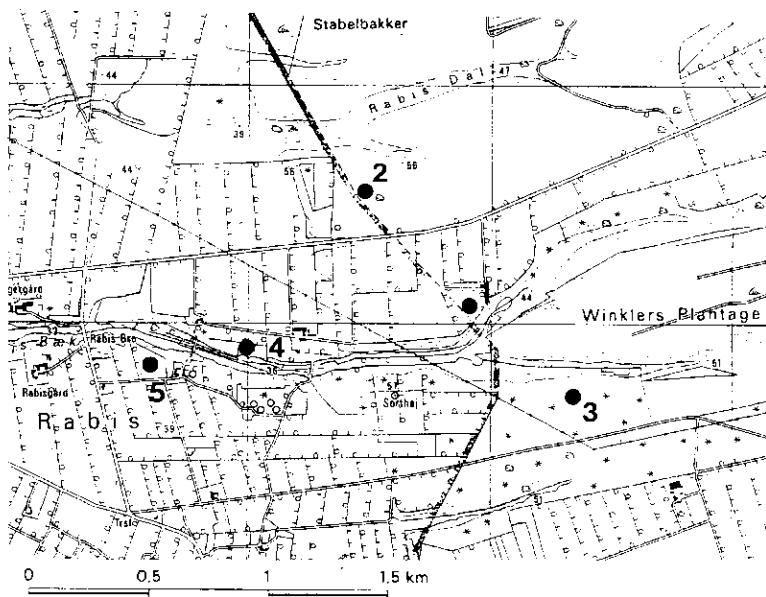
Hovedparten af de nedbørskemiske stationer er placeret ved Statens Planteavlsforsøgs forsøgsstationer, jævnfør tabel 1. På stationen ved Tange Værket foretages der i regi af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) en række andre prøveopsamlinger, bl.a. aerosol- og gasmålinger af kvælstof- og svovlforbindelser.

To områder ved henholdsvis Langvad Å på Sjælland og Rabis Bæk i Midtjylland har været udlagt som NPO værkstedsområder. Målinger af atmosfærisk deposition som bulkafsætning er fore-

taget med een nedbørsopsamler hver sted fra 1. januar 1988 til 30. september 1989.

Lokalvariation

Til vurdering af lokalvariation i nedbørsmængde og nedbørens kemiske sammensætning blev der opsat yderligere 4 målere ved Rabis Bæk i perioden 1. maj 1988 til 30. september 1989, således at i alt 5 målere i denne periode har været placeret i et område på ca. 4 km². Placering af disse målere fremgår af figur 2.



Figur 2. Placering af 5 nedbørsopsamlere i værkstedsområdet ved Rabis Bæk i Midtjylland.

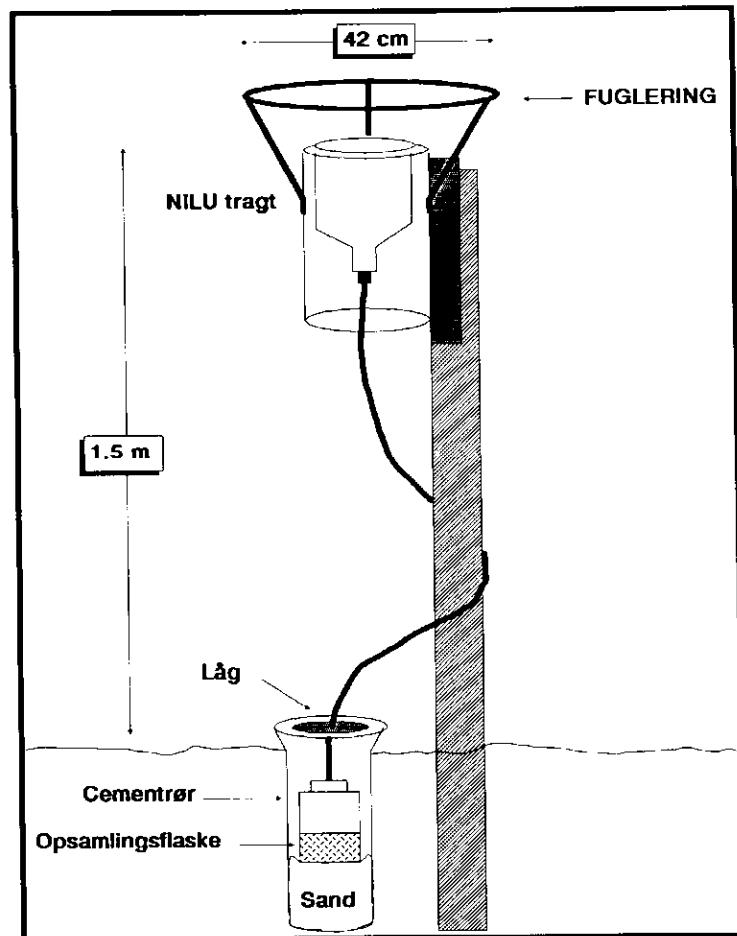
Tørafsætning

For at vurdere betydningen af tørafsætning i dragten er sammenhængen mellem bulk og wet-only opsamling undersøgt ved Foulum i en måleperiode på 5 måneder. Tørafsætningen i dragten beregnes som deposition fra bulkopsamlingen minus depositionen fra wet-only opsamlingen (jævnfør afsnit 2.2).

Ved Foulum og Jyndevad opsamles yderligere nedbør med Hellmann-tragte. Disse tragte anvendtes i de to tidlige undersøgelser (Jørgensen, 1979; Jensen, 1962) og giver således mulighed for en sammenligning med den aktuelle undersøgelse.

2.2 Anvendte nedbørsopsamlere

Alle stationer er udstyret med NILU-tragte til bulkopsamling af nedbør (figur 3).



Figur 3. Opstilling af nedbørsopsamler med NILU-tragt.

NILU-tragt

NILU-tragten fra Norsk Institut for Luftforskning er udført i polyethylen og den har et overfladeareal på 314 cm². Tragtåbningen er placeret 1.5 m over jordoverfladen. Nedbøren filtreres gennem et nylonnet og føres via en sort plastslange med udluftningsventil til en 2 liters opsamlingsflaske, der er placeret i et nedgravet cementrør med lystæt låg. Herved begrænses temperatursvingninger og lyspåvirkning, og dermed risikoen for biologisk omsætning af komponenter i den opsamlede nedbør. For at minimere antallet af prøver forurenset med fugleklatter, blev der efter ca. 1/2 år monteret fugleringe på nedbørsopsamlerne, jævnfør figur 3. Disse har fungeret efter hensigten.

Hellmann-tragt

I de tidligere undersøgelser blev der anvendt en Hellmann-tragt med et overfladeareal på 200 cm². Denne tragtype anvendes stadig af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) til måling af nedbør i Danmark. Materialet af de tragte, der blev anvendt i undersøgelsen i 1970'erne er lavet af glas for at minimere forurening fra selve tragten. Overfladearealet er det samme som på nedbørsmålerne, der anvendes af DMI. I den aktuelle undersøgelse anvendes det samme opsamlingsudstyr som anvendt i 1970'erne på to stationer. Herved kan bulkdeposition beregnet på baggrund af opsamling med NILU-tragte og Hellmann-tragte af glas sammenlignes. Sammenligning foretages for nedbørsmængde og koncentration af kemiske komponenter.

NILU-tragten er valgt til den aktuelle undersøgelse, bl.a. fordi den har et større overfladeareal, og dermed indsamler mere nedbør (ml) i perioder med begrænset nedbør. Ionkoncentrationer måles således i nedbør opsamlet med NILU-

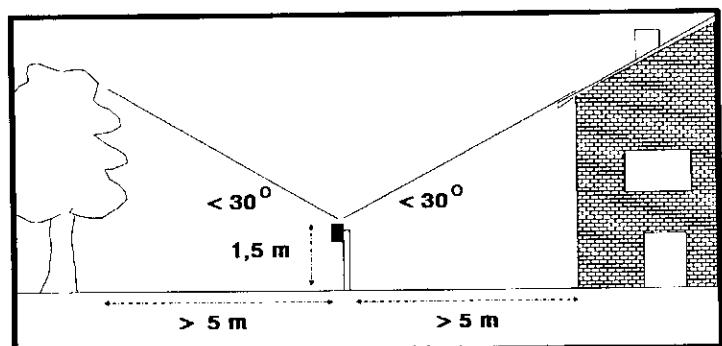
tragte. For at kunne sammenligne med tidligere undersøgelser beregnes depositionen på basis af officielle nedbørsmængder, opsamlet med DMI's Hellmann-tragte. Disse nedbørsmængder er ikke korrigert til jordoverfladen, og vil typisk være ca. 10 % lavere end den sande nedbørsmængde (Allerup og Madsen, 1979).

Bulkopsamling	Ved bulk-opsamling af nedbør er tragten åben i hele opsamlingsperioden. I perioder uden nedbør vil tragten opsamle atmosfæriske komponenter ved forskellige tørdepositionsprocesser. Tørdepositionen i tragten er bl.a. afhængig af de meteorologiske forhold, afstanden fra en evt. kilde og tragtens beskaffenhed. Som eksempler på kilder kan nævnes havet, bar jord og arealer tilført husdyrgødning.
Wet-only opsamling	Hvis man vil undgå tørafsætning i tragten i perioder uden nedbør, kan man anvende en wet-only opsamler. I denne opsamler er tragten kun åben ved nedbørshændelser. En dråbeføler giver elektrisk besked til en tilkoblet motor, der fjerner låget, når det regner. Efter udtrørring af dråbeføleren lukkes for tragten igen.
	Ved Foulum er der opsamlet nedbør med en wet-only opsamler i perioden 1. maj 1989 til 30. september 1989.
Fordele og ulemper ved bulkopsamling	Bulkopsamleren er valgt til den aktuelle undersøgelse, fordi målingerne skal kunne sammenlignes med tidligere tilsvarende undersøgelser (Jensen, 1962; Jørgensen, 1979). Desuden er bulk-opsamleren i modsætning til wet-only opsamleren et simpelt apparatur uden teknik og strømforsyning. Den er derfor velegnet til målinger i natur- og landbrugsområder, som det er tilfældet i denne undersøgelse. Praktisk er-

faring og afprøvning af flere typer wet-only opsamlere har vist, at driftsforstyrrelser er næsten uundgåelige (Slanina, 1986).

2.3 Placering af nedbørsopsamlere

Nedbørsopsamlerne er placeret efter international standard. I praksis vælges et åbent areal med læ for vindens fulde kraft. Den internationale standard for depositions målinger siger, at vinklen fra målerens top til nærtstående træer og/eller huse skal være < 30 grader og afstanden > 5 m (Løvblad og Westling, 1988). Retningslinierne for opstilling af nedbørsopsamlere ses i figur 4.



Figur 4. Retningslinier for opstilling af nedbørsopsamlere.

Check af opsamlernes placering

For at undersøge nedbørsopsamlernes placering er nedbørens indhold af Zn og Fe bestemt i ialt 5 måleserier, som hver består af 2 opsamlinger. Zn anvendes som indikator for antropogen forurenning, mens Fe indikerer jordstøv.

De målte værdier for Fe og Zn i den aktuelle måleserie svarer til niveauet fra en dansk undersøgelse i 1976, hvor der blev foretaget målinger på 15 stationer placeret fjernt fra

eventuelle kilder, såkaldte baggrundsstationer (Hovmand, 1977).

2.4 Drift og opsamlingsmetode

Stationernes drift er varetaget af personale ved de respektive stationer. Prøverne er indsamlet hver 14. dag og sendt til DMU, hvor de kemiske analyser er foretaget. Der skiftes den 1. og den 15. i måneden, dog ikke i weekenden. Skiftes en fredag opbevares prøven i køleskab weekenden over til afsendelse mandag.

Renseprocedure	Ved observationer af fugleklatter i tragtene er disse renset med destilleret vand. Insekter og organisk materiale er fjernet uden anvendelse af vand. Hændelser i lokalområdet, der kan tænkes at påvirke målingerne, som f.eks. omfattende markarbejde eller gyllespredning er rapporteret til DMU af stationspasserne. Tragtene er ikke som rutine renset ved flaskeskift.
----------------	--

2.5 Behandling og analyse af nedbørsprøver

Ved modtagelse af prøverne på DMU, bestemmes nedbørsmængden ved vejning. Hvis prøverne ser atypiske ud, beskrives udseende (typisk grøn, grumset, indhold af insekt eller lignende). Endvidere bogføres stationspassernes observationer i indsamlingsperioden. Der udtages straks en prøve til fosfatbestemmelse, som konserveres med svovlsyre. Herefter opbevares alle prøverne i mørke ved 4° C indtil analyse.

pH-bestemmelse	pH måles med pH-meter af mærket Radiometer PHM 83 med en kombineret elektrode (GK 2321C). For at øge ionstyrken i nedbørsprøverne, tilsættes en kendt mængde mættet KCl inden analyse.
----------------	--

Anionbestemmelse Anionerne SO_4^{2-} -S, NO_3^- -N og Cl analyseres ionchromatografisk, under anvendelse af en Dionex separatorkolonne af mærket AS-3. Som eluent anvendes carbonat/hydrogencarbonatopløsning. Endvidere anvendes en anion-mikromembransensor til sænkning af baggrundskonduktiviteten inden måling med en ledningsevnedetektor.

PO_4^{3-} -P (orthophosphat-phosphor) måles spektrofotometrisk som molybdenblåt ved 880 nm efter Dansk Standard (DS 291).

Kationbestemmelse NH_4^+ -N analyseres på autoanalyser, som indophenolblåt og måles spektrofotometrisk ved 630 nm. Na, K, Mg og Ca måles med atomabsorptionspektrofotometer. Na og K måles ved flammeemission, mens Mg og Ca måles ved absorption.

2.6 Kvalitetskontrol

Inden analyseresultaterne anvendes, undergår de en kvalitetskontrol. Bulkopsamlet nedbør kan være forurenset med organisk materiale, som f.eks. fuglekatter, hvilket vil give forhøjede værdier for pH, K, NH_4^+ -N og PO_4^{3-} -P (Asman, 1982).

Forurening af nedbørsprøven For hver enkelt nedbørsprøve er der beregnet en ionbalance. Der er anvendt følgende kriterier for accept af prøvernes/analysernes kvalitet: $0.8 < \Sigma \text{kationer} / \Sigma \text{anioner} < 1.2$ og $\Sigma \text{kationer} - \Sigma \text{anioner}$ er mindre end den numeriske værdi af 0.11. Nedbørsprøver, der ikke opfylder ovennævnte kriterier, vurderes med henblik på en eventuel forurening af prøven, eller en fejlanalyse af een eller flere komponenter. En forurening af prøven vil ofte afsløres af en forhøjet PO_4^{3-} -P værdi. Er PO_4^{3-} -P værdien større end ca. 100 ppb sammenholdes oplysninger om prøvens udseende ved modtagelsen med observa-

tionerne i opsamlingsperioden. Ved indikation af forurening er værdierne for pH, K og NH₄-N kasseret. Da tallene primært anvendes til beregning af deposition, er det valgt at bibringe de værdierne for de øvrige komponenter, der ikke synes berørt af forurenningen. Ved mistanke om fejlanalyse, gentages analysen på nedbørsprøven.

Betingelser for sammenligning af nedbørsprøver

For at vurdere udviklingstendenser i nedfaldet af næringssalte over en årrække, er det nødvendigt, at de anvendte opsamlings- og analysemetoder er sammenlignelige. Opbevaringsbetingelserne både under og efter opsamling af nedbør bør være ens ligesom kriterierne for accept/kassation af enkelte komponenter eller hele nedbørsprøven.

I de tidlige undersøgelser er der anvendt en anden tragttype end i nærværende projekt. Der er foretaget en sammenligning af de to tragttyper med hensyn til nedbørsmængde og koncentrationer, jævnfør afsnit 3.1. Opsamlingstiden var i de tidlige undersøgelser 1 måned mod 1/2 måned i den aktuelle undersøgelse. I undersøgelsen fra 1970'erne var opsamlingsflasken placeret i et isoleret og lystæt skab. Under disse opbevaringsbetingelser vurderes opsamlingsperiodens længde at være uden betydning i relation til eventuelle ændringer i ammoniumkoncentrationen i den opsamlede nedbør.

Fra undersøgelsen i 1970'erne (Jørgensen, 1979) foreligger der ingen oplysninger om anvendte analysemetoder samt kriterier for accept/kassation af resultater.

3. RESULTATER

3.1 Næringsaltdepositionens størrelse i 1987-1989

Beregningsgrundlag for deposition

Næringsaltdepositions størrelse i 1987-89 er vist i tabel 2 og tabel 3. Beregning af bulkdeposition er foretaget på baggrund af koncentrationer i nedbør opsamlet med NILU-tragten og officielle nedbørsmængder, jævnfør afsnit 2.2. Der er ikke signifikant forskel på nedbørsmængder opsamlet med henholdsvis NILU-tragte og med de officielle nedbørsmålere (5 % signifikansniveau). I de tilfælde hvor en eller flere 14 dages depositions værdier mangler fra en station, er der erstattet med en middeldepositionsværdi, beregnet på baggrund af de øvrige inden for samme år.

Deposition af PO₄-P

Depositionen af PO₄-P er ikke medtaget i tabel 2 og 3, da bestemmelsen på grund af den anvendte opsamlingsmetode er behæftet med stor usikkerhed. Usikkerheden skyldes, at fosfortilførslen fra atmosfæren er så lille, at selv små forurenninger i tragten giver meget forhøjede værdier. Da der kun opsamles med een tragt på stationerne, kan det ikke vurderes om en evt. høj fosforværdi er reel eller skyldes forurening.

De 5 nedbørsopsamlere i værkstedsområdet ved Rabis Bæk kan vurderes overfor hinanden. Dette giver en mulighed for at vurdere om depositionen af fosfor er reel eller også skyldes forurening af prøverne. Niveauet af fosfor bulkdepositionen ved Rabis Bæk skønnes på baggrund af de fem opsamlede inden for et areal på ca. 4 km² til 0.08 kg/ha/år.

Tabel 2. Nedbør og bulkdeposition af H^+ , NH_4^+ -N, NO_3^- -N og SO_4^{2-} -S ved 11 lokaliteter i Danmark. Året angivet som 1987 dækker perioden 1. juni 1987 til 31. maj 1988 og 1988 dækker perioden 1. juni 1988 til 31. maj 1989. Depositionen ved Rabis Bæk er beregnet på baggrund af målinger fra 4 nedbørsopsamlere i værkstedsområdet. Gennemsnit for 1988 er uden Langvad Å og Rabis Bæk. Stationernes placering er vist i figur 1.

Stationer	Deposition kg/ha/år											
	Nedbør		H^+		NH_4^+ -N		NO_3^- -N		SO_4^{2-} -S			
	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.
Tystofte	607	441	524	0.25	0.15	0.20	6.5	4.6	5.5	5.4	4.0	4.7
Jyndevad	1121	872	996	0.26	0.21	0.24	10.5	10.9	10.7	6.6	6.8	6.7
Askov	1092	974	1033	0.30	0.23	0.27	10.0	9.4	9.7	6.8	5.9	6.4
Foulum	842	589	715	0.19	0.14	0.17	7.4	7.3	7.3	4.7	4.9	4.8
Tange	842	657	750	0.16	0.19	0.18	4.6	7.9	6.2	4.4	4.9	4.6
Silstrup	922	867	894	0.17	0.24	0.21	7.6	8.8	8.2	6.8	7.4	7.1
Borris	1071	921	996	0.27	0.25	0.26	12.1	9.2	10.7	6.3	6.5	6.4
Tylstrup	898	755	827	0.21	0.21	0.21	9.4	6.4	7.9	5.6	4.5	5.1
Årstev	689	573	631	0.21	0.14	0.18	7.4	7.8	7.6	4.8	4.9	4.8
Langvad Å		553			0.19		7.0			5.3		9.7
Rabis Bæk		743			0.23		7.0			5.6		10.8
Gns.	898	739	818	0.22	0.20	0.21	8.4	8.0	8.2	5.7	5.5	5.6
										11.5	11.2	11.3

Tabel 3. Bulkdepositionen af Cl, Na, Mg, K og Ca ved 11 lokaliteter i Danmark. Ellers samme som tabel 2. Gennemsnit for 1988 er uden Langvad Å og Rabis Bæk.

Stationer	Bulkdeposition (kg/ha/år)														
	Cl			Na			Mg			K			Ca		
	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.	1987	1988	Gns.
Tystofte	14.5	17.9	16.2	8.3	10.2	9.2	1.2	1.4	1.3	0.9	0.9	0.9	3.3	2.6	2.9
Jyndevad	50.9	68.7	59.8	29.4	36.3	32.9	3.8	4.7	4.2	1.7	1.9	1.8	6.1	4.1	5.1
Askov	37.7	57.6	47.6	20.0	31.1	25.6	2.6	3.9	3.3	1.3	1.8	1.5	3.2	3.3	3.3
Foulum	20.8	37.8	29.3	12.6	21.3	17.0	1.6	2.6	2.1	1.0	1.6	1.3	3.2	3.2	3.2
Tange	18.5	44.3	31.4	10.2	23.8	17.0	1.6	3.0	2.3	2.6	1.8	2.2	2.7	2.9	2.8
Silstrup	59.2	103.2	81.2	27.2	59.1	43.2	3.7	7.2	5.5	2.4	2.9	2.6	5.2	8.6	6.9
Borris	48.3	73.7	61.0	26.2	41.3	33.8	3.5	5.0	4.2	1.8	2.2	2.0	3.5	3.7	3.6
Tylstrup	21.9	34.9	28.4	11.4	18.2	14.8	1.8	2.5	2.2	2.0	1.8	1.9	4.6	4.0	4.3
Årslev	16.0	27.0	21.5	9.0	14.7	11.8	1.2	2.0	1.6	0.7	1.0	0.9	2.6	2.7	2.7
Langvad Å	19.9				10.5			1.6			1.3		4.3		
Rabis Bæk	50.2				28.7			3.5			1.6		3.1		
Gns.	32.0	51.7	41.8	17.2	28.5	22.8	2.3	3.6	3.0	1.6	1.8	1.7	3.8	3.9	3.9

3.2 Udviklingstendenser i atmosfærisk nedfald af næringssalte

Sammenligning af bulkopsamlere

For at kunne sammenligne med tidligere tilsvarende undersøgelser, er der i hele måleperioden på to stationer, Foulum og Jyndevad, udført nedbørsopsamling med udstyr svarende til det, der blev anvendt i 1950'erne og 1970'erne. En t-test udført på den relative differens mellem koncentrationer i nedbør opsamlet med en NILU-tragt og en Hellmann-tragt viser, at der på 5 % signifikansniveau er forskel på $\text{SO}_4\text{-S}$, både for opsamlingerne ved Jyndevad og ved Foulum. Bulkdepositionen af $\text{SO}_4\text{-S}$ er ca. 10 % større i nedbør opsamlet med en NILU-tragt i forhold til opsamling med en Hellmann-tragt. For opsamlingerne ved Foulum er der desuden signifikant forskel på koncentrationen af Cl og Ca i den opsamlede nedbør, således at koncentrationen i nedbøren opsamlet med NILU-tragten er størst. Disse forskelle kan skyldes NILU-tragts større materialoverflade end Hellmann-tragts, samt de to trætes forskellige materialetyper, henholdsvis glas og polyethylen, jævnfør afsnit 2.2.

Opsamling af sne

Ingen af trætene er specielt beregnet til opsamling af sne. NILU-tragten kan rumme en større mængde sne på grund af dens større rumindhold. I modsætning til undersøgelsen i 1970'erne er Hellmann-tragten i nærværende program ikke forsynet med varmelegeme til smelting af sne og is. I opsamlingsperioden 1987-89 er der dog ikke forekommet sne i nævneværdig grad.

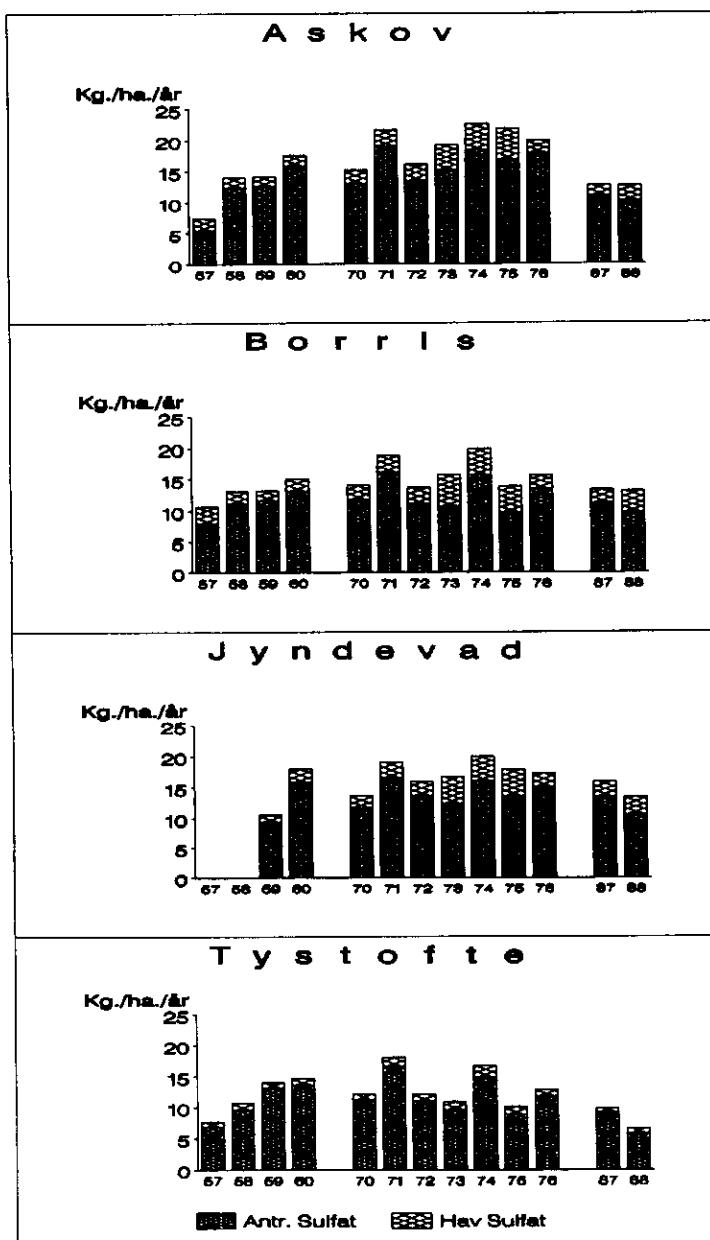
Til belysning af udviklingstendenser er stationerne Borris, Askov, Jyndevad, Tystofte og Tylstrup udvalgt. For disse stationer gælder,

at der eksisterer målinger tilbage fra 1950'erne, fra Askov endog fra en periode i 1920'erne, jævnfør tabel 1. Målingerne angivet for Tylstrup i 1950'erne er foretaget ved Store Vildmose, der ligger ca. 5 km fra Tylstrup stationen.

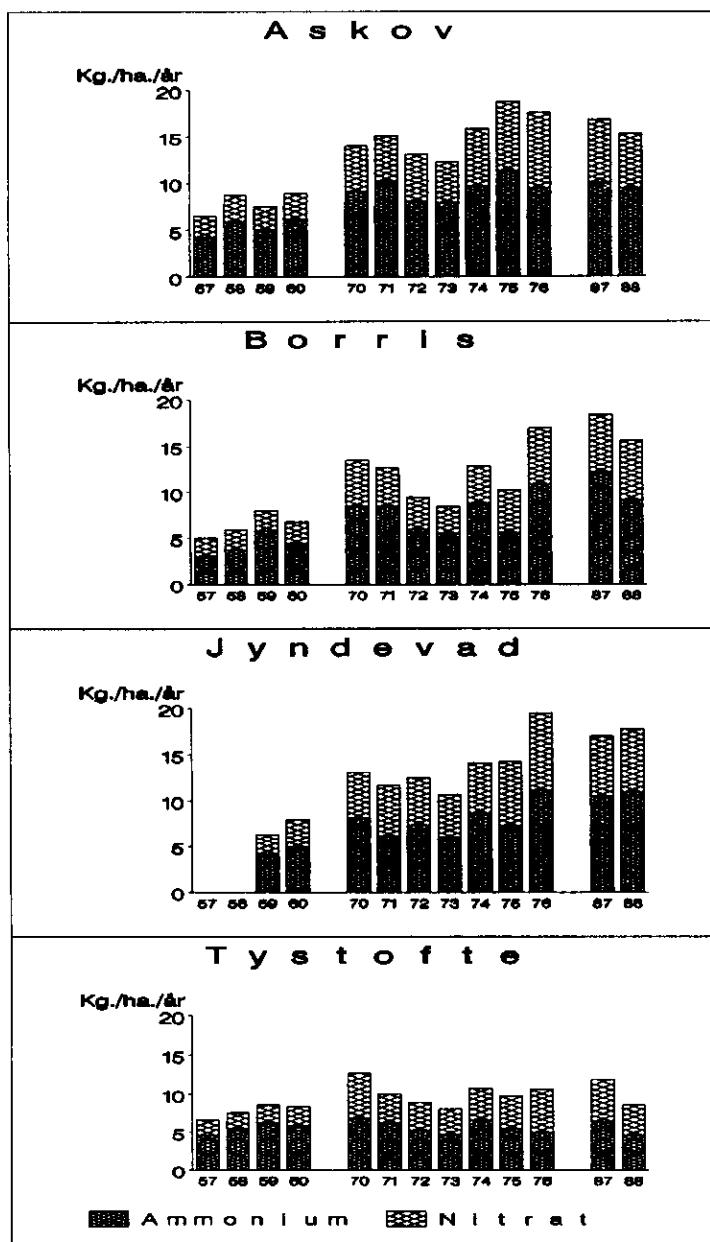
I figur 5, 6 og 7 er vist udviklingen i årsdepositionen ved Borris, Askov, Jyndevad og Tystofte af henholdsvis total sulfat, total kvælstof og nedbørsmængde.

I tabel 4 er vist middeldeposition og middelkoncentration for ovennævnte perioder og af samme komponenter som vist i figur 5, 6 og 7. I tabel 4 er også medtaget resultater fra målinger i 1920'erne ved Askov og ved Tylstrup, som ikke er vist i figurene.

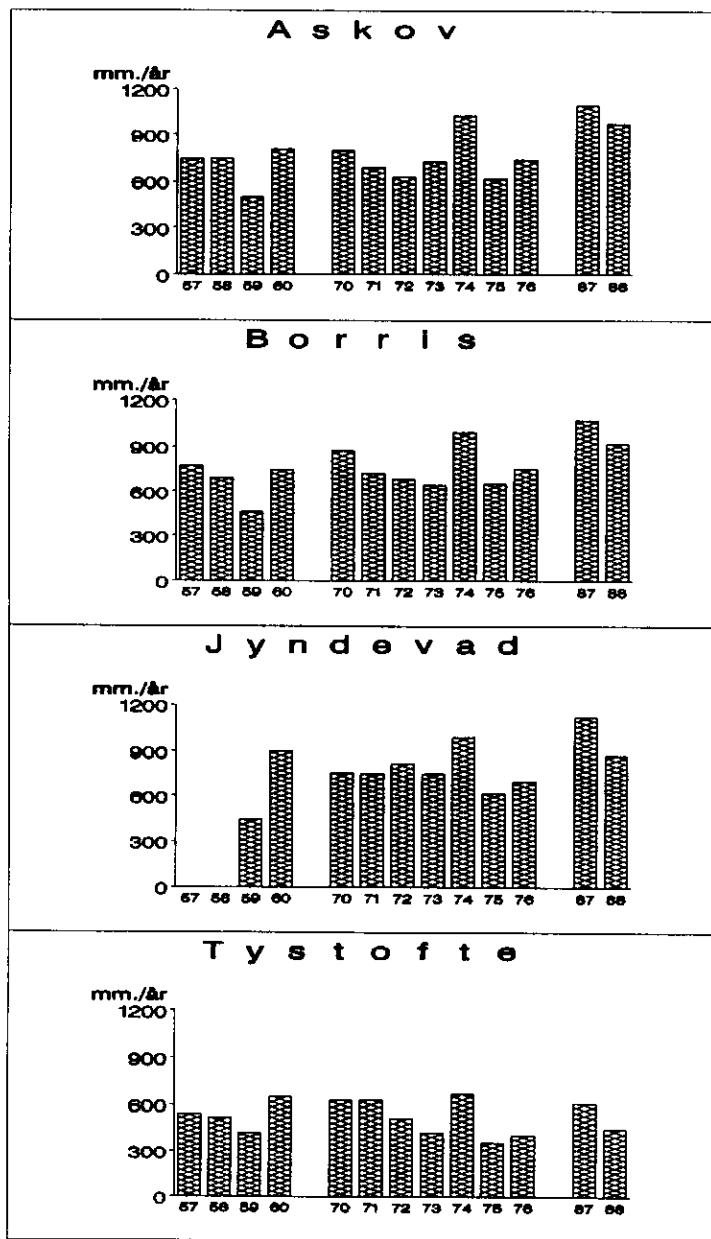
Sulfatdeposition For sulfats vedkommende er der foretaget en korrektion for sulfat, der stammer fra havet. I figur 5 er denne anført som havsulfat. Korrektionen er fremkommet på baggrund af den målte Na-koncentration og tabelværdier for havvands indhold af Na og $\text{SO}_4\text{-S}$ (Riley og Skirrow, 1975). Trækkes havsaltkorrektionen fra den totale mængde $\text{SO}_4\text{-S}$ fås mængden af antropogen sulfat (mørket antr. sulfat i figur 5). Mængden af sulfat, der stammer fra havet varierer primært med de meteorologiske forhold, mens mængden af antropogen svovl primært stammer fra afbrænding af fossilt brændsel. I vurderingen af sulfatdepositionen i relation til de to tidligere undersøgelser skal det bemærkes, at opsamlingsmetoden i den aktuelle undersøgelse giver en ca. 10 % større deposition end metoden, der er anvendt i undersøgelsen i 1970'erne.



Figur 5. Bulkdeposition af total S (sulfat) i kg/ha/år ved Borris, Askov, Jyndevad og Tystofte fra 1950'erne til slutningen af 1980'-erne. Stationernes placering er vist på figur 1. Total S er opdelt i havsulfat og antropogent sulfat.



Figur 6. Bulkdeposition af total N (kvælstof) i kg/ha/år ved Borris, Askov, Jyndevad og Tystofte fra 1950'erne til slutningen af 1980'erne. Stationernes placering er vist på figur 1. Total N er summen af $\text{NH}_4\text{-N}$ (ammonium) og $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrat).



Figur 7. Nedbørsmængde i mm ved Borris, Askov, Jyndevad og Tystofte fra 1950'erne til slutningen af 1980'erne. Stationernes placering er vist på figur 1.

Tabel 4. Deposition af sulfat, nitrat og ammonium ved 5 af Statens Planteavlfsforsøgs forsøgsstationer. Tal i parantes er middelkoncentrationer i mg/l. Ældre data fra Hansen (1931), Jensen (1961) og Jørgensen (1979).

Station og periode	nedbør mm/år	SO ₄ -S	NO ₃ -N kg/ha/år	NH ₄ -N	N-total
Iystofte					
1955-61	505	10.7 (2.11)	2.2 (0.44)	5.1 (1.01)	7.3
1970-77	516	13.2 (2.56)	4.3 (0.83)	5.7 (1.10)	10.0
1987-89	524	8.2 (1.56)	4.7 (0.89)	5.5 (1.06)	10.2
Jyndevad					
1959-61	672	14.3 (2.13)	2.7 (0.40)	4.6 (0.68)	7.3
1970-77	770	17.2 (2.23)	5.8 (0.75)	7.8 (1.01)	13.6
1987-89	996	14.8 (1.49)	6.7 (0.67)	10.7 (1.07)	17.4
Askov					
1921-27	756	-	2.6 (0.34)	5.2 (0.69)	7.9
1955-61	673	12.5 (1.86)	2.5 (0.37)	5.0 (0.74)	7.5
1970-77	744	19.5 (2.62)	5.9 (0.79)	9.3 (1.25)	15.2
1987-89	1033	12.7 (1.23)	6.4 (0.62)	9.7 (0.94)	16.1
Borris					
1957-61	668	13.0 (1.95)	2.2 (0.33)	4.2 (0.63)	6.4
1970-77	760	15.9 (2.09)	4.3 (0.57)	7.6 (1.00)	11.9
1987-89	996	13.2 (1.33)	6.4 (0.64)	10.7 (1.07)	17.1
Iylstrup					
1957-61	589	11.3 (1.92)	1.9 (0.32)	3.5 (0.59)	5.4
1970-77	614	14.5 (2.36)	4.6 (0.75)	6.4 (1.04)	11.0
1987-89	827	10.8 (1.31)	5.1 (0.62)	7.9 (0.96)	13.0

Af figur 5 og tabel 4 ses, at svovldepositionen har været stigende fra 1950'erne til 1970'erne, mens depositionen er markant lavere i den aktuelle undersøgelse. I tabel 4 ses et markant fald i gennemsnitskoncentrationen af SO₄-S ved alle stationer.

Kvælstofdeposition Jørgensen (1979) påviste en fordobling af kvælstofdepositionen fra 1950'erne til 1970'erne (jævnfør figur 6 og tabel 4). I denne periode har der generelt været en mindre nedbørsstigning samt en stigning i gennemsnitskoncentrationen af både nitrat og ammonium. I figur 7 er nedbørsforholdene for de forskellige måleperioder vist for hver enkelt år i måleperioden. I tabel 4 er nedbørsudviklingen vist som gennem-

snit for måleperioderne. Gennemsnitskoncentrationen af nitrat viser en faldende tendens fra 1970'erne til slutningen af 1980'erne. For ammonium er koncentrationen på samme niveau i slutningen af 1980'erne som i 1970'erne, dog med et fald ved Askov.

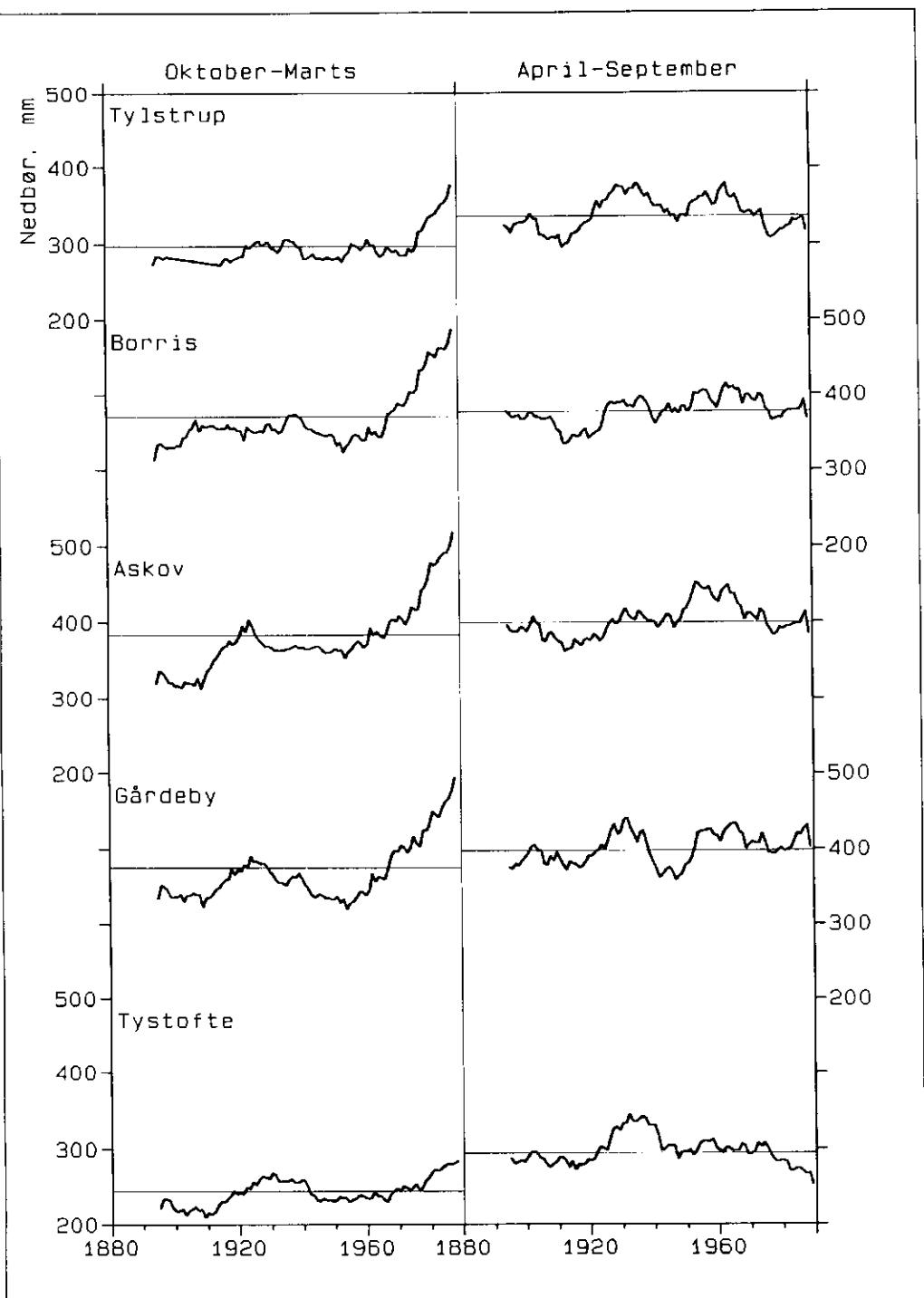
Stigningen i depositionen af kvælstof synes at følge en samtidig markant øget nedbørsmængde ved de samme stationer. Depositionen beregnes som nedbørsmængde gange koncentration i den opsamlede nedbør. En øget deposition af kvælstof-forbindelserne kan derfor skyldes den øgede nedbørsmængde, en højere koncentration i nedbøren eller en kombination af disse forhold.

Nedbørsudvikling

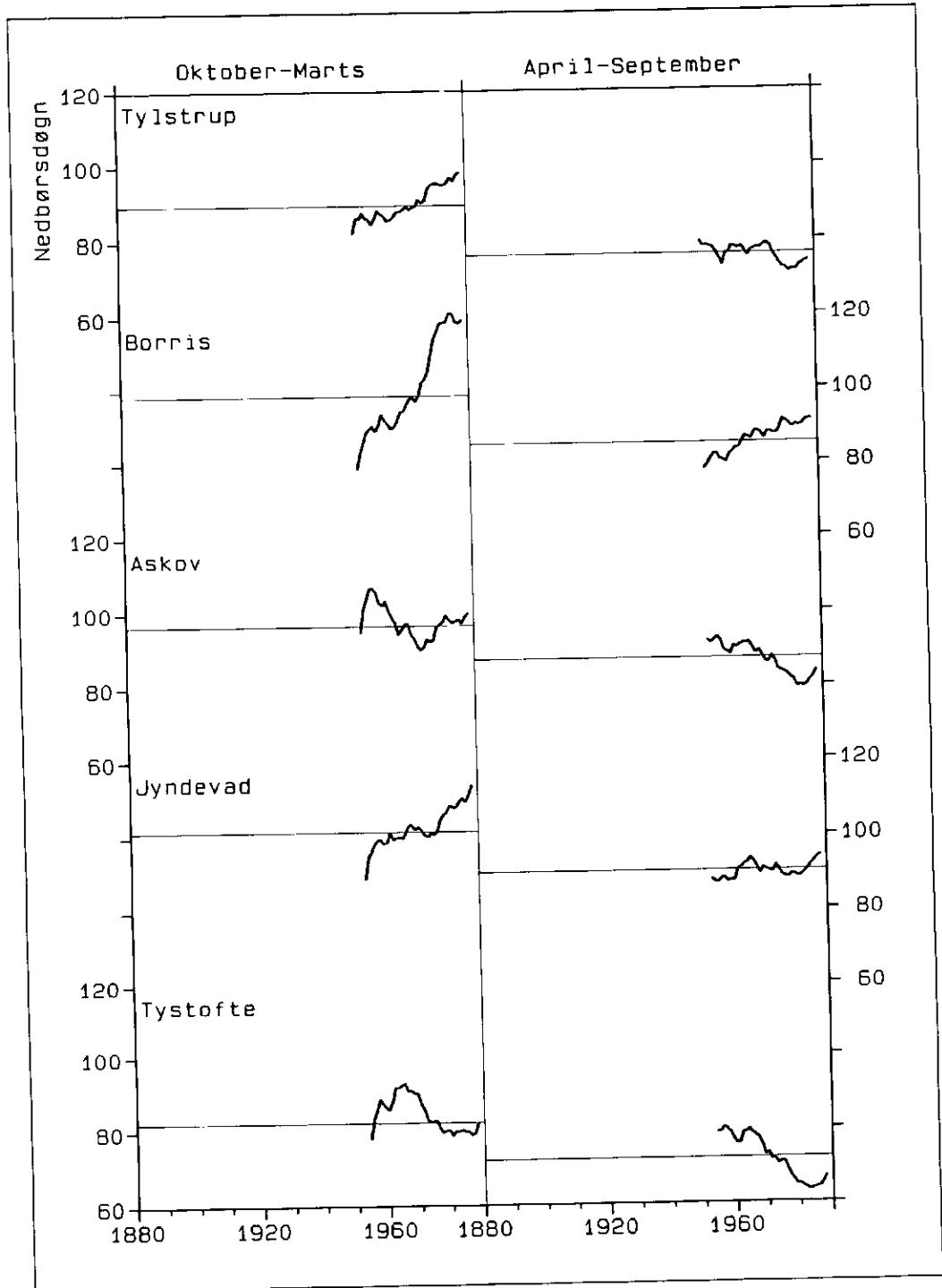
I figur 8 og figur 9 er vist udviklingen i nedbørsforholdene som 15 års glidende middel ved de samme 5 stationer som vist i tabel 4. Glidende middel for nedbørsmængde er beregnet fra 1880 til 1988, mens beregningen for antal nedbørsdøgn er fra 1941 til 1988. Gårdeby er medtaget i stedet for Jyndevad, idet der ikke har været data for hele perioden ved Jyndevad. Gårdeby ligger 5 km øst for Jyndevad.

Figurerne er opdelt i sommer- og vinterhalvår. De glidende middelværdier er i figurerne anført udfor det sidste år i middelperioden. Den vandrette linie i figur 8 markerer gennemsnitsnedbøren for hele perioden fra 1880 til 1988. Den vandrette linie i figur 9 markerer gennemsnitlige antal nedbørsdøgn fra 1941 til 1988.

Af figur 8 ses at nedbørsmængden er steget markant i vinterhalvåret, mest ved Borris, Askov og Gårdeby og i mindre grad ved Tylstrup og Tystofte. Stigningen starter ved Borris, Askov



Figur 8. Udviklingen i nedbørsmængden som 15 års glidende middel fra 1880 til 1988 ved 5 stationer. Stationernes placering er vist på figur 1. Gårdeby ligger 5 km øst for Jyndevad.



Figur 9. Udviklingen i antal nedbørsdøgn som 15 års glidende middel fra 1941 til 1988 ved 5 stationer.

og Gårdeby ca. 1950 og er frem til 1988 på mere end ca. 150 mm. Ved Tylstrup og Tystofte sker stigningen først fra midten af 1960'erne og er af størrelsesorden 50-100 mm. En analyse af glidende middel for de enkelte måneder viser, at nedbørsstigningen i vinterhalvåret hovedsagligt er sket i januar, marts, november og december.

I sommerhalvåret er der tendens til et fald i nedbørsmængden fra 1950'erne og frem til i dag. Der ses et fald i nedbørsmængden ved Tystofte fra begyndelsen af 1970'erne. Dette fald oppejes af stigningen i vinterhalvåret af samme størrelsesorden.

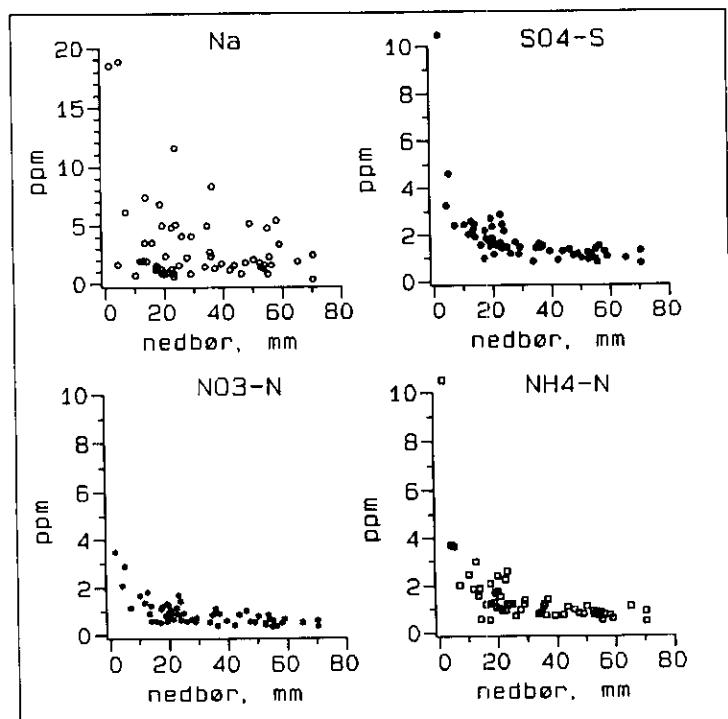
Udvikling i nedbørsdøgn

Af figur 9 ses en markant stigning i antallet af nedbørsdøgn ved Borris i vinterhalvåret. Der ses en mindre stigning ved Jyndevad og Tylstrup og nærmest et fald ved Askov og Tystofte. I sommerhalvåret ses en stigning ved Borris og en aftagende tendens ved Tylstrup, Askov og Tystofte.

Tendenserne for nedbørsudviklingen ved de 5 udvalgte stationer er i overensstemmelse med resultaterne fra en større undersøgelse af samme forhold, men med langt flere stationer inddraget (Mikkelsen, 1990). Den generelle tendens er her, at områder der i forvejen havde den største nedbørsmængde har haft en markant nedbørsstigning siden 1950'erne på op mod 200 mm. Det drejer sig om områder i Midt- og Vestjylland. Nordjylland har haft en mindre stigning, mens nedbørsmængden på Sjælland er uændret eller viser et mindre fald.

Nedbørsmængde og koncentration

I figur 10 er vist sammenhængen mellem nedbørsmængden og koncentrationen som ppm (mg/l) af Na, $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ i 14 dagsopsamlede nedbørsprøver fra hele undersøgelsesperioden. Nedbørsmængder og koncentrationer er beregnet som gennemsnit af de 8 stationer ved Statens Planteavlsforsøgs forsøgsstationer, jævnfør tabel 1.



Figur 10. Sammenhængen mellem koncentrationen og nedbørsmængde for komponenterne Na, $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ opgjort som 14 dages perioder 1987-1989 og som gennemsnit af 8 stationer ved Statens Planteavlsforsøg.

Af figur 10 ses at koncentrationen for alle 4 komponenter er højst i situationer med lille nedbørsmængde. Med stigende nedbørsmængde afta-

ger kurven og flader ud, og for $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ er koncentrationen tilsyneladende konstant ved nedbørsmængder mellem 30 og 80 mm pr. 14 dages opsamling.

Natrium er valgt som en repræsentant for gruppen af næringsalte, der stammer fra havet, primært Na, Cl og Mg. Disse ioner afsættes primært ved sedimentation eller nedslag af tørpartikler (Hansen, 1983; Gremmelt et al., 1985). Størrelsen af denne tørafsætning er i høj grad afhængig af vindforholdene.

Af tabel 5 ses, at specielt depositionen af $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ er korreleret med nedbørsmængden og i mindre grad med antallet af nedbørsdøgn. Depositionen af disse tre komponenter er samtidigt korreleret med hinanden. Ovennævnte korrelationer er alle signifikante på 1% niveau.

Tabel 5. Korrelationkoefficienter mellem depositionen af forskellige kemiske komponenter, nedbørsmængden i mm (N) og antallet af nedbørsdøgn (ND). Som datagrundlag er anvendt alle 14 dages opsamlinger i 1988 beregnet som gennemsnit for de 8 stationer ved SP.

	N	ND	Na	Cl	Mg	K	Ca	$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	
Nedbør (N)	1.00	0.62	0.44	0.36	0.36	0.32	0.10	0.89	0.78	0.74	
Nedbørsdage (ND)	0.62	1.00	0.38	0.26	0.25	0.18	0.07	0.58	0.55	0.34	
Na	0.44	0.38	1.00	0.99	0.99	0.77	0.24	0.51	0.19	0.23	
Cl	0.36	0.26	0.99	1.00	0.99	0.82	0.52	0.55	0.18	0.13	
Mg	0.36	0.25	0.99	0.99	1.00	0.83	0.50	0.55	0.18	0.15	
K	0.32	0.18	0.77	0.82	0.82	1.00	0.61	0.48	0.30	0.21	
Ca	0.10	0.07	0.24	0.52	0.50	0.61	1.00	0.28	0.21	0.03	
$\text{SO}_4\text{-S}$		0.89	0.58	0.51	0.55	0.55	0.48	0.28	1.00	0.83	0.77
$\text{NO}_3\text{-N}$		0.78	0.55	0.19	0.18	0.18	0.30	0.21	0.83	1.00	0.71
$\text{NH}_4\text{-N}$		0.74	0.34	0.23	0.13	0.15	0.21	0.03	0.77	0.71	1.00

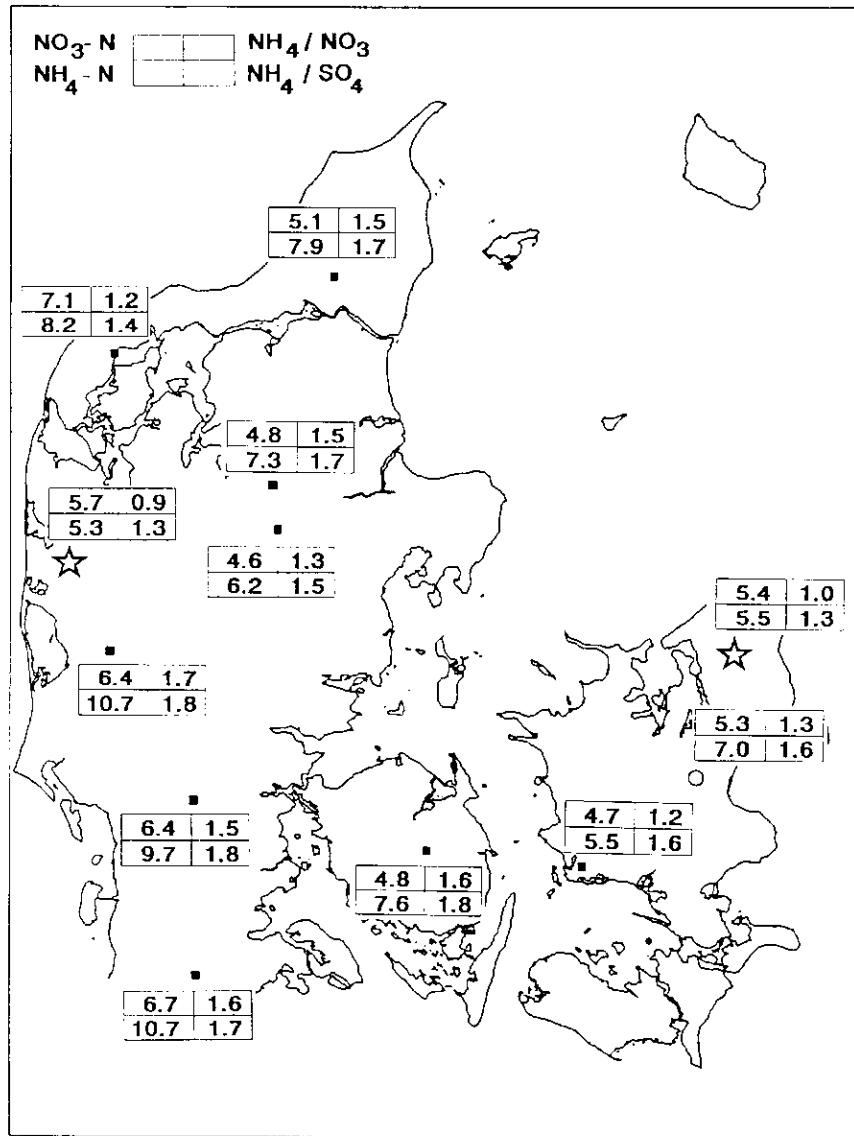
Havsaltioner

Havsaltionerne Na, Cl og Mg er stærkt korreleret med hinanden. Korrelationen for disse ioner med kalium antyder, at en del af kalium i bulkafsætningen stammer fra havet. Den relativt ringe korrelation til nedbørsmængden og antallet af dage med nedbør støtter teorien om, at havsaltioner primært afsættes ved tørafsætning, gravimetrisk sedimentation og nedslag (Hansen, 1983; Grennfelt et al., 1985). Korrelationen mellem de ovennævnte typiske havsaltioner og SO₄-S skyldes, at en del sulfat stammer fra havet, jævnfør figur 5.

3.3 Regional variation

Den regionale variation i depositionen af NH₄-N og NO₃-N samt forholdene NH₄/SO₄ og NH₄/NO₃ fremgår af figur 11. Stationernes navne ses på figur 1.

Værdierne af NH₄-N og NO₃-N er i kg/ha/år som gennemsnit af perioden 1987-89 (jævnfør tabel 2). Forholdene mellem ammonium og sulfat og ammonium og nitrat er beregnet på baggrund af stoffernes molære koncentrationer. For stationen ved Langvad Å, mærket med en cirkel, repræsentere værdierne perioden 1. juni 1988 til 31. maj 1989. Udeover resultater fra nærværende projekt er der medtaget resultater fra to stationer placeret i lysninger i skov (Hovmand og Hansen, 1988). De to stationer er Ulborg i Vestjylland og Frederiksborg i Nordsjælland. De to sidstnævnte stationer er markeret med en stjerne. Værdierne herfra repræsenterer perioden 1. juni 1987 til 31. maj 1988.



Figur 11. Den regionale variation af bulkdepositionen af $\text{NH}_4\text{-N}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$ samt forholdene $\text{NH}_4\text{-N}/\text{SO}_4\text{-S}$ og $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$. Værdierne af $\text{NH}_4\text{-N}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$ er i $\text{kg}/\text{ha}/\text{år}$. Forholdene mellem ammonium og sulfat og ammonium og nitrat er beregnet på baggrund af stoffernes molære koncentrationer, jf. afsnit 3.3. Stationerne med stjerne er henholdsvis Ulborg i Vestjylland og Frederiksborg i Nordsjælland. De øvrige stationer fremgår af figur 1.

Af figur 11 ses, at depositionen af NO_3 -N og NH_4 -N er størst ved Jyndevad, Borris, Askov og Silstrup. Depositionen af NH_4 -N er lavest ved Tystofte og de to skovstationer, Ulborg og Frederiksborg. Forholdet NH_4/NO_3 er størst ved Borris, Jyndevad og Årslev, mens forholdet NH_4/SO_4 er størst ved Borris, Askov og Årslev. De laveste værdier for forholdene NH_4/NO_3 og NH_4/SO_4 er målt ved de to skovstationer.

3.4 Sæsonvariation

I figur 12, 13 og 14 er vist variationen over årene 1987-89 af nedbør, antal nedbørsdøgn, koncentrationen og depositionen af henholdsvis $\text{SO}_4\text{-S}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$.

Nedbørsmængde,
koncentration og
deposition

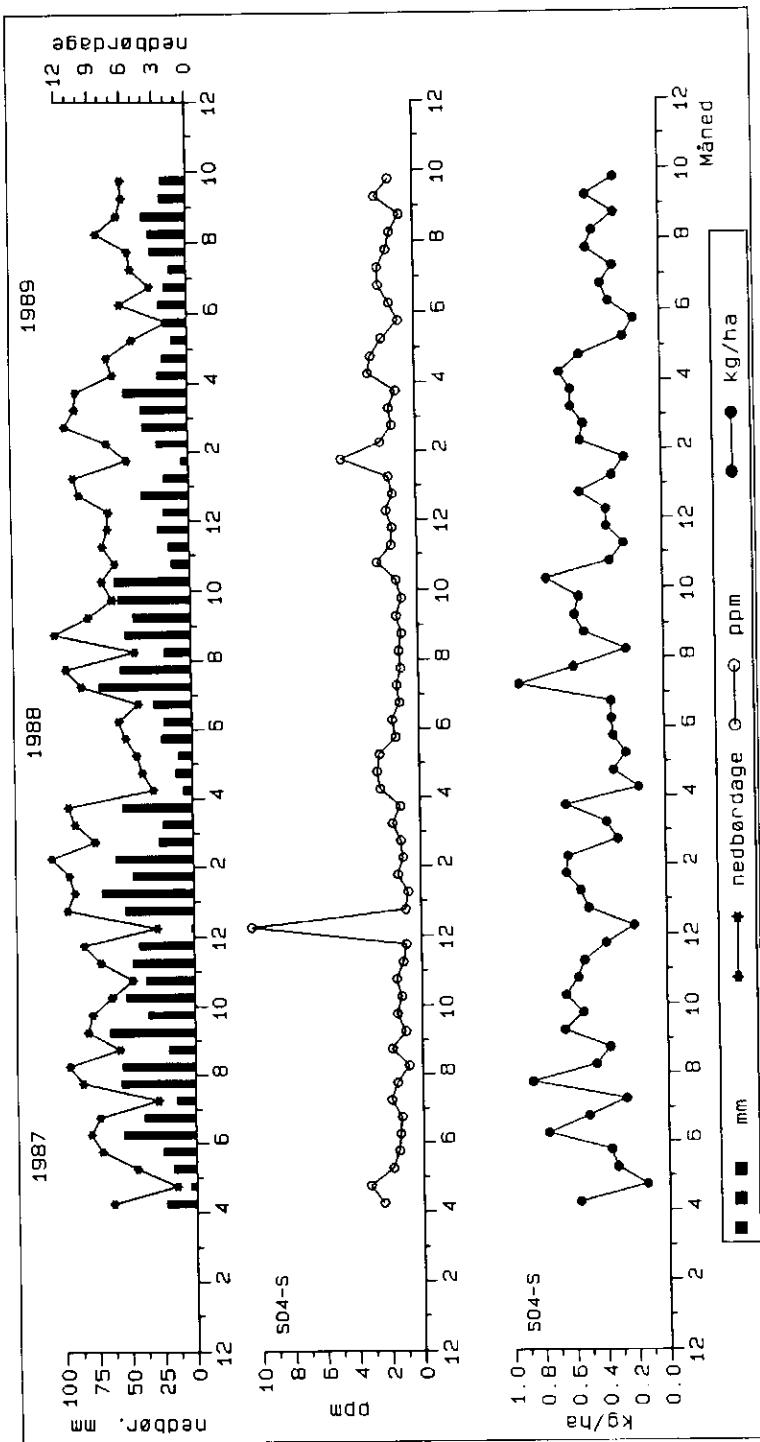
De viste data i figur 12, 13 og 14 er gennemsnit af de 8 stationer ved SP, jævnfør tabel 1. For alle tre komponenter er mønstret i sæsonvariationen i koncentrationer og depositioner det samme. Det er karakteristisk, at de højeste koncentrationer opnås ved lave nedbørsmængder. Det drejer sig om 2. halvdel af april måned 1987, 1. halvdel af december måned 1987, april og maj måned 1988 og 2. halvdel af januar 1989.

De højeste depositioner opnås for alle viste komponenter i perioder med megen nedbør og med relativt mange dage med nedbør.

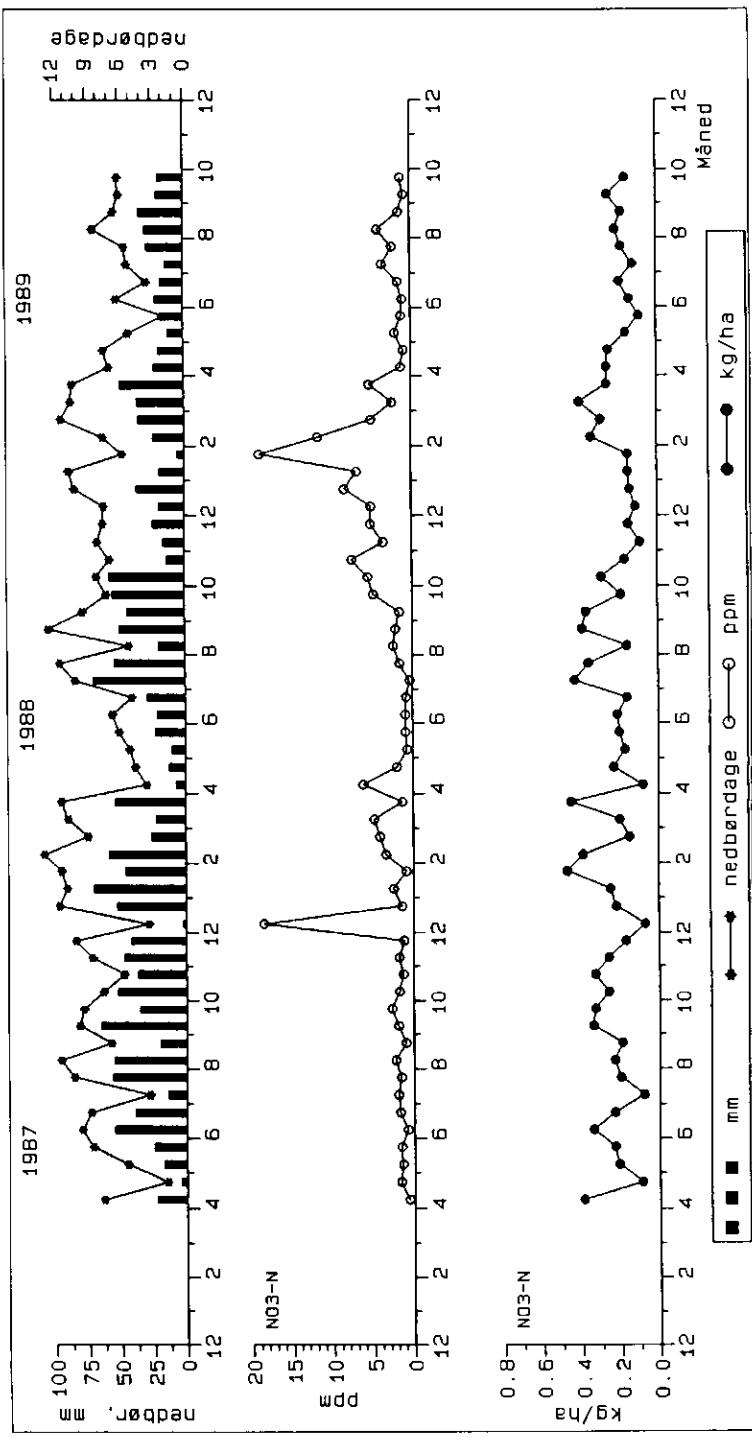
Det er vanskeligt at vurdere om der er en markant sæsonvariation i depositionen af ammonium, nitrat og sulfat på baggrund af figur 12, 13 og 14, idet mønstret er helt afhængigt af de aktuelle nedbørsforhold. Bulkdepositionen af ammonium, nitrat og sulfat er stærkt korreleret med nedbørsmængden og med hinanden indbyrdes (jævnfør tabel 5), hvilket antyder at bulkdepositionen af de tre komponenter hovedsageligt sker ved våddeposition. Ved at beregne komponenternes indbyrdes forhold må det derfor antages, at betydningen af nedbørsmængden reduceres. En væsentlig ændring i niveauet af komponenternes indbyrdes forhold kan skyldes en generel ændring i atmosfærens kemiske sammensætning eller en øget eller aftaget tørafsætning i trag-

ten af den ene eller anden komponent i det beregnede forhold.

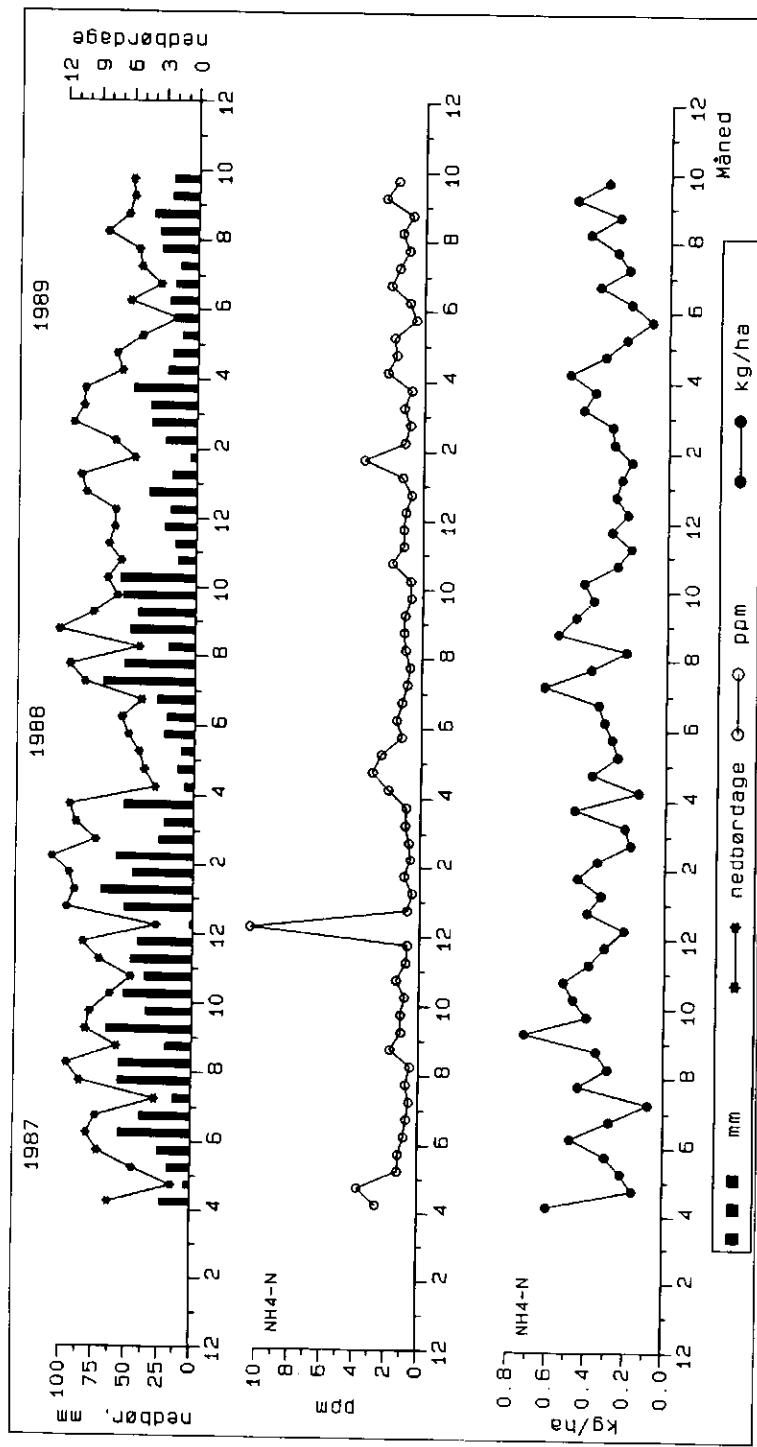
I figur 15 er vist forholdet mellem ammonium og henholdsvis sulfat og nitrat, baseret på molære koncentrationer. Der ses en tendens til at forholdet NH_4/SO_4 er størst i april og september. Forholdet varierer mellem ca. 0.5 og 2.5. Forholdet NH_4/SO_4 viser en svag tendens til minimum i februar/marts måned med en stigning frem mod april. Forholdet varierer mellem 0.8 og 3.0 med maksimum i december 1987.



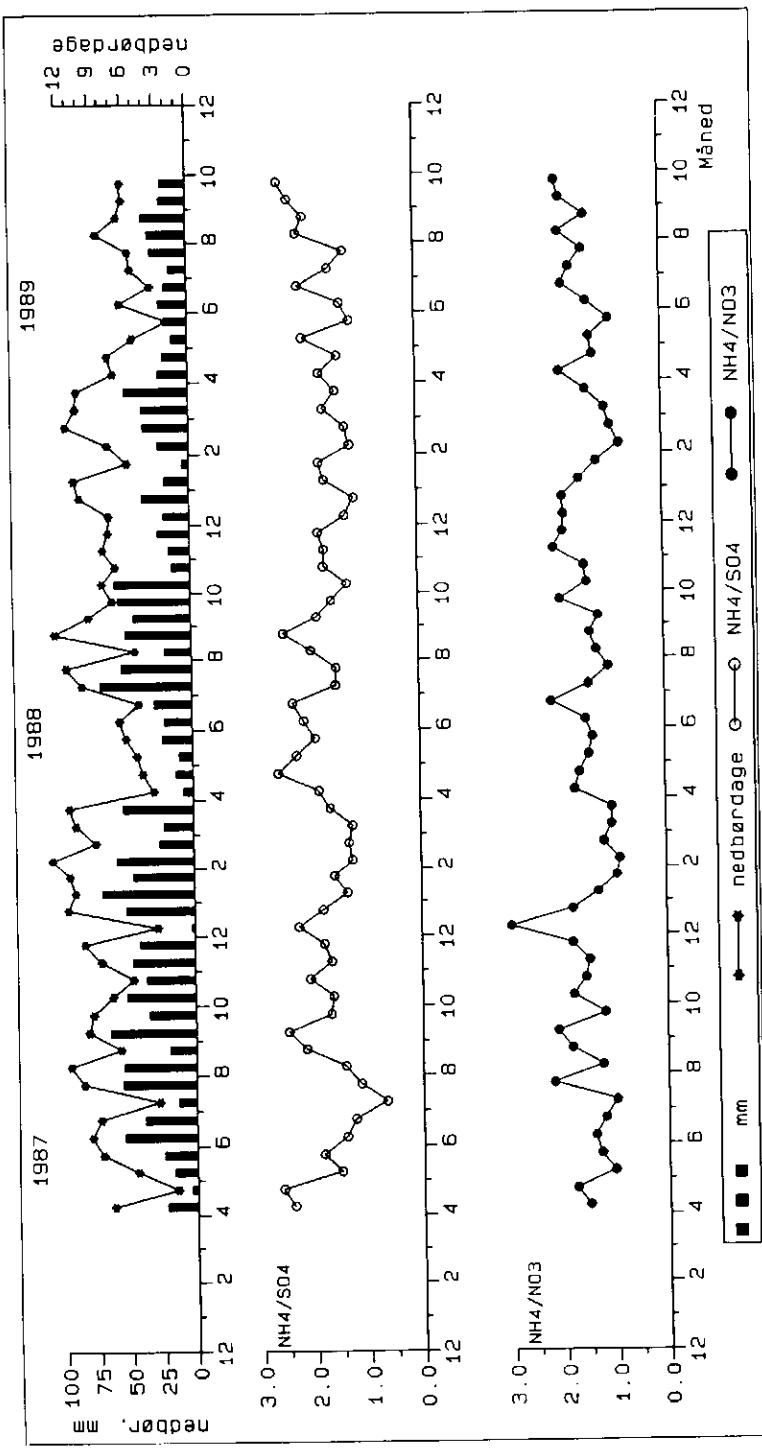
Figur 12. Variationen i koncentrationen (ppm) og bulkdepositionen (kg/ha) af SO₄-S over årene 1987-89. Alle data er gennemsnit af 8 stationer ved SP. Nedbøren er opsamlet den 1. og den 15. i hver måned. Øverst er vist nedbørsmængde og antal nedbørsdøgn for samme perioder. Nedbørsmængder er officielle nedbørsmængder fra DMI.



Figur 13. Variationen i koncentrationen (ppm) og bulkdepositionen (kg/ha) af NO₃-N over årene 1987-89. Alle data er gennemsnit af 8 stationer ved SP. Nedbøren er opsamlet den 1. og den 15. i hver måned. Overst er vist nedbørsmængde og antal nedbørsdøgn for samme perioder. Nedbørsmængder er officielle nedbørsmængder fra DMI.



Figur 14. Variationen i koncentrationen (ppm) og bulkdepositionen (kg/ha) af $\text{NH}_4\text{-N}$ over årene 1987-89. Alle data er gennemsnit af 8 stationer ved SP. Nedbøren er opsamlet den 1. og den 15. i hver måned. Øverst er vist nedbørsmængde og antal ned-børsdøgn for samme perioder. Nedbørsmængder er officielle nedbørsmængder fra DMI.



Figur 15. Variationen i forholdet mellem ammonium og nitrat (NH_4/NO_3) og forholdet mellem ammonium og sulfat (NH_4/SO_4) over årene 1987-89. Alle data er gennemsnit af 8 stationer ved SP. Nedbøren er opstillet den 1. og den 15. i hver måned. Øverst er vist nedbørsmængde og antal nedbørsdage for samme perioder. Nedbørsmængder er officielle nedbørsmængder fra DMI.

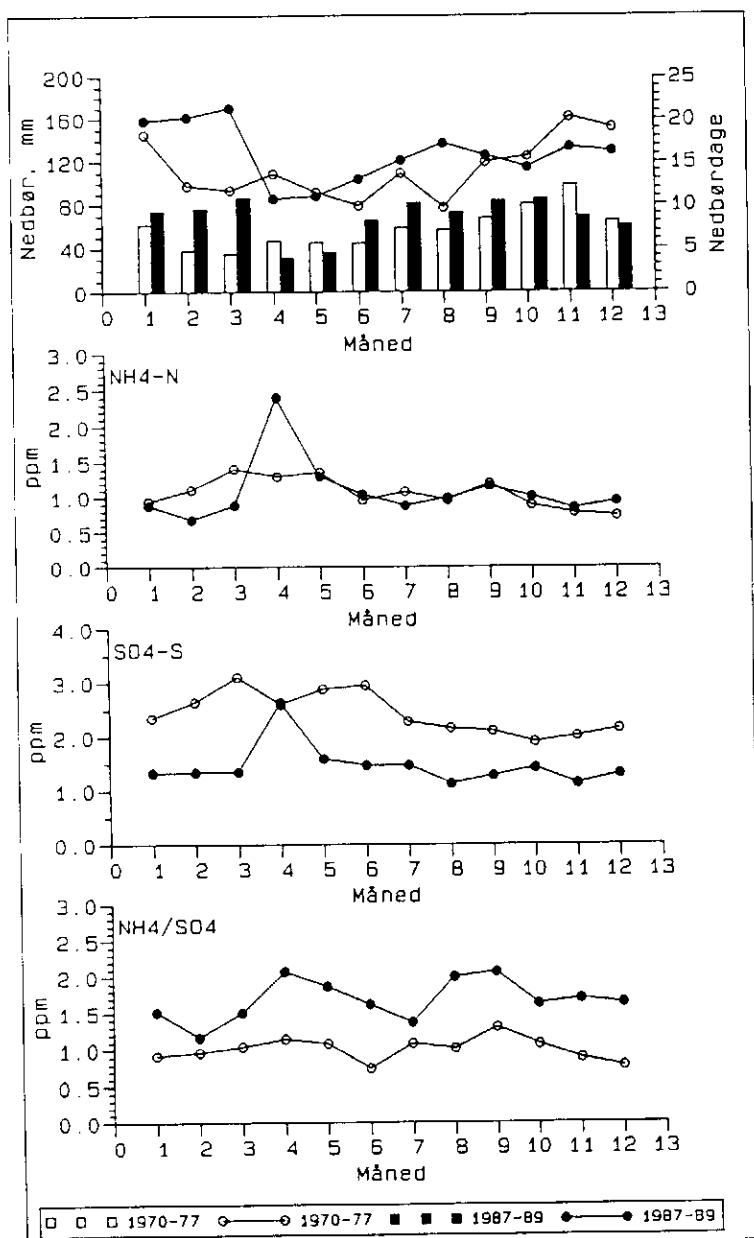
I figur 16 sammenlignes resultater af koncentrationsmålinger fra den aktuelle undersøgelse med data fra 1970'erne (Jørgensen, 1979).

Resultaterne i figur 16 viser variationen gennem året. De enkelte måneder repræsenterer et gennemsnit for hele undersøgelsesperioden henholdsvis juni 1970 til maj 1977 og marts 1987 til oktober 1989. Resultaterne fra de to perioder er gennemsnit af de samme seks stationer, Tylstrup, Silstrup, Borris, Askov, Jyndevad og Tystofte.

For ammoniums vedkommende ses en markant top i april måned for undersøgelsen 1987-89 og et mindre relativt maksimum i september. Maksimum i april falder sammen med et minimum i nedbørsmængden og antal nedbørsdøgn.

Koncentrationen af sulfat synes at være faldet markant gennem hele året. Toppen i april falder sammen med nedbørsminimum.

Forholdet NH_4/SO_4 viser for perioden i slutningen af 1980'erne et maksimum i april måned og igen i august/september måned. For perioden i 1970'erne ses ikke noget markant forårsmaksimum, men en mindre stigning i september måned.



Figur 16. Sammenligning af koncentrationsmålinger mellem data fra 1970'erne med koncentrationsmålinger fra den aktuelle undersøgelse. Nedbør er sjøler, linier er nedbørsdage. Koncentrationer af NH₄-N, SO₄-S og forholdet NH₄/SO₄ baseret på molære koncentrationer. Alle data er gennemsnit af 6 stationer ved SP.

3.5 Lokalvariation

Til vurdering af lokalvariationen har der i Rabis Bæk området været opsat fem nedbørsmålere indenfor et areal på ca. 4 km². Den geografiske placering fremgår af figur 2. Fra de fem nedbørsmålere har der over en 17 måneders periode været indsamlet nedbør hver 14. dag. Af tabel 6 fremgår nedbørsmængden i mm samt depositionen i kg/ha/år af NH₄-N, NO₃-N, SO₄-S, H⁺ og Na for perioden 1. juni 1988 - 31. maj 1989.

Manglende værdier for en station er erstattet med et gennemsnit af de fire andre stationer. For nedbørsopsamler nr. 4, mangler der værdier for en 3 måneders periode, på grund af defekt udstyr. De manglende værdier er erstattet med et gennemsnit af de fire andre opsamlinger i området.

Tabel 6. Nedbørsmængde og bulkdeposition i kg/ha/år ved Rabis Bæk i perioden 1. juni 1988 til 31. maj 1989. Stationernes placering (1-5) fremgår af figur 2. Tal i parantes er koncentrationer i mg/l.

	Stationsnumre					
	1	2	3	4	5	Gns.
mm	760	744	823	657	686	734
NH ₄ -N	7.8 (1.03)	6.6 (0.89)	7.8 (0.95)	5.7 (0.87)	6.2 (0.90)	6.8 (0.93)
NO ₃ -N	5.6 (0.74)	5.5 (0.74)	6.4 (0.78)	4.6 (0.70)	5.3 (0.77)	5.5 (0.75)
SO ₄ -S	10.9 (1.43)	10.7 (1.44)	12.8 (1.56)	8.9 (1.35)	9.6 (1.40)	10.6 (1.44)
Na	26.3 (3.46)	27.5 (3.70)	37.5 (4.56)	22.3 (3.39)	22.7 (3.31)	27.0 (3.68)
H ⁺	0.24 (0.03)	0.25 (0.03)	0.22 (0.03)	0.18 (0.03)	0.22 (0.03)	0.22 (0.03)

Variansanalyse

Til vurdering af variationen mellem de 5 stationer, er der udført en ubalanceret variansanalyse (Scheffes test, SAS Institute Inc., 1985). Der er på baggrund af denne analyse på 5 % signifikansniveau ingen forskel inden for gruppen af stationerne 1-3 og gruppen af sta-

tionerne 4-5 med hensyn til nedbørsmængde og koncentration i nedbøren af komponenterne vist i tabel 6. Der er signifikant forskel mellem de to grupper på nedbørsmængde, men ikke på koncentrationer. Station 1 og 2 er placeret mere end ca. 75 meter fra nærmeste læhegn mod vest, henholdsvis på varig græsmark og hede. Station 3 er placeret på et hedeareal med spredt bevoksning af nåletræer og buske. Station 4 er placeret i Rabis Å dalen på en skråning med græs og med et enkelt nåletræ 10 meter mod vest. Station 5 er placeret på en varig græsmark med en afstand på ca. 10 m til et læhegn mod vest.

3.6 Regional variation i produktion af husdyrgødning og NH₃ emission

Geografisk
fordeling af
husdyrhold

I midten af 1950'erne var der næsten lige mange kreaturer pr. ha i hele landet, mens der i 1985 var omrent 2.5 gange så meget kvæg pr. ha i Syd-, Vest- og Nordjylland som på Øerne. Kvæget er "vandret" mod vest og kvægproduktionen er dermed koncentreret på de mere sandede jorde. Svinebestandens størrelse i forhold til arealet er i samme periode steget stærkt, men stigningen har været mere ensartet over hele landet (Statens Planteavlsforsøg, 1989).

Den skæve fordeling af husdyrproduktionen betyder samtidig en regionalisering af produktionen af husdyrgødning. I tabel 7 er vist den amtsvisse fordeling af den beregnede kvælstofmængde i den samlede husdyrgødning fra kvæg, svin, fjerkræ, får, heste og pelsdyr. Produktionen af husdyrgødning er beregnet for 1988 som kg N/ha landbrugsjord/år. I tabel 7 er yderligere vist en beregnet ammoniakemission opdelt i amter (Asman, 1990).

Emissionstætheden af NH_3 i kg N/ha/år er angivet for amtskommuner, dvs. hele overfladen og ikke kun for landbrugsjord. Emissionstætheden angivet for hovedstadsregionen er beregnet for Københavns Amt (Asman, 1990).

Tabel 7. Den amtsvise fordeling af produktion af husdyrgødning i forhold til landbrugsarealet (Statens Planteavlfsforsøg, 1989). Emissionstæthed af NH_3 i forhold til total areal (Asman, 1990).

Amt	Produktion af husdyrgødning (kg N/ha/år)	Emissionstæthed af NH_3 (kg N/ha/år)
Hovedstadsregionen	37.1	3.0
Vestsjælland	59.1	20.3
Storstrøm	40.9	16.3
Bornholm	92.5	22.8
Fyn	79.9	24.6
Sønderjylland	99.9	33.3
Ribe	111.7	31.7
Vejle	97.5	31.0
Ringkøbing	109.2	31.0
Århus	84.8	23.9
Viborg	116.0	32.4
Nordjylland	103.3	29.6
Helt landet	88.9	25.0

Tabel 7 viser, at den største produktion af husdyrgødning sker i de regioner af landet, der også har den største emissionstæthed af ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$). Det drejer sig om amter i Midt-, Vest- og Sønderjylland. De største depositioner af ammonium er målt på stationer i de samme regioner (figur 11 og tabel 4).

4. DISKUSSION OG KONKLUSION

Udviklings-
tendenser,
kvælstof

Jørgensen (1979) påviste en øget bulkdeposition af kvælstof på landsplan fra 7 kg N/ha/år i i 1950'erne til 12 kg N/ha/år i 1970'erne. I den aktuelle undersøgelse, perioden 1987-89, er depositionen af kvælstof som gennemsnit for Danmark målt til 13.8 kg N/ha/år. Kvælstof optræder i nedbøren som nitrat og ammonium. Depositionen af nitrat er siden 1970'erne steget fra 4.9 kg N/ha/år til 5.6 kg N/ha/år sidst i 1980'erne. Ammonium er steget fra 7.1 kg N/ha/år til 8.2 kg N/ha/år.

Måleresultater fra fire jyske og een sjællandsk station, der har været gengangere i undersøgelsesperioderne fra henholdsvis 1950'erne, 1970'erne og slutningen af 1980'erne (tabel 4) viser, at der er en stigning i bulkdepositionen fra 1970'erne til sidst i 1980'erne af total kvælstof. Ved Jyndevad, Askov, Borris og Tylstrup er denne stigning henholdsvis 30 %, 6 %, 44 % og 18 %. På den sjællandske station Tystofte, er bulkdepositionen af kvælstof uændret siden undersøgelsen i 1970'erne. De højeste depositionsverdier af kvælstof er målt ved Borris og Jyndevad. Depositionen målt som bulkdeposition er her som gennemsnit af perioden 1987-89 ca. 17 kg N/ha/år. Den laveste deposition på ca. 10 kg N/ha/år er målt ved Tystofte.

Hellmann-/
NILU-tragt

Sammenligninger med de tidlige undersøgelser kompliceret af, at faktorer som forskellige opbevaringsbetingelser under indsamling af nedbør, forskellige kriterier for kassation af resultater og anvendelse af forskellige analysemетодer, kan give anledning til forskelle på størrelsen af den beregnede deposition. Oven-

nævnte forhold er ikke grundigt beskrevet i de tidligere undersøgelser (Jensen, 1962; Jørgensen, 1979). En sammenligning af de to tragtyper, som blev anvendt i henholdsvis 1970'erne (Hellmann-tragt) og i slutningen af 1980'erne (NILU-tragt) viste ingen forskel på depositionen af nitrat og ammonium, men en forskel på ca. 10 % for depositionen af sulfat. Den højeste deposition blev målt med NILU-tragten.

Nedbørsmængde

Middelkoncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ i bulkopsamlet nedbør sidst i 1980'erne er sammenlignet med data fra 1970'erne uændret eller faldende ved 5 stationer, der har været gengangere i de to undersøgelser. Nedbørsmængden er steget 100-300 mm/år på de 4 jyske stationer, mens nedbørsmængden er uændret på den sjællandske station i denne sammenligning.

Resultaterne i figur 10 viser, at koncentrationen af $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{SO}_4\text{-S}$ i 14 dages opsamplede nedbørsprøver er noget nær konstant ved nedbørsmængder mellem 30 og 80 mm. Dette antyder, at en nedbørsstigning indenfor dette interval i sig selv kan bevirket en øget bulkdeposition af nævnte komponenter.

Den øgede deposition af kvælstof fra 1970'erne til slutningen af 1980'erne specielt på stationer i Midt-, Vest- og Sønderjylland kan således i nogen grad være forårsaget af den markante nedbørsstigning på disse stationer. Tystofte, der ligger i et landbrugsområde domineret af planteavl, har ikke haft nogen stigning i depositionen af kvælstof fra 1970'erne til slutningen af 1980'erne. Denne station har heller ikke haft nogen nedbørsstigning.

Kvælstoftab	Den øgede bulk deposition af ammonium med nedbøren antages at have sammenhæng med et øget kvælstoftab fra jordbruget, bl.a. som ammoniakfordampning (Buijsman et al., 1987; Sommer et al. 1989).
Årsag til depositionsstigning	Den øgede deposition af kvælstof på landsplan, som har fundet sted fra 1970'erne til sidst i 1980'erne, kan evt. skyldes en stigning i mængderne af fjerntransporteret ammonium og nitrat, således at Danmark er påvirket af den samme stigning som ses generelt i Europa. Lokalt set er der sandsynligvis et bidrag til depositionen fra den markante nedbørsstigning, samt fra en øget lokal ammoniak emission, begge dele specielt i jyske regioner.
Regional variation	Depositionen af ammonium er i slutningen af 1980'erne størst i de områder, der samtidig har den største produktion af husdyrgødning og den største emissionstæthed af ammoniak (figur 11 og tabel 7). Beregninger viser, at ca. 10 % af ammoniakken fra en kilde eller et kildeområde afsættes som gasformig ammoniak indenfor de første ca. 100 meter (Asman og Jaarsveld, 1990). Hovedparten reagerer med andre stoffer i atmosfæren og afsættes længere væk og over større områder som bl.a. ammoniumsulfat (Sommer et al., 1989). De laveste depositionsværdier af ammonium er målt på de to skovstationer, hvor nedbørsopsamlerne har været placeret i lysninger i skoven. Forskellen i depositionen af ammonium mellem landbrugsstationerne og skovstationerne og mellem landbrugsstationerne indbyrdes antyder, at bulkdepositionen er påvirket af lokale kilder og/eller kildeområder. En større bulkdeposition af ammonium kan skyldes en større vådafsætning af ammonium og/eller en

større tørafsætning af ammoniak på indersiden af nedbørstragtene.

Sæsonvariation

Sammenlignes variationen over året af koncentrationen af $\text{NH}_4\text{-N}$ samt forholdet mellem ammonium og sulfat i nedbøren mellem målinger fra 1970'erne og målinger i slutningen af 1980'erne ses en markant top i april og en mindre top i september måned for perioden i 1980'erne (figur 16). De samme toppe ses kun i mindre grad for perioden i 1970'erne. Hvis variationen gennem året af ammonium koncentrationen og forholdet mellem ammonium og sulfat i bulkopsamlet nedbør fra 1987-89 er generel, antyder dette en indflydelse af lokale kilder og/eller kildeområder. Maksimumsværdierne i april og september måned kan skyldes en udbringning af husdyrgødning i bestemte perioder af foråret og efteråret, hvor afgrøderne har mest brug for den, mod tidligere mere jævnt over året.

Udviklings-tendenser, sulfat

I Danmark er bulkdepositionen af total $\text{SO}_4\text{-S}$ faldet fra 15.6 kg/ha/år i 1970'erne til 11.3 kg/ha/år sidst i 1980'erne. I den aktuelle undersøgelse er depositionen af sulfat ved stationer i Midt-, Vest-, Syd- og Nordjylland 11-15 kg S/ha/år. Ved stationer i Østjylland og på Øerne er depositionen af sulfat 8-10 kg S/ha/-år. Den laveste deposition af sulfat på 8.2 kg S/ha/år er målt ved Tystofte på Sjælland. Den målte sulfat består af et bidrag fra havet og et bidrag fra den menneskeskabte forurening, kaldet antropogent sulfat. Bidraget fra havet er afhængig af stationens placering i forhold til havet og de meteorologiske forhold. Det antropogene bidrag stammer primært fra afbrænding af fossilt brændsel. Nedgangen i depositionen af antropogent sulfat siden 1970'erne kan hænge sammen med en generel reduktion i

svovldioxidemissionen i Danmark (Eriksen, 1990), samt at vintrene i undersøgelsesperioden 1987-89 har været relativt milde med deraf følgende lavt forbrug af brændsel til opvarmning.

Svovlbalance	Ifølge Eriksen (1990) viser svovlbalancen for det samlede landbrugsareal i 1989 et underskud på 15.9 kg S/ha/år. Bidraget fra atmosfæren er i denne beregning vurderet til 17 kg S/ha/år. Hvis den målte værdi af sulfat på 11.3 kg S/ha/år fra den aktuelle undersøgelse indsættes i ovennævnte beregning bliver underskuddet i svovlbalancen 21.6 kg S/ha/år. På baggrund af yderligere begrænsninger i svovldioxidemissionen i Danmark og andre Europæiske lande forventes det, at svovldepositionen vil nå ned i nærheden af 10 kg S/ha/år (Eriksen, 1990).
Lokalvariation	Den lokale placering af nedbørsopsamlerne må antages at have en betydning for depositionens størrelse. Til belysning af dette problem blev der placeret 5 nedbørsopsamlere inden for et område på 4 km ² ved Rabis Bæk i Jylland. Der blev fundet en signifikant forskel på nedbørsmængderne mellem to grupper af opsamlere, henholdsvis station 1, 2 og 3 og en gruppe bestående af station 4 og 5 (figur 2 og tabel 6). For station 4 og 5, blev der fundet en lavere nedbørsmængde end på de øvrige stationer (tabel 6). Der var ingen forskel mellem de to grupper på koncentrationen i nedbøren af NH ₄ -N, NO ₃ -N, SO ₄ -S, Na og H ⁺ . Station 4 viser de laveste koncentrationer for samtlige komponenter. Station 4 var placeret på en græsskråning i Rabisdalen. Vindhastigheden vil typisk være relativ høj ned gennem en dal. Dette fænomen kan være årsag til den lavere nedbørsmængde på denne station. Station 5 var placeret ca. 10 meter fra et læhegn mod vest. Turbulensforhold omkring læhegnet kan

være årsag til den lavere nedbørsmængde her. Andre forhold kan dog også have spillet en rolle for nedbørsmængden på disse stationer. Station 1-3 var alle placeret med 50 til ca. 200 meter fra nærmeste læhegn mod vest. Det skal bemærkes, at ingen af stationerne i landsnettet er placeret under lignende forhold som stationerne 4 og 5.

Tørdeposition

For at få en størrelsesorden af tørafsætningen i tragten blev der i måleperiodens sidste 5 måneder opsamlet nedbør med en wet-only opsamler parallelt med en NILU-bulkopsamler ved Fou-lum. Tørdepositionen i tragten kan vurderes ved forholdet bulk/wet-only, baseret på nedbørsvægtede koncentrationer. Dette forhold er som gennemsnit af 5 måneders opsamling fra maj til september 1.28 for ammonium, 1.34 for nitrat og 1.17 for sulfat. Dette er i overensstemmelse med resultater refereret i Buijsman og Erisman (1988). Forholdet for ammonium var her 1.22 og 1.29 i to forskellige undersøgelser.

I den aktuelle undersøgelse opsamlede NILU-opsamleren ca. 10% mere nedbør end wet-only opsamleren med samme tragtstørrelse. Hvis det skyldes, at wet-only opsamleren først åbner en vis tid efter nedbørens start, mistes de første dråber af nedbørshændelsen, hvor koncentrationen af kemiske komponenter er størst på grund af atmosfærens "udvaskning" (Slanina, 1986). Det vil betyde en relativ lavere koncentration i den samlede nedbørsprøve. En anden årsag til at de opsamlede nedbørsmængder er forskellige kan være, at turbulensforholdene omkring de to typer af opsamlere ikke er den samme.

Under antagelse af, at Wet-only opsamleren faktisk undervurderer vådafsætningen, vurderes

bulkdepositionen af nitrat og ammonium at være 0-30 % højere end våddepositionen. Bulkdepositionen af sulfat vurderes at være 0-15 % højere end våddepositionen.

REFERENCER

Allerup P. og H. Madsen (1979): Accuracy of point precipitation measurements. Danish Meteorological Institute, Climatological Papers No. 5. Copenhagen. 84 pp.

Asman, W. (1982): Influence and prevention of birddroppings in precipitation chemistry experiments. Water, Air and Soil Pollution 17, 415-420.

Asman, W. (1990): A detailed ammonia emission inventory for Denmark. National Environmental Research Institute DMU, Luft-A133.

Asman, W. og J.A. van Jaarsveld (1990): A variable-resolution statistical transport model applied for ammonia and ammonium. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven. Report No. 228471007.

Buijsman, E. og J.W. Erisman (1988): Wet deposition of ammonia in Europe. Journal of Atmospheric Chemistry 6: 265-280.

Buijsman, E., H.F.M. Maas og W. Asman (1987): Anthropogenic ammonia emissions in Europe. Atmospheric Environment 21, 1009-1022.

Eriksen, J. (1990): Danske Landbrugsjordes svovlbalance og behov for svovlgødskning. Landbrugsmisteriet.

Grennfelt, P. et al.(1985): Atmospheric deposition in the lake Gårdsjön area, SW Sveden. Ecological Bullitins 37, 101:108.

Hansen, F. (1931): Undersøgelser af regnvand.
Tidsskrift for Planteavl 37, 123-150.

Hansen, J.G. (1983): Saltsprøjt som økologisk faktor i de kystnære plantesamfund i Vestthy: udbredelse og årsvariation af saltsprøjt samt effekterne på klithedevegetationen, med speciel henblik på Calluna vulgaris og Pinus mugo. Specialerapport. Botanisk Institut, Århus Universitet.

Hovmand, M. (1977): Atmosfærisk metalnedfald i Danmark. Licentiatrapport. Institut for Økologisk Botanik. Københavns Universitet.

Hovmand, M. og J. Bille Hansen (1988): Ionbalance i skovøkosystemer, med måling af atmosfærisk stoftilførsel. II. Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium, MST Luft-A 127.

Jensen, J. (1962): Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. Tidsskrift for Planteavl 65: 894-906.

Jørgensen, V. (1979): Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. Tidsskrift for Planteavl 82: 633-656.

Lövblad, G. og O. Westling. (1988): Methods for determination of atmospheric deposition. For the Nordic Council of Ministers, the steering body for monitoring the environmental quality of the nordic countries (MKN).

Mikkelsen, H. (1990): Analyse af danske tids-serier af nedbør og temperatur. (under udarbejdelse).

Riley, J.P. og G. Skirrow (1975): Chemical oceanography, New York, Academic Press.

Rohde, H. og M.J. Rood (1986): Temporal evolution of nitrogen compounds in Swedish precipitation since 1955. *Nature* 321, 762-764.

SAS Institute Inc. (1985): SAS users guide: statistics, Ver. 5 edition.

Slanina, J. (1986): Standardized techniques for the collection and analysis of precipitation. NATO ASI Series, G6: 91-116.

Sommer, S., B.T. Christensen, J.G. Hansen, W. Asman, L. Grundahl, J.K. Sjørring, H. Saxe og E.S. Jensen (1989): På sporet af atmosfærisk ammoniak. *Vand & Miljø*, 6. årgang, Nr. 2, 56-62.

Statens Planteavlsforsøg (1989): Husdyrgødning og dens anvendelse. Tidsskrift for Planteavls Specialserie. Beretning nr. S 1809.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A6

Udgivesesår: 1990

Titel:

Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark

Undertitel:

Forfatter(e):

Grundahl, Lone; Hansen, Jens Grønbech

Udførende institution(er):

Danmarks Miljøundersøgelser. Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening; Statens Planteavlfsforsøg

Resumè:

Depositionen af næringssalte beregnet på baggrund af bulkop-samlet nedbør er undersøgt på 11 lokaliteter i perioden 1987-89. Tidligere undersøgelser viste en fordobling af kvælstofdepositionen fra 1950'erne til 1970'erne. Siden undersøgelsen i 1970'erne er depositionen af kvælstof steget yderligere, mest på stationer i Jylland. Depositionen af sulfat er faldet markant siden undersøgelsen i 1970'erne.

Emneord:

deposition; tidsvariationer; nedbør; nitrogen CAS 7727-37-9; svovl CAS 7704-34-9

ISBN: 87-503-8620-4

ISSN:

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

Format: AS5

Sideantal: 60 s.

Md./år for redaktionens afslutning: juni 1990

Oplag: 450

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 : Ammoniakmonitering
- Nr. A 6 : Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark
- * Nr. A 7 : NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning
- * Nr. A 8 : Næringsstofudvaskning fra arealer i landbrugsdrift
- * Nr. A 9 : Kvælstofsomsætning og -transport i to dyrkede jorder
- * Nr. A10 : Daisy – Soil Plant Atmosphere System Model
- * Nr. A11 : Bestemmelse af NH₃-fordampning med passive absorbere
- * Nr. A12 : NH₃-fordampning fra gyllebeholdere
- * Nr. A13 : Næringsstofsomsætning i marginaliseret landbrugsjord
- * Nr. A14 : Regionale beregninger af N-udvaskningen
- * Nr. A15 : Ammoniakfordampning fra bygplanter

De med * mærkede titler er ikke trykt på udgivelsesdagen for denne rapport, men forventes trykt i løbet af 1990.

Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark

Depositionen af næringssalte beregnet på baggrund af bulkopsamlet nedbør er undersøgt på 11 lokaliteter i perioden 1987-89. Tidligere undersøgelser viste en fordobling af kvælstofdepositionen fra 1950'erne til 1970'erne. Siden undersøgelsen i 1970'erne er depositionen af kvælstof steget yderligere, mest på stationer i Jylland. Depositionen af sulfat er faldet markant siden undersøgelsen i 1970'erne.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

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

Pris kr. 70.- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-8620-4