

**Vandmiljøplanens  
Overvågningsprogram 1990**

**Atmosfæren  
Nedfald af  
kvælstofforbindelser**

Faglig rapport fra DMU, nr. 36  
1991

Mads F. Hovmand

Lone Grundahl

*Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening*

DANMARKS  
MILJØUNDERSØGELSER  
BIBLIOTEKET  
Vejsøvej 25, Postboks 314  
8600 Silkeborg

Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
December 1991

## Datablad

**Titel:** Atmosfæren. Nedfald af kvælstofforbindelser

**Undertitel:** Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1990.

**Forfattere:** Mads F. Hovmand  
Lone Grundahl

**Afdelingsnavn:** Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening

**Serietitel og nummer:** Faglig rapport fra DMU, nr. 36

**Udgiver:** Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser

**Udgivelsesår:** December 1991

**Feltundersøgelser:** M.F. Hovmand  
**Laboratiemålinger:** L.Grundahl, L.Christensen, B.V.Hansen, S.Matthiesen, L.Stausgaard,  
B.Vaabengaard

**ETB:** L. West, L. Thorsted  
**EDB:** N.H. Bastholm  
**EDB-grafik:** L.Stenfalk, E.H. Runge, H.V. Andersen

**Bedes citeret:** Hovmand, M. F., Grundahl, L. (1991): Atmosfæren. Nedfald af kvælstof-  
forbindelser. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1990. Danmarks  
Miljøundersøgelser, 1991, 39 s. Faglig rapport fra DMU, nr. 36.

**Gengivelse tilladt**  
med tydelige kildeangivelse

**Frie emneord:** Kvælstofforbindelser, nitrat, ammonium, ammoniak, nitrogendioxid,  
atmosfærisk nedfald, "bulk precipitation", våddeposition, tørdeposition,  
nedbørsmålinger

**ISBN:** 87-7772-041-5  
**ISSN:** 0905-815x  
**Tryk:** Grønager's Bogtryk & Offset  
**Oplag:** 500 eks.  
**Sideantal:** 39 s  
**Pris (incl. 22% moms,  
excl. forsendelse):** 60 kr.

**Købes hos:** Danmarks Miljøundersøgelser  
Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 30 12 00

# **Indhold**

**Forord 5**

**Resumé 6**

**1 Indledning 7**

**2 Måleprogram 8**

2.1 Målenet 8

2.2 Apparatbeskrivelse 11

2.3 Analysebeskrivelse 15

**3 Depositionsmålinger for 1990 17**

3.1 Våddeposition 17

3.2 Tørdeposition 23

**4 Udviklingstendenser 30**

4.1 Den tidsmæssige udvikling i kvælstofdepositioner 30

**5 Sammenfatning og konklusion 35**

**6 Referencer 36**

**7 Extended abstract in English 37**

**Danmarks Miljøundersøgelser 39**



## Forord

Denne rapport tilhører rækken af faglige rapporter, der udarbejdes af Danmarks Miljøundersøgelser som led i den landsdækkende rapportering af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Overvågningsprogrammet blev iværksat efteråret 1988, og dette udgør den anden rapportering.

Hensigten med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, der er konsekvensen af beretningen om Vandmiljøplanen afgivet af folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg den 30. april 1987. Systematisk indsamling af data gør det muligt at opgøre udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet samt at registrere de økologiske effekter, der følger af den ændrede belastning af vandmiljøet med næringsalte.

Danmarks Miljøundersøgelser har som sektorforskningsinstitution i Miljøministeriet til opgave at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. En væsentlig del af denne opgave er overvågning af miljø og natur. Det er derfor et naturligt led i Danmarks Miljøundersøgelses opgave at forestå den landsdækkende rapportering af Overvågningsprogrammet inden for områderne: Ferske vande, Marine områder, Landovervågning og Atmosfæren.

I Overvågningsprogrammet er der en klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem kommunale og statslige myndigheder.

Rapporterne "Ferske vandområder - vandløb og kilder" og "Ferske vandområder - søer" er således baseret på amtskommunernes data og regionale rapporteringer af den amtskommunale overvågning af de ferske vande.

Rapporten "Marine områder - fjorde, kyster og åbent hav" er baseret på amtskommunernes regionale rapportering af den atmskommunale overvågning af fjorde og kystvande samt Danmarks Miljøundersøgelses overvågning af de åbne havområder.

Rapporten "Landovervågningsoplande" er baseret på data indberettet af amtskommunerne fra 6 landovervågningsoplande, og er udarbejdet i samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelser.

Endelig er rapporten "Atmosfæren - nedfald af kvælstofforbindelser" baseret på Danmarks Miljøundersøgelses overvågningsindsats.

## Resumé

Fra atmosfæren tilføres landjorden og havet kvælstof i form af kvælstofforbindelser i nedbør, på partikler og i gasform.

Den samlede kvælstoftilførsel fra atmosfæren (=kvælstofdepositionen) bestemmes ved måling på ialt 17 målestationer etableret af Danmarks Miljøundersøgelser i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram.

Målinger for 1990 viser, at kvælstofdepositionen på havoverfladen i indre danske farvande i gennemsnit er omkring 1.2 ton kvælstof pr. kvadratkilometer pr. år, hvilket uændret er det samme som i 1989. Den forøgede nedbørsmængde i 1990 ca. 27% i forhold til 1989, har ikke medført en forøget atmosfærisk deposition.

Kvælstofdepositionen på landområder er større end på havområder ialt op til 3 ton kvælstof pr. kvadratkilometer pr. år. Depositionen på land er mere varierende fra lokalitet til lokalitet afhængig af lokalitetens vegetationsdække og nærhed til lokale kvælstofkilder, især landbrugsarealer med ammoniak fordampning.

For 1990 er den atmosfæriske kvælstofdeposition til indre danske farvande (areal 40.000 km<sup>2</sup>) ialt 47.000 ton N.

# 1. Indledning

Som følge af "Vandmiljøplanens" iværksættelse påbegyndte DMU i 1988 en opbygning af et atmosfærekemisk måleprogram til overvågning af den atmosfæriske tilførsel (deposition) af kvælstofforbindelser til hav- og landområder.

En mindre del af målestationerne var allerede oprettet i forbindelse med eksisterende måleprogrammer; disse blev udvidet og tilpasset overvågningsprogrammets krav og målsætning. Måleprogrammet var delvis udbygget den 1. januar 1989 og endelig udbygget den 1. januar 1990. Der foreligger derfor på nuværende tidspunkt måldata for to måleår.

Tilførslen af kvælstofforbindelser fra atmosfæren til land- og vanddækkede arealer ligger i Danmark på mellem 1 og 3 ton kvælstof pr. km<sup>2</sup> (= 10-30 kg N/ha) om året. Tilførslen sker dels i forbindelse med nedbør (våddeposition) dels som afsætning af gasser og aerosoler (tørdeposition).

Tørdepositionen kan ikke bestemmes direkte - således som våddepositionen. Tørdepositionens størrelse afhænger af kemiske og fysiske egenskaber ved det deponerede stof og af stofkoncentrationen i atmosfæren. Desuden afhænger tørdepositionen, på et areal, af arealets ruhed og andre overfladeegenskaber, således er depositionen større på skov end på lavere vegetation og endnu mindre på vandoverflader.

Våddepositionen bestemmes direkte ved kemiske analyser af nedbør indsamlet på målestationer placeret i kyst-, natur- og skovområder. Hver station er udstyret med flere opsamlere.

Ambitionen er at have et landsdækkende, kontinuert målende langsigtet måleprogram, der kan beskrive den geografiske og tidsmæssige variation i kvælstofdepositionen i Danmark.

Målenettet producerer en stor mængde data ca. 40.000 om året, disse data indgår også i projekter af mere videnskabelig karakter.

Overvågningsprogrammet leverer data til internationale konventioners bestemte måleprogrammer. Måldata anvendes også til validering af luftforureningsmodeller, der på basis af emissionsopgørelser og meteorologiske spredningsberegninger estimerer transport og deposition af forskellige luftforureningskomponenter.

Resultater og beregninger af målinger i 1990 er i denne rapport samlet til et billede af den atmosfæriske tilførsel af kvælstofforbindelser til hav- og landområder.

## 2. Måleprogram

### 2.1 Målenet

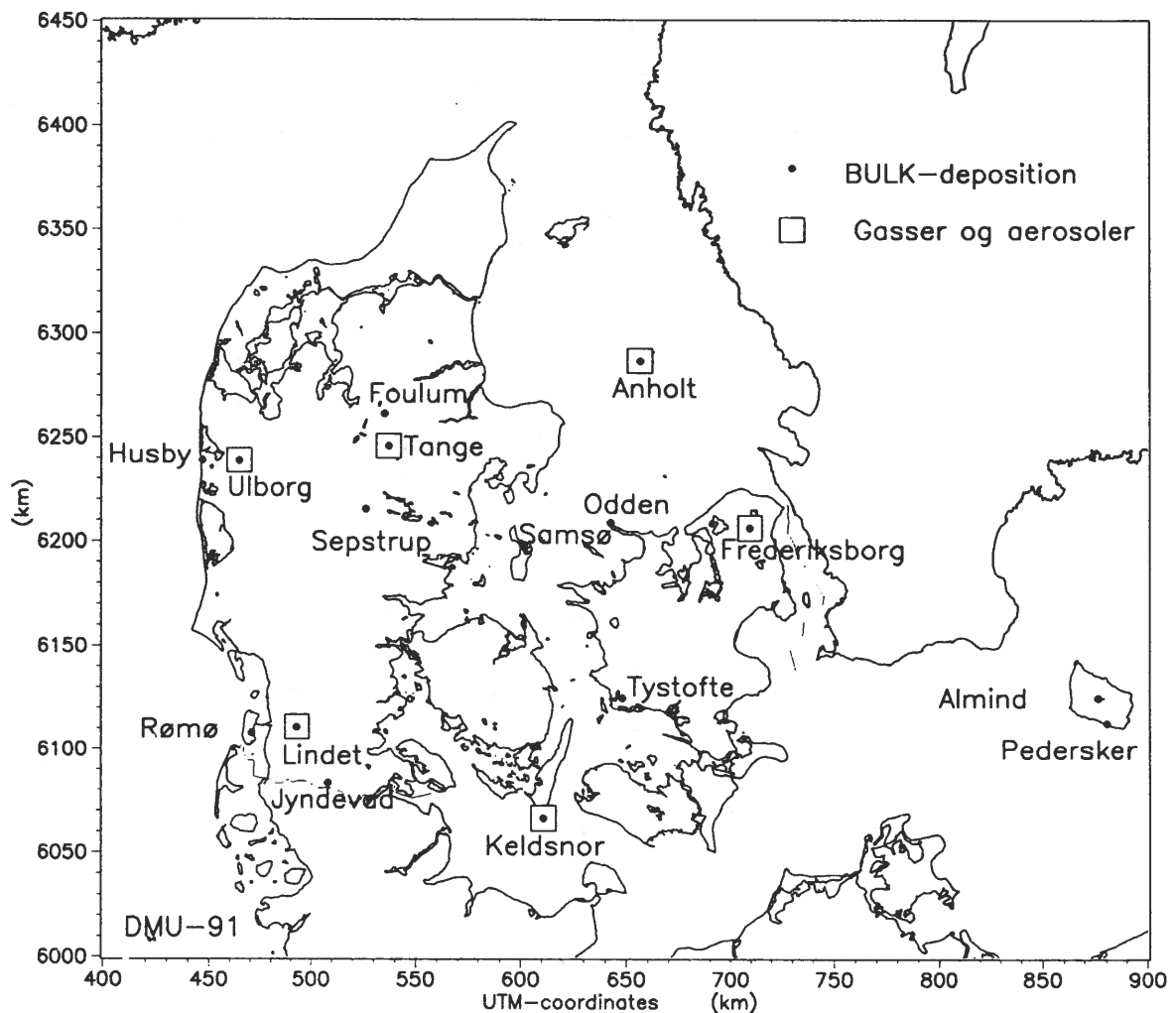
#### Målestationer

Det atmosfære- og nedbørskemiske målenet bestod i 1990 af 17 målestationer. Alle stationer er udstyret med en eller flere nedbørsopsamlere. 6 af stationerne er desuden forsynet med udstyr til gas- og aerosolopsamling. Nedbørsprøver opsamles over 14 dages perioder og analyseres for de i Tabel 1 nævnte komponenter. Gas- og aerosolprøver indsamles over 24 timer og analyseres for de i Tabel 2 nævnte komponenter. De fleste målestationer er oprettet i 1988-90, men enkelte har været operationelle i flere år før dette tidspunkt. Af Figur 1 fremgår placeringen af målestationer, hvor der opsamles h.h.v. nedbør (bulk precipitation) gasser og aerosoler.

#### Stationsbeskrivelse

Tabel 3 indeholder oplysninger om de enkelte stationer. Tabellen har oplysninger om UTM-koordinater (Universal Transverse Mercator Grid), landskabstyper, eventuelle lokale kilder, hvilke prøver der opsamles på lokaliteten, samt tidspunktet for oprettelse af målestationen.

Figur 1. Danske luft- og nedbørskemiske målestationer 1990.





*Tabel 1.* Oversigt over komponenter der bestemmes på nedbørsprøverne:

---

$\text{NH}_4^+$	Ammonium
$\text{NO}_3^-$	Nitrat
$\text{SO}_4^{2-}$	Sulfat
$\text{Cl}^-$	Klorid
$\text{Na}^+$	Natrium
$\text{Mg}^{2+}$	Magnesium
$\text{K}^+$	Kalium
$\text{Ca}^{2+}$	Kalcium
pH	Brintioner (syre)

---

*Tabel 2.* Oversigt over komponenter der bestemmes på gas- og aerosol-prøverne:

---

$\text{NO}_2$	Nitrogendioxid
$\text{SO}_2$	Svovldioxid
$\text{NH}_3$	Ammoniak
$\text{NH}_4^+$	Ammonium, partikulært
$\text{NO}_3^- + \text{HNO}_3$	Nitrat + salpetersyre
$\text{SO}_4^{2-}$	Sulfat, partikulært
$\text{Na}^+$	Natrium
$\text{Mg}^{2+}$	Magnesium
$\text{K}^+$	Kalium
$\text{Ca}^{2+}$	Kalcium
	Tungmetaller

---

Table 3. Målestationer der har været i drift i 1990. Den geografiske placering er angivet i UTM-32-kordinater.

Stations- navn	UTM- koordinater	Landskabs- type	"Lokale" kilder	Udstyr til opsamling af	Oprettelses- tidspunkt
Stationer i baggrundsområde					
	x				
	y				
Husby	447 6239	kyst	få	bulk	880601-
Ulborg	465 6239	skov	få	bulk, gas, aerosol	850523-
Tange	537 6246	skov	landbrug	bulk, gas, aerosol	*781001-
Sepstrup S	526 6215	skov/hede	få	bulk	890601-
Rømø	471 6108	kyst/skov	få	bulk	880101-
Lindet	493 6111	skov	landbrug	bulk, gas, aerosol	880601-
Anholt	657 6287	kyst	få	bulk, gas, aerosol	880915-
Samsø	602 6199	kyst	få	bulk	881130-
Sj. Odde	643 6209	kyst	fugle	bulk	880929-
Keldsnor	611 6066	kyst	landbrug	bulk, gas, aerosol	*781001-
Bagenkop	610 6065	kyst/skov	få	bulk	890601-
Frederiksborg	709 6206	skov	Hillerød by	bulk, gas, aerosol	850523-
Almindingen	876 6125	skov	(landbrug)	bulk	890606-
Pedersker	880 6113	kyst	få	bulk	890606-
Stationer i landbrugsområdet					
Foulum	535 6261	landbrug	landbrug	bulk	870101-
St. Jyndevad	508 6084	landbrug	landbrug	bulk	870101-
Tystofte	648 6125	landbrug	få	bulk	870101-

\* startet som gas- aerosolmåler

## 2.2 Apparatbeskrivelse

### *Nedbørsopsamler*

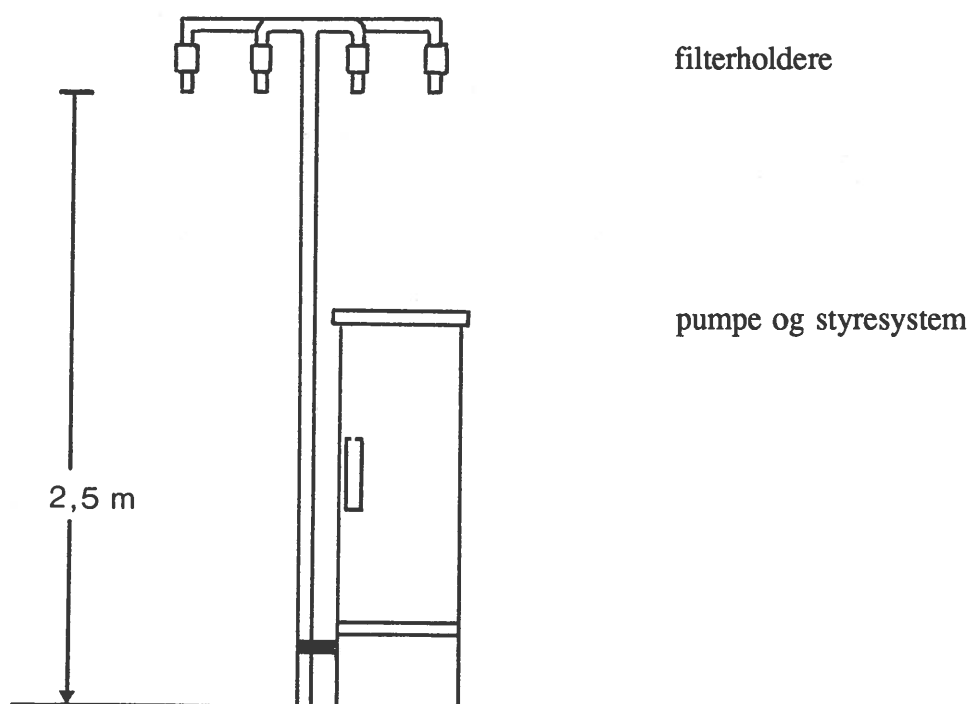
Den anvendte nedbørsopsamler består af en tragt og en flaske lavet af polyethylen. Tragten er af NILU-typen (Norsk Institut for Luftforskning), med et indsamlingsareal på 314 cm<sup>2</sup> og en 20 cm høj lodret kant. Denne type er også velegnet til opsamling af de snemængder der normalt falder i Danmark.

Tragten er forsynet med et net i tragthalsen (400 µm mesh) til frafiltrering af eventuelle dyr og blade. Tragten er forbundet til en 2.000 ml flaske. Flasken placeres ved opsætningen i en holder der samtidig beskytter flasken mod lys. Tragtsens koblingssystem passer også til 5.000 og 10.000 ml flasker.

### *Gas- og aerosolopsamler*

Nitrogendioxid (NO<sub>2</sub>) opsamles på et glasfilter (opsamlingsmetoden er beskrevet nedenfor). De øvrige gasser samt aerosoler nævnt i tabel 2 opsamles på 4 papirfiltre monteret i en filterholder. Filterholderne monteres i en gas- og aerosolprøveopsamler. Denne opsamler er fremstillet på DMU. En skitse af prøveopsamleren monteret med filterholdere er vist i figur 2, og et flowdiagram er vist i figur 3. Prøveopsamleren er typisk udstyret med plads til 4 eller 8 filterholdere. Med 8 filterholdere skal prøveopsamleren tilses og filterholderne skiftes én gang om ugen.

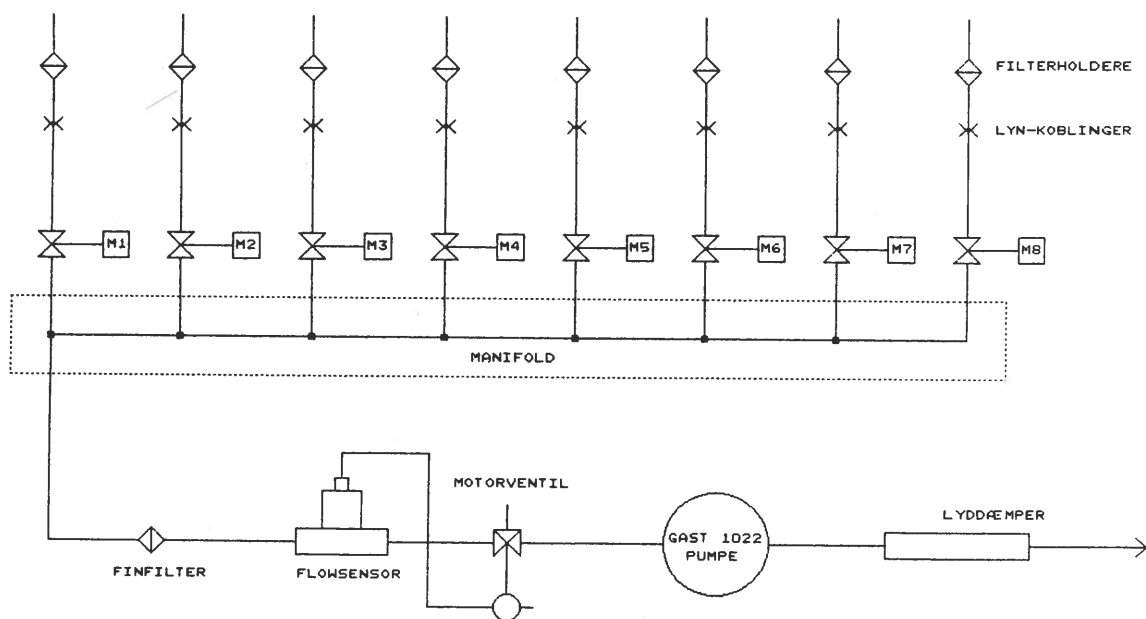
*Figur 2.* Prøveopsamler monteret med filterholdere, luftindtag i 2,5 m's højde.



## Flowregulering

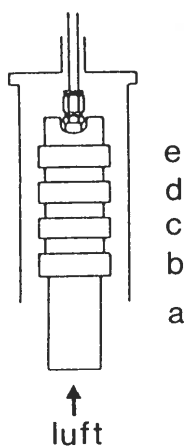
Et flowdiagram er vist i figur 3. Flowet reguleres ved hjælp af en flow-sensor samt en motorventil, således at der er konstant flow over filtrene i løbet af hele opsamlingsperioden. Der gennemsuges ca. 40 l/min., hvilket med en opsamlingsperiode på 24 timer, svarer til ca. 58 m<sup>3</sup> luft/filter. Den aktuelt gennemsugede mængde luft pr. filterholder aflæses på en tæller, mens det aktuelle flow over opsamlingsperioden registreres på en skriver.

Figur 3. Flowdiagram over gas- og aerosolopsamler.



## Filterholder

Filterholderen er en konstruktion, hvor den samme luftmængde suges gennem et antal filtre monteret i serie efter hinanden, det såkaldte "filter pack" system. Aerosolerne opsamles på det filter luften først passerer, mens gasserne opsamles på efterfølgende imprægnerede filtre (Fuglsang, 1986). Figur 4 indeholder en beskrivelse af en filterholder med angivelse af filtrenes forbehandling, samt hvilke stoffer der analyseres for.



Figur 4. Beskrivelse af en filterholder.

- e. Whatman-filter imprægneret med oxalsyre (COOH)<sub>2</sub>, analyseres for NH<sub>3</sub>.
- d. Whatman-filter imprægneret med kaliumhydroxyd (KOH), analyseres for SO<sub>2</sub>.
- c. Whatman-filter imprægneret med natriumfluorid (NaF), analyseres for HNO<sub>3</sub> og SO<sub>2</sub>.
- b. Millipore 1,2 µm partikelfilter, analyseres for SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> og en række tungmetaller.
- a. PVC-indløbsrør indre diameter = 40 mm, længde = 80 mm. Flow ca. 40 l/min. (0°C). Hastigheden over filtrene er 0,5 m/sek.

Bestemmelse af  $SO_2$

Koncentrationen af svovldioxid ( $SO_2$ ) i luften fås som summen af  $SO_2$  opsamlet på de to filtre imprægneret med henholdsvis kaliumhydroxyd og natriumfluorid.

Bestemmelse af  $SO_4^{2-}$

Koncentrationen af sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) i luften fås ved analyse af partikelfiltret.

Bestemmelse af  $NO_3^-$ -total

Da fordelingen mellem nitrat ( $NO_3^-$ ) på henholdsvis partikelfiltret og det imprægnerede filter ikke afspejler fordelingen mellem partikelbundet nitrat ( $NO_3^-$ ) og gasformigt nitrat i form af salpetersyre ( $HNO_3$ ) i luften, lægges bidragene fra partikelfiltret og det imprægnerede filter sammen til en sum ( $NO_3^-$ -total).

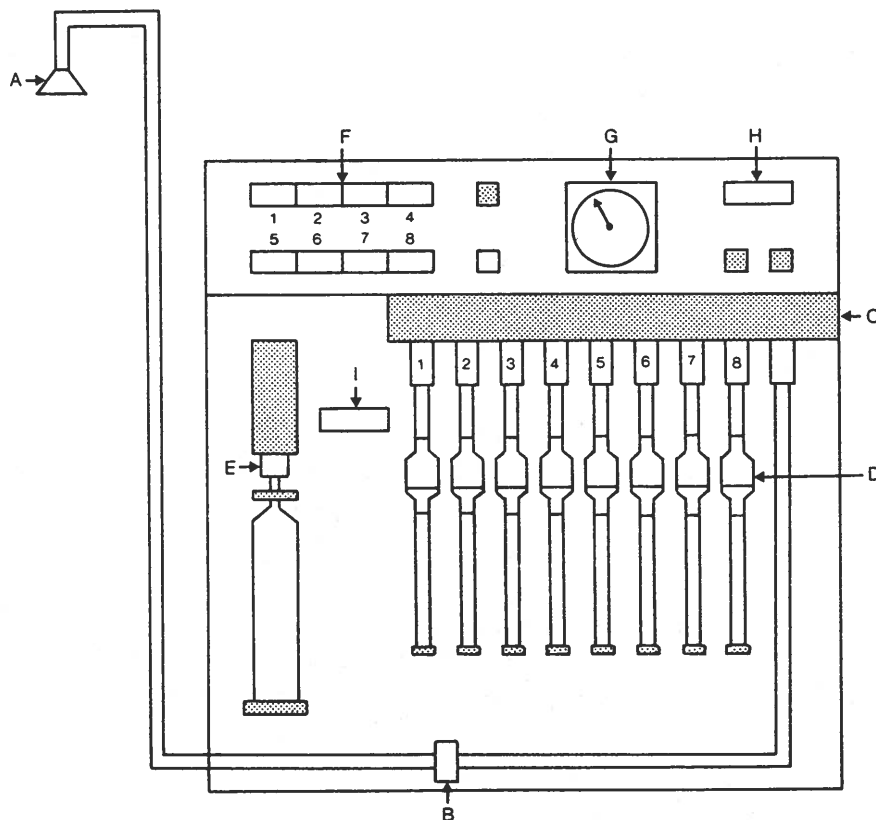
Bestemmelse af  $NH_3$  og  $NH_4^+$

Den beskrevne opsamlingsmetode har under danske meteorologiske forhold vist sig egnet til at skelne mellem partikelbundet ammonium ( $NH_4^+$ ) og gasformigt ammoniak ( $NH_3$ ) (ikke publicerede DMU undersøgelser).

Figur 5.  $NO_2$ -opsamler monteret med 8 glasfiltre.

A: Luftindtag  
C: manifold  
E: blænde  
G: timer  
I: gasmåler

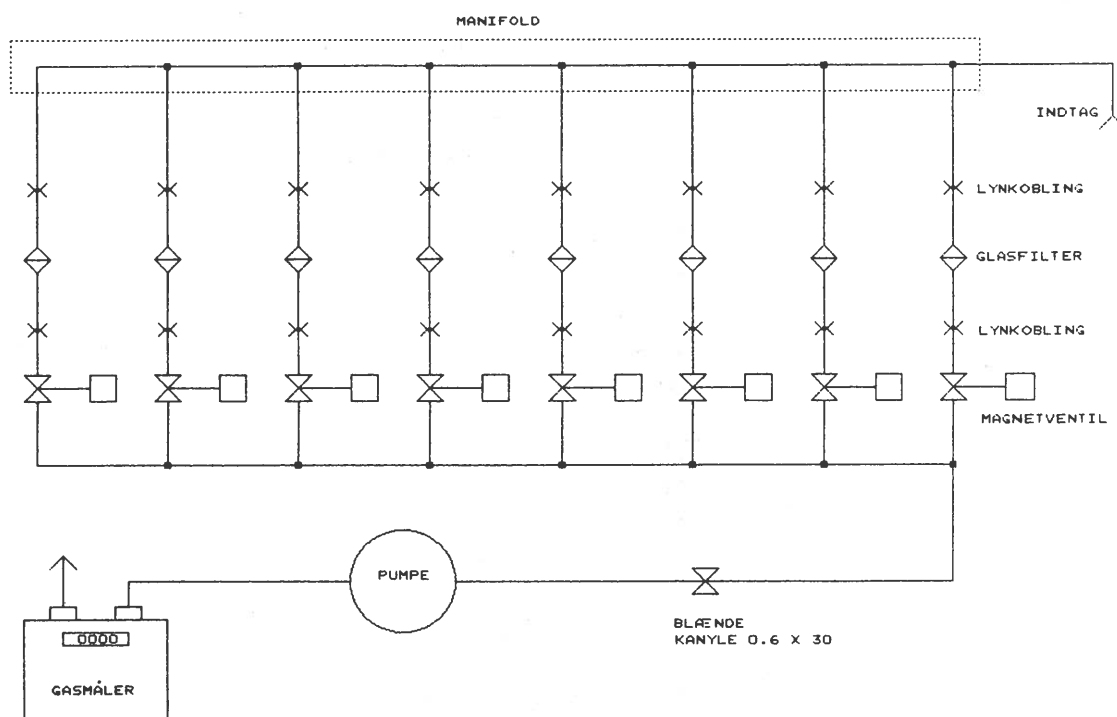
B: partikelfilter  
D: glasfiltre  
F: tæller for hver kanal  
H: timetæller



## *NO<sub>2</sub>-opsamler*

Nitrogendioxid (NO<sub>2</sub>) opsamles på et specialfremstillet glasfilter (Hilbert, under udarbejdelse). Dette filter er fremstillet af et sintret glasfilter indesluttet i en glasbeholder, som er forsynet med studse på hver side af filtret til montering af slanger. Glasfiltrene monteres i en prøveopsamler, der som gas- og aerosolopsamleren er konstrueret og bygget på DMU. En skitse af prøveopsamleren er vist i figur 5, og et flowdiagram er vist i figur 6. Prøveopsamleren er bygget til 8 glasfiltre, således at der ved opsamling over et døgn skal skiftes filtre og aflæses tællere én gang om ugen.

Figur 6. Flowdiagram over NO<sub>2</sub>-opsamler.



### *Flowindstilling*

Flowet indstilles ved hjælp af en blænde, hvorefter den aktuelt opsamlet luftmængde registreres for hvert glasfilter via en gasmåler. Der opsamles ca. 0,7 l/min., hvilket med en opsamlingsperiode på 24 timer svarer til ca. 1 m<sup>3</sup> pr. filter.

### *Opsamlingsprincip*

Det sintrede glasfilter imprægneres med en opløsning indeholdende kaliumiodid og natriummetaarsenit. NO<sub>2</sub> i indsugningsluften absorberes som nitrit og bestemmes på et vandigt ekstrakt af filtret.

## 2.3 Analysebeskrivelse

### *Behandling af nedbørsprøver*

Ved modtagelse af nedbørsprøver på laboratoriet, bestemmes nedbørsmængden ved vejning. Observationer vedrørende prøveopsamling og udseende registreres. Nedbørsprøverne opbevares i mørke ved max. 4°C indtil analyse.

### *pH-måling*

pH måles med et pH-meter af mærket Radiometer PHM 83 med en kombineret elektrode (GK 2321 C). pH-metret indstilles overfor en buffer på hhv. 4,01 (ved 25°C) og 7,00 (ved 25°C).

### *Nitrat i nedbør*

Nitrat i nedbør analyseres ionchromatografisk under anvendelse af en Dionex seperatorkolonne af mærket AS-3. Som eluent anvendes en carbonat/hydrogencarbonat-opløsning. Til sænkning af konduktiviteten fra eluenten anvendes en mikromembransupressor. Detektionen foregår ved hjælp af en konduktivitetdetektor, og da konduktivitetmålingen er temperaturafhængig foretages en termostatering af kolonner og detektor. Ved denne analyse bestemmes samtidig nedbørens indhold af klorid og sulfat.

Koncentrationen beregnes på baggrund af en 5 punkts kalibrering under anvendelse af et 2. grads polynomium.

### *Ammonium- og ammoniakanalyse*

Ammonium i nedbør og hhv. ammoniak/ammonium opsamlet på filtre analyseres som ammonium ved hjælp af "segmentet flow analysis" princippet.

Ammonium reagerer i basisk væske med hypochlorit under dannelse af monochloramin, der i overskud af phenol og med nitroprussid som katalysator danner farvekomplekset indophenolblåt som måles spektrofotometrisk. Koncentrationen beregnes på baggrund af en 7 punkts kalibrering under anvendelse af et 1. grads polynomium (måleområde: 0 - 1,9 ppm  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ).

### *Nitrat i gas- og aerosol*

Salpetersyre og partikulært nitrat opsamlet på filtre analyseres som nitrat ved "segmentet flow analysis" princippet. Nitrat reduceres af hydrazin til nitrit med kobber som katalysator. Den dannede nitrit reagerer med sulfanilamid og syre til en diazoniumion, der danner en rød diazoforbindelse med N-(1-naphthyl)ethylendiamin. Den dannede diazoforbindelse måles spektrofotometrisk ved 520 nm.

Koncentrationen beregnes på baggrund af en 7 punkts kalibrering under anvendelse af et 3. grads polynomium (måleområde: 0 - 1,0 ppm  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ).

### *NO<sub>2</sub>-analyse*

NO<sub>2</sub> opsamlet på glasfiltre analyseres som nitrit på samme måde som angivet for nitrat, dog uden reduktion med hydrazin (måleområde: 0 - 0,7 ppm NO<sub>2</sub>-N).

## Oversigt over analysedetektionsgrænse og reproducerbarhed

Stof	Apparat	detektionsgrænse	reproducerbarhed
pH	pH	ingen	2%
Cl <sup>-</sup>	IC	0.07 mg/l	3%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	IC	0.01 mg N/l	3%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	IC	0.01 mg S/l	2%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	AA	0,02 mg N/l	2%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	AA	0,01 mg N/l	5%
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	AA	0.01 mg N/l	2%

pH = pH-meter, IC = Ionchromatograf, AA = Autoanalyser, "segmentet flow analysis"

Den procentvise reproducerbarhed er her beregnet som standardafvigelsen på forskellen mellem gentagelser udført to forskellige dage.

I måleområdet op til 5 x detektionsgrænsen ligger reproducerbarheden inden for en faktor 2 af reproducerbarheden i den resterende del af måleområdet.



### 3. Depositionsmålinger for 1990

#### 3.1 Våddeposition

Deposition i forbindelse med nedbør kaldes våddeposition. I denne undersøgelse er opsamlingen foretaget med bulkopsamlere, dvs. plasttrakte der både er eksponeret i våde og tørre perioder. Bulkdeposition er i denne undersøgelse et estimat for våddeposition. Hvis tragten ikke er udsat for stærk vindpåvirkning, vil man ved denne indsamlingsmetode opsamle næsten al nedbør, til gengæld vil tragten, i et vist mål, også opsamle tørdeposition i form af gasser og partikler. Ved hensigtsmæssig placering af opsamlere udgør tørdepositionen i opsamlere mindre end 10% af våddepositionen (Hovmand, 1990). Det afgørende for den valgte indsamlingsmetode er, at den er reproducerbar, således at variation i våddepositionen med hensyn til tid og sted kan dokumenteres.

Tabel 4 viser deposition på baggrundsstationer placeret på kyst, natur-, og skovlokaliteter. På 8 af de viste stationer blev der også i 1989 udført målinger.

Tabel 4. Våddeposition på kyst-, natur- og skovstationer for 1990.

Stationer	Nedbør mm/år	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N ton/km <sup>2</sup> , år	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N ton/km <sup>2</sup> , år	N-sum ton/km <sup>2</sup> , år
Husby	780	0,404	0,480	0,88
Ulborg	1006	0,482	0,460	1,06
Tange	705	0,701 $\Delta$	0,392	1,09
Sepstrup S.	903	0,645	0,454	1,10
Rømø	858	0,507	0,502	1,01
Lindet	981	0,860*	0,528	1,39*
Anholt	594	0,424	0,444	0,88
Samsø	548	0,420	0,415	0,84
Sj. Odde	539	0,531	0,485	1,02
Keldsnor	513	0,541	0,442	0,98
Bagenkop	655	0,595	0,439	1,03
Frederiksborg	723	0,489	0,438	0,93
Almindingen B.	660	0,733	0,546	1,28
Bornholm sydkyst	496	0,455	0,382	0,83
Gennemsnit	705	0,532	0,458	0,99
Antal	14	13	14	13

\* Påvirket af landbrug i nærheden, værdien ikke medregnet i gennemsnittet  
 $\Delta$  Muligvis kontamineret af insekter, værdien er medregnet i gennemsnittet.

Tabel 5 viser målinger fra tre landbrugslokaliteter, Foulum og St. Jynde vad i Jylland og Tystofte på Sjælland.

Tabel 5. Våddeposition på målestationer i landbrugsområdet.

Stationer	Nedbør	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	N-sum
	mm/år	ton/km <sup>2</sup> ,år	ton/km <sup>2</sup> , år	ton/km <sup>2</sup> ,år
Foulum	883	1,024	0,646	1,67
St. Jynde vad	904	0,988	0,533	1,52
Tystofte	560	0,513	0,412	0,93
Gennemsnit	782	0,842	0,530	1,37
Antal	3	3	3	3

*Bulkdeposition i landbrugsområder*

Måling på stationer i eller tæt på landbrugsarealer vil være påvirket af især ammoniakdampe. Ammoniakdampe påvirker våddepositions måling ved forhøjede ammoniumkoncentrationer i prøverne. Bulkdepositions måling i landbrugsområder, med især store dyrehold og gylleudbringning, giver ikke et absolut mål for nedbørens indhold af ammonium, men nok et udmærket relativt mål for depositionen i området.

Af Tabel 4 og 5 kan man se, at målestationen "Lindet" i Sønderjylland, har forhøjede ammoniumdepositioner. Stationen står i skov, men kun 500 m fra en grisefarm, der påvirker området med ammoniakdampe. Ved udregning af landsgennemsnittet for kvælstofdeposition i baggrundsområder er ammoniumdepositioner for "Lindet" ikke medregnet. Omvendt kan man se at station Tystofte på Sydøstsjælland, kun få km fra kysten, ikke er påvirket af landbrugsdrift i området, især fordi der ikke findes storskala dyrehold i området.

*Våddeposition gns.*

Den gennemsnitlige deposition for de 14 baggrundsstationer, er i 1990 estimeret til 0,53 ton NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N pr. km<sup>2</sup> og 0,46 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N pr. km<sup>2</sup> og i alt 0,99 ton uorganisk kvælstof pr. km<sup>2</sup>. Den gennemsnitlige nedbørsmængde for 1990 er 705 mm.

Tabel 6. Sammenligning mellem atmosfærisk N-deposition i 1989 og 1990 på de samme stationer.

Stationer	Nedbør		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		N-sum	
	mm/år		ton/km <sup>2</sup> ,år		ton/km <sup>2</sup> ,år		ton/km <sup>2</sup> ,år	
	1989	1990	1989	1990	1989	1990	1989	1990
Husby	628	780	0,46	0,40	0,52	0,48	0,98	0,88
Ulborg	732	1006	0,49	0,48	0,48	0,46	0,97	1,06
Rabis/ Sepstrup Sande	654	903	0,53	0,65	0,47	0,45	1,00	1,10
Rømø	597	858	0,51	0,51	0,49	0,50	1,00	1,01
Lindet	625	981	0,59	0,86*	0,46	0,53	1,05	1,39*
Anholt	458	594	0,46	0,42	0,46	0,44	0,92	0,88
Samsø	492	548	0,58	0,42	0,43	0,42	1,01	0,84
Sj. Odde	449	539	0,58	0,53	0,47	0,49	1,05	1,02
Frederiksborg	628	723	0,55	0,49	0,45	0,44	1,01	0,93
Tystofte	438	560	0,46	0,51	0,35	0,41	0,81	0,92
Gennemsnit	570	749	0,51	0,49	0,46	0,46	0,98	1,00

\* Stationer påvirket af landbrug i nærheden, værdien ikke medregnet i gennemsnittet.

Kvælstofdepositionen i 1989 beregnet på basis af 9 målestationer var 1,00 ton N pr. km<sup>2</sup> (Hovmand, 1990).

#### Sammenligning mellem 1989 og 1990

For at få en nøjere sammenligning mellem målinger i 1989 og 1990 er der i Tabel 6 foretaget en stationsvis sammenligning for 10 stationer, hvoraf kun en, Lindet er påvirket af lokale kilder. Forholdet mellem de to års målinger for 9 stationer er vist i Tabel 7. Den gennemsnitlige nedbørsmængde var en faktor 1,27 (27%) højere i 1990 og forøgelsen var signifikant (P< 0,001). For de samme stationer var NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-depositionen i 1990 en faktor 0,95 og NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-depositionen en faktor 1,02 af de tilsvarende depositioner i 1989, ændringerne var ikke signifikante (P>0,1) og ændringen i uorganisk N-depositionen på en faktor 0,99 (1% ændring) var følgelig heller ikke signifikant (P>0,1).

Tabel 7. Forholdet mellem depositioner i 1990 og 1989.

Station	$\frac{\text{Nedbør 1990}}{\text{Nedbør 1989}}$	$\frac{\text{NH}_4^+\text{-N 1990}}{\text{NH}_4^+\text{-N 1989}}$	$\frac{\text{NO}_3^-\text{-N 1990}}{\text{NO}_3^-\text{-N 1989}}$	$\frac{\text{N-sum 1990}}{\text{N-sum 1989}}$
Husby	1,24	1,15	0,92	0,96
Ulborg	1,37	1,02	0,96	1,04
Rabis/Sepstrup	1,38	0,82	0,96	1,10
Rønmø	1,44	1,00	1,02	1,01
Anholt	1,30	0,91	1,15	0,96
Samsø	1,11	0,72	0,96	0,83
Sj. Odde	1,20	0,91	1,04	0,97
Frederiksborg	1,15	0,89	0,98	0,92
Tystofte	1,28	1,11	1,17	1,14
Gennemsnit	1,27	0,95	1,02	0,99
sd	0,11	0,14	0,09	0,10

#### Geografisk variation

Den geografiske variation var i 1990 (Tabel 6) noget større end i det foregående år. Depositionsværdierne fra Tabel 4 er indført på Figur 7 ved hjælp af et plote- og interpolations-program.

Hvert areal angivet i UTM-32-koordinater dækker et areal på 50x50 km<sup>2</sup>. Hvert kvadrat med et målepunkt (et hovedkvadrant) tilordnes depositionsværdien for målepunktet. De 8 nabokvadranter tillægges i første omgang samme depositionsværdi, hvis kvadranterne er domineret af samme landskabstype som hovedkvadranten.

I fald nabokvadranter tillægges flere værdier samtidigt, foretages interpolation. Hvis der er to målepunkter i et kvadrant tillægges kvadranten en gennemsnitsværdi. Nabokvadranter tillægges depositionsværdier fra hovedkvadrantens målepunkter i overensstemmelse med kvadrantens fremherskende landskabstype.

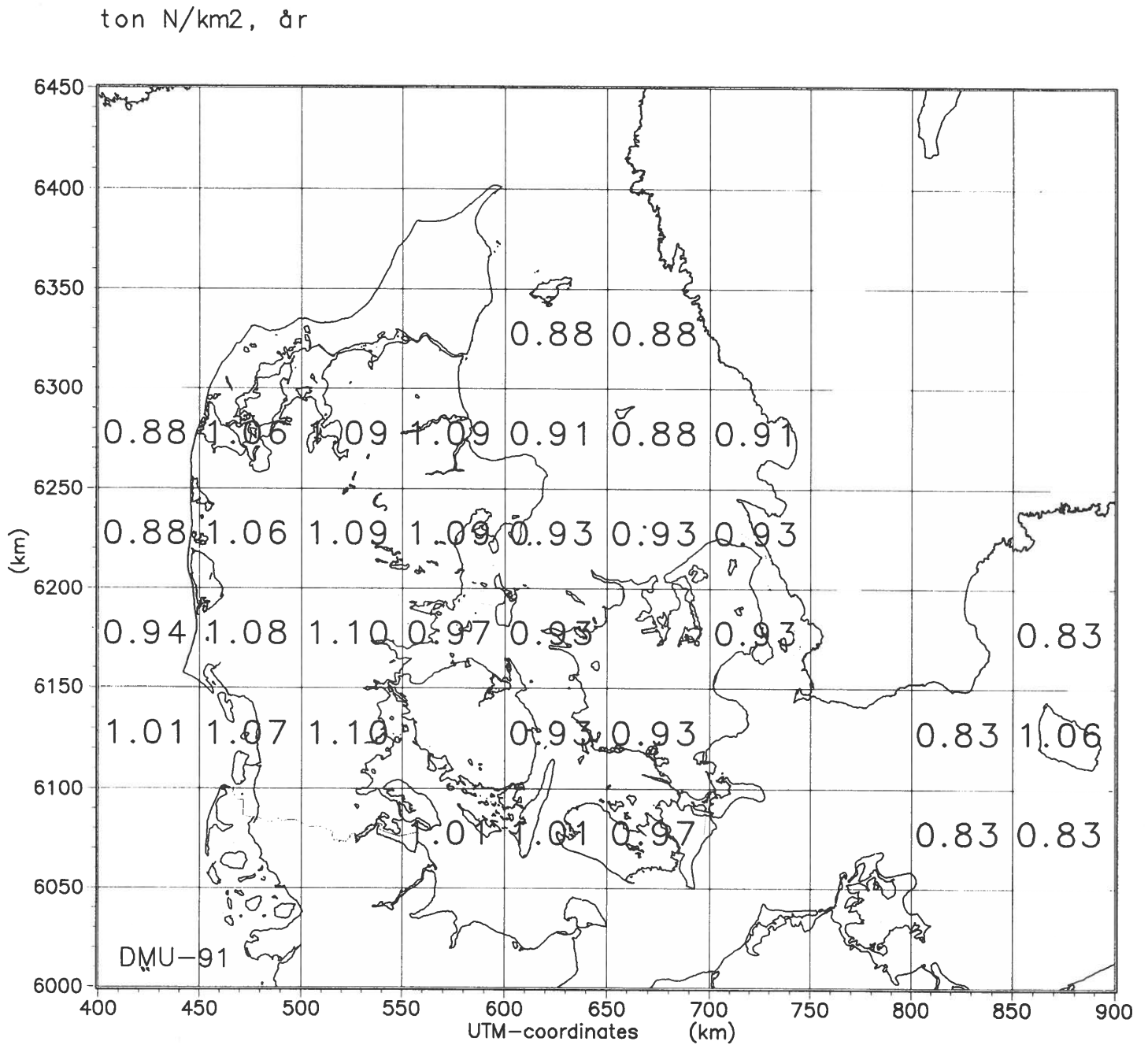
Det betyder at nedfaldet i et kvadrant domineret af en landskabstype ikke kan bestemmes, hvis kvadranten er omgivet af målestationer placeret på en anden landskabstype. Fx kan deposition på Fyn selvfølgelig ikke estimeres ud fra målinger på kyststationer på Langeland og Samsø.

Af Figur 7, fremgår det, at N-depositionen er lavere i kvadranter der er domineret af hav- og kystarealer sammenlignet med landarealer. Ud fra de, i kvadranterne opgjorte tal, kan estimerer for våddepositionen over hav og kystnære områder opgøres. Tabel 8.

Table 8. Våddeposition estimated in UTM-quadrants from measurements in main quadrants.

Område	Antal stationer i området	Antal kvadranter i beregningen	Våddeposition N ton/km <sup>2</sup> , år
Nordsø-kysten	2	5	0,95
Indre danske farvande	7	15	0,93 (±0,05)
Østersøen ved Bornholm	1	1	0,83

Figur 7. N-vådeposition (bulk) på kyst-, skov- og naturstationer, 1990.



## 3.2 Tørdeposition

### Deposition af gasser og aerosoler

Tørdepositionen af kvælstofforbindelser lader sig ikke direkte bestemme ud fra de målinger der gennemføres i overvågningsprogrammet. Men måling af atmosfærens indhold af kvælstofforbindelser som nitrogendioxid ( $\text{NO}_2$ ), ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), ammoniumpartikler ( $\text{NH}_4^+$ ) og nitratpartikler ( $\text{NO}_3^-$ ) muliggør estimering af tørdepositionen. Tørdepositions hastigheder bestemmes dels ud fra feltforsøg dels ud fra modelberegninger. Koncentrationsbestemmelse af atmosfærens indhold af kvælstofforbindelser på døgn- eller timebasis er en forudsætning for estimering af tørdepositionen over Danmark, og er samtidig et værktøj til bestemmelse af hvorfra luftforureningen kommer. Tabel 9 viser den årlige gennemsnitskoncentration af 5 kvælstofforbindelser.

### Årsgennemsnit

Det fremgår af Tabel 9, at variationer i årsgennemsnittet mellem de enkelte stationer er ringe for de partikulært bundne kvælstofforbindelser så som  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$ . Variationen for de gasformige er betydelig større, især for ammoniak, der har lokal oprindelse. Gasformig  $\text{NO}_3^-$  i form af salpetersyre udgør en mindre andel af total nitrat, kendskab til denne fraktion er for øjeblikket ringe.

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) omdannes til ammonium eller afsættes som ammoniak på vegetation eller andre overflader. Nitrogendioxid ( $\text{NO}_2$ ) omdannes til nitrat eller afsættes direkte på overflader. Den sidstnævnte mekanisme er dog ikke så betydningsfuld, især ikke over hav. At ammoniak hurtigt afsættes på især fugtige overflader medfører at ammoniakkoncentrationen på fx Anholt er faldet til 1/10 af hvad den var over Jylland, mens nitrogendioxid-koncentrationen "kun" er faldet 20%.

At etablere et "landsgennemsnit" for koncentrationen af de forskellige gasser og aerosoler, eller et gennemsnit af den atmosfæriske stofkoncentration over land og over vand er nogenlunde gennemført for partikulært stof (aerosoler) og for nitrogendioxid, men ikke for ammoniak.

### Ammoniak

Ammoniakkoncentrationen formodes at variere fra punkt til punkt med få km's afstand. Da målestationerne er placeret i baggrundsområder, vil der være en tendens til, at højkoncentrationsområder er underrepræsenteret og at et udregnet "landsgennemsnit" er for lavt.

Ammoniakkoncentrationen i et område er bestemt af den lokale emission. Ammoniakkoncentrationen kan beregnes ud fra den beregnede emission i området.

Ammoniakkoncentrationen er afhængig af en lang række faktorer foruden emissioner, disse faktorer kan kun bestemmes med en betydelig usikkerhed, hvilket igen betyder at de beregnede ammoniakkoncentrationer er bestemt med en usikkerhed på 30-40% (Asman, 1990).

Tabel 9. Den atmosfæriske koncentration af nogle kvælstofforbindelser målt på 6 danske målestationer i 1990, beregnet årgennemsnit af alle måledøgn. sd = standardafvigelse, - = ingen målinger

Målestationer	Årgennemsnit af døgnmålinger i 1990			
	NH <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> -N	total-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Ulborg	0,45	2,1	1,5	1,04
Tange	1,64	2,4	2,2	1,09
Anholt	0,17	1,8	1,9	0,95
Frederiksborg	0,35	2,3	3,8	1,08
Lindet	1,60	2,5	-	1,22
Keldsnor	0,91	2,9	2,7	1,52
Gennemsnit	0,85	2,3	2,4	1,15
sd	0,64	0,4	0,9	0,20

Koncentrationen af N-holdige gasser og aerosoler udtrykt som månedsmiddel er vist på figurene 8 og 9.

#### Ammonium

Ammonium på partikelform målt på de forskellige stationer følger hinanden over året (Figur 8). Den sydligste målestation der er placeret på Keldsnor i Danmark måler de højeste koncentrationer, mens Anholt og Ulborg ligger lavest. Niveaueet over året er relativt ensartet, men der anes dog, på de fleste stationer, et maximum om foråret og igen i oktober.

Ammoniakkoncentrationer beregnet som månedsmiddel er tilsyneladende et forvirret billede, både med hensyn til koncentrationsvariationer over året og niveauforskelle mellem de enkelte stationer (Figur 8). Årsagen hertil er at de lokale kilder, som tidligere nævnt, har indflydelse på målingerne i større omfang end for andre stoffer. Ved nærmere betragtning er der dog visse sammenhænge.

De fleste stationer har trods niveauforskelle maxima i marts - april og igen i august. Et mere generelt billede er at ammoniakkoncentrationerne falder til et lavt niveau i den kolde periode (december, januar og februar).





*Nitrat plus  
salpetersyre*

Nitrat- plus salpetersyrekoncentrationen er vist i Figur 9. Også for disse parametre ligger Keldsnor højest, de øvrige stationer ligger ret samlet. Maximum ses i marts og oktober.

*Nitrogendioxid*

Nitrogendioxid (NO<sub>2</sub>) er målt på 5 stationer i 1990 (Figur 9). Keldsnor ligger højest og Ulborg lavest. Stationerne følger hinanden igennem året. De højeste værdier måles i vintermånederne november, december, januar og februar. I disse måneder må depositions-hastigheden og den kemiske omsætnings-hastighed for NO<sub>2</sub> anses for lavest. NO<sub>2</sub>-koncentrationerne er markant lavest i juni, juli og august.

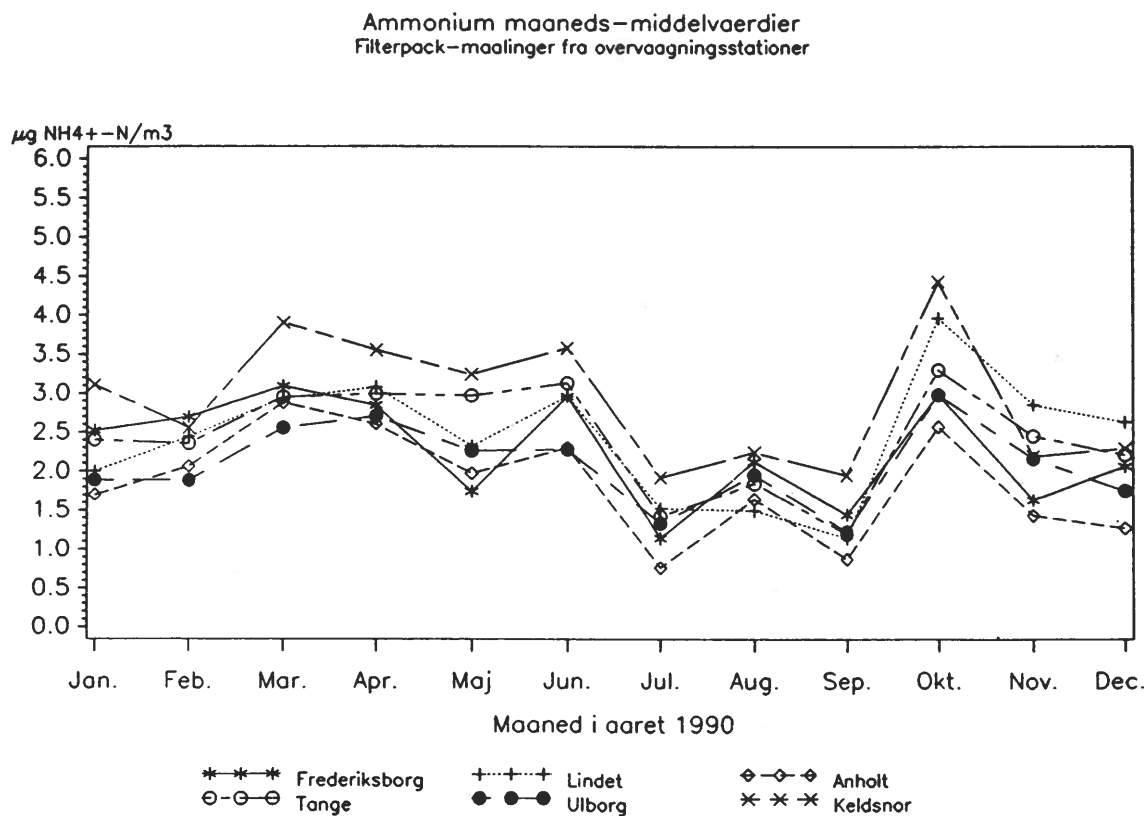
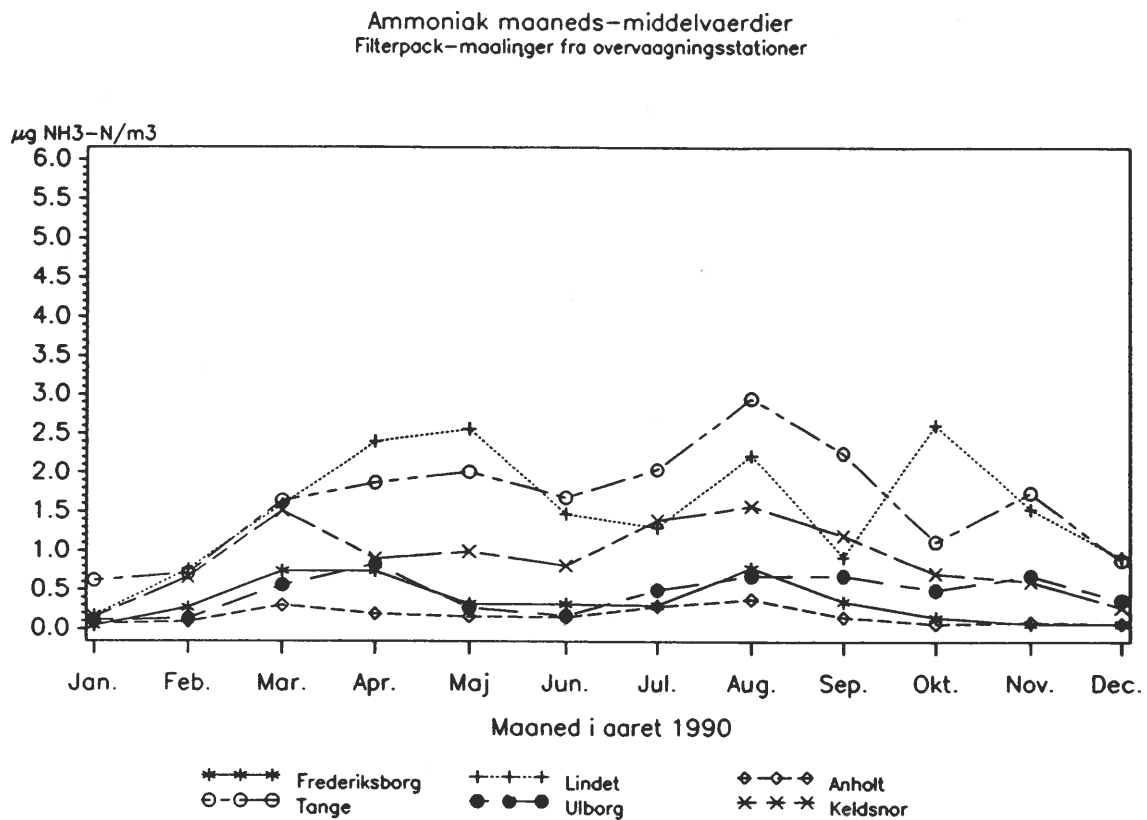
*Depositions-  
hastigheder*

Til estimering af tørdepositionen over vand er følgende gennemsnitsværdier for tørdepositions-hastigheder anvendt:

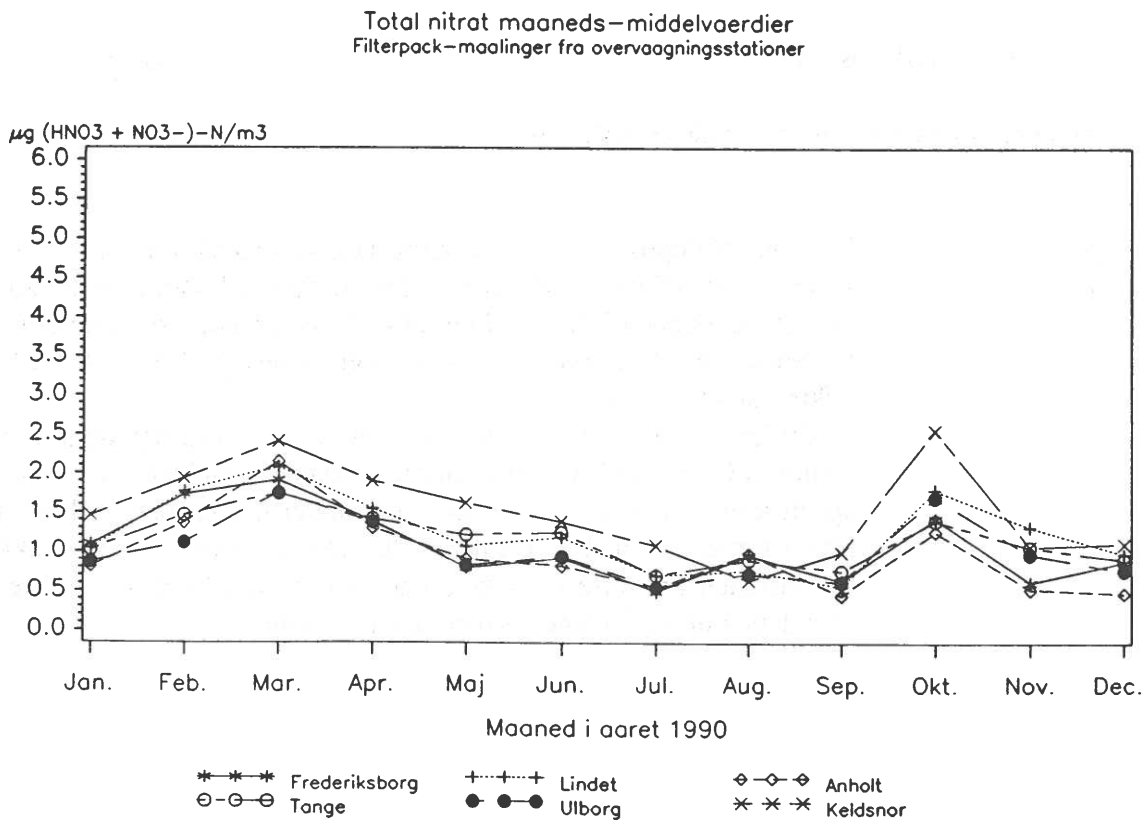
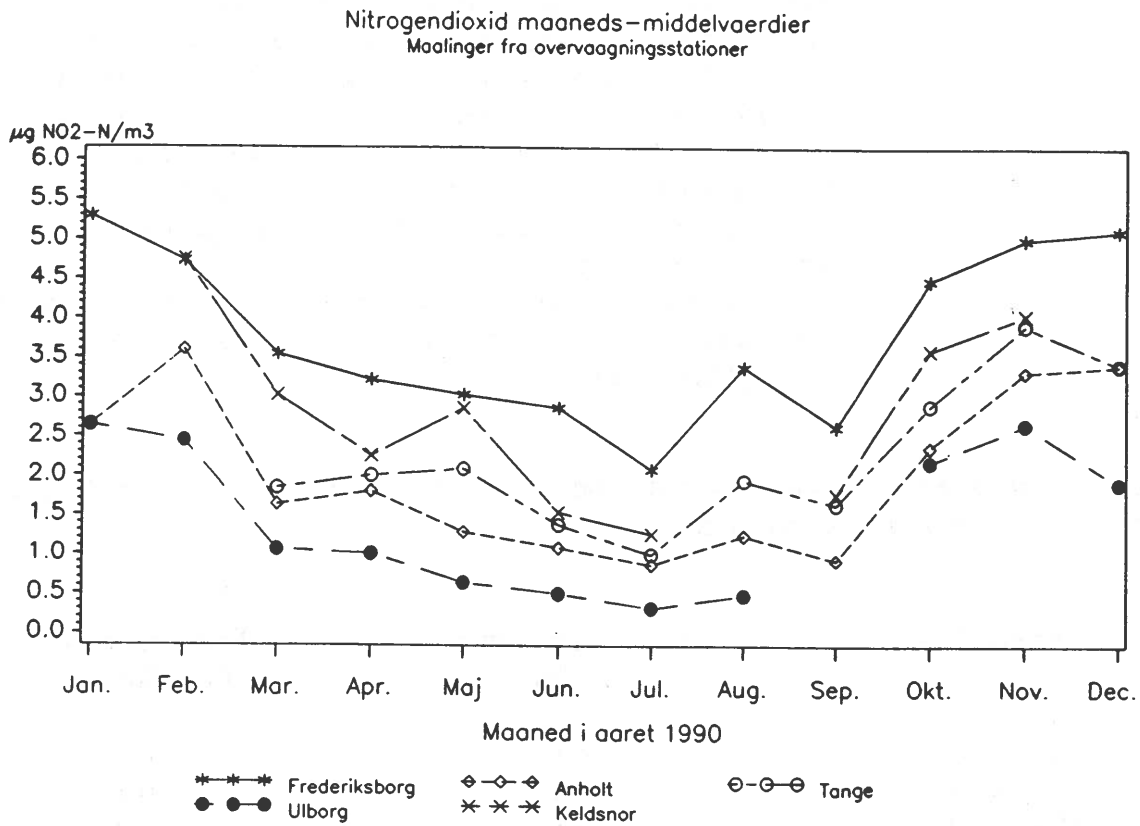
Ammoniumpartikler	0,1 cm/sek
Nitratpartikler og salpetersyre, sum	0,3 cm/sek
Ammoniakgas	0,5 cm/sek
Nitrogendioxid	0,05 cm/sek

$$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Figur 8. Månedsmiddelværdier for den atmosfæriske koncentration af ammoniak-N (øverst) og ammonium-N (nederst). Målingerne er gennemført på 6 målestationer angivet ved navn på figuren. Den geografiske placering fremgår af Figur 1.



Figur 9. Månedsmiddelværdier for den atmosfæriske koncentration af nitrogendioxid-N (øverst). Summen af salpetersyre- og nitrat N (total nitrat) er vist nederst. Nitrogendioxid er målt på 5 stationer. Total nitrat på 6 stationer.



### Måling på kyststationer

Gasser og aerosoler er målt på to kyststationer placeret i de indre danske farvande. Keldsnor, på sydspidsen af Langeland, og Anholt. Måledata fra Keldsnor ligger ret højt i forhold til andre baggrundsstationer. Dette skyldes, at denne station kun ligger 50 km fra den nordtyske kyst, med byer som Kiel og Flensborg, og i nogen større afstand Hamborg, placeret i hovedvindretningen. Lokale ammoniakilder fra landbrug vest for stationen påvirker måske ammoniakværdierne.

Til beregning af den gennemsnitlige tørdeposition over havet er der anvendt data fra ovennævnte to stationer. Dog er der kun brugt ammoniak data fra Anholt, da disse anses for at være mere repræsentative for større havområder end de muligvis lokalpåvirkede ammoniak målinger fra Langeland.

Depositionen i kystzonen (0-5 km fra kysten) er muligvis en smule underestimeret ved beregningen i tabel 10, når der kun anvendes ammoniakkoncentrationer målt på Anholt.

Tabel 10. Estimerede tørdepositionsverdier ud fra målinger på Keldsnor og Anholt og de ovenfor viste tørdepositionshastigheder.

Kvælstofforbindelser	Gaskoncentrationer $\mu\text{g N/m}^3$	Estimeret tørdep. ton $\text{N/km}^2$ , år
$\text{NH}_4^+$ -part.	2,3	0,07
$\text{NO}_3^-$ -total	1,2	0,11
$\text{NH}_3$ -gas *	0,17	0,03
$\text{NO}_2$ -gas	2,3	0,04
Sum af N-tørdeposition		0,25

\*  $\text{NH}_3$ -koncentrationen er kun fra Anholt-målinger.

### "Estimat" på tørdeposition

Selv om tørdepositionen er bestemt med stor usikkerhed over hav, så kan man, af tallene se den er ret lille i forhold til våddepositionen ca. 10-30% af denne (Tabel 4). I det opstillede beregningseksempel bliver tørdeposition af partikel- og gasformigt kvælstof til hav ca. 0,25 ton  $\text{N/km}^2$  år (Tabel 10).

Tørdeposition over land er større end over havet, det skyldes flere forhold. Over land vil vegetationsdækkede områder have en stor specifik overflade pr. arealenhed, samtidig er landskabets "ruhed" stor, især i terræn, hvor der er bakket eller skovbevokset. Ammoniakkoncentrationen er større over land end over havet, hvilket medfører en stor deposition af denne forbindelse over land.

*Bladoptag af gas*

Vegetationen vil optage  $\text{NO}_2$  bl.a. gennem stomata, hvilket også medfører at tørdepositionen over land er større end over havet, samtidig udgør depositionen af gasser over land en større procentvis andel af den samlede tørdeposition.

*Tør- og våddeposition på hav*

Den samlede våd- og tørdeposition til de indre danske farvande fra Læsø til Gedser, er ifølge de her beskrevne målinger og beregninger 1,18 ton N pr.  $\text{km}^2$  for året 1990. En estimeret usikkerhed på  $\pm 0,13$  ton N pr.  $\text{km}^2$  år, skyldes især usikkerheden på bestemmelsen af tørdepositionen. Estimatet for 1990 på den samlede våd- og tørdeposition over hav er ikke signifikant forskellig for estimatet for 1989 på 1,1 ton N pr.  $\text{km}^2$  år. Målinger i 1989 dækkede alene Kattegat, der har en lidt lavere atmosfærisk tilførsel pr.  $\text{km}^2$  end bælter og kystvande.

## 4. Udviklingstendenser

### 4.1 Den tidsmæssige udvikling i kvælstofdepositioner

#### *Historiske målinger*

Måling af atmosfærisk deposition i forbindelse med Overvågningsprogrammet startede i slutningen af 1988. Der foreligger altså måleresultater for to hele kalenderår, hvilket i sig selv ikke giver basis for nogen vurdering af den tidsmæssige udviklingstendens i den atmosfæriske deposition.

Der har i forbindelse med andre undersøgelsesprogrammer været foretaget nedbørskemiske målinger i Danmark og Sverige siden 1950'erne (*Jensen, 1962*). På enkelte stationer helt tilbage til 1881 (*Larsen, 1931*). De meget tidlige målinger er for de danskes vedkommende ikke brugelige i denne sammenhæng. Målinger fra Askov for perioden 1922-26 er, så vidt det kan bedømmes, gode. Men stationen er tydeligvis ikke velegnet som baggrundsstation, hertil er landbrugspåvirkningen for stor.

De målinger der her skal omtales er nedbørskemiske målinger af bulkopsamlet nedbør, disse målinger kan ikke for nærværende sidestilles med wet-only opsamlinger foretaget på danske målestationer i EMEP-nettet (*Heidam, 1986*).

De danske måleserier med bulkopsamlere foretaget i forskellige projekter er ikke umiddelbart sammenlignelige fordi der, som hovedregel ikke har været anvendt de samme målestationer, og i de tilfælde hvor man har målinger fra samme station, så har forholdene omkring målepunktet ændret sig i løbet af årene.

Dette er især et problem ved ammoniummålinger hvor den lokale landbrugspraksis har ændret sig betydeligt inden for de sidste 40 år, hvilket igen har indflydelse på de lokale ammoniak-kilders mulighed for at påvirke prøverne.

#### *Ammoniummålinger*

Ammoniummålinger i nedbør er især vanskelige af to årsager. Kontaminering af tragten med insekter og fugleklatter kan påvirke målingen kraftigt. I Overvågningsprogrammet er tilfældige variationer som følge af kontaminering søgt overvundet ved opstilling af flere tragte på samme lokalitet. Tidligere projekters målinger har kun brugt enkelt-opsamlere på stationerne, hvorved identificering af kontaminering vanskeliggøres.

Ammoniummålinger påvirkes på en systematisk måde af lokale ammoniakemissioner især af emissioner fra landbruget. Derfor er målinger i landbrugsområder med dyrehold, som nævnt tidligere, ofte højere end målinger i nærliggende skov- og naturområder. Disse forhold vanskeliggør sammenligninger mellem stationer placeret i forskellige landskabstyper. I Tabel 11 er nedfaldet af ammonium og nitrat i nedbør målt i forskellige undersøgelser. Sammenlignende gennem-

snitsværdier over flere år og stationer er samlet i periode-estimer. Hvert periode-estimat er diskuteret ud fra de oplysninger der foreligger.

#### *Periode 1*

1947-50. Målingerne er foretaget i Sydsverige, især i Skåne og Halland. Målestationerne er oprettet af Hans Egnér og Erik Eriksson. Værdierne er rapporteret af Ångström og Högberg (1952). Stationernes næromgivelser er ikke beskrevet, men de ligger alle i baggrundsområder og værdierne skønnes at være et udmærket estimat for niveauet i Danmark i samme periode. Nitratmålingerne i den svenske undersøgelse er meget usikre. I parentes er angivet et nitratestimat ud fra tidligere og efterfølgende danske målinger (*Hansen, 1931. Jensen, 1962*).

#### *Periode 2*

1955-61. Målingerne er foretaget på 3 til 15 målestationer, her er refereret tal fra 3 stationer i perioden 1955-1957 og 10 stationer i perioden 1957-1961 (*Jensen, 1962*). De fleste af stationerne er beliggende i landbrugsområder, en del af stationerne er placeret på mere ekstensivt drevne arealer, hvor landbrugspåvirkningen er minimal. De beregnede gennemsnitsværdier for ammonium må formodes at ligge lidt højere (~10%) end hvis målingerne var foretaget på skov- og naturlokaliteter.

Forskellen mellem målinger fra landbrugsarealer og skov er dog ikke så stor som i senere perioder. Mindre husdyrhold og mere skånsom udbringning af husdyrgødning har formodentlig medført mindre ammoniakpåvirkning af nærområderne. Målingerne skønnes at give et godt estimat for ammoniumdepositionen i baggrundsområdet. Målestationerne Askov og Tystofte fremviser de højeste værdier for ammoniumdeposition i denne periode. Nitratværdierne er sandsynligvis ikke påvirket af stationernes placering i landbrugsområdet.

#### *Periode 3*

Fra 1960 til 1970 findes der ingen danske målinger. Værdier (fra 1967-68) fra en enkelt sydsvensk station (*Nihlgård, 1970*) er her anvendt som estimer for våddeposition af nitrogenforbindelser i danske baggrundsområder.

#### *Periode 4*

1970-78. Målinger gennemført på 15 landbrugsstationer. Det generelle niveau for ammoniumnedfald er steget fra 430 mg N/m<sup>2</sup>, år i periode 2 til 710 mg N/m<sup>2</sup>, år i periode 4, som gennemsnit af alle målestationer (*Jørgensen, 1978*). På station Tystofte, der er placeret i Sydøstsjælland tæt ved kysten, måles de laveste værdier for ammoniumnedfald, senere sammenlignende målinger viser at netop denne station ligger tæt på det landsgennemsnit som måles på skov- og naturstationer (se afsnit 3.1). Målinger fra Tystofte bruges som det bedste estimat for ammoniumnedfaldet i baggrundsområdet i denne periode. Nitratnedfaldet på Tystofte ligger tæt på gennemsnittet for alle 15 stationer.

## Periode 5

1985-90. Målinger i denne periode er gennemført på en række skovlokaliteter (Rasmussen, 1988) og (Hovmand og Bille-Hansen, 1989). Resultaterne for ammoniumnedfaldet synes lidt højere i begyndelsen af perioden 1983-85 end i slutningen af perioden. Målinger fra Ulborg og Frederiksborg ligger i 1989 og 1990 meget nær på landsgennemsnittet for baggrundsstationerne. Tystofte ligger i perioden 1987-1990 ligeledes meget tæt på gennemsnittet af Ulborg- og Frederiksborg-målingerne for samme periode. Som estimat for perioden 1985-1990 er anvendt depositionstal for Ulborg og Frederiksborg.

## Depositions- udvikling

Figur 10 viser den målte udvikling i bulkdeposition af ammonium og nitrat samt summen af disse. I 3 mangeårige perioder har der ikke været målt deposition på danske stationer. Under forudsætning af at de, til fastlæggelse af baggrundsniveauet, udvalgte stationer i nødvendigt omfang opfylder kravet til baggrundsmåling, kan det konkluderes at kvælstofnedfaldet fra slutningen af 1940 til 1970 er steget med en faktor 2, fra ca. 500 kg N/km<sup>2</sup>,år til ca. 1000 kg N/km<sup>2</sup>,år. Stigningen er så nogenlunde lige så stor for ammoniumkvælstof som for nitrat kvælstof.

Fra 1970 til 1990 har kvælstofvåddeposition tilsyneladende stabiliseret sig når det måles på baggrundsstationer eller stationer - der skønnes at kunne bruges til estimering af nedfaldet i baggrundsområder.

Jørgensen (1979) viste ligeledes en fordobling af det målte nedfald på landbrug placerede målestationer fra 1950 til 1970 og Grundahl og Grønbech (1990) rapporterede yderligere stigning på visse landbrugsplacerede målestationer frem til 1987-89.



Tabel 11. Atmosfærisk våddeposition (bulk) målt på danske og sydsvenske stationer i perioden 1947-90.

Periode	Stationsudvalg	NH <sub>4</sub> -N mg N/m <sup>2</sup> , år	NO <sub>3</sub> -N mg N/m <sup>2</sup> , år	Sum-N mg N/m <sup>2</sup> , år	Referencer	
P-1	1947-50	9 Sydsvenske	297	150-(240)	~450-(540)	1,2
P-2	1955-61	10 Landbrugsst.	430±48	218±22	648	3
P-3	1967-68	1 Sydsvensk st.			820	4
P-4	1970-78	Tystofte	565±85	440±94	1005	5
P-5	1985-90	2 skovst.	535±44	488±60	1023	6, 7
P-5b	1989-90	10 overvågn.st.	500	460	960	dette projekt

1. Ångström og Högberg (1952)

3. Jensen (1962)

5. Jørgensen (1978)

7. Hovmand (1990)

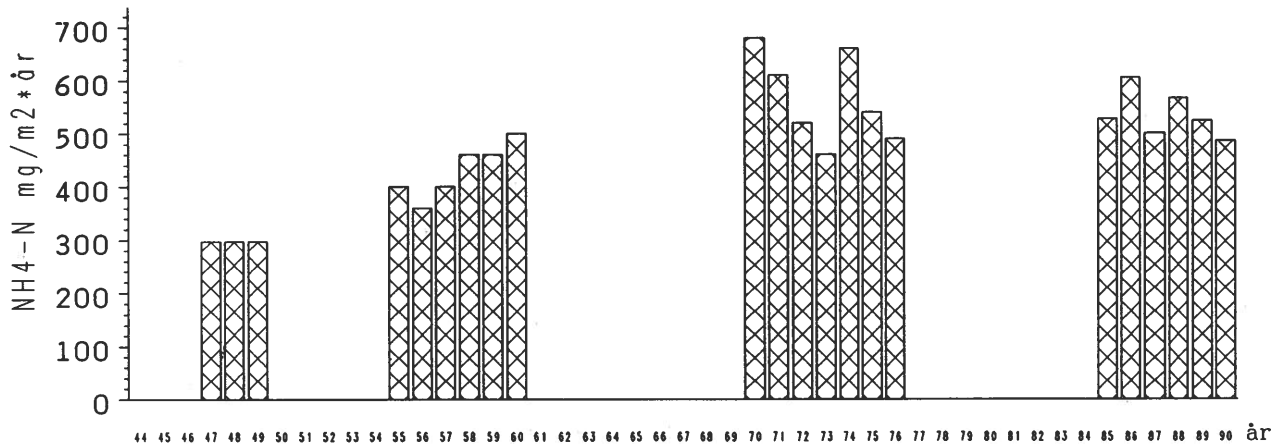
2. Estimeret efter Hansen (1931)

4. Nihlgård (1970)

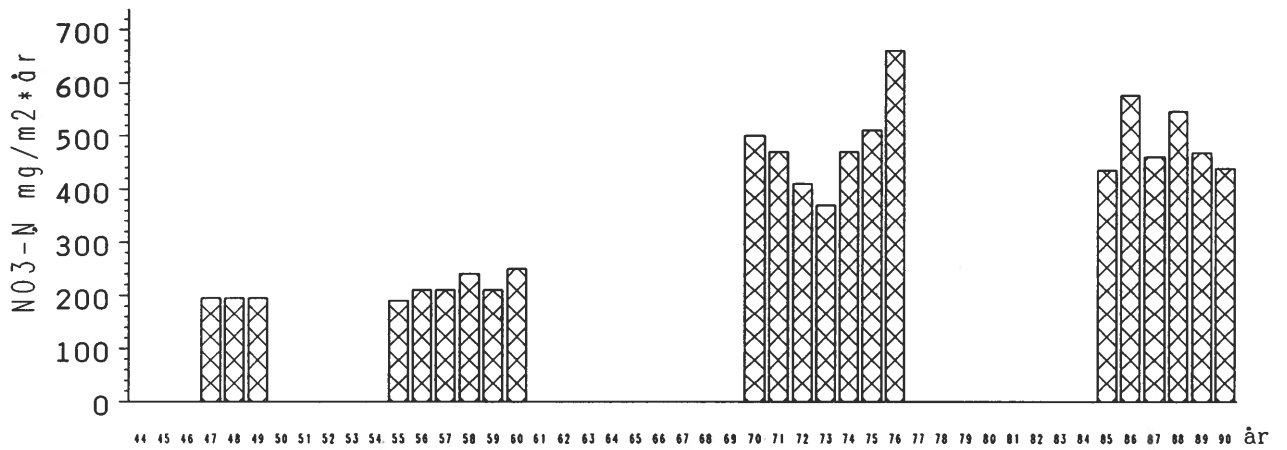
6. Hovmand og Bille Hansen(1988)

Figur 10. Udviklingen i våddeposition (bulk) på danske og sydsvenske baggrundsstationer fra 1947 til 1990.

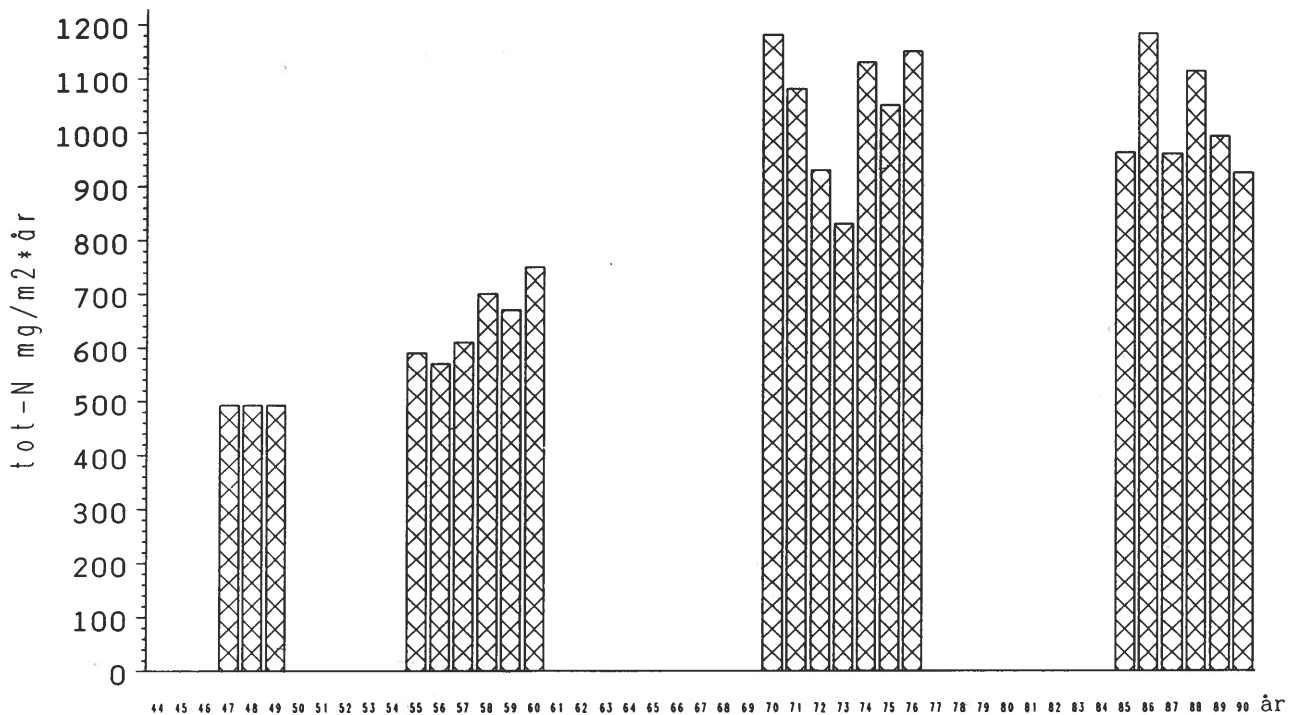
### Ammonium deposition baggrundsmålinger



### Nitrat deposition baggrundsmålinger



### uorg. nitrogen våd-deposition, baggrundsmålinger



## 5. Sammenfatning og konklusion

I forbindelse med Vandmiljøplanens overvågningsprogram er der i 1990 målt atmosfærisk nedfald på 17 stationer.

På alle 17 stationer er der indsamlet nedbør til kemisk bestemmelse af våddeposition.

På 6 stationer er der desuden målt gasser og aerosoler med henblik på at estimere tørdepositionen.

Våddepositionen af kvælstofforbindelser målt på danske baggrundsstationer (kyst-, skov- og naturarealer) ligger i 1990 på mellem 0,8 og 1,1 ton N pr km<sup>2</sup>. Hvilket er meget tæt på de niveauer der blev målt i 1989. Våddepositionen af kvælstofforbindelser er størst i Syd- og Midtjylland, med aftagende værdier mod øst og nord.

Ud fra målinger af gasser og aerosoler er tørdepositionen over indre danske farvande estimeret til 0,25 ton N pr. km<sup>2</sup> for 1990. Tørdepositionen over land varierer mellem lokaliteterne. En middel tørdeposition er ikke beregnet i denne undersøgelse.

Det samlede atmosfæriske nedfald (våd- + tørdeposition) er i 1990 bestemt til  $1,18 \pm 0,13$  ton N pr. km<sup>2</sup> over indre danske farvande. I 1989 var den målte og beregnede våd- + tørdeposition 1,1 ton N pr. km<sup>2</sup>.

Den atmosfæriske kvælstoftilførsel til indre danske farvande, 40.000 km<sup>2</sup> regnet fra Gedser til Skagen, er for 1990 ud fra målinger beregnet til 47.000 ton N.

## 6. Referencer

*Asman, W. (1990).* Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. A18, Miljøstyrelsen, København.

*Fulgsang, Karsten.* A Filter Pack for Determination of total Ammonia, total Nitrate, Sulphur Dioxide and Sulfate in the Atmosphere. MST Luft A-103. Risø National Laboratory. Denmark.

*Grundahl, L. og Grønbech, J. (1990).* Atmosfærisk nedfald af næringsalte i Danmark. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. A6, Miljøstyrelsen, København.

*Hansen, F. (1931).* Undersøgelser af Regnvand. Tidsskrift for Planteavl, 37, p 123-150, København.

*Heidam, N.Z. (1986).* DK-EMEP. Bulletin 1978-82. Air Pollution Laboratory. MST LUFT-A102. Roskilde.

*Hilbert, G. (1992).* Determination of atmospheric NO<sub>2</sub> using KI-impregnated sintered glass filters. Faglig rapport fra DMU, under udarbejdelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

*Hovmand, M.F. (1990).* Atmosfæren. Nedfald af kvælstofforbindelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 7. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

*Hovmand, M.F. og Bille-Hansen, J. (1988).* Ionbalance i skovøkosystemer med måling af Atmosfærisk Stoftilførsel II. MST LUFT A-127. (Danmarks Miljøundersøgelser, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde).

*Jensen, J. (1962).* Undersøgelse over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. Tidsskrift for planteavl, bind 65, p 894-906.

*Jørgensen, V. (1978).* Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. Tidsskrift for planteavl. Beretning 1434.

*Nihlgård, B. (1970).* Precipitation, its chemical composition. Oikos 21. p 208-217.

*Rasmussen, L. (1988).* Sur Nedbørs effekt på ionbalancen 1983-87. Energiministeriet. EM Journal nr. 1323/86-16.

*Ångström, A. og Högberg, L. (1952).* On the content of Nitrogen in Atmospheric Precipitation in Sweden II. Tellus, Vol. 4. No 4. p. 271-279.

## 7. Extended abstract in English

### "ATMOSPHERIC NITROGEN DEPOSITION IN DENMARK"

#### *Background*

With the main objective to reduce by 50 % the nitrogen discharge into the aquatic environment the Danish Government passed in 1987 an act called "Action Plan for the Aquatic Environment".

A monitoring program was established in order to clarify possible changes in overall nitrogen discharge into seawaters, lakes and rivers. As a part of this Danish monitoring program for the aquatic environment an air pollution monitoring program was set up.

The development of a network of sampling stations began in late 1988 and was finished in January 1990.

#### *The monitoring network*

The network consists of 17 stations for sampling and chemical analysis of precipitation. At 6 of these stations also gas and aerosols are sampled and analysed. All stations are placed in background areas i.e. forests or natural resorts and coastal areas (figure 1).

The total area covered by the 17 stations is 500 km east-west and 250 km north-south.

Two years of data are now available. The 1989 data was reported by Hovmand (1990) and the 1990 data are published in this report.

#### *Measurements and calculations*

Wet depositions of nitrogen compounds were estimated from bulk-samplings. At each site were placed two or four samplers. In this way possible contamination of the samplers could be identified.

Dry depositions of nitrogen compounds are calculated from gas- and aerosol-measurements of:  $\text{NO}_2$  (gas),  $\text{NH}_3$  (gas), total  $\text{NO}_3^-$  (gas and particles) and  $\text{NH}_4^+$  (particles).

#### *Results*

Wet depositions of nitrogen compounds turned out to be remarkably evenly spread. It is found that wet depositions at the smaller islands and peninsulas in Kattegat and the Belts are only 10-20% lower than those found at the inland sites in Jutland (figure 7).

Dry deposition of nitrogen compounds to the sea is shown in table 10. Aerosol concentrations show relative little variation from one station to the other, while the gas concentrations show pronounced differences.

In particular ammonia-concentrations seem to be influenced by local agricultural sources. This is why the dry deposition to the sea are calculated from the values obtained at the small island of Anholt in Kattegat. These values are estimated representative for the open sea of Kattegat.

Dry deposition to forests, natural resorts or agricultural areas are not estimated in this report, as these are of little direct importance to the aquatic systems, and as the estimates here can only be made with great uncertainty.

### *Conclusion*

The report concludes that the total atmospheric deposition per year to Danish seawaters in 1990 was  $1.18 \pm 0.13$  ton N per  $\text{km}^2$ . This result is close to the result obtained in 1989 where 1.1 ton N per  $\text{km}^2$  was found. It is believed that approx. 20% of the deposition originate from dry deposition while the remaining approx. 80% are due to wet deposition.

The atmospheric deposition to Kattegat and the Belts (area 40.000  $\text{km}^2$ ) is on the basis of measurements calculated to 47.000 ton N in the year 1990.

This is approx. 25% of the total input of nitrogen into the Danish seawaters. Other inputs are outlets from agricultural areas, cities and industry.

## Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser  
Postboks 358  
Frederiksborgvej 399  
4000 Roskilde

Tlf.: 46 30 12 00  
Fax: 46 30 11 14

*Direktion og Sekretariat*  
*Forsknings- og Udviklingssekretariat*  
*Afd. for Forureningskilder og*  
*Luftforurening*  
*Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*  
*Afd. for Miljøkemi*  
*Afd. for Systemanalyse*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Postboks 314  
Vejlshøjvej 25  
8600 Silkeborg

Tlf.: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 15 14

*Afd. for Ferskvandsøkologi*  
*Afd. for Terrestrisk Økologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Grenåvej 12, Kalø  
8410 Rønne

Tlf.: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 15 14

*Afd. for Flora- og Faunaøkologi*

### Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, Danish Review of Game Biology samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.

