



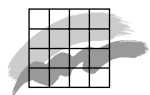
**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Aarhus Universitet

Faglig rapport fra DMU nr. 645, 2007

NOVANA

# Atmosfærisk deposition 2006

*[Tom side]*



**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Aarhus Universitet

---

Faglig rapport fra DMU nr. 645, 2007

# Atmosfærisk deposition 2006

Thomas Ellermann  
Helle Vibeke Andersen  
Rossana Bossi  
Jesper Christensen  
Lise M. Frohn  
Camilla Geels  
Kåre Kemp  
Per Løfstrøm  
Betty Bügel Mogensen  
Christian Monies

## Datablad

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Serietitel og nummer:    | Faglig rapport fra DMU nr. 645                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Titel:                   | Atmosfærisk deposition 2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Undertitel:              | NOVANA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Forfatter(e):            | Thomas Ellermann, Helle Vibeke Andersen, Rossana Bossi, Jesper Christensen, Lise M. Frohn, Camilla Geels, Kåre Kemp, Per Løfstrøm, Betty Bügel Mogensen, Christian Monies                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Institution, afdeling:   | Afdeling for Atmosfærisk Miljø                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Udgiver:                 | Danmarks Miljøundersøgelser©<br>Aarhus Universitet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| URL:                     | <a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Udgivelsesår:            | December 2007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Redaktion afsluttet:     | November 2007                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Faglig kommentering:     | Lone Grundahl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Finansiell støtte:       | Ingen ekstern finansiering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bedes citeret:           | Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Frohn, L.M., Geels, C., Kemp, K., Løfstrøm, P., Mogensen, B.B. & Monies, C. 2007: Atmosfærisk deposition 2006. NOVANA. Aarhus Universitet. Danmarks Miljøundersøgelser. 62 s.- Faglig rapport fra DMU, nr. 645. <a href="http://www.dmu.dk/Pub/FR645.pdf">http://www.dmu.dk/Pub/FR645.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                          | Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Sammenfatning:           | Kvælstofdepositionen til danske farvande og landområder er for 2006 beregnet til hhv. 97 og 72 ktons N. Beregningerne er foretaget med luftforureningsmodellen DEHM. Kvælstofdepositionen til vand- og landområderne er faldet med henholdsvis ca. 21 og 26 % siden 1989. Svovldepositionen til danske landområder er for år 2006 beregnet til ca. 25 ktons S. Svovldepositionen er faldet med ca. 62% siden 1989. For fosfor er der ikke sket betydelige ændringer i koncentrationer og depositioner. Koncentrationer og depositioner af tungmetaller (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, og Pb) i 2006 adskiller sig ikke væsentligt fra de seneste år. Siden 1989 er koncentrationer og depositioner af tungmetaller faldet med en faktor to til tre. Rapporten indeholder endvidere resultater fra måling af våddeposition af miljøfremmede organiske stoffer. |
| Emneord:                 | Atmosfærisk deposition, luftkvalitet, kvælstofforbindelser, svovl, fosfor, tungmetaller, deposition til hav og land, emissionskilder, miljøfremmede organiske stoffer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Layout:                  | Majbritt Ulrich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ISBN:                    | 978-87-7073-017-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ISSN (elektronisk):      | 1600-0048                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Sideantal:               | 62                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Internetversion:         | Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside <a href="http://www.dmu.dk/Pub/FR645.pdf">http://www.dmu.dk/Pub/FR645.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Supplerende oplysninger: | NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

# **Indhold**

## **Sammenfatning 5**

## **Forord 7**

### **1 Indledning 8**

- 1.1 Overvågningsprogrammet 9
- 1.2 Vejret i 2006 12

### **2 Kvælstof 15**

- 2.1 Kvælstofdeposition i 2006 15
- 2.2 Atmosfærisk belastning af danske farvande 16
- 2.3 Atmosfærisk belastning af danske landområder 18
- 2.4 Kilder til kvælstofdeposition 20
- 2.5 Udviklingstendenser for kvælstofdepositionen 21
- 2.6 Ammoniak og naturmålestationer 23
- 2.7 Kampagnemålinger af ammoniak på Idom Hede 26
- 2.8 Kvælstofdeposition til naturområder – modelberegninger på lokal skala 32

### **3 Fosfor 36**

- 3.1 Fosfordeposition i 2006 36

### **4 Svovl 38**

- 4.1 Svovldeposition i 2006 38
- 4.2 Atmosfærisk belastning af danske landområder 39
- 4.3 Udviklingstendenser for svovldepositionen 42

### **5 Tungmetaller 44**

- 5.1 Tungmetaldeposition i 2006 44
- 5.2 Udviklingen i den atmosfæriske deposition og luftkoncentrationer 46

### **6 Ozon 50**

- 6.1 Ozon og vegetation 50

### **7 Deposition af miljøfarlige organiske stoffer 54**

- 7.1 Våddeposition af pesticider 54
- 7.2 Våddeposition af nitrophenoler 56

### **8 Referencer 59**

## **Bilag 1 Ammoniak og partikulært ammonium målt med ½-månedssdenuder 61**

## **Bilag 2 Usikkerhed og detektionsgrænser for analyse af miljøfarlige organiske stoffer 62**

**Danmarks Miljøundersøgelser**

**Faglige rapporter fra DMU**



## Sammenfatning

Rapporten sammenfatter de vigtigste konklusioner fra Baggrundsovervågning af luftkvalitet og atmosfærisk deposition fra år 2006. Overvågningen indgår som en del af det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA). Rapporten opsummerer hovedresultaterne vedrørende måling og beregning af atmosfæriske koncentrationer og depositioner af kvælstof-, fosfor- og svovlforbindelser, ozon samt af udvalgte tungmetaller og miljøfremmede organiske forbindelser.

Den samlede kvælstofdeposition til vand- og landområderne er på basis af overvågningsresultater vurderet til at være faldet med henholdsvis ca. 21 og 26 % i perioden 1989-2006. Årsagen til faldet er reduktion i emissionerne på europæisk plan, herunder i Danmark.

DMU har beregnet kvælstofdepositionen med luftforureningsmodellen DEHM. Kvælstofdepositionen til danske farvandsområder (103.000 km<sup>2</sup>) er for 2006 beregnet til 97 ktøns N (9,4 kg N/ha) og til landområderne (areal 43.000 km<sup>2</sup>) til 72 ktøns N (17 kg N/ha). Depositionen af kvælstof til vand- og landområder er henholdsvis 27 og 12 % højere end i 2005, hvilket hovedsageligt skyldes en højere nedbørsmængde i 2006 sammenlignet med 2005. Den gennemsnitlige deposition til landområderne ligger i 2006 over eller på niveau med tålegrænsen for kvælstofafsætning til mange af de følsomme danske naturtyper.

Rapporten præsenterer resultater fra målinger af ammoniak på udvalgte naturmålestationer samt detaljerede beregninger af kvælstofdeposition til udvalgte naturområder. Disse beregninger udføres med lokalskala-modellen kaldet OML-DEP.

Depositionen af fosfor i 2006 til de indre danske farvande (areal 31.500 km<sup>2</sup>) og landområder estimeres til hhv. ca. 130 tons P og ca. 170 tons P. Det vurderes, at der ikke er sket væsentlige ændringer i koncentrationer og depositioner af fosfor i perioden 1989-2006.

Depositionen af svovlforbindelserne til danske landområder er for år 2006 beregnet med DEHM til ca. 25 ktøns S. Baseret på signifikante fald i koncentrationer og våddeposition vurderes, at svovldepositionen er faldet med ca. 62% siden 1989.

Depositioner og koncentrationer af ni tungmetaller (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, og Pb) i 2006 adskiller sig ikke væsentligt fra de seneste år set i forhold til den markante reduktion, der blev opnået i perioden 1979-96. Over de sidste 18 år er der sket et fald i tungmetalniveauerne på mellem en faktor to og tre. Størst fald ses for bly og cadmium.

Koncentrationen af ozon lå i 2006 under tærskelværdierne for skadelige effekter på vegetation. Ozonkoncentrationen i baggrundsområderne har ligget på samme niveau siden slutningen af 1980'erne.

Måling af våddeposition af miljøfremmede organiske stoffer ved Anholt og Sepstrup Sande viser en samlet våddeposition af pesticider på ca. 45-

110 µg/m<sup>2</sup> (19 stoffer) og nitrophenoler på ca. 900-1600 µg/m<sup>2</sup> (6 stoffer). Våddepositionen af pesticider er generelt lav og har ikke akut virkning på planter.

## Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA), som fra 2004 har afløst NOVA, det tidligere overvågningsprogram. NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, iværksat efteråret 1988. Hensigten med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram var at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som blev gennemført i forbindelse med Vandmiljøplanen (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 ændringer i belastningen af vandmiljøet med næringssalte. Med NOVANA er programmet udvidet til at omfatte både vandmiljøets tilstand i bredeste forstand og miljøfremmede stoffer og tungmetaller. Programmet omfatter nu også overvågning af arter og naturtyper, herunder ter-  
restrisk natur.

Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet har som en væsentlig opgave for Miljøministeriet at bidrage til at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger, herunder overvågning af miljø og natur. Det er derfor et naturligt led i Danmarks Miljøundersøgelsers opgave at forestå den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, samt arter og naturtyper. I overvågningsprogrammet er der en klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem Miljøministeriets miljøcentre og fagdatacentre, som for grundvand er placeret hos Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, for punktkilder hos By- og Landskabsstyrelsen og for ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, samt arter og naturtyper hos Danmarks Miljøundersøgelser.

Rapporterne "Vandløb 2005-2006", "Søer 2005-2006", "Terrestriske naturtyper 2006" og "Arter 2006" er baseret på data indsamlet af amterne. "Marine områder 2005-2006" er baseret på data om kystvande og fjorde indsamlet af amterne samt Danmarks Miljøundersøgelsers og vore nabolandes overvågning af de åbne havområder. Rapporten "Landovervågningsoplande 2006" er baseret på data indsamlet af amterne fra 7 overvågningsoplande og udarbejdet i samarbejde med Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. Endelig er rapporten "Atmosfærisk deposition 2006" baseret på Danmarks Miljøundersøgelsers overvågning af luftkvaliteten i Danmark.

# 1 Indledning

Årets rapport præsenterer resultater for år 2006 fra atmosfæredelen af Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA), der er efterfølger til det tidligere program (det Nationale overvågningsprogram for vandmiljøet, NOVA 2003). Overvågningen udføres af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Afdeling for Atmosfærisk Miljø (ATMI), som en del af Det Atmosfæriske Baggrundsovervågningsprogram (BOP).

Det reviderede overvågningsprogram viderefører mange af de elementer, som indgik i luftovervågningen i NOVA 2003:

- Bestemmelse af luftkoncentrationer og depositions-mængder af de kvælstof-, fosfor-, og svovlforbindelser, som er vigtigst i relation til eutrofiering og forsurening.
- Bestemmelse af luftkoncentrationer og depositions-mængder af en række miljøfarlige tungmetaller.

For at kunne inddrage nye områder i programmet er dele af det gamle program imidlertid blevet reduceret. Dette drejer sig navnlig om målingerne af luftkoncentrationer af gasser og partikler.

De nye områder i programmet har særlig fokus på bestemmelse af deposition af kvælstofgasser til naturområder, og der er derfor oprettet to nye målestationer i naturområder, hvor der bl.a. foretages intensive målinger af tørdeposition af ammoniak. Programmet omfatter også modelberegninger af kvælstofdeposition til udvalgte naturområder. Disse beregninger foretages med høj geografisk opløsning, således at beregningerne kan tage højde for ammoniakdepositionen fra kilderne i lokalområdet. Derudover inkluderer programmet også bestemmelse af våddeposition af miljøfremmede organiske stoffer (pesticider, PAH og nitrophenoler).

Programmet inkluderer omfattende beregninger af deposition af kvælstof og svovl på danske land- og vandområder. Disse beregninger udføres med DEHM (Dansk Eulersk Hemisfærisk Model). Endvidere laves detaljerede beregninger af kvælstofafsætningen til udvalgte naturområder baseret på lokalskala-modellen kaldet OML-DEP.

Resultaterne præsenteres på en indikatoragtig form. Rapporten er derfor kortfattet og omfatter kun hovedresultaterne fra overvågningsprogrammet. Som udgangspunkt for den indikatoragtige præsentation af resultaterne gives i dette kapitel en kort introduktion til BOP. Efter denne introduktion gives en kort beskrivelse af de danske meteorologiske forhold i år 2006, da disse spiller en afgørende rolle for koncentrationer og depositioner af luftforureningskomponenter

## 1.1 Overvågningsprogrammet

Formålet med BOP er dels at beskrive luftforureningen over danske land- og havområder, dels at bestemme den atmosfæriske tilførsel af eutrofierende, forsurende og miljøskadelige stoffer til danske økosystemer. Resultaterne fra overvågningsprogrammet bruges til at beskrive den geografiske og tidslige variation af luftforureningskomponenterne og giver mulighed for at vurdere årsagerne til eventuelle ændringer. For at opfylde målsætningen er hovedparten af overvågningsprogrammet rettet mod baggrundsområderne i Danmark (uden for byer og ikke tæt ved lokale kilder), idet det er hensigten at måleprogrammet skal afspejle de regionale niveauer, og ikke blot en enkelt nærværende kilde.

Overvågningsprogrammet har siden 1994 bygget på en kombination af målinger og modelberegninger, for herved at styrke det faglige udbytte af programmet. Målingerne anvendes til beskrivelse af den aktuelle status for luftkvalitet og deposition, sæsonvariation og udviklingstendenser. Modelberegningerne anvendes til at ekstrapolere resultaterne fra målestationerne ud til større geografiske områder og anvendes således til bestemmelse af depositionen til de enkelte farvands- og landområder. Modelberegninger benyttes endvidere til bestemmelse af kildefordeling og det danske bidrag til depositionen.

I 2006 bestod netværket af ni målestationer, hvor der blev målt:

- Våddeposition af kvælstofforbindelser (ammonium og nitrat), sulfat, fosfat og en række udvalgte tungmetaller.
- Koncentrationer af kvælstofforbindelser i gas- og partikelfase (ammoniak, kvælstofdioxid, partikelbundet ammonium og sum af partikulært bundet nitrat og salpetersyre) samt svovldioxid og partikulært bundet sulfat.
- Koncentrationer af partikulært bundet fosfor og en række udvalgte tungmetaller.
- Våddeposition af miljøfarlige organiske stoffer (pesticider og nitrophenoler).
- Koncentrationen af ozon.

Udover dette består måleprogrammet af to ekstra målestationer i naturområder. I år 2006 var disse placeret på Idom Hede og Hjelm Hede, hvor der blev foretaget målinger af koncentrationen af ammoniak. Endvidere blev der i to kampagner (hver af to ugers varighed) målt deposition af ammoniak på Idom Hede. Endelig er der i forbindelse med andre dele af NOVANA blevet målt koncentration af ammoniak på Husby Klit, Lønborg Hede og Ovstrup Hede.

Placeringen af målestationerne og måleprogrammet ved de enkelte målestationer fremgår af figur 1.1 og tabel 1.1. Figur 1.2 viser eksempler på det måleudstyr, som anvendes på målestationerne.



Figur 1.1 Målestationer i BOP i 2006.

Tabel 1.1 Oversigt over målingerne på målestationerne i BOP.

| Målestation    | Våddeposition*                  | Gas og partikler**                                             |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Anholt         | Uorganisk, Tungmetaller, MFS    | Filterpack, NO <sub>2</sub>                                    |
| Frederiksborg  | Uorganisk, Tungmetaller         | Denuder                                                        |
| Gunderslevholm | Tungmetaller                    |                                                                |
| Hansted        | Uorganisk, Tungmetaller         |                                                                |
| Hjelm Hede     |                                 | Naturstation,<br>Denuder                                       |
| Idom Hede      |                                 | Naturstation,<br>Denuder, passiv opsamler                      |
| Keldsnor       | Uorganisk, Tungmetaller         | Filterpack,<br>Denuder<br>NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> *** |
| Lindet         | Uorganisk, Tungmetaller         | Filterpack,<br>Denuder                                         |
| Pedersker      | Uorganisk, Tungmetaller         |                                                                |
| Sepstrup Sande | Uorganisk, Tungmetaller,<br>MFS |                                                                |
| Tange          |                                 | Filterpack                                                     |
| Ulborg         | Uorganisk, Tungmetaller         | Filterpack,<br>Denuder,<br>NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>    |

\* Uorganisk: N, P, S, Na, Cl, K, Mg, K og Ca. Tungmetaller: Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb og Fe. MFS: Pesticider og nitrophenoler.

\*\* Filterpack: NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> og partikulært N, P, S, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb og Fe. Naturstation: Deposition af ammoniak. Denuder: måling af NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> og NO<sub>3</sub>. Passiv opsamler: NH<sub>3</sub>.

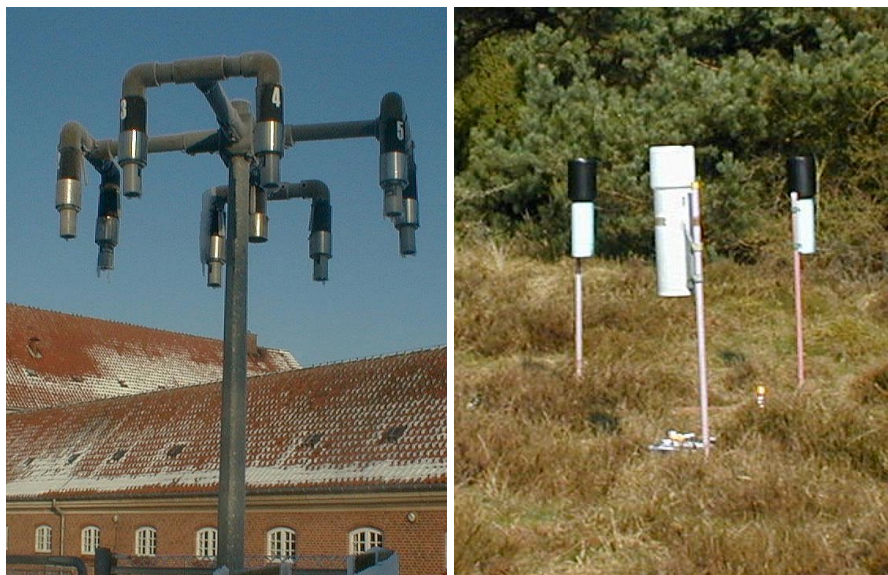
\*\*\* Målingene af NO<sub>2</sub> og O<sub>3</sub> udføres i forbindelse med LMP IV (det Landsdækkende Luftmåleprogram for byer se Kemp et al., 2007).

Ud over anvendelsen af måleresultaterne i NOVANA varetages de danske forpligtelser i forbindelse med internationale monitoringsprogrammer via BOP. Det drejer sig om følgende tre programmer:

- Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe (EMEP; European Monitoring and Evaluation Programme), som fokuserer på den grænseoverskridende luftforurening i Europa.
- Monitoring under Oslo-Paris-Kommissionen (OSPARCOM) til overvågning af luftforureningens belastning af Nordsøen.
- Monitoring under Helsinki-Kommissionen (HELCOM) til overvågning af luftforureningens belastning af Østersøen.

For at sikre høj kvalitet af overvågningsprogrammet er DMU-ATMI akkrediteret under ISO 17025 til at udføre hovedparten af prøveopsamlinger og analyserne. Akkrediteringen bliver løbende udvidet med det mål at få alle metoder akkrediteret.

Modelberegninger af luftkoncentrationer og depositioner foretages, som allerede nævnt, med DMU's luftforureningsmodel kaldet DEHM (Dansk Eulersk Hemisfærisk Model), som anvendtes i NOVANA for første gang ved rapporteringen i 2004. DEHM er en Eulersk model, hvor emission, transport, kemisk omsætning og afsætning af luftforurening beregnes i et tredimensionelt net af gitterceller. Transporten er bestemt af de meteorologiske forhold og foregår ud og ind af de enkelte gitterceller og foregår i såvel lodret – som vandret plan. Emissioner tilføres til modellen i de nederste lag af gitterceller. Depositionen af luftforurening beregnes på basis af koncentrationen i modellens nederste lag, hvorefter den afsatte luftforurening fjernes fra gittercellerne.



**Figur 1.2** Eksempler på udstyr på målestationerne. Til venstre: Filterpackopsamler til opsamling af luftprøver. Opsamleren består af en filterholder (for enden af hver af de otte arme) med tre filtre, som luften suges igennem, hvorved partikler og gasser opsamles og separeres. Til højre: Nedbørsopsamlere til bestemmelse af bulkdeposition (dvs. våddeposition plus et lille bidrag fra tørdeposition). Nedbørsopsamlerne består af et stativ, en tragt og en opsamlingsflaske monteret forinden på tragten. Opsamlingsflasken er placeret i rør for at beskytte mod sollys.

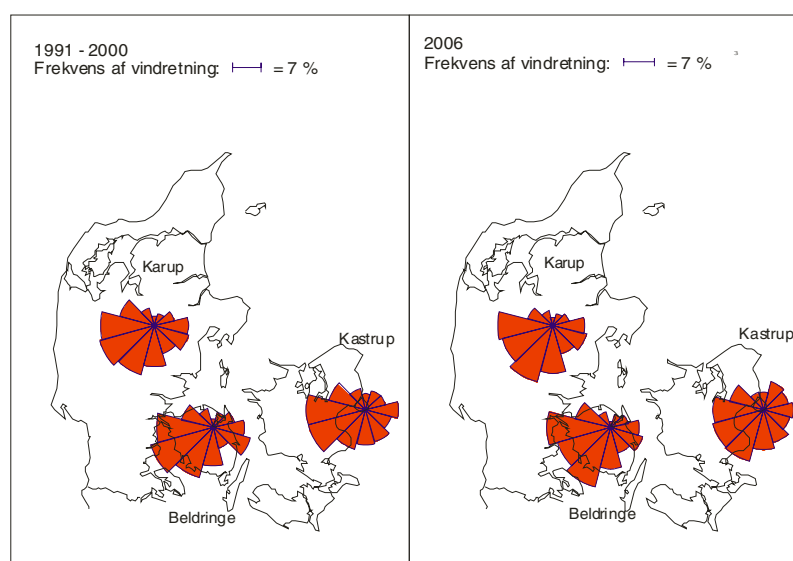
Beregningerne af deposition til danske land- og vandområder foretages med en geografisk opløsning på 17 km x 17 km i det horisontale plan og med en vertikal inddeling af de nederste 15 km af atmosfæren i 20 lag af gitterceller, hvor de nederste lag er tynde (60 m) mens de øverste er tykke (2000 m). Der er ikke sket nogle betydelig opdateringer i modellen siden rapporteringen for år 2005.

Beregningerne for 2006 er udført med meteorologiske data fra den meteorologiske model kaldet MM5 (*Grell et al., 1995*), som indgår i DMU-ATMI's THOR system (Thor.DMU.dk). Til modelberegningerne anvendes emissionsopgørelser på 17 km x 17 km for hele Europa (*Hertel et al., 2002*). Disse er baseret på EMEP's emissionsopgørelser på 50 km x 50 km, en detaljeret opgørelse på 17 km x 17 km for EU's landområde og en detaljeret opgørelse for Danmark som bl.a. indeholder placering af ca. 70 større punktkilder. Emissionsopgørelserne omfatter udslip fra skibstrafik udarbejdet af EMEP. Beregninger for år 2006 er udført på basis af de nyeste tilgængelige emissionsdata, som er sammenstillet ud fra nationale emissionsopgørelser for år 2005 for NH<sub>3</sub> og for år 2004 for NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>, udarbejdet af DMU-SYS (*Illerup et al., 2006, 2007*). Endvidere er der anvendt internationale opgørelser for år 2004, der er samlet og distribueret af EMEP (*EMEP 2007*).

Beregning af afsætning af kvælstof til udvalgte naturområder foretages med DMUs DAMOS-system, som er en kombination af DEHM og DMUs lokalskalamodel OML-DEP. Med dette modelsystem beregnes afsætning af kvælstof med en geografisk opløsning på 400 m x 400 m indenfor et område på 16 km x 16 km omkring det udvalgte naturområde.

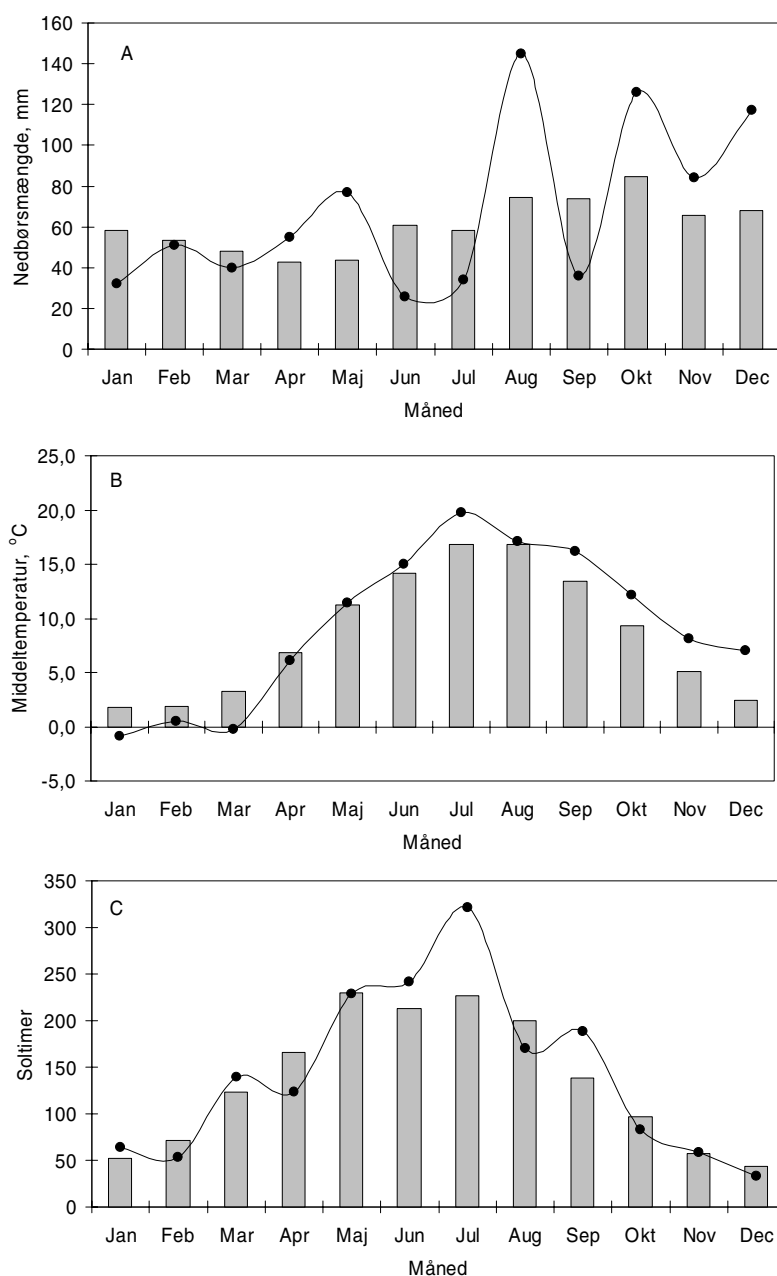
## 1.2 Vejret i 2006

De meteorologiske forhold spiller en afgørende rolle for koncentrationen af luftforurening i Danmark og for hvor meget luftforurening, der deponerer til danske land- og vandområder. Derfor opsummeres her nogle nøgletal for de mest relevante meteorologiske forhold i 2006.



**Figur 1.3** Vindroser for Karup, Beldringe, og Kastrup. Til venstre vises gennemsnit for perioden 1991-2000, mens der til højre vises gennemsnit for 2006. Beregningerne er foretaget for vindhastigheder større end 1,5 m/s. Måling af vindretning er udført af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI).

En af de vigtigste parametre for niveauerne af luftforurening er vinden, som bestemmer hvor luftmasserne transporteres hen og hvor hurtigt denne transport finder sted. For baggrundsområder i Danmark ses typisk høj luftforurening ved transport af luft til Danmark fra Mellem Europa, hvor emissionerne af luftforurening er høj. Figur 1.3 viser vindroser for Kastrup, Karup og Beldringe lufthavne. Af figuren ses, at de mest hyppige vindretninger i 2006 var syd til vest og at vindrosen for 2006 i store træk minder om vindretningerne for perioden 1991-2000. Vindretningen i Danmark giver dog kun et fingerpeg om oprindelse af luftmasserne, idet transporten af luftforurening er et resultat af luftmassernes samlede bevægelser igennem de døgn, som det har taget at transportere luftforureningen til Danmark.



**Figur 1.4** Månedlig nedbør (A); middeltemperatur (B) og antal soltimer (C). Arealvægtede gennemsnit for Jylland og Øerne. Kurverne angiver resultater for 2006, mens søjlerne angiver middel for 1989-2006. Data er fra Cappelen og Jørgensen (2007).

Udover vindretning indvirker nedbørsmængde, temperatur og solindstråling (figur 1.4) også på afsætning af luftforureningskomponenter. Nedbøren i år 2006 var med 823 mm nedbør til Jylland og Øerne betydeligt over normalen for 1961-1990 (712 mm) og over gennemsnittet for perioden 1989-2006 (727 mm) (Cappelen og Jørgensen 2007). Nedbøren var meget ujævnt fordelt over året (figur 1.4 A) med størst nedbørsmængde i august, oktober og december, mens navnlig januar, juni, juli og september havde mindre nedbørsmængder end gennemsnitligt. I år 2006 var der som vanligt geografiske forskelle i nedbørsmængderne. De største nedbørsmængder faldt i Vestjylland, mens der var mindre nedbør i den østlige del af landet. Disse nedbørsmængder er baseret på Danmarks Meteorologiske Instituts netværk af nedbørsmålestationer, og de er kun repræsentative for nedbør over land. De meteorologiske beregninger fra den meteorologiske model MM5, viser at nedbørsmængden til de danske farvande generelt er tydeligt højere i 2006 set i forhold til 2005. I mange områder er der faldet mere end 200 mm nedbør mere i 2006 end i 2005.

Den årlige middeltemperatur i 2006 var 9,4°C, hvilket 1,7 grader over normalgennemsnittet for 1961-1990 på 7,7°C (Cappelen, 2007), og 0,9 grader højere end gennemsnittet (8,5°C) for perioden 1989-2006, hvor måleprogrammet har været i funktion. År 2006 var dermed det varmest år der er blevet registreret siden temperaturmålingerne blev startet i 1874 (Cappelen 2007). Sæsonvariationen i temperaturen fulgte i store træk gennemsnittet for perioden 1989-2006 dog var 2. halvår betydeligt varmere end normalt. Antallet af soltimer (figur 1.4 C) var på 1703 timer, hvilket er over normalen for perioden 1961-1990 (1495 timer) og over gennemsnit for perioden 1989-2006 (1618) (Cappelen, 2007).

### Links

Yderligere information om målestationerne:

[http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_miljoe-tilstand/3\\_luft/4\\_maalinger/5\\_maaleprogrammer/oversigtskort.asp](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_maalinger/5_maaleprogrammer/oversigtskort.asp)

Yderligere information om luftforureningsmodeller:

<http://www.dmu.dk/Luft/Luftforurenings-modeller/>  
eller Thor.DMU.DK.

## 2 Kvælstof

### 2.1 Kvælstofdeposition i 2006

#### Relevans

Deposition af kvælstof fra atmosfæren spiller en væsentlig rolle for den samlede belastning af de danske farvande og landområder med næringsstoffer. Det er derfor et af hovedformålene for luftdelen af NOVA-NA at bestemme den årlige deposition af kvælstof til vandmiljøet og landområderne.

#### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle. Via Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet er Danmark forpligtet til at beskytte natur og miljø, herunder beskytte mod skadelige effekter som følge af kvælstofdeposition. Der er i Danmark ikke opstillet direkte målsætninger for kvælstofdepositionens størrelse og ej heller direkte reduktionsmålsætninger. Via målsætninger om reduktion af kvælstofemissionen er der en form for indirekte målsætning om reduktion i kvælstofdepositionen. Danmark har via Gøteborg-protokollen og NEC-direktivet (National Emission Ceilings) en målsætning om at reducere emissionen af kvælstofilterne og ammoniak i 2010 med henholdsvis 60% og 43% set i forhold til 1990. Gøteborg-protokollen vil alt i alt føre til en reduktion af Europas emissioner af kvælstofilter og ammoniak med henholdsvis 41% og 17% set i forhold til 1990, hvis alle deltagende lande overholder deres forpligtelser.

#### Tilstand og årsag

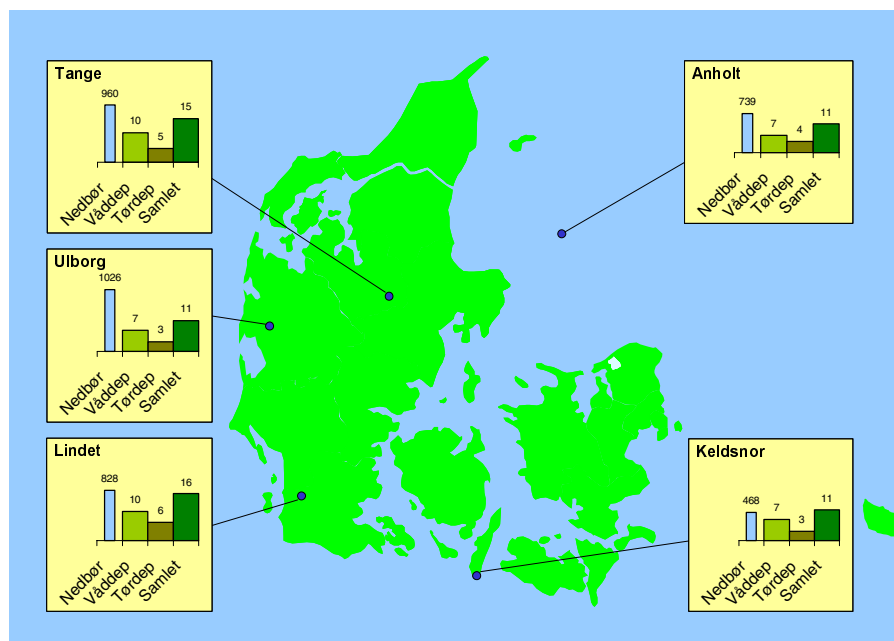
Målinger i 2006 viste, at den årlige deposition af kvælstof i områderne omkring hovedstationerne lå på 11-16 kgN/ha for deposition til landområderne (figur 2.1) og på 8-9 kgN/ha for deposition til vandområderne. Dette er lidt højere end i 2005. I 2006 var depositionen til land- og vandområder henholdsvis 6% og 10% højere end i 2005.

Nedbørsmængden i 2006 var høj sammenlignet med gennemsnittet for perioden 1989-2006 (se afsnit 1.2). Dette var medvirkende til, at våddepositionen var ca. 17% højere ved målestationerne i 2006 sammenlignet med 2005.

De laveste depositioner blev bestemt på Anholt, Ulborg og Keldsnor. Disse målestationer bliver kun udsat for begrænset lokal landbrugspåvirkning samtidigt med, at der er en lille våddeposition.

De højeste depositioner blev bestemt ved Lindet og Tange, hvor der er høj emission af ammoniak fra nærliggende landbrugsområder. Samtidig hermed er det den del af Danmark, hvor den største mængde nedbør falder, hvilket er medvirkende til den høje deposition.

Usikkerheden på bestemmelsen af den årlige kvælstofdeposition vurderes til 12-25% for deposition til vandområderne og 27-43% for deposition til landområderne. Årsagen til den relativt høje usikkerhed er, at den samlede kvælstofdeposition bestemmes som summen af depositionen af en lang række kvælstofforbindelser. Endvidere beregnes tørdepositionen ud fra målinger af luftens indhold af kvælstofforbindelserne samt såkaldte tørdepositions hastigheder. Der er stor usikkerhed ved denne metode, men det er p.t. den eneste metode, som kan anvendes i forbindelse med overvågningsprogrammet.



**Figur 2.1** Kvælstofdeposition og nedbørsmængde ved de fem hovedstationer i 2006. Figuren angiver deposition til den gennemsnitlige landoverflade i et område på 17 km x 17 km omkring målestationerne. Nedbørsmængden er angivet i mm og depositionen er afrundet til hele tal og angivet i kgN/ha.

## Links

Information om DMUs luftmålestationer kan fås på:

[http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_miljoe-tilstand/3\\_luft/4\\_maalinge/5\\_maaleprogrammer/oversigtskort.asp](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_maalinge/5_maaleprogrammer/oversigtskort.asp)

## 2.2 Atmosfærisk belastning af danske farvande

### Relevans

Depositionen af kvælstof fra atmosfæren varierer mellem de forskellige dele af de danske farvandsområder som følge af forskelle i de meteorologiske forhold og afstand til emissionsområderne. Det er derfor vigtigt at beregne den geografiske fordeling af depositionen og belastningen af de enkelte farvandsområder.

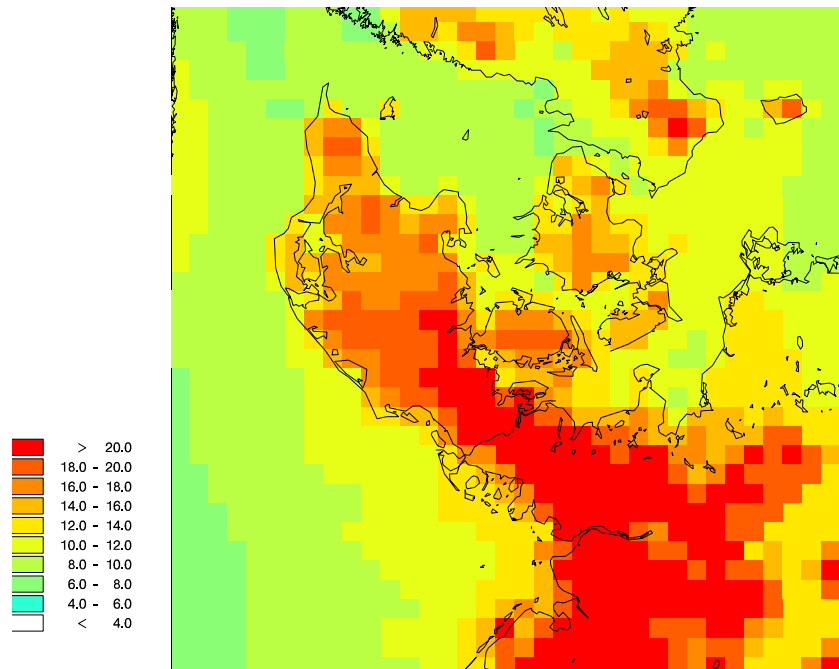
### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle. Der er dog ingen direkte målsætning om størrelse af kvælstofdeposition til de danske farvande (se i øvrigt afsnit 2.1 og 2.5).

## Tilstand og årsag

For år 2006 beregnes en samlet deposition af kvælstof til de danske farvande på 97.000 ton N, hvilket med et samlet farvandsareal på 103.000 km<sup>2</sup> giver en gennemsnitlig deposition på 9,4 kgN/ha (figur 2.2 og tabel 2.1). Depositionen af kvælstof er derfor 27% højere end i 2005. Forskellen skyldes en kraftig stigning i nedbørsmængden over de danske farvandsområder (se afsnit 1.2), hvilket fører til den højere våddeposition i 2006 sammenlignet med 2005. Ændringerne i emissioner fra danske og europæiske kilder (EMEP, 2007) har i de seneste år været lille set i forhold til år til år variationerne i nedbøren.

Depositionen varierer med en faktor to mellem de forskellige områder. Størst deposition ses i de kystnære områder og fjorde, hvor afstanden til navnlig landbrugskilderne er lille. Den højeste deposition på 17 kgN/ha er således beregnet for de kystnære områder omkring Als, mens den laveste deposition på 8 kgN/ha er beregnet for dele af Skagerrak, Kattegat og Øresund. Endvidere ses en gradient med de højeste depositioner mod syd og lavere depositioner mod nord. Dette skyldes indflydelse fra områder med høje emissioner af kvælstof i landene syd for Danmark.



**Figur 2.2** Den samlede deposition af kvælstofforbindelser beregnet for 2006. Depositionen angiver en middelværdi for felterne; for felter med både vand- og landoverflade vises altså en middeldeposition for de to typer af overflade. Depositionen er givet i kg N/ha. Gitterfelterne er på 17 km x 17 km.

**Tabel 2.1** Den samlede kvælstofdeposition til de danske hovedfarvande beregnet for 2006. Tabellen angiver også deposition til de svenske dele af Kattegat og Øresund.

| Hovedfarvand                | Tørdeposition<br>1000 ton N | Våddeposition<br>1000 ton N | Total deposition<br>1000 ton N | Total deposition/areal<br>kgN/ha | Areal<br>km <sup>2</sup> |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Nordsøen – dansk del        | 10,0                        | 33,1                        | 43,1                           | 8,8                              | 48750                    |
| Skagerrak – dansk del       | 1,8                         | 7,2                         | 9,0                            | 8,7                              | 10358                    |
| Kattegat – svensk del       | 1,0                         | 4,7                         | 5,7                            | 8,5                              | 6743                     |
| Kattegat – dansk del        | 3,7                         | 11,9                        | 15,6                           | 9,3                              | 16828                    |
| Nordlige Bælthav            | 1,1                         | 3,0                         | 4,1                            | 10,4                             | 3909                     |
| Lillebælt                   | 0,9                         | 2,0                         | 3,0                            | 13,8                             | 2171                     |
| Storebælt                   | 1,3                         | 3,7                         | 5,0                            | 11,0                             | 4519                     |
| Øresund - dansk del         | 0,3                         | 1,0                         | 1,3                            | 9,3                              | 1398                     |
| Øresund - svensk del        | 0,1                         | 0,7                         | 0,8                            | 8,5                              | 950                      |
| Sydlig Bælthav - dansk del  | 0,7                         | 2,2                         | 2,9                            | 11,5                             | 2547                     |
| Østersøen - dansk del       | 2,8                         | 9,7                         | 12,5                           | 9,9                              | 12567                    |
| Alle danske farvandsområder | 23                          | 74                          | 97                             | 9,4                              | 103000                   |

Deposition af kvælstof til de danske farvandsområder beregnes, som nævnt ovenfor, med DEHM modellen, som er en detaljeret luftforureningsmodel, der tager højde for den geografiske placering af kilderne til kvælstofforureningen, de meteorologiske forhold og de kemiske og fysiske omdannelser af kvælstof i atmosfæren. Modelberegningerne er foretaget med meteorologiske data for år 2006 (se afsnit 1.1) og emissionsopgørelser for Danmark for år 2005 for NH<sub>3</sub>, for år 2004 for NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> (*Illerup et al.*, 2006, 2007), og for resten af Europa for år 2004 (*EMEP* 2007). Dette er de nyeste tilgængelige emissionsopgørelser.

Usikkerheden på modelberegningerne vurderes til op mod  $\pm 30\%$  for de åbne farvande, mens usikkerheden kan være op mod  $\pm 50\%$  for de kystnære områder, fjorde, vige og bugter. Usikkerheden er vurderet på basis af sammenligninger med målingerne i overvågningsprogrammet.

### Links

Deposition af kvælstof til de enkelte farvande, fjorde, vige og bugter kan findes på:

<http://www.dmu.dk/luft/luftforurenings-modeller/deposition>

Notat angående ændringer i opgørelse af farvandsarealer:

<http://www.geodata-info.dk/ds.asp?DS=2977>

## 2.3 Atmosfærisk belastning af danske landområder

### Relevans

Deposition af kvælstof fra atmosfæren varierer meget mellem de forskellige dele af Danmark som følge af forskelle i de meteorologiske forhold og afstand til de nærmeste kilder og deres emissionsstyrke. Det er derfor vigtigt at beregne den geografiske fordeling af depositionen og belastningen af de enkelte områder.

## Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle. I forbindelse med Habitatdirektivet har Danmark forpligtet sig til at beskytte habitatområderne mod væsentlige forringelser og forstyrrelser. Dette omfatter også eventuelle forringelser som følge af kvælstofdeposition (se i øvrigt afsnit 2.1 og 2.5).

## Tilstand og årsag

For år 2006 beregnes en samlet deposition af kvælstof til de danske landområder på 72.000 ton N (tabel 2.2), hvilket er 12% højere end i 2005. Den højere deposition skyldes hovedsageligt en større våddeposition, som følge af en større nedbør i 2006 sammenlignet med 2005 (se afsnit 1.1).

Den gennemsnitlige deposition ligger på 17 kgN/ha, hvilket ligger over eller på niveau med tålegrænserne for mange af de følsomme danske naturtyper f.eks. højmoser 5-10 kgN/ha, lobeliesøer 5-10 kgN/ha, kystklitter med dværgbuske 10-20 kgN/ha og heder 10-20 kgN/ha (*Søgaard et al., 2003*).

Den årlige depositionen varierer mellem 9 kgN/ha og 22 kgN/ha. Årsagen til den store geografiske variation er navnlig, at depositionens størrelse afhænger af den lokale emission af ammoniak og dermed af den lokale landbrugsaktivitet. På lokal skala kan der derfor ses betydeligt større variationer end beregnet som gennemsnit for modellens gitterfelter på 17 km x 17 km. Endvidere spiller nedbørsmængderne også en vigtig rolle for depositionens størrelse. Den største deposition beregnes derfor til den sydlige del af Jylland (figur 2.2), hvor husdyrproduktionen er høj og hvor nedbørsmængderne er store. Lavest deposition ses i Nordsjælland og på nogle af de små øer, hvor der er langt til store kildeområder, og hvor nedbørsmængden er lav.

Deposition af kvælstof til de danske landområder beregnes, som nævnt ovenfor, med DEHM modellen, som er en detaljeret luftforureningsmodel, der tager højde for den geografiske placering af kilderne til kvælstofforureningen, de meteorologiske forhold og de kemiske og fysiske omannelser af kvælstof i atmosfæren. Modelberegningerne er foretaget med meteorologiske data for år 2005 (se afsnit 1.1) og emissionsopgørelser for Danmark for år 2005 for NH<sub>3</sub> for år 2004 for NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> (*Illerup et al., 2006, 2007*), og for resten af Europa for år 2004 (*EMEP 2007*). Dette er de nyeste tilgængelige emissionsopgørelser. Depositionerne i tabel 2.2 angiver gennemsnit til de nye regioner. Depositionen af kvælstofgasser og partikelbundet kvælstof (tørdepositionen) afhænger af landoverfladens karakter, således at deposition på en mere ru overflade typisk er højere end deposition på en mindre ru overflade. Depositionen til f.eks. en skov ligger på ca. 30 kgN/ha, mens deposition til græs ligger på ca. 13 kgN/ha (*Ellermann et al., 2005*).

Usikkerheden på modelberegningerne vurderes til op mod  $\pm 40\%$  (for gennemsnit af gitterfelterne). Usikkerheden er vurderet på basis af sammenligninger med målingerne i overvågningsprogrammet.

## Links

Deposition af kvælstof til de enkelte regioner og kommuner kan findes på: <http://www.dmu.dk/luft/luftforurenings-modeller/deposition>

Yderligere information om tålegrænser kan findes på: <http://www.dmu.dk/Luft/Effekter+naturen>

**Tabel 2.2** Den samlede kvælstofdeposition til de danske regioner beregnet for 2006.

|             | <b>Tørdeposition<br/>1000 ton N</b> | <b>Våddeposition<br/>1000 ton N</b> | <b>Total deposition<br/>1000 ton N</b> | <b>Total deposition<br/>per areal kgN/ha</b> | <b>Areal km<sup>2</sup></b> |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| Nordjylland | 6,0                                 | 6,3                                 | 12,3                                   | 16                                           | 7910                        |
| Midtjylland | 11,0                                | 11,4                                | 22,4                                   | 17                                           | 13118                       |
| Syddanmark  | 10,6                                | 12,0                                | 22,7                                   | 19                                           | 12155                       |
| Sjælland    | 5,3                                 | 5,5                                 | 10,7                                   | 14                                           | 7393                        |
| Hovedstaden | 1,8                                 | 1,8                                 | 3,6                                    | 15                                           | 2569                        |
| Hele Landet | 35                                  | 37                                  | 72                                     | 17                                           | 43044                       |

## 2.4 Kilder til kvælstofdeposition

### Relevans

Kvælstofdepositionen til danske land- og vandområder kommer fra en lang række danske og udenlandske kilder. For at kunne vurdere effekten af handlingsplaner, der har til mål at reducere emissionerne, er det nødvendigt at kvantificere indflydelsen af de forskellige danske og udenlandske kilder på depositionen i Danmark.

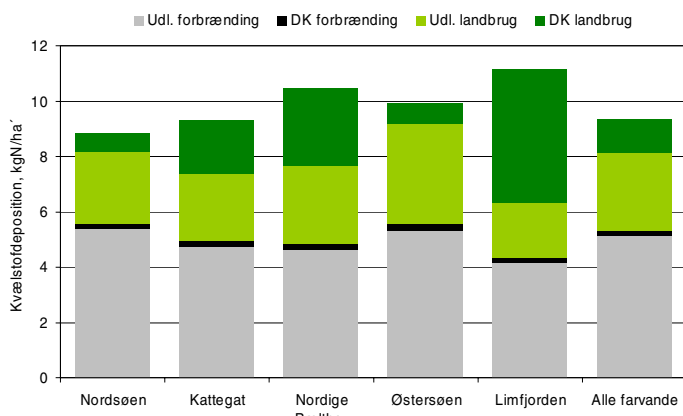
### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle (se afsnit 2.1).

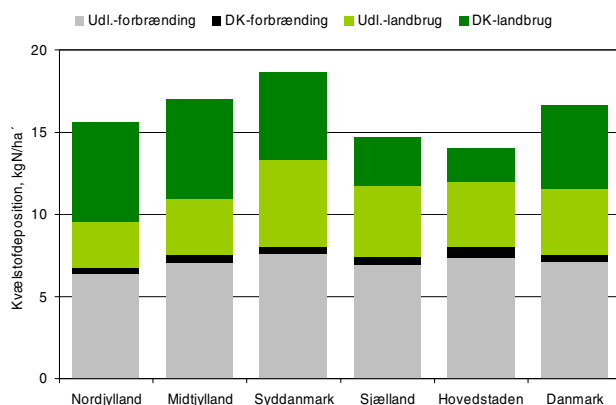
### Tilstand og årsag

Ved hjælp af modelberegninger er det muligt at estimere hvor stor en del af depositionen i Danmark, som stammer fra henholdsvis danske og udenlandske kilder. Det er også muligt at skelne mellem deposition, som kan henføres til emission i forbindelse med forbrændingsprocesser (f.eks. i forbindelse med transport, energiproduktion, forbrændingsanlæg og industriproduktion) og udslip som kan henføres til landbrugsproduktion. Opdelingen i forbrændingsprocesser og landbrugsproduktion baseres på, at emissionerne af kvælstofilter udelukkende sker i forbindelse med forbrændingsprocesser, og at emissionerne af ammoniak i praksis stammer fra landbrug, idet over 95% af emissionen af ammoniak stammer fra landbrugsproduktion.

Beregningerne viste, at depositionen i Danmark kommer omtrent ligeligt fra landbrugsproduktion og forbrændingsprocesser. I 2006 kom ca. 55% og 45% af depositionen til landområderne fra hhv. landbrugsproduktion og forbrændingsprocesser. For farvandene kom ca. 43% og 57% af depositionen fra hhv. landbrugsproduktion og forbrændingsprocesser.



**Figur 2.3** Kvælstofdeposition i 2006 til udvalgte danske farvandsområder og Limfjorden opdelt på danske og udenlandske kilder samt opdelt på emissioner fra forbrændingsprocesser og landbrugsproduktion.



**Figur 2.4** Gennemsnitlig kvælstofdeposition i 2006 til de nye regioner og i gennemsnit for Danmark opdelt på danske og udenlandske kilder samt opdelt på emissioner fra forbrændingsprocesser og landbrugsproduktion.

Langt hovedparten af depositionen til de danske farvandsområder stammer fra udenlandske kilder (figur 2.3). I gennemsnit er den danske andel af depositionen til de åbne danske farvande estimeret til kun at være på ca. 15 % i 2006. Den største danske andel forekom i det Nordlige Bælthav (28 %), Lillebælt (30%), Kattegat (23%) og Skagerrak (18%) og den mindste i Nordsøen (9%). Dette er i god overensstemmelse med, at de mest hyppige vindretninger er fra syd til vest. For lukkede fjorde, vige og bugter kan den danske andel værre betydeligt større, hvilket skyldes den korte afstand til de danske kilder. Et eksempel herpå er Limfjorden, hvor ca. 45 % stammer fra danske kilder. Figur 2.3 viser endvidere, at de danske bidrag hovedsageligt stammer fra emissioner fra landbrugsproduktionen, og at forskellen i den danske andel af depositionen stort set kan forklares ved forskellene i bidraget fra landbruget.

Den danske andel af den gennemsnitlige kvælstofdeposition til de danske landområder (figur 2.4) er større end for farvandsområderne. I gennemsnit for landområderne er den danske andel estimeret til at være på ca. 33%. Den primære årsag til dette er den større deposition af ammoniak fra det lokale landbrug. Størst dansk andel ses for Nord- og Midtjylland med 39-41% fra danske kilder, mens den danske andel af depositionen i Hovedstaden kun er på 19 %. Når andel fra danske kilder er størst i Nord- og Midtjylland skyldes det den store husdyrproduktion i Jylland, at de mest hyppige vindretninger er fra syd til vest og den relative store afstand til områder med store emissioner i landene syd for Danmark.

### Links

Yderligere information om danske emissioner kan findes på:  
[http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_miljoe-tilstand/3\\_luft/4\\_adaei/default.asp](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_adaei/default.asp)

## 2.5 Udviklingstendenser for kvælstofdepositionen

### Relevans

I Danmark og på internationalt plan er der vedtaget en række handlingsplaner for at reducere emissionen af kvælstoffilter og ammoniak og dermed belastningen af natur og vandmiljø med de næringsstoffer, som dannes pga. emissionen af disse stoffer. For at kunne vurdere effekten af

disse handlingsplaner er det derfor relevant at følge tidsudviklingen i kvælstofdepositionen.

### Målsætning

Der er ikke opstillet specifikke målsætninger for reduktion af den atmosfæriske kvælstofbelastning af natur og vandmiljø. Derimod findes der målsætninger for reduktion af kilderne til kvælstofdeposition. Danmark og en lang række europæiske lande har via Gøteborg-protokollen og NEC-direktivet (National Emission Ceilings) fastsat emissionslofter for udledning af næringsberigende og forsurende kvælstofforbindelser til atmosfæren. I følge Gøteborg-protokollen og NEC-direktivet skal Danmark reducere udslippet af kvælstof til 106.000 tons i 2010, hvilket svarer til en reduktion på 55% set i forhold til emissionerne i 1990. Samlet vil Gøteborg-protokollen resultere i en emissionsreduktion på europæisk plan på 41% for kvælstofilterne og 17% for ammoniak set i forhold til 1990.

### Udvikling og årsag

Figur 2.5 viser udviklingstendenserne i den gennemsnitlige deposition af kvælstof beregnet som middel af resultaterne fra DMU's hovedmålestationer. Resultaterne viser, at der er sket et fald i kvælstofdepositionen på de danske farvande og landområder på henholdsvis ca. 21 % og 26 % siden 1989. Det vurderes, at resultaterne beskriver den generelle udviklingstendens for Danmark som helhed. Lokalt kan der dog være betydelige afvigelser fra det generelle billede. Årsag til dette er navnlig deposition af ammoniak, som udgør en betydelig del af den samlede kvælstofdeposition og som varierer meget fra område til område pga. den lokale landbrugsproduktion.

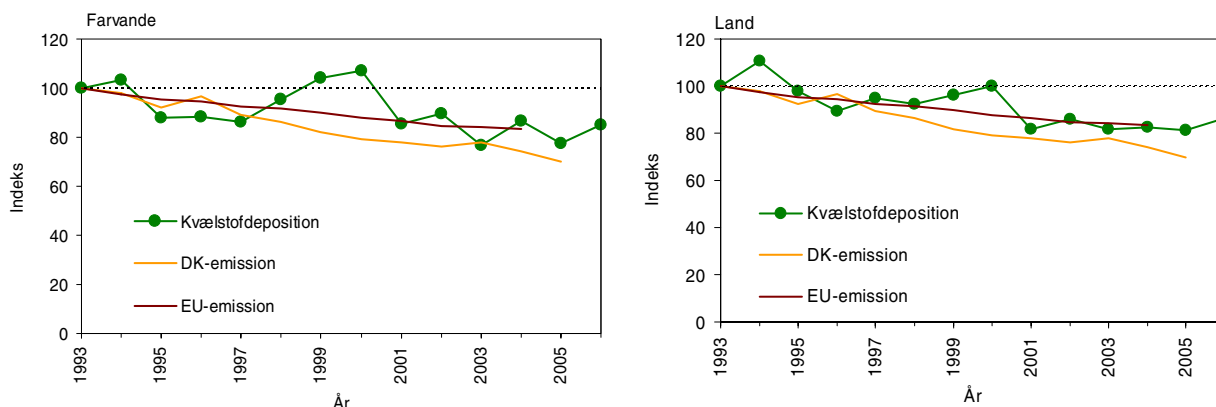
Den atmosfæriske kvælstofdeposition følger ændringerne i emissionerne af kvælstof i Danmark og de øvrige europæiske lande (figur 2.5) og det kan derfor konkluderes, at den observerede udvikling i kvælstofdepositionen er en konsekvens af reduktioner i emissionen af kvælstof. Da hovedparten af kvælstofdepositionen stammer fra udlandet er reduktionerne i de udenlandske kilder årsag til den største del af reduktionen. Faldet i emissionen fra de danske kilder bidrager dog også til faldet i kvælstofdepositionen. Navnlig for visse dele af Jylland, hvor omkring 40 % af kvælstofdepositionen stammer fra danske kilder.

I figur 2.5 skelnes mellem deposition til farvandene og landområderne, hvilket primært skyldes, at visse kvælstofkomponenter afsættes hurtigere til landområder (f.eks. på planter og jord) end til vandområder. Endvidere spiller emissionen af ammoniak fra landbruget en langt større rolle for depositionen til landområderne end til farvandsområderne. Årsag til dette er, at ammoniak omsættes og deponeres hurtigt, således at ammoniak primært påvirker landområderne, som generelt ligger tættere på kilderne end farvandene.

De meteorologiske forhold spiller også en betydelig rolle for udviklingen i kvælstofdepositionen. I figur 2.5 ses betydelige variationer i kvælstofdepositionen fra år til år. År til år variationerne skyldes primært variationer i de meteorologiske forhold. Navnlig for deposition til farvandene ses betydelige år til år variationer. Årsagen til dette er, at våddepositionen udgør 70-90% af den samlede deposition, og at der i år med meget

nedbør, som fx 1999 og 2000, ses relativt høj deposition sammenlignet med de øvrige år. Våddepositionen udgør kun 50% af den samlede deposition til landområderne, hvilket forklarer, at variationerne i nedbørsmængden ikke slår så kraftigt igennem på den samlede deposition til landområderne.

De viste udviklingstendenser er baseret på målinger af våddeposition og tørdeposition beregnet ud fra målingerne af koncentrationen af kvælstof-forbindelser i luften. Beregning af tørdeposition ud fra målte koncentrationer foretages med samme tørdepositionsmodul som anvendes i modelberegningerne.



**Figur 2.5** Udviklingstendenser for den samlede deposition og emission af kvælstof. Figuren til venstre viser tendenser for udviklingen i depositionen til de indre danske farvande, mens figuren til højre viser tendenser for udviklingen i depositionen til danske landområder. Alle værdier er indekseret til 100 i 1993. Udviklingstendenserne i deposition til landområder er beregnet som middelværdi af resultaterne fra DMU's hovedstationer. Beregningerne af deposition til farvandene er baseret på resultaterne fra hovedstationer ved Keldsnor og på Anholt, som begge er placeret ved kysten. Enkelte manglende delresultater er skønnet f.eks. på basis af sammenligning med andre målestationer. Emissionerne fra Danmark er fra DMU (*Illerup et al., 2007*) og fra de 27 EU-lande fra EMEP (*EMEP 2007*).

## 2.6 Ammoniak og naturmålestationerne

### Relevans

De naturlige/seminaturlige økosystemer er begrænset af de næringsstoffer, som jorden afgiver ved forvitring og mineralisering samt dem, der tilføres med atmosfæren. For en række stoffer, bl.a. kvælstof, er den atmosfæriske tilførsel af særlig betydning. Det er uønsket, at den atmosfæriske tilførsel af kvælstof overstiger de såkaldte tålegrænser, hvor økosystemet ikke længere kan bevare sin naturlige artssammensætning. For at få bedre information om afsætning af kvælstof til danske naturområder udføres derfor målinger af gasformigt ammoniak og partikulært ammonium på to naturstationer. Endvidere er der i forbindelse med de tværgående projekter i NOVANA i perioden april 2006 – april 2007 udvidet med målinger af ammoniak på nogle lokaliteter i det tidligere Ringkøbing Amt.

### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle. I forbindelse med Habitatdirektivet har Danmark forpligtet sig til at be-

skytte habitatområderne mod væsentlige forringelser og forstyrrelser. Dette omfatter også eventuelle forringelser som følge af kvælstofdeposition.

### Tilstand og årsag

I 2004 er der i regi af NOVANA-programmet startet målinger af kvælstofforbindelser med særligt henblik på terrestriske naturområder. I 2005 og 2006 er der målt på to "naturmålestationer", begge hedelokaliteter i Jylland: Idom Hede sydvest for Holstebro samt Hjelm Hede nordøst for Holstebro. Begge lokaliteter har været og er genstand for undersøgelser m.h.t. vegetation, jordbund og påvirkning af kvælstoftilførsel bl.a. i det terrestriske delprogram i NOVANA. På begge heder er der målt halvmånedsmiddelværdier af gasformig ammoniak og partikulært ammonium siden maj/juni 2004. P.g.a. apparatproblemer blev der skiftet målemetode på Idom Hede i juni 2006. Efterfølgende er den på Idom målt med en passiv diffusionsopsamler, der opsamler luftens ammoniak v.h.a. diffusion. Det betyder at luftens indhold af partikulært bundet ammonium ikke bestemmes. På Idom Hede er der ydermere gennemført målinger til bestemmelse af tørdepositionen af ammoniak (jvf. afsnit 2.7).

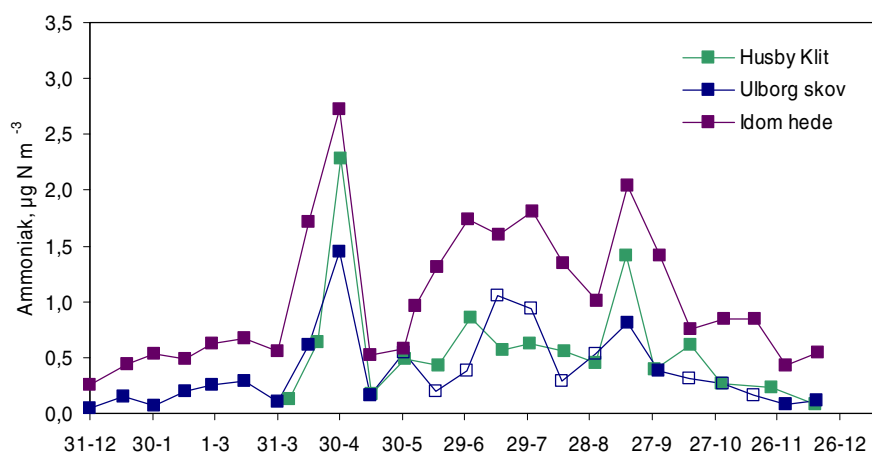
Som led i den generelle bestemmelse af kvælstofbelastningen er der yderligere etableret langtidsmålinger af koncentrationen af gasformig ammoniak og salpetersyre samt partikulært ammonium og nitrat på en del af de faste stationer. Langtidsmålingerne foretages med den såkaldte denudermetode, som specifikt separerer gas og partikelbundet kvælstof dvs. ammoniak og salpetersyre på gasform og partikelbundet ammonium og nitrat. De hidtidige målinger med filterpack-opsamlere giver knap så god adskillelse mellem gasser og partikler, som denudermetoden. Opsplitning mellem gas og partikelbundet kvælstof er vigtig, fordi gasserne og partiklerne har vidt forskellige fysiske og kemiske egenskaber og deponeres med forskellig hastighed. Dette har indflydelse på, hvor langt stofferne transporteres via atmosfæren. Ammoniak på gasform transporteres over korte afstande og stammer derfor hovedsageligt fra lokalt landbrug. Partikelbundet ammonium transporteres over store afstande og en stor del er derfor langtransporteret til Danmark fra udenlandske kilder.

Den varme sommer i 2006 har givet problemer med for høj temperatur i måleapparaterne og det har forårsaget, at den opsamlede ammoniak i visse perioder er fordampet fra opsamlere. Den fordampede ammoniak har sat sig på det efterfølgende filter, hvor ellers kun partikelfraktion skal opsamles. Det betyder, at en del data er estimeret ud fra den totale bestemmelse af ammoniak og ammonium, med støtte fra andre målinger. På Frederiksborg og Keldsnor gælder det juli måned, mens det på Hjelm Hede og i Ulborg Skov (over trækronehøjde) gælder perioden fra juni til midten af september (se bilag 1). Det har yderligere været nødvendigt at estimere koncentrationen af ammoniak i Ulborg i perioden 15. oktober til 30. november (se bilag 1).

I regi af NOVANA blev der fra april 2006 yderligere etableret nogle målestationer med passive diffusionsopsamlere til bestemmelse af langtidsmidler (½-1 måned) af ammoniakkoncentrationen. Der er målt ammoniakkoncentrationer på Ovstrup Hede sydøst for Holstebro, Lønborg hede sydøst for Ringkøbing Fjord og Husby Klit, der ligger ved Vestky-

sten, syd for Nissum Fjord. Alle steder indgår i NOVANAs terrestriske delfprogram.

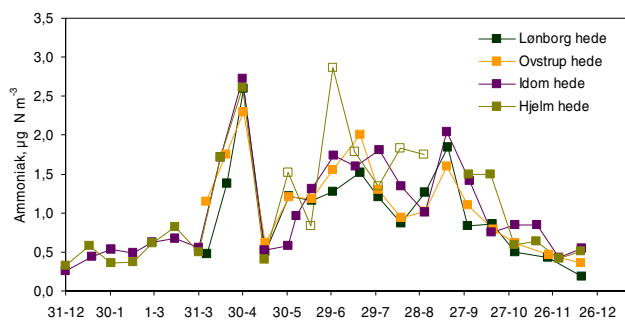
Figur 2.6 viser halvmånedsmiddelværdier af ammoniakkoncentrationen på Idom Hede og over skoven i Ulborg og i Husby Klit. Der ses et ensartet forløb med de højeste niveauer på Idom Hede, der ligger tættest ved lokale kilder. Koncentrationerne toppe i foråret i forbindelse med sæsonen for udbringning af gødning på markerne. Niveaue for forårsmaksimum er meget lig niveaue i 2005. Første halvdel af maj 2006, hvor forårsmaksimum forekommer, er samtidig præget af øget hyppighed af vind fra øst og sydøst. Dette gør, at også koncentrationen i Husby Klit øges markant. I skoven i Ulborg er der langt til kilder i oplandet fra øst til sydlig retning og det er formentlig forklaringen på, at koncentrationen i Ulborg i denne periode ikke når niveaue i Husby og Idom. Det samme mønster ses i sidste halvdel af september, hvor vindretningen noget af tiden har været sydøstlig. I september var der en varm periode fra d. 10. til d. 25. og de høje koncentrationer er formentlig en kombination af landbrugsaktiviteter og varme vejrforhold, idet øget temperatur alt andet lige øger emissionen. Koncentrationerne er lavest i vintermånederne.



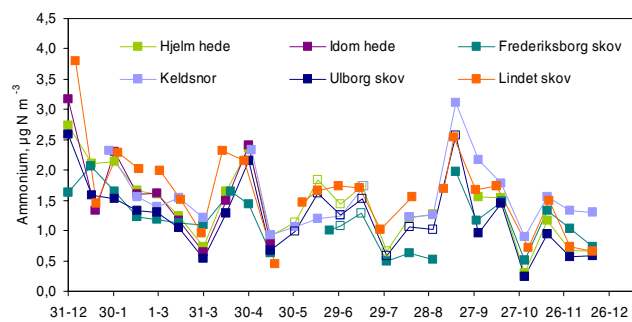
**Figur 2.6** Ammoniakkoncentrationer målt i Husby Klit, over skov i Ulborg og på Idom Hede i 2006. Målingerne er halvmånedsmiddelværdier (markeret med start for opsamlingsperiode). Åbne symboler på Ulborg betyder estimerede værdier (jf. tekst).

Figur 2.7 viser halvmånedsmiddelværdier af koncentrationen af ammoniak på Lønborg Hede, Lønborg Hede, Ovstrup Hede, Idom Hede og Hjelm Hede. Der ses et meget ensartet forløb hen over året og niveaue for koncentrationerne ligger forholdsvis ens.

Generelt viser målingerne fra dele af det faste stationsnet, at de laveste koncentrationsniveauer af ammoniak måles på Frederiksborg i Nordsjælland, mens de højeste koncentrationer måles på Lindet i Sønderjylland. Hjelm Hede, Idom Hede og Keldsnor ligger nogenlunde på niveau og over koncentrationsniveauerne målt i Ulborg. Middelværdier m.v. er angivet i bilag 1. Niveauerne på årsbasis ligger på niveau med målingerne fra 2005. Forskellene i koncentrationsniveauer afspejler i et vist omfang områdernes emissionsdensitet. Alle stationer udviser forårsmaksimum og der ses forhøjede værdier igen i september. Det forholdsvis ens mønster stationerne imellem må skyldes en vis ensartethed i landbrugsaktiviteter kombineret med vejrforhold, der påvirker mere generelt.



**Figur 2.7** Koncentrationer af ammoniak målt på Lønborg Hede, Ovstrup Hede, Idom Hede og Hjelm Hede i 2006. Målingerne er halvmånedsmiddelværdier (markeret med start for opsamlingsperiode). Åbne symboler på Hjelm Hede er estimerede værdier (jf. tekst)



**Figur 2.8** Koncentrationer af partikulært ammonium målt på Hjelm Hede, Idom Hede, Frederiksborg Skov, Keldsnor, Ulborg Skov og Lindet Skov i 2006. Målingerne er halvmånedsmiddelværdier, dog er Lindet midlet fra ugemiddelværdier (markeret med start for opsamlingsperiode). Åbne symboler er estimerede værdier (jf. tekst).

Figur 2.8 viser halvmånedsmiddelværdier af koncentrationen af partikelbundet ammonium på en række stationer (Idom Hede, Hjelm Hede, Frederiksborg Skov, Lindet Skov, Ulborg Skov og Keldsnor). Der ses et meget ensartet forløb hen over året, med en sæsonvariation lig den for ammoniak, dog ikke med lave vinterværdier. Niveauet for koncentrationerne ligger forholdsvis ens, dog ses en regional forskel, idet Lindet i Sønderjylland har de højeste koncentrationer og Frederiksborg i Nordsjælland de laveste. Den lille geografiske variation og måling af de højeste ammoniumkoncentrationer i Sønderjylland og til dels også på Keldsnor på Langeland, hænger sammen med, at en stor andel af det partikulært bundne ammonium langtransporteres til Danmark fra områder med høj ammoniakemission syd for Danmark.

## 2.7 Kampagnemålinger af ammoniak på Idom Hede

### Relevans

De naturlige/seminaturlige økosystemer er begrænset af de næringsstoffer, som jorden afgiver ved forvitring og mineralisering samt dem, der tilføres med atmosfæren. For en række stoffer, bl.a. kvælstof, er den atmosfæriske tilførsel af særlig betydning. Det er uønsket, at den atmosfæriske tilførsel af kvælstof overstiger de såkaldte tålegrænser, hvor økosystemet ikke længere kan bevare sin naturlige artssammensætning. For at få bedre information om afsætning af kvælstof til danske naturområder udføres derfor kampagnemålinger af fluksen af ammoniak på Idom Hede, som er den ene af de to naturmålestationer. Fluksen er et mål for tørdepositionen og angives med fortegn. Negativ fluks angiver deposition mens positiv fluks angiver emission.

### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle. I forbindelse med Habitatdirektivet har Danmark forpligtet sig til at beskytte habitatområderne mod væsentlige forringelser og forstyrrelser. Dette omfatter også eventuelle forringelser som følge af kvælstofdeposition.

## Tilstand og årsag

For at opnå større forståelse af de processer, der styrer depositionen af gasformig ammoniak, er der gennemført målinger af fluksen af ammoniak på Idom Hede. Der blev målt første gang i september 2004, dernæst maj 2005 og i 2006 er der målt i marts og september/oktober. Der er også målt i april 2007 og i næste års rapportering vil resultaterne blive præsenteret samlet. Resultaterne fra 2004 og 2005 er beskrevet i sidste års rapport og her er også en nærmere beskrivelse af de anvendte metoder.

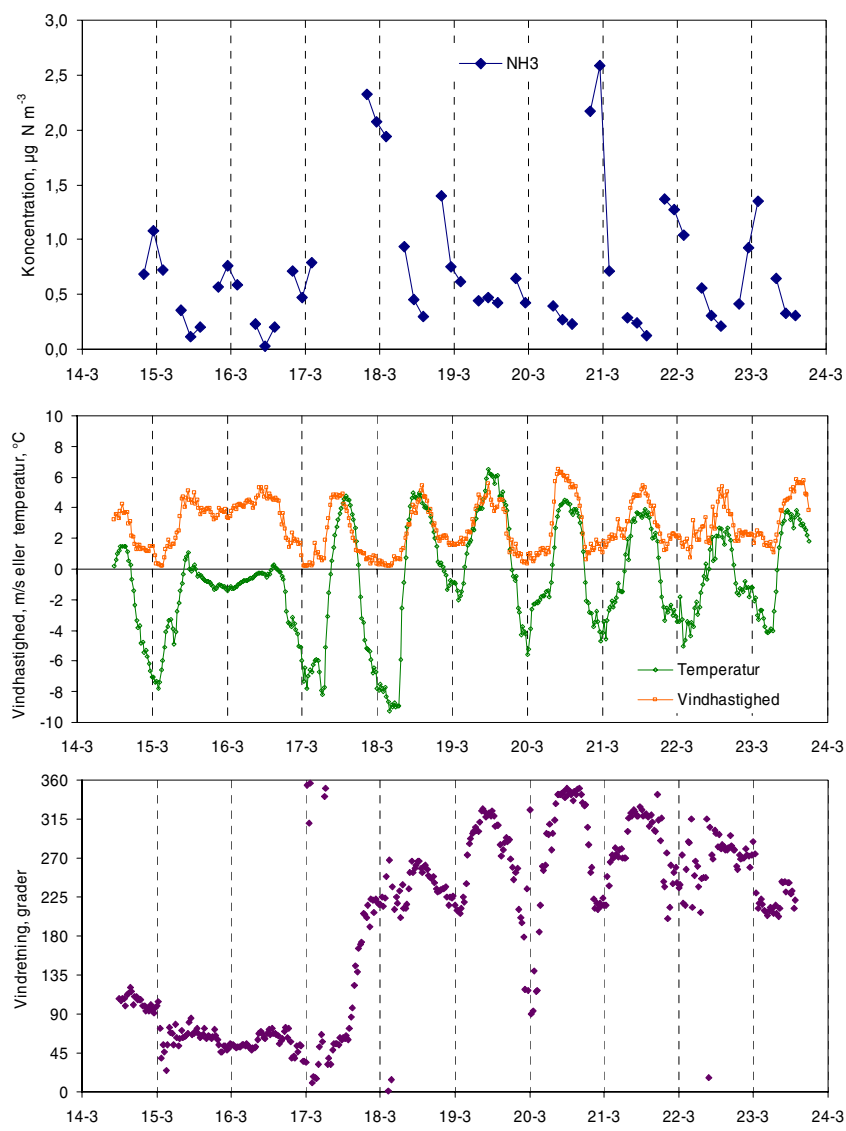
Fluksen af ammoniak estimeres ud fra målinger af den vertikale profil af ammoniakkoncentrationen. Når stof optages eller afgives fra overfladen opstår der en vertikal koncentrationsgradient over overfladen. Gradientens størrelse, kombineret med de meteorologiske forhold, giver et estimat for, hvor meget stof, der er afsat eller frigivet, og dermed fluxen af stoffet. Metoden forudsætter, at meteorologien skal være rimelig ensartet i den givne måleperiode. I tiden omkring solopgang og solnedgang sker der store skift i de meteorologiske forhold og derfor har det været valgt ikke at måle fluxe af ammoniak i disse perioder. P.g.a. arbejdsbyrden med ammoniakmålingerne blev det valgt at måle i perioder af tre timers varighed, hvilket er den maksimale tid, der med rimelighed kan midles over meteorologisk. Der måles en koncentrationsprofil ved at måle i højderne 1, 2, 3 og 6 m. Ofte er koncentrationsforskellene meget små og derfor kræves en høj målepræcision, hvilket opnås ved at måle en tripelbestemmelse af koncentrationen i hver højde.

### Marts 2006

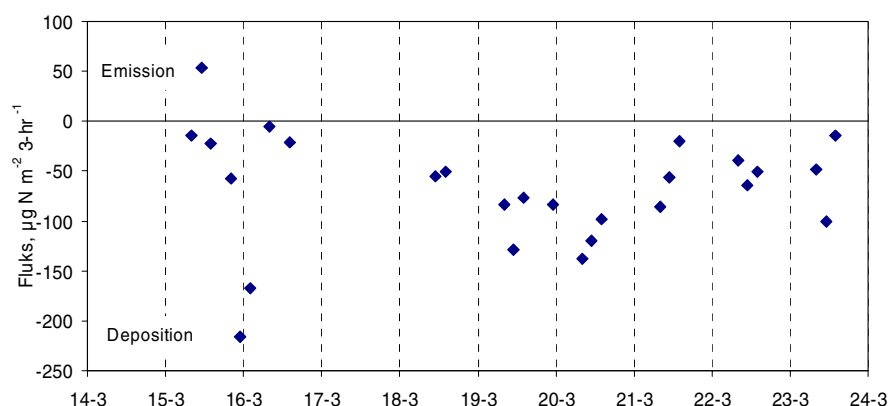
På figur 2.9 (midt og nederst) ses halvtimesmiddelværdier for temperatur og vindhastighed samt vindretning i målekampagnen fra d. 14. til d. 23. marts. I løbet af målekampagnen blev der målt temperaturer fra -9 til +6 °C, med et middel på 0,8 °C. Det var plusgrader om dagen og frost om natten, dog var temperaturen kun en kort periode over frysepunktet d. 15. og 16. marts. Vindhastigheden varierede fra næsten vindstille til 6 m s<sup>-1</sup>. Med undtagelse af natten d. 15.-16. marts var der et tydeligt døgnmønster med lave vindhastigheder om natten og op til 4-6 m s<sup>-1</sup> om dagen. Vindhastigheden var de fleste nætter så lav, at fluksmetodens forudsætninger ikke overholdes og fluksene kan derfor ikke estimeres. Ud af de i alt 50 måleperioder falder 22 for dette kriterie. Vinden kom fra øst og nordøst de første tre dage (figur 2.8). Derefter drejede den over nord mod sydvest og fik en døgnvariation, hvor den svingede fra sydvest-syd om natten til nordvest om dagen. Der blev observeret få, lette snebyger d. 19., 20. og d. 22. marts. Der var sparsomt sne på overfladen, men meget rimfrost om natten. Der var en del solskin i løbet af perioden.

Figur 2.9 (øverst) viser koncentrationen af ammoniak, målt som tre-timersmiddel i 3 m's højde i løbet af martskampagnen. Det ses, at koncentrationen af ammoniak i luften i 3m's højde varierede fra 0,03-2,6 µg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-3</sup>, med et gennemsnit på 0,73 µg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-3</sup>. Der ses typisk højere koncentrationer om natten end om dagen. De høje koncentrationer betyder ikke en stor afsætning af ammoniak til heden om natten, idet kombinationen med de meget lave vindhastigheder gør, at transporten af ammoniak til overfladen også foregår meget langsomt. Der er ikke målinger fra d. 17. marts om dagen p.g.a. instrumentproblemer.

Figur 2.10 viser fluksene, der er estimeret på baggrund af målte koncentrationsprofiler og meteorologiske parametre i perioden i marts 2006. Hovedparten af nætterne var præget af meget lave vindhastigheder, så det har stort set kun været muligt at estimere fluksen af ammoniak i dagtimerne. Fluksene er angivet som mængde pr.  $\text{m}^2$  i måleperiodens varighed, der er tre timer. Der ses depositionsfluks fra -5 til  $-216 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ 3-hr}^{-1}$  (negativ fluks indikerer deposition) og en enkelt måleperiode (d. 15. kl. 11-14; dansk normaltid) måles emission ( $53 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ 3-hr}^{-1}$ ). Fluksenes størrelse varierer med en emission/afsætning, der svarer til  $+1,6$  til  $-6,3 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Gennemsnittet af fluksmålingerne svarer til en årsdeposition på  $2,0 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , men fluksene er ikke repræsentative for et år og må derfor tages med forbehold.



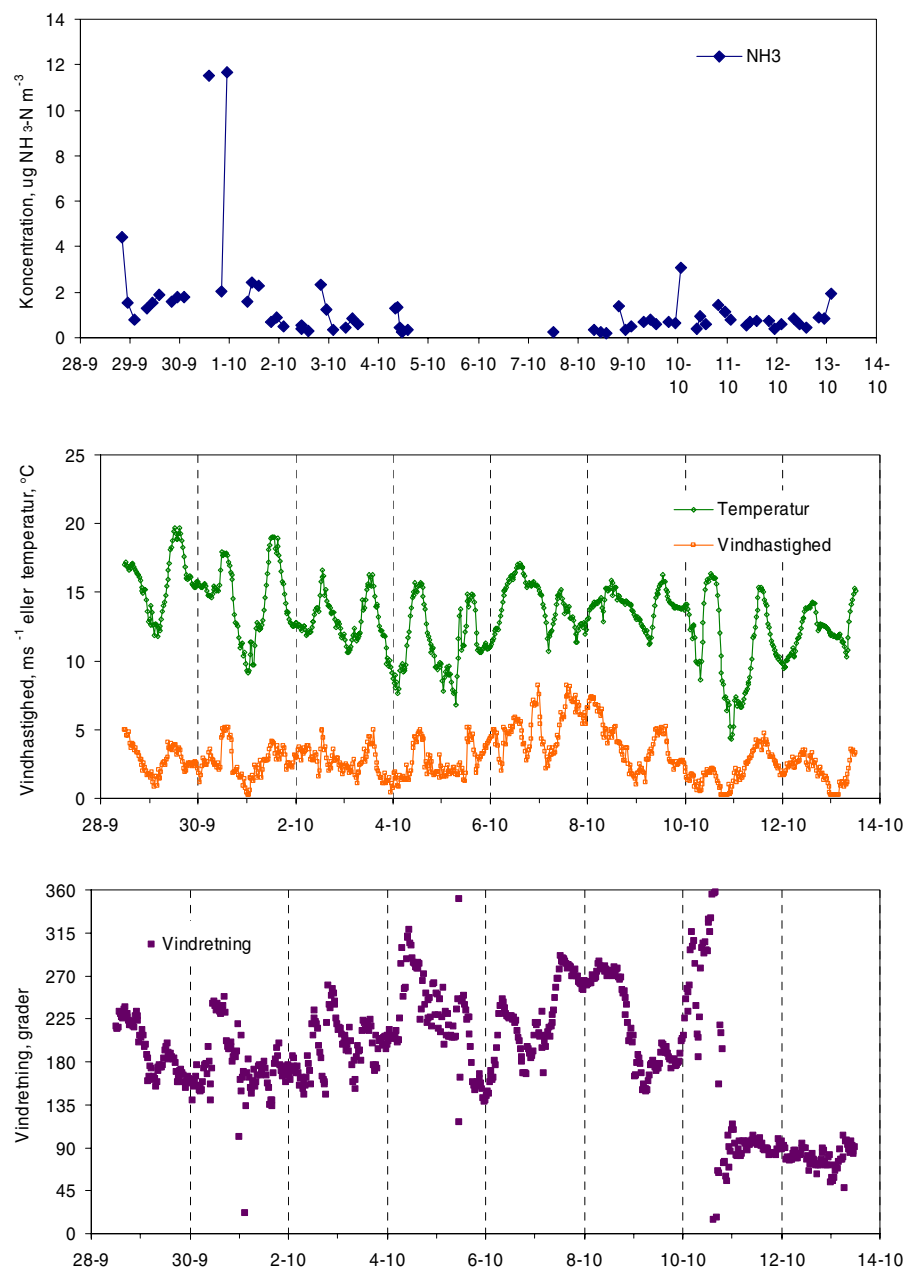
**Figur 2.9** Koncentration af ammoniak i 3 m's højde, målt som tre-timersmiddelværdier på Idom Hede i målekampagne i marts 2006. I midten ses vindhastighed og temperatur og nederst angives vindretning.



**Figur 2.10** Beregnet fluks af ammoniak for målekampagnen i marts 2006. Fluksen angives som den samlede fluks i opsamlingsperioder af tre timers varighed.

### September/oktober 2006

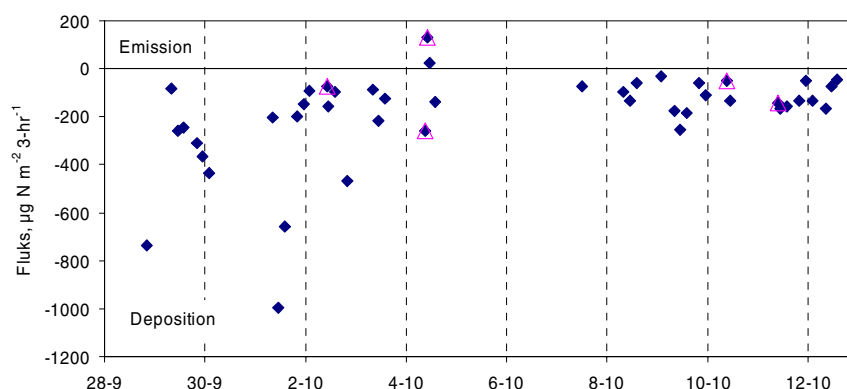
Målekampagnen i september/oktober 2006 strækker sig fra d. 28. september til d. 13. oktober, med et ophold d. 4.-7. oktober i ammoniakmålingerne, et pumpenedbrud d. 7. og start igen d. 8. Figur 2.11 viser halvtimesmiddelværdier for temperatur og vindhastighed samt vindretning gennem perioden. Der er målt temperaturer fra 4-20 °C, med et svagt faldende dagmaksimum gennem perioden. Vindhastigheden gennem perioden svinger fra nærmest vindstille op til 8 m s<sup>-1</sup>. Med undtagelse af d. 7.-8. topper vindhastigheden midt på dagen. Der er målt i alt 63 perioder og i de 15, som alle er nattemålinger, er vindhastigheden for lav til, at fluksmetodens forudsætninger holder. Fra starten af målekampagnen og frem til d. 4. oktober svinger vindretningen mellem sydvest, syd og sydøst (figur 2.11). D. 4. drejer vinden mod nordvest og d. 5 tilbage mod sydvest. Der er pause i målingerne fra d. 4.-7. D. 7. oktober går vinden i vest indtil aftenen/natten d. 8.-9., hvorefter vinden d. 9. er i syd. D. 10. går den over nord til øst, hvor den står de sidste dage. I modsætning til de andre gennemførte målekampagner, var denne præget af mange små byger. D. 30. september om formiddagen var der et kraftigt tordenvejr, der bl.a. gjorde at prøverne først kunne skiftes senere på dagen. Prøveskiftet forsinkedes også af tordenvejr d. 2. oktober. Der var dug hver nat. Der var mest sol i første halvdel af kampagnen.



**Figur 2.11** Koncentration af ammoniak i 3 m's højde, målt som tre-timersmiddelværdier på Idom Hede i målekampagne i september/oktober 2006. I midten ses vindhastighed og temperatur og nederst angives vindretning

Figur 2.11 (øverst) viser de målte koncentrationer af ammoniak som tre-timersmiddel, målt i 3 m's højde. I seks perioder (2.10. kl. 10:30-11, 4.10. kl. 8-9, 9-10 og 10-11 samt d. 10. og d. 11. kl. 9:30-12) blev der målt i kortere tid end de tre timer. Der er målt en koncentrationsgradient ved at måle i højderne 1, 2, 3 og 6 m, med tre målere i hver højde. Der er ikke målt i perioderne omkring solopgang (kl. 5-8) og solnedgang (kl. 17-20). Der er ikke målt natten mellem d. 3. og 4., da vejrudsigten forudsagde svag vind og det derfor blev valgt i stedet at eksponere prøverne på tidspunkter, hvor de meteorologiske forudsætningerne for fluksmålingerne kunne forventes opfyldt. Koncentrationen af ammoniak i målekampagnen lå i intervallet 0,17-11,7  $\mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ , med et gennemsnit på 1,4  $\mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ . D. 30. september blev der kørt gylle ud på en mark, der støder op til heden, 1 km sydvest for målingerne. Gylle blev udbragt fra omkring kl. 12-14, efter der om formiddagen havde været et vold-

somt tordenvejr. P.g.a. tordenvejret startede målingerne først om kl. 14 og fra kl. 14-17 måles en koncentration på  $11,5 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ . I perioden lå vindretningen omkring 230-240 grader, d.v.s. den luft, der blev målt på heden havde passeret marken med gylle og forårsaget de høje koncentrationer. Vinden løjede af efter kl. 17 og vindretningen drejede mod syd, hvilket betød, at det ikke længere blæste direkte fra kilden. Den efterfølgende periode var der pause i koncentrationsmålingerne p.g.a. solnedgang og målingen fra kl. 20-23 viser et fald i koncentrationen til  $2,0 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ . I perioden kl. 23-02 viste koncentrationsmålingen igen høj værdi ( $11,7 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ ), hvilket nok er en kombination af, at vindretningen svingede lidt og dermed ramte kildeområdet noget af tiden, samtidig med, at vindhastigheden var meget lav, d.v.s. den atmosfæriske fortynding væk fra kildeområdet var begrænset og den høje koncentration ses derfor langt ind over heden. D. 1. oktober var vindretningen sydlig og dermed blev målingerne ikke påvirket af gylleudbringningen dagen før. I perioden omkring solnedgang drejede vinden og strejfede retningen fra marken, men i denne periode måles ikke ammoniakkoncentrationer. Vindretningen går tilbage i syd og sydøst og kommer først med retning fra marken igen om eftermiddagen d. 2. oktober. På dette tidspunkt viste koncentrationsmålingerne ikke specielt forhøjet niveau, så emissionen fra gyllen var formentlig stoppet. Bortset fra perioden efter gylleudbringningen, ses de højeste koncentrationer generelt om natten. Der blev ikke målt natten mellem d. 3. og 4., men den forhøjede koncentration d. 4. om morgenen var formentlig opbygget om natten og denne morgen gik der særlig lang tid, før vinden tog til i styrke.



**Figur 2.12** Beregnet fluks af ammoniak for målekampagnen i september/oktober 2006. Fluksen angives som den samlede fluks i opsamlingsperioder af tre timers varighed. Fluks på  $-2795 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} 3\text{-hr}^{-1}$  d. 30-9-2006 kl. 14-17 er udeladt. Målinger markeret med trekant er omregnet til 3-timers periode, men målt som  $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$  time-middel.

Figur 2.12 viser fluksene, der er estimeret på baggrund af de målte koncentrationsprofiler og meteorologiske parametre i perioden i september/oktober 2006. Fluksene er angivet som mængde pr.  $\text{m}^2$  i en måleperiode på tre timer. På figuren er der p.g.a. udbringning af gylle på en nærliggende mark udeladt et enkelt resultat for d. 30. september kl. 14-17 med en fluks på  $-2795 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} 3\text{-hr}^{-1}$  (negativ værdi indikerer deposition). Hovedparten af målingerne er gennemført som tre-timersmidlinger, men nogle af målingerne havde midlingstider fra  $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$  time (jf. ovenstående om ammoniakmålingerne). Disse måleperioder er markeret på figuren og resultatet angivet svarende til en tre-timers periode. De estimerede flukse ligger fra  $+130$  til  $-2795 \mu\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} 3\text{-hr}^{-1}$  (positive værdier betyder emission). Fluksintervallet svarer i størrelse til en variation fra emission på  $3,9 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  til en deposition på  $81,6$

kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Den meget høje depositionsfluks hidrører fra perioden, hvor der lige er udbragt gylle på en mark 1 km sydvest for heden. Der er observeret en del flukse under -200 µg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> 3-hr<sup>-1</sup> i første periode af målekampagnen, mens der i anden halvdel hovedsageligt måles flukse mindre end -200 µg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> 3-hr<sup>-1</sup>. Der er observeret to måleperioder, hvor gradienterne af koncentrationen viste emission af ammoniak fra heden. Gennemsnittet af fluksmålingerne svarer til en årsdeposition på 7,2 kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>, men fluksene er ikke repræsentative for et år og må derfor tages med forbehold.

De estimerede flukse i september/oktober 2006 viser større deposition end fluksene i de andre målekampagner. Det er specielt i målekampagnens første halvdel, hvor der observeres flere perioder med flukse under -200 µg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> 3-hr<sup>-1</sup> end i resten af målekampagnen og i målekampagnerne september 2004 og maj 2005. Dette hænger bl.a. sammen med lidt højere ammoniakkoncentrationer og måske også de meget våde forhold, der var i september/oktober 2006. I både september 2004 og maj 2005 blev der observeret flere perioder med emission end der har vist sig i marts og september/oktober 2006.

## **2.8 Kvælstofdeposition til naturområder – modelberegninger på lokal skala**

### **Relevans**

Deposition af kvælstof fra atmosfæren til de danske landområder varierer mellem de forskellige landsdele, men der er også en betydelig variation på lokal skala, som følge af forskelle i den lokale landbrugsproduktion og landoverfladens karakter (ruhed). Ved vurdering af de skadelige effekter af kvælstofdeposition til danske naturområder er det vigtigt at have kendskab til denne variation. Derfor er der udført beregninger af kvælstofdepositionen med stor geografisk opløsning til udvalgte naturområder.

### **Målsætning**

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder kvælstof, end den kan tåle. I forbindelse med Habitatdirektivet har Danmark forpligtet sig til at beskytte habitatområderne mod væsentlige forringelser og forstyrrelser. Dette omfatter også eventuelle forringelser som følge af kvælstofdeposition.

### **Tilstand og årsag**

For år 2006 er der udført beregninger af tørdeposition af kvælstof i form af ammoniak til 26 udvalgte naturområder. DMUs målestationer indgår som en del af disse lokaliteter. Herved kan målinger af ammoniak anvendes til kvalitetssikring af resultaterne fra modelberegningerne. De resterende naturområder er valgt blandt de intensive målestationer i den terrestriske del af NOVANA.

Beregningerne er udført ved brug af modelsystemet DAMOS (Danish Ammonia Modelling System), som bygger på en kobling mellem regionalskalamodellen DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model) og lokalskalamodellen OML-DEP (Operationel meteorologisk luftkvalitets-

model til ammoniak deposition). Begge modeller er udviklet ved DMU (Olesen et al. 1992; Christensen, 1997; Frohn et al., 2003). En detaljeret beskrivelse af DAMOS kan findes i Fokuspunkt om lokal-skala beregninger i NOVANA (Ellermann et al. 2006).

For hver naturlokalitet er der udført beregninger med OML-DEP for et beregningsområde på 16 km x 16 km med naturlokaliteten placeret centralt i området. For at kunne lave beregninger med stor geografisk opløsning er området opløst i felter á 400 m x 400 m. DEHM beregner koncentration af ammoniak fra kilder udenfor OML-DEPs beregningsområde og denne baggrundskoncentration indlæses løbende i OML-DEP modellen. OML-DEP beregner koncentration af ammoniak pga. emission fra de lokale landbrug indenfor beregningsområdet, samt den efterfølgende tørdeposition af ammoniak fra kilderne både i og udenfor beregningsområdet. Deposition af de langtransporterede kvælstofkomponenter beregnes med DEHM. Dette drejer sig om tørdeposition af kvælstof og partikelbundet kvælstof samt våddeposition af kvælstof.

**Tabel 2.3** Årlig kvælstofdeposition (kg N/ha) til udvalgte danske lokaliteter og naturtyper beregnet for 2006 med DAMOS systemet. Værdierne angiver den gennemsnitlige depositionen til det 400 m x 400 m felt, der ligger centralt i naturområdet og angiver derfor deposition til naturtypen, som dækker dette felt. Tabellen angiver tørdepositionen af ammoniak beregnet med lokal-skala modellen OML-DEP, samt den øvrige tør- og våddeposition af kvælstof beregnet med regional-skala modellen DEHM.

| Lokalitet                 | Naturtype           | NH <sub>3</sub> -N tør-deposition | Øvrige tør-deposition | Våd-deposition | Total deposition |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|------------------|
| Anholt                    | Græs                | 1                                 | 6                     | 7              | 14               |
| Frederiksborg             | Nåleskov            | 2                                 | 12                    | 6              | 20               |
| Keldsnor                  | Landbrug            | 3                                 | 6                     | 5              | 14               |
| Lindet                    | Nåleskov            | 7                                 | 13                    | 11             | 31               |
| Tange                     | Løvskov             | 5                                 | 9                     | 8              | 22               |
| Ulborg                    | Nåleskov            | 4                                 | 11                    | 9              | 24               |
| Idom Hede                 | Hede (4030)         | 2                                 | 3                     | 8              | 13               |
| Hjelm Hede                | Hede (4030)         | 3                                 | 3                     | 8              | 14               |
| Diesebjerg                | Overdrev (6230)     | 2                                 | 5                     | 7              | 14               |
| Ovstrup Hede              | Hede (4030)         | 3                                 | 3                     | 9              | 15               |
| Husby Klit                | Kystklit (2130)     | 1                                 | 4                     | 9              | 14               |
| Lønborg Hede              | Hede (4010, 4030)   | 3                                 | 3                     | 9              | 15               |
| Bisgyde                   | Overdrev (6230)     | 2                                 | 4                     | 8              | 14               |
| Ulvsholm                  | Rigkær (7220, 7230) | 3                                 | 3                     | 8              | 14               |
| Hammer Bakker             | Hede (4030)         | 2                                 | 3                     | 8              | 13               |
| Holmkær                   | Engområder          | 2                                 | 3                     | 7              | 12               |
| Ulvshale                  | Kystklit (2250)     | 2                                 | 4                     | 8              | 14               |
| Storelung                 | Højmose (7110)      | 4                                 | 3                     | 9              | 16               |
| Nybo Mose                 | Højmose (7110)      | 2                                 | 4                     | 9              | 15               |
| Helm Polde                | Hede (4010, 4030)   | 3                                 | 4                     | 11             | 18               |
| Randboel Hede             | Hede (4030)         | 2                                 | 3                     | 11             | 16               |
| Raghammer                 | Hede                | 2                                 | 5                     | 8              | 15               |
| Kaas Skov                 | Løvskov (9190)      | 5                                 | 11                    | 8              | 24               |
| Bøgeskov v. Sorø          | Løvskov (9130)      | 4                                 | 11                    | 7              | 22               |
| Bøgeskov v. Maribo-søerne | Løvskov (9130)      | 5                                 | 14                    | 8              | 27               |

Beregningerne er foretaget med meteorologiske data for 2006 udtrukket fra den meteorologiske model MM5v3 (Grell et al. 1995). Emissionsdata på lokal-skala er for år 2005 og baseret på bearbejdning af udtræk fra det Centrale Husdyr Register (CHR), det Generelle LandbrugsRegister (GLR), landmændenes gødningsregnskaber indrapporteret til Plantedirektoratet samt markblokkort (Gyldenkerne, et al. 2005). Den geografiske fordeling af emissionen er derfor meget detaljeret og er blandt andet fordelt på de enkelte stalde/gylletanke (punktkilder) og tilhørende udbringningsarealer (arealkilder). Overfladens vegetation/beskaffenhed (land use), som har stor betydning for størrelsen af kvælstofdepositionen i beregningsområdet, er baseret på AIS-data (Areal Informations Systemet).

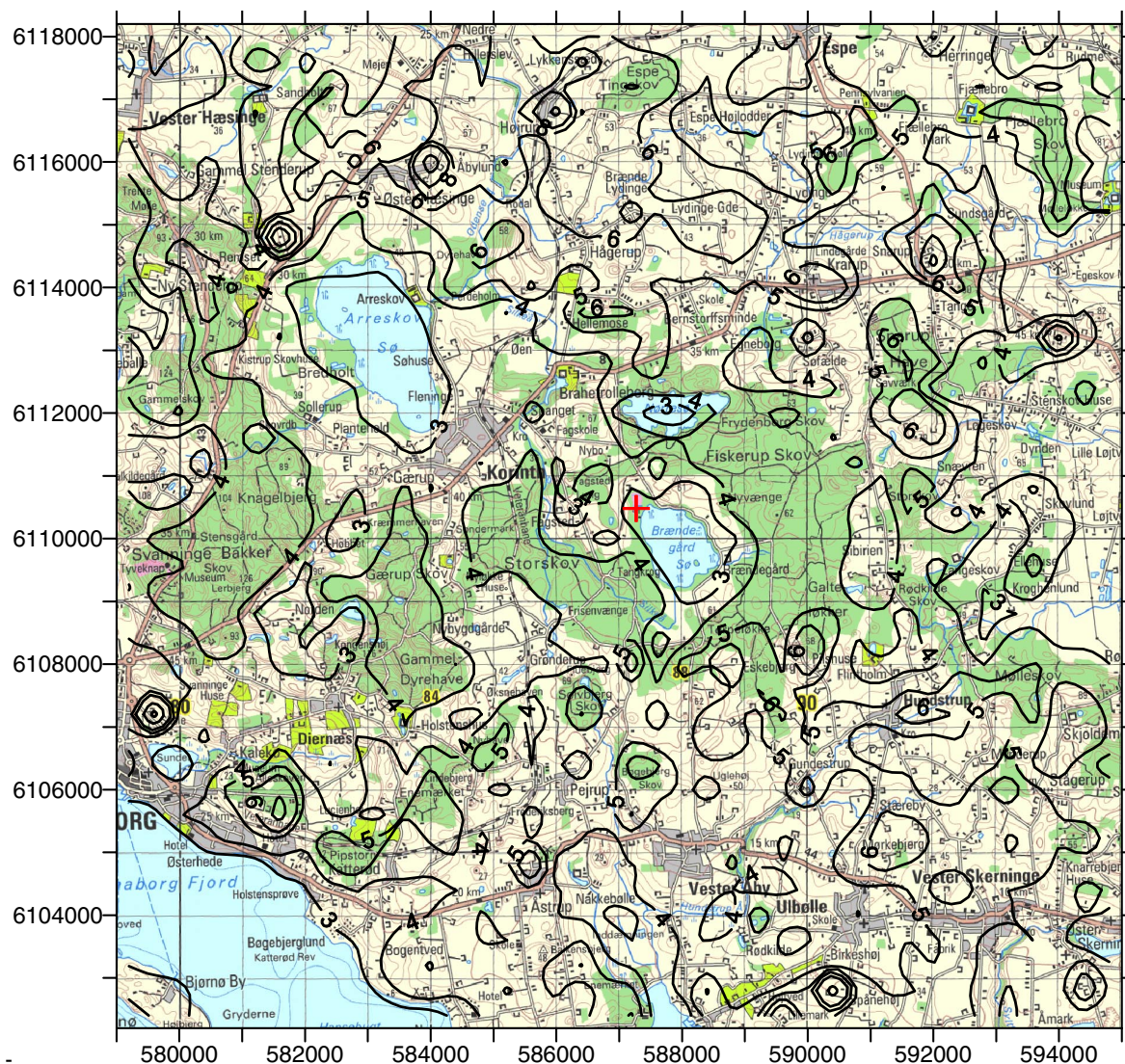
Den beregnede deposition af kvælstof til de udvalgte naturområder ses i tabel 2.3 sammen med naturtypen. Udover den samlede kvælstofdeposition angives også tørdeposition af ammoniak, som hovedsageligt kommer fra de lokale landbrug samt den øvrige tør- og våddeposition af kvælstof. Det deponerede kvælstof fra ammoniak varierer mellem ca. 1 og 7 kg N/ha i 2006. Variationen skyldes først og fremmest forskelle i emissionen af ammoniak fra de lokale landbrug, afstanden til disse samt forskelle i naturtypens ruhed. Høj ruhed giver alt andet lige en høj afsætning af kvælstof.

Den samlede kvælstofafsætning til naturområderne varierer mellem 12 og 27 kg N/ha. Tallene i tabel 2.3 angiver depositionen beregnet til selve naturtypen, hvilket fx giver den høje deposition til naturområder med skov, som har den højeste overfladeruhed.

Et eksempel på hvordan den lokale deposition varierer geografisk ses i figur 2.13. Her er den beregnede fordeling i området omkring Nybo Mose på Sydfyn angivet for 2006. Den laveste årlige deposition af ammoniak på ca. 2 kg N/ha ses nær og på søerne i området og over Fåborg Fjord. Ved Nybo Mose er den årlige deposition mellem 2 kg N/ha og 3 kg N/ha. Der ses mange lokale maksima i området, som er beliggende ved punktkilderne. De største depositioner direkte ved punktkilderne er op til ca. 20 kg N/ha. Størrelsen af disse maksima kan dog kun i nogen grad sammenlignes, da niveauet er meget afhængigt af kildens afstand til modellens beregningspunkter, som ligger i et gitter med 400 meters afstand mellem gitterpunkterne. I større afstand fra kilderne ses depositionen som forventet at følge overflades ruheden med størst deposition i områderne med skov og lavest til søerne. Tilsvarende kort for de øvrige lokaliteter angivet i tabellen kan findes på DMUs hjemmeside (se links).

OML-DEP undergår stadig forbedring og validering blandt andet i forbindelse med forskningsprojekter under VMP III, hvor der er udført feltmålinger omkring en husdyrproduktion. En del af disse resultater er beskrevet i *Løfstrøm og Andersen (2007)*.

Baseret på de hidtidige erfaringer skønnes usikkerheden at ligge indenfor  $\pm 50$  %. Usikkerheden på de højeste depositioner i umiddelbar nærhed af kilderne kan dog være højere, idet modellens algoritmer ikke er valideret for så store depositionsverdier.



**Figur 2.13** Den beregnede geografiske variation i 2006 af tørdeponeret ammoniak i et 16 km x 16 km område ved Nybo Mose på Sydfyn nordøst for Fåborg. De viste niveaukurver er på 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30 og 50 kg N/ha/år. Disse er angivet på basis af beregning af depositionen til et net af felter på 400 m x 400 m. Det røde kryds midt i kortet angiver punktet, hvor depositionen til Nybo Mose i tabel 2.3 er beregnet. Værdierne på akserne angiver placering af området i UTM 32 nettet (m Øst og m Nord). Den samlede deposition til et punkt i området fås ved at addere den øvrige tørdeposition og våddepositionen til værdierne i figuren (her 13 kg N/ha/år).

### Links

Kort over beregnet kvælstofdeposition til udvalgte naturområder:  
<http://www.dmu.dk/Luft/Luftforurenings-modeller/Deposition/DepositionUdvalgt.htm>

Information om naturområder i den terrestriske del af NOVANA kan fås på:  
<http://www.dmu.dk/Overvaagning/Fagdatacentre/Biodiversitet+og+terrestrisk+natur/Downloads/>

Information om DMUs luftmålestationer kan fås på:  
[http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_miljoe-tilstand/3\\_luft/4\\_maalinge/5\\_maaleprogrammer/oversigtskort.asp](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_maalinge/5_maaleprogrammer/oversigtskort.asp)

Information om AIS-data kan findes på:  
[http://www.dmu.dk/Udgivelser/Kort\\_og\\_Geodata/AIS/](http://www.dmu.dk/Udgivelser/Kort_og_Geodata/AIS/)

## 3 Fosfor

### 3.1 Fosfordeposition i 2006

#### Relevans

Fosfor fra atmosfæren deponeres til de danske farvande og landområder og bidrager dermed til den samlede næringsstofbelastning af disse områder. Det er derfor et af formålene for luftdelen af NOVANA at bestemme den årlige deposition af fosfor til vandmiljøet og landområderne.

#### Målsætning

Der er ikke opstillet specifikke målsætninger for reduktion af fosfordepositionen.

#### Tilstand, udviklingstendens og årsag

Atmosfærisk fosfor er hovedsageligt bundet til partikler og transporteres i luften med disse. Fosfor findes i form af opløselige fosfatsalte, bundet til metaller eller bundet i biologisk materiale som f.eks. pollen.

Emission af fosfor stammer fra både menneskeskabte og naturlige kilder. De menneskeskabte kilder er primært emission af partikulært fosfor fra forbrænding af kul og halm, herunder markafbrænding. Derimod er emissionen af fosfor fra forbrænding af olie og gas lille. De naturlige kilder er primært ophvirvlet jordstøv og biologisk materiale som f.eks. luftbårne alger, pollen, svampesporer og mikroskopiske bladfragmenter.

Den samlede deposition af fosfor består af summen af tørdeposition af partikelbundet fosfor og våddeposition af fosfor i regndråber, sne m.m. I 2006 er den samlede deposition af fosfor til de indre danske farvande og landområder vurderet til ca. 0,04 kgP/ha. Depositionen til de indre danske farvande (areal 31.500 km<sup>2</sup>) i 2006 kan herudfra estimeres til ca. 130 tons P. Tilsvarende kan depositionen til de danske landområder (areal 43.000 km<sup>2</sup>) estimeres til ca. 170 tons P.

Depositionen af fosfor er uændret i forhold til rapporteringen for år 2005. Baseret på DMU's målinger og resultater fra Fyns Amt (*Fyns Amt, 2005*) vurderes, at der ikke er sket målelige ændringer i den atmosfæriske deposition af fosfor i perioden 1989-2006.

Estimaterne af tørdepositionen af fosfor er baseret på målinger af luftens indhold af partikelbundet fosfor ved opsamling af partikelprøver med filterpack-opsamlere og direkte analyse af partikelfiltret vha. PIXE-analyse (Proton Induced X-ray Emission). Med analysemetoden måles den samlede mængde fosfor og der skelnes ikke mellem uorganiske eller organiske fosforforbindelser. Mængden af partikulært fosfor opsamlet med filterpackopsamlere er imidlertid lille i forhold til detektionsgrænsen, som er 20-50 ngP/m<sup>3</sup>. I år 2004 var kun ca. 20-30% af målingerne over detektionsgrænsen. Et forsigtigt skøn på niveauet af partikelbundet fosfor kan gives ud fra årsmiddelværdierne for målingerne. Denne lå i år

2006 på 9 ngP/m<sup>3</sup>, hvilket er det samme niveau som tidligere. Den årlige tørdeposition af fosfor er herefter estimeret til 0,02 kgP/ha. Dette estimat er baseret på tørdepositionen af partikulært bundet kvælstof og forholdet mellem luftens indhold af partikulært bundet fosfor og kvælstof.

Våddepositionen af fosfor bestemmes rutinemæssigt ved opsamling af nedbør med de såkaldte bulkopsamlere (se figur 1.2) og senere laboratorieanalyse af indholdet af opløst fosfat. Der er imidlertid stor risiko for kontaminering af prøverne med biologisk materiale, som indeholder store mængder fosfat (f.eks. fugleklatter i opsamlingsstragtene). Våddepositionen bestemt på denne måde giver derfor anledning til en overestimering af våddepositionen af fosfor.

I 2001-2002 blev der derfor foretaget en mere nøjagtig bestemmelse af våddepositionen af fosfor ved målestationerne på Anholt og ved Ulborg. Forbedringerne ligger i anvendelse af wet-only-nedbørsopsamler (står kun åben når det regner og giver derfor mindre forurening), konservering af prøverne på prøveopsamlingsstedet og en forbedret analyse af fosfatkoncentrationerne. Resultaterne af disse målinger viser, at våddepositionen ligger på 0,01-0,02 kgP/ha. Våddepositionen af fosfor ligger kun lige over detektionsgrænsen, så usikkerheden på resultaterne er betragtelig (formentlig på  $\pm 0,005$ -0,01 kgP/ha).

Et forsigtigt skøn på den samlede atmosfæriske deposition af uorganisk opløseligt fosfat er derfor en samlet deposition på 0,02-0,04 kgP/ha baseret på en våddeposition på 0,01-0,02 kgP/ha og en tørdeposition på 0,01-0,02 kgP/ha.

Usikkerheden på estimerne af den samlede deposition er stor pga. risiko for kontaminering og lave koncentrationer i forhold til detektionsgrænsen. Grundet den store risiko for kontaminering af prøverne anses estimatet som en øvre grænse for den atmosfæriske deposition af uorganisk fosfat. Usikkerhederne er for store til at vurdere geografiske forskelle mellem Ulborg og Anholt.

Den organiske fosfordeposition vurderes at være af samme størrelse som depositionen af uorganisk opløseligt fosfor. Denne vurdering er baseret på tidligere vurderinger af *Hovmand et al. (1993)* og målinger af organisk fosfat foretaget af *Fyns Amt (2005)*.

## 4 Svovl

### 4.1 Svovldeposition i 2006

#### Relevans

Deposition af svovl fra atmosfæren spiller en væsentlig rolle for den samlede belastning af de danske landområder med forsurende stoffer. Det er derfor et af formålene for luftdelen af NOVANA at bestemme den årlige deposition af svovl til de danske landområder.

#### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening end den kan tåle, herunder svovl som forsurende stof. Via Habitatdirektivet er Danmark forpligtet til at beskytte natur og miljø, herunder beskytte mod skadelige effekter som følge af deposition af forsurende svovlforbindelser. Der er i Danmark ikke opstillet direkte målsætninger for svovldepositionens størrelse og ej heller direkte reduktionsmålsætninger. Via målsætninger om reduktion af svovlemissionen er der dog lagt en form for indirekte målsætning om reduktion i svovldepositionen. Danmark har således via Gøteborg-protokollen og NEC-direktivet (National Emission Ceilings) en målsætning om at reducere svovlemissionen frem til år 2010 til 67% af emissionen i 1990. En målsætning, som allerede er mere end opfyldt. Samlet vil Gøteborg-protokollen resultere i en reduktion af Europas svovludslip med 63% set i forhold til 1990.

#### Tilstand og årsag

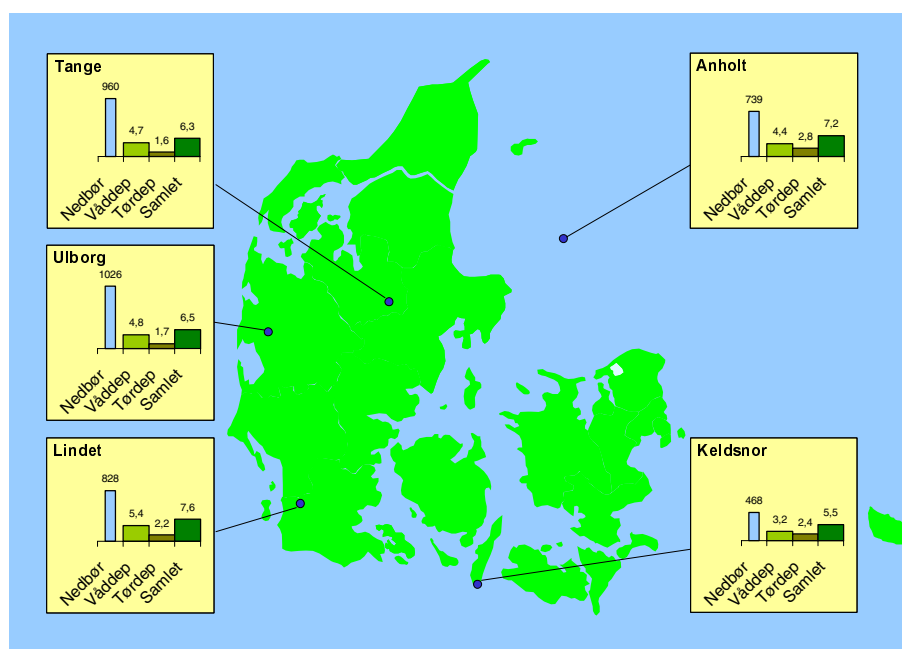
Resultaterne i 2006 fra de fem danske hovedstationer viste, at den årlige deposition af svovl lå på 5,5-7,6 kgS/ha for deposition til land (figur 4.1). Dette er ca. 9% lavere end i år 2005.

De højeste depositioner blev bestemt ved Lindet og Anholt og den mindste deposition ved Keldsnor og Tange. Generelt er der dog lille forskel mellem depositionen til de fem målestationer. Årsagen til dette er, at svovlforbindelserne kan transporteres 1000 km eller mere via luften og de geografiske variationer er derfor jævnet ud under den lange transport. En stor andel af svovlforbindelserne transporteres til Danmark fra landene syd og vest for Danmark, hvilket er forklaringen på, at der måles høj tørafsætning af svovl i den sydlige del af Jylland. Den relativt høje tørafsætning på Anholt skyldes formentligt indflydelse fra skibstrafik på Kattegat.

Hovedparten af svovlforbindelserne stammer fra antropogen forbrænding af fossile brændstoffer i forbindelse med transport, energiproduktion, industri m.m.. Resten stammer fra naturlige kilder, hvoraf sulfat fra havsalt er den vigtigste. Sulfat fra havsalt udgør således 10-30% af den samlede svovldeposition; størst bidrag ses ved de kystnære stationer i Vestjylland og ved Anholt. Den høje svovldeposition på Anholt skyldes dels dette bidrag af sulfat fra havsalt og dels skibstrafik i Kattegat.

Nedbørsmængderne i 2006 er høj sammenlignet med gennemsnittet for perioden 1989-2006 (se afsnit 1.2). På trods af dette ses en ca. 10 % lavere våddeposition i 2006 sammenlignet med 2005.

Usikkerheden på bestemmelsen af den årlige svovldeposition vurderes til 14-28%. Årsag til den relativt høje usikkerhed er, at den samlede deposition bestemmes som summen af depositionen af en række forskellige svovlforbindelser. Endvidere beregnes tørdepositionen ud fra måling af luftens indhold af svovlforbindelserne, og ikke ved en direkte depositions måling, som er meget ressourcekrævende. Der er stor usikkerhed ved beregning af tørdeposition med denne metode, men det er p.t. den eneste metode, som kan anvendes i forbindelse med overvågningsprogrammet.



**Figur 4.1** Svovldeposition og nedbørsmængde ved de fem hovedstationer i 2006. Svovldepositionen er beregnet til den gennemsnitlige landoverflade i et område på 17 km x 17 km omkring målestationen. Nedbørsmængden er angivet i mm og depositionen er angivet i kgS/ha.

## Links

Information om DMUs luftmålestationer kan fås på:  
[http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_miljoe-tilstand/3\\_luft/4\\_maaling/5\\_maaleprogrammer/oversigtskort.asp](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_maaling/5_maaleprogrammer/oversigtskort.asp).

## 4.2 Atmosfærisk belastning af danske landområder

### Relevans

Deposition af svovl fra atmosfæren kan have en forsurende og dermed skadelig effekt på danske naturområder. Det er derfor vigtigt at bestemme den geografiske fordeling af depositionen og dermed belastningen af de enkelte landområder.

## Målsætning

I Danmark og på Europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder svovl, end den kan tåle. I forbindelse med Habitatdirektivet har Danmark forpligtet sig til at beskytte habitatområderne mod væsentlige forringelser og forstyrrelser. Dette omfatter også eventuelle forringelser som følge af svovldepositionen. Der er ikke opstillet specifikke målsætninger for svovldepositionens størrelse i Danmark (se i øvrigt afsnit 4.1).

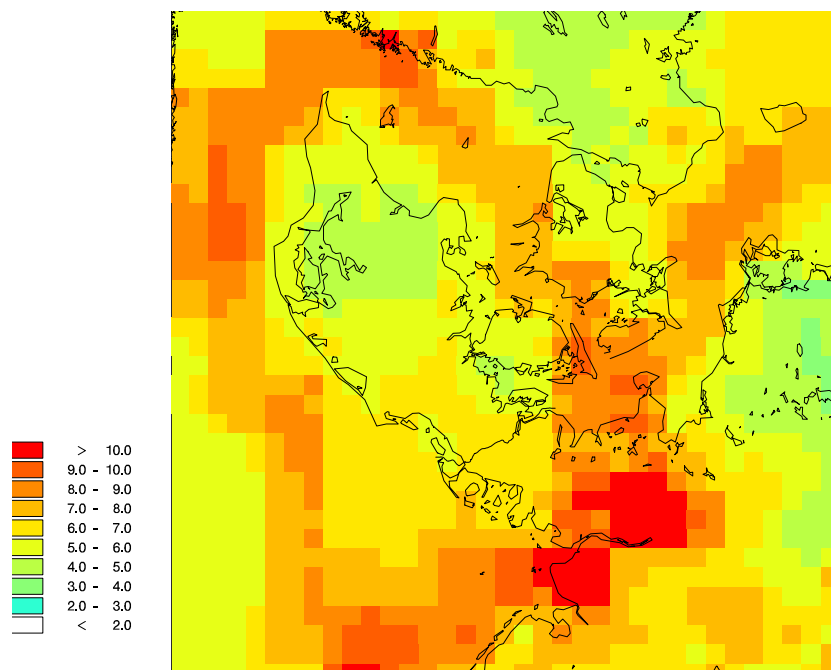
## Tilstand og årsag

Den samlede deposition af svovl fra antropogene kilder på danske landområder er for år 2006 beregnet til 25.000 ton S, hvilket er på niveau med depositionen i 2005. Den samlede deposition på danske landområder er næsten dobbelt så stor som den danske emission af svovl. Denne lå i 2005 på 11.600 ton S (*Illerup et al., 2007*).

Den gennemsnitlige årlige antropogene deposition af svovl ligger på ca. 5,8 kgS/ha (figur 4.2 og tabel 4.1), hvilket svarer til ca. 0,9 keq/ha. Til sammenligning er tålegrænserne for forsuring på 0,9-2,4 keq/ha for overdrev, 0,8-2,7 keq/ha for løvskov og 1,0-4,1 keq/ha for nåleskov (*Bak, 2003*). Skadelige effekter af forsuring afhænger dog af den samlede deposition af forsurende forbindelser, hvilket betyder, at deposition af forsurende kvælstofforbindelser og syreneutraliserende basekationer også skal tages med i betragtning ved vurdering af svovldeposition i relation til tålegrænser.

Depositionen varierer kun lidt mellem de forskellige dele af landet, hvilket hænger sammen med, at størstedelen af svovlen er transporteret til Danmark fra landene syd og vest for Danmark, samt fra den internationale skibstrafik. Beregninger med DEHM angiver, at de danske kilder på landsplan kun bidrager med 5% af den samlede deposition. De største danske bidrag ses i Hovedstaden (7%), hvilket skyldes de relativt store danske emissioner i dette område. Den laveste danske andel til depositionen beregnes for Region Syddanmark, hvor det danske bidrag kun er på 9%.

Af figur 4.2 fremgår det, at depositionen til dele af farvandsområder er betydeligt højere end depositionen til landområderne. Det skyldes den store skibstrafik gennem de danske farvande, som grundet højt svovlindhold i brændstoffet udleder store mængder svovl i disse områder.



**Figur 4.2** Den samlede antropogene deposition af svovlforbindelser beregnet for 2006. Depositionen angiver en middelværdi for felterne; for felter med både vand- og landoverflade vises altså en middeldeposition for de to typer af overflade. Depositionen er givet i kg S/ha. Gitterfelterne er på 17 km x 17 km. Den høje deposition på farvandsområderne skyldes skibstrafik.

Deposition af svovl til de danske landområder beregnes med DMU's luftforureningsmodel kaldet DEHM. DEHM tager højde for den geografiske placering af kilderne til svovlforureningen, de meteorologiske forhold og de kemiske og fysiske omdannelser af svovl i atmosfæren. Modellen medtager ikke svovl fra havsalt, som via vinden bliver "blæst op" i atmosfæren. Målingerne af svovldeposition ved målestationerne viser, at havsalt bidrager med ca. 10-30% af den samlede antropogene og naturlige deposition.

Modelberegningerne er foretaget med meteorologiske data for år 2006 (se afsnit 1.1) og emissionsopgørelser for Danmark for år 2005 for  $\text{NH}_3$ , for år 2004 for  $\text{NO}_2$  og  $\text{SO}_2$  (Illerup *et al.*, 2006, 2007), og for resten af Europa for år 2004 (EMEP 2007). Dette er de nyeste tilgængelige emissionsopgørelser til modelberegningerne. Depositionen af svovldioxid og partikelbundet sulfat (tørdepositionen) afhænger af landoverfladens karakter. I tabel 4.1 angives et gennemsnit for de enkelte landområder. Den lokale deposition til f.eks. en skov kan således være 30-50% højere end angivet i figur 4.2 og tabel 4.1.

Ud fra sammenligning mellem resultaterne fra målinger og modelberegninger estimeres usikkerheden for de enkelte regioner til at være op mod  $\pm 40\%$ .

## Links

Deposition af svovl til de enkelte amter og kommuner kan findes på: <http://www.dmu.dk/luft/luftforurenings-modeller/deposition>

Yderligere information om tålegrænser kan findes på: <http://www.dmu.dk/Luft/Effekter+naturen/>

**Tabel 4.1** Den samlede antropogene svovldeposition på de danske regioner samt gennemsnit for landet beregnet for 2006.

|             | Tørdeposition | Våddeposition | Total deposition | Total deposition per areal | Areal           |
|-------------|---------------|---------------|------------------|----------------------------|-----------------|
|             | 1000 ton S    | 1000 ton S    | 1000 ton S       | kgS/ha                     | km <sup>2</sup> |
| Nordjylland | 1,7           | 2,5           | 4,2              | 5,3                        | 7910            |
| Midtjylland | 2,5           | 4,4           | 6,9              | 5,3                        | 13118           |
| Syddanmark  | 2,9           | 4,6           | 7,4              | 6,1                        | 12155           |
| Sjælland    | 2,6           | 2,4           | 5,0              | 6,9                        | 7293            |
| Hovedstaden | 0,7           | 0,8           | 1,5              | 5,8                        | 2569            |
| Hele landet | 10            | 15            | 25               | 5,8                        | 43044           |

### 4.3 Udviklingstendenser for svovldepositionen

#### Relevans

I Danmark og på internationalt plan er der vedtaget en række handlingsplaner for at reducere emission af svovl og dermed belastning af natur og vandmiljø med de forsurende stoffer, der dannes som følge af emissionen af svovl. Det er derfor relevant at følge tidsudviklingen i svovldepositionen for at kunne vurdere effekten af disse handlingsplaner.

#### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder svovl, end den kan tåle. Via Habitatdirektivet er Danmark forpligtet til at beskytte natur og miljø, herunder beskytte mod skadelige effekter som følge af deposition af forsurende svovlforbindelser. Der er i Danmark ikke opstillet direkte målsætninger om reduktion af svovldepositionen. Via målsætninger om reduktion af svovlemissionen er der en form for indirekte målsætning om reduktion i svovldepositionen. Danmark har via Gøteborg-protokollen og NEC-direktivet (National Emission Ceilings) en målsætning om at reducere svovlemissionen i 2010 til 67% af emissionen i 1990, hvilket allerede er mere end opfyldt. Samlet vil Gøteborg-protokollen resultere i en reduktion af Europas svovludslip med mindst 63% set i forhold til 1990.

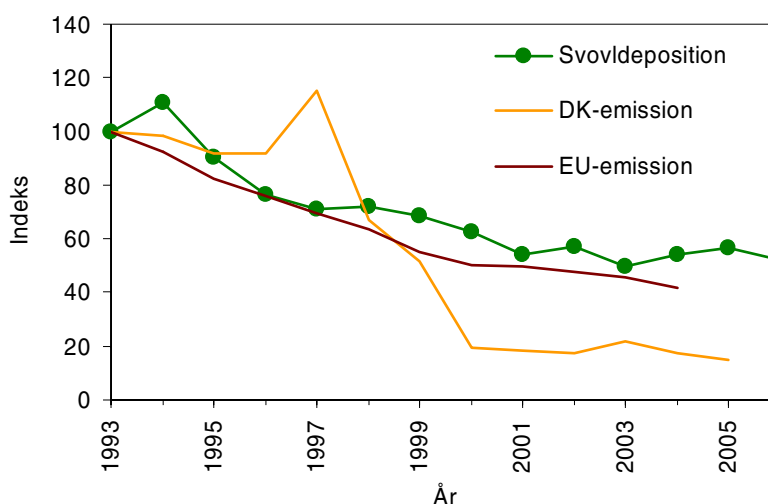
#### Udvikling og årsag

Figur 4.3 viser udviklingstendenserne i den gennemsnitlige deposition af svovl beregnet som middel af resultaterne fra DMUs hovedmålestationer. Resultaterne viser, at der er sket et meget betydeligt fald i svovldepositionen. Siden 1989 er depositionen reduceret med ca. 62 %. Det største fald er målt i perioden frem til 2000, hvorefter depositionen stort set har været på samme niveau. Da faldet i depositionen er observeret på samtlige hovedstationer vurderes det, at resultaterne beskriver den generelle udviklingstendens for Danmark.

Figur 4.3 viser også ændringerne i svovlemissionerne i Danmark og EU. Der ses en tydelig korrelation mellem faldet i svovldepositionen og i emissionerne. Navnlig ses meget god overensstemmelse mellem faldet i depositionen og de samlede ændringer i emissionen i de 27 EU-lande, hvilket skyldes, at langt størstedelen af depositionen stammer fra de europæiske lande syd og vest for Danmark.

Det kan altså konkluderes, at faldet i depositionen af svovl i Danmark skyldes faldet i emissionerne på europæisk plan. Reduktionen i danske emissioner spiller kun en mindre rolle for reduktionen af svovldepositionen i Danmark. Til gengæld har reduktionen af de danske emissioner betydning for afsætning af svovl i de lande, som modtager den langtransporterede svovlforurening fra Danmark.

Udover det generelle fald ses også en år til år variation. Årsagen til denne variation er bl.a. ændringerne i de meteorologiske forhold, hvor store nedbørsmængder giver høj deposition og lille nedbørsmængde giver lav deposition. Variationerne i de meteorologiske forhold slår dog ikke så tydeligt igennem, som for kvælstofdepositionen (se afsnit 2.5).



**Figur 4.3** Udviklingstendenser for samlet deposition og emission af svovl. Alle værdier er indekseret til 100 i 1993. Udviklingstendenserne i deposition til landområderne er beregnet som middelværdi af resultaterne fra DMU's seks hovedstationer. Enkelte manglende delresultater er skønnet f.eks. på basis af sammenligning med andre målestationer. Emissionerne fra Danmark er fra DMU (Illerup *et al.*, 2007) og fra de 27 EU-lande fra EMEP (EMEP 2007).

## 5 Tungmetaller

### 5.1 Tungmetaldeposition i 2006

#### Relevans

Deposition af potentielt toksiske og carcinogene tungmetaller spiller en væsentlig rolle for den samlede belastning af de danske farvande og landområder med disse stoffer. Depositionen af tungmetaller kan forøge tungmetalindholdet i de øverste jordlag (0-20 cm). På lignende måde er den atmosfæriske tungmetal-deposition til vandmiljøet i mange tilfælde betydelig i forhold til andre kilder. Det er derfor et af formålene for luftdelen af NOVANA at bestemme deposition af en række udvalgte tungmetaller til de danske farvande og landområder

#### Målsætning

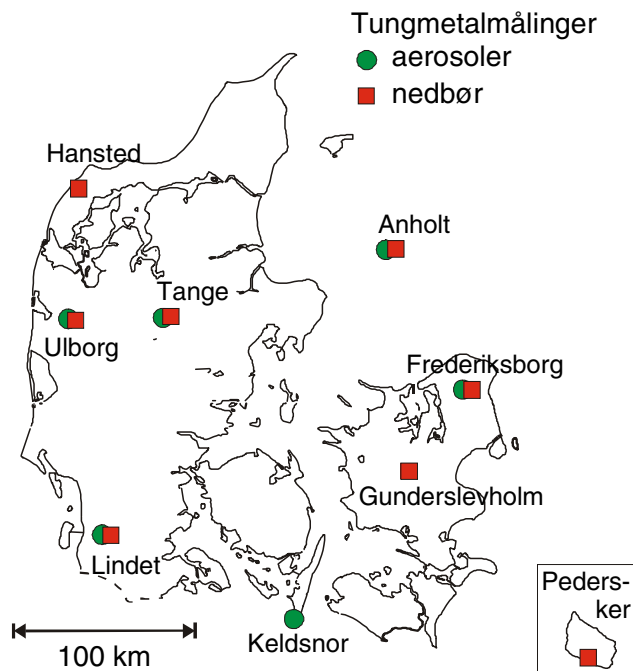
I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder tungmetaller, end den kan tåle. Et EU-direktiv (det 4. datterdirektiv om bl.a. tungmetaller), pålægger medlemslandene at måle koncentrationerne i luften og depositionen af bl.a. arsen, cadmium og nikkel med henblik på en samlet europæisk evaluering af den mulige skadevirkning af disse stoffer i baggrundsområder.

#### Tilstand og årsag

Våddepositionen og den atmosfæriske koncentration af partikelbundne tungmetaller har været målt gennem en årrække på de danske målestationer (figur 5.1). Resultaterne viser, at depositionen i 2006 (tabel 5.1) ikke adskiller sig væsentligt fra depositionen de seneste par år når man sammenligner med den markante reduktion, der blev nået i perioden 1979-96.

Den samlede deposition af tungmetaller (summen af tør- og våddeposition) til de indre danske farvande og danske landområder kan estimeres ud fra målingerne af våddeposition og beregning af tørdeposition ud fra målingerne af atmosfærens indhold af partikelbundne tungmetaller. Den samlede deposition fremgår af tabel 5.1. Sammenlignes depositionerne til de indre danske farvande med værdier for landbaserede udledninger (overfladevand, spildevand m.m.) af tungmetaller til farvandene, er det atmosfæriske bidrag af samme størrelsesorden som disse og i nogle tilfælde større (Dahllöf, I., personlig kommunikation 2002).

En stor del af de tungmetaller, som findes i atmosfæren og dermed deponeres, kommer fra antropogene kilder udenfor Danmark. Sammenlignes de estimerede depositioner til de indre danske farvande og danske landområder med de danske emissioner (tabel 5.1), ses at de danske emissioner for de fleste af de målte tungmetaller er væsentlig mindre end depositionerne. Dette underbygger, at det dominerende bidrag til depositionen er antropogene kilder i udlandet. Det "naturlige" bidrag (i form af vindblæst støv o.l.) kan for nogle af tungmetallerne dog også have betydning.



**Figur 5.1** Målestationer for tungmetaller i Danmark. Rød: våddeposition – grøn: partikelkoncentration.

Depositionen af tungmetaller måles med bulkopsamlere (som for kvælstof, sulfat m.m.), hvor tragten er eksponeret for nedfald hele tiden; altså også i perioder, hvor der ikke er nedbør. Der er ikke foretaget målinger til en egentlig kvantificering af tørdepositionens andel af bulkprøverne. Tungmetaller af antropogen oprindelse må forventes at være knyttet til partikler på 1  $\mu\text{m}$  eller mindre. For disse partikler vil depositionen til bulk-tragtene være sammenlignelig med den tilsvarende deposition af partikulært svovl, som bidrager med under 10% af våddepositionen. Det må anses for at være uden betydning i sammenligning med de usikkerheder, der er på estimerne af våddepositionen.

Store partikler af især ikke industriel oprindelse, såsom partikler fra havsprøjt, jordstøv samt biogene partikler (pollen o.l.), kan ved tyngdekraftens påvirkning "falde" ned i tragten. Heller ikke denne størrelsesfraktion vil dog bidrage væsentligt. Tungmetalindholdet i disse materialer er lavt og en del af de tungtopløselige stoffer i mineraler vil ikke blive tilgængelige ved den prøveoplukningsmetode, som anvendes i overvågningsprogrammet.

Usikkerheden på estimerne af den samlede deposition vurderes til  $\pm 30\text{-}50\%$ . Årsagen til den betydelige usikkerhed er først og fremmest, at de målte tungmetalkoncentrationer, såvel i luft som i nedbør, er lave. Der er derfor en betydelig risiko for kontaminering.

En anden årsag til usikkerheden er, at estimerne baseres på beregning af tørdeposition ud fra målingerne af atmosfærens indhold af partikelbundne tungmetaller. Usikkerheden på estimering af tørdepositionen er derfor betydelig (op til  $\pm 80\%$ ). Tørdepositionen udgør imidlertid kun en lille del af den samlede deposition (ca. 10% til vand og 20-30% til land), således at den store usikkerhed på tørdepositionsbestemmelsen ikke slår fuldt igennem.

**Tabel 5.1** Årlig deposition estimeret fra målinger af bulk-opsamlet våddeposition på otte stationer i Danmark og tørdeposition vurderet ud fra måling af luftkoncentrationerne. Endvidere deposition til landområder i Danmark og til de indre danske farvande estimeret på basis af målingerne i 2006. Sidste kolonne viser den antropogene emission af tungmetaller til atmosfæren fra danske kilder i 2004 (*Illerup et al., 2006*).

| Deposition  | Estimeret deposition                            |                                                 |                                                  |                                                     | Emission                |
|-------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|
|             | Deposition til land<br>$\mu\text{g}/\text{m}^2$ | Deposition til vand<br>$\mu\text{g}/\text{m}^2$ | Landområder<br>(43.000 $\text{km}^2$ )<br>ton/år | Indre farvande<br>(31.500 $\text{km}^2$ )<br>ton/år | Danske kilder<br>ton/år |
| Cr, chrom   | 131                                             | 118                                             | 6                                                | 4                                                   | 1,16                    |
| Ni, nikkel  | 326                                             | 282                                             | 14                                               | 9                                                   | 9,6                     |
| Cu, kobber  | 814                                             | 775                                             | 35                                               | 24                                                  | 8,5                     |
| Zn, zink    | 6702                                            | 6357                                            | 288                                              | 200                                                 | 23                      |
| As, arsen   | 121                                             | 108                                             | 5                                                | 3                                                   | 0,66                    |
| Cd, cadmium | 39                                              | 33                                              | 2                                                | 1                                                   | 0,53                    |
| Pb, bly     | 965                                             | 846                                             | 41                                               | 27                                                  | 5,2                     |
| Fe, jern    | 36612                                           | 34357                                           | 1574                                             | 1082                                                | -                       |

Endelig "ekstrapoleres" resultaterne fra målestationerne til at dække de danske landområder samt de indre danske farvande, hvilket bidrager til usikkerheden på estimaterne.

### Links

Yderligere information om emissioner kan findes på:

DMU's hjemmeside: <http://www.dmu.dk/Luft/Emissioner/>

EMEP's emissionsdatabase: Vestreng, V. (2003). Review and Revision, Emission data reported to CLRTAP, MSC-W Status Report 2003 EMEP/MSW-W NOTE 1/2003, Norsk Meteorologisk Institutt, Oslo. [http://www.emep.int/reports/mscw\\_note\\_1\\_2003.pdf](http://www.emep.int/reports/mscw_note_1_2003.pdf) og WEBDAB (2004) <http://webdab.emep.int/>

## 5.2 Udviklingen i den atmosfæriske deposition og luftkoncentrationer

### Relevans

I Danmark og på internationalt plan er iværksat en række tiltag for at reducere emissionen af tungmetaller og dermed belastningen af natur og vandmiljø med potentielt toksiske og carcinogene tungmetaller. For at kunne vurdere effekten af disse tiltag er det derfor relevant at følge tidssudviklingen i tungmetaldepositionen.

### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, herunder tungmetaller, end den kan tåle. Der er dog ikke specifikke målsætninger for reduktion af depositionen af tungmetaller i Danmark (se i øvrigt afsnit 5.1).

### Udvikling og årsag

Udviklingen i luftens indhold af en række tungmetaller (målt på partikelform og som våddeposition) er i forbindelse med NOVANA og dets forløbere blevet målt siden 1989. Målingerne af luftens indhold af tungmetaller er endda startet op allerede i 1979, således at der i dag findes 25

års målinger. Resultaterne af de mange års overvågning viser en tydelig reduktion i såvel luftens indhold som i våddepositionen af de viste tungmetaller (figur 5.2 og 5.3).

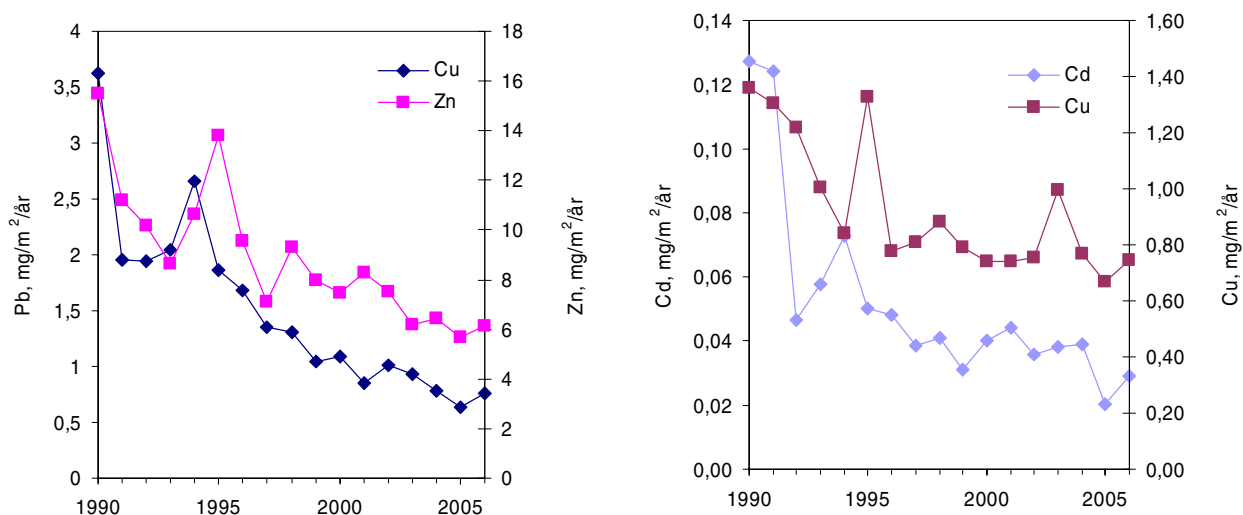
Variationen i depositionen fra år til år af et givent tungmetal afhænger af flere faktorer. Den væsentligste faktor er de aktuelle emissioner fra de kildeområder, der via den atmosfæriske transport, bidrager med tungmetalnedfald over Danmark. Denne emission har givetvis været for nedadgående de sidste 10 år, selv om oplysningerne om tungmetalemission i Europa (specielt Østeuropa) er meget upræcise. Mest markant er fjernelse af bly fra benzin, afsvovling af fossile brændstoffer og en generelt bedre rensning af røggasser.

I figur 5.4 sammenholdes tilgængelige værdier for tungmetalemissioner (*Vestreng 2003; WEBDAB 2004*) gennem 15 år med målingerne ved de danske målestationer. Emissionerne er opdelt i emissioner fra kildeområderne i Øst-, Vesteuropa samt Danmark. Der er god overensstemmelse mellem faldet i emissionerne og såvel luftkoncentrationer som våddepositioner.

En anden årsag til variationerne i våddepositionen mellem årene er den aktuelle meteorologi. Selv om Danmark ligger i vestenvindsbæltet, er der en variation i vindmønstrene fra måned til måned og fra år til år. De nævnte to faktorer har både indflydelse på variationen i partikelkoncentrationerne og i våddepositionen.

For våddepositionen er der yderligere faktorer, der påvirker variationen. Disse er mængden af nedbør, antallet af byger, nedbørsintensiteten samt i hvilket omfang transport af luftmasser med høje koncentrationer af partikler falder sammen med regnhændelser. Af disse grunde ser man ofte en større variation fra år til år i våddepositionen end i den gennemsnitlige koncentration af partikelbundne tungmetaller.

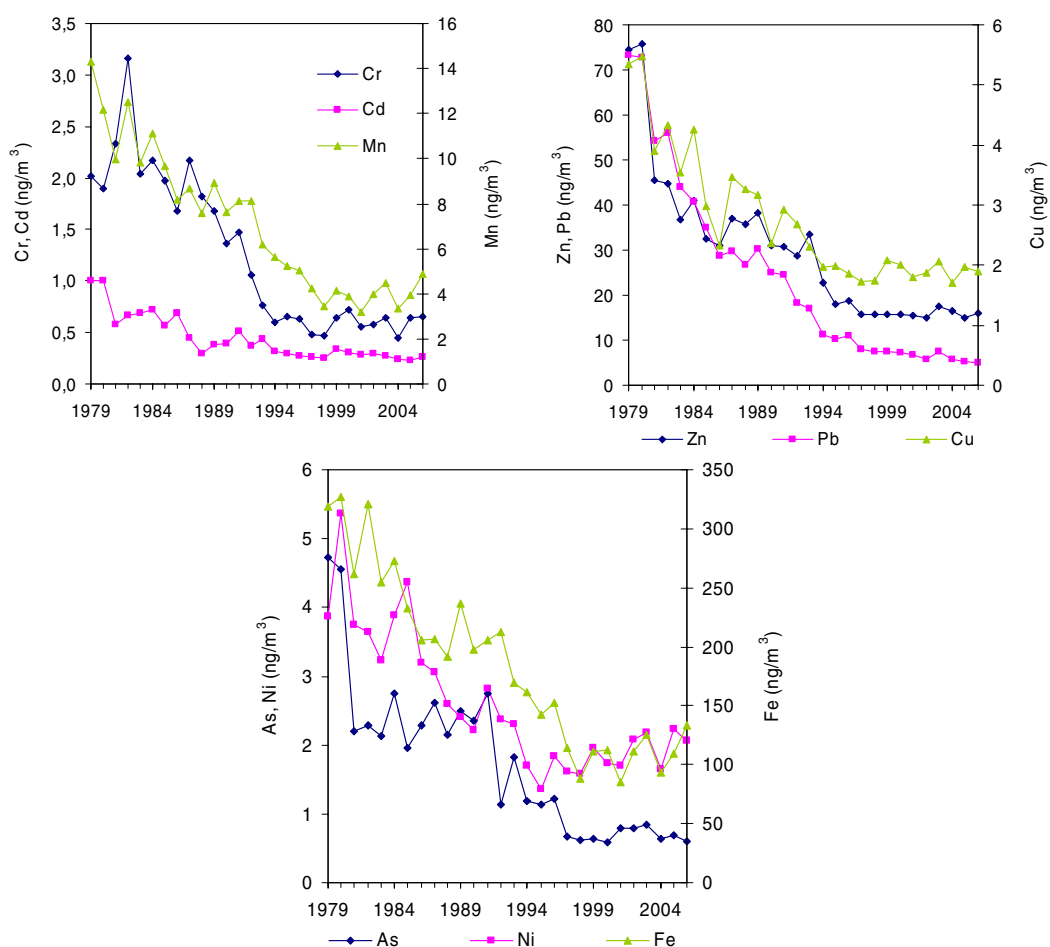
Med de lave koncentrationer af tungmetaller i nedbøren kan det endvidere ikke undgås at der lejlighedsvis sker en kontaminering. Specielt for Cu og Zn findes ofte forhøjede koncentrationer i prøverne. Den høje Cu deposition i 1995 (Figur 5.2) skyldes således sandsynligvis kontaminering. I målingerne fra 2003 ses ligeledes en væsentlig højere deposition når man sammenligner med de foregående år. En del af forklaringen på dette er givetvis, at luftens indhold af kobber også var højt i 2003, hvilket har kunnet medvirke til den høje deposition. Det kan dog ikke udelukkes, at en del af forklaringen på den høje deposition også kan skyldes kontaminering af prøverne.



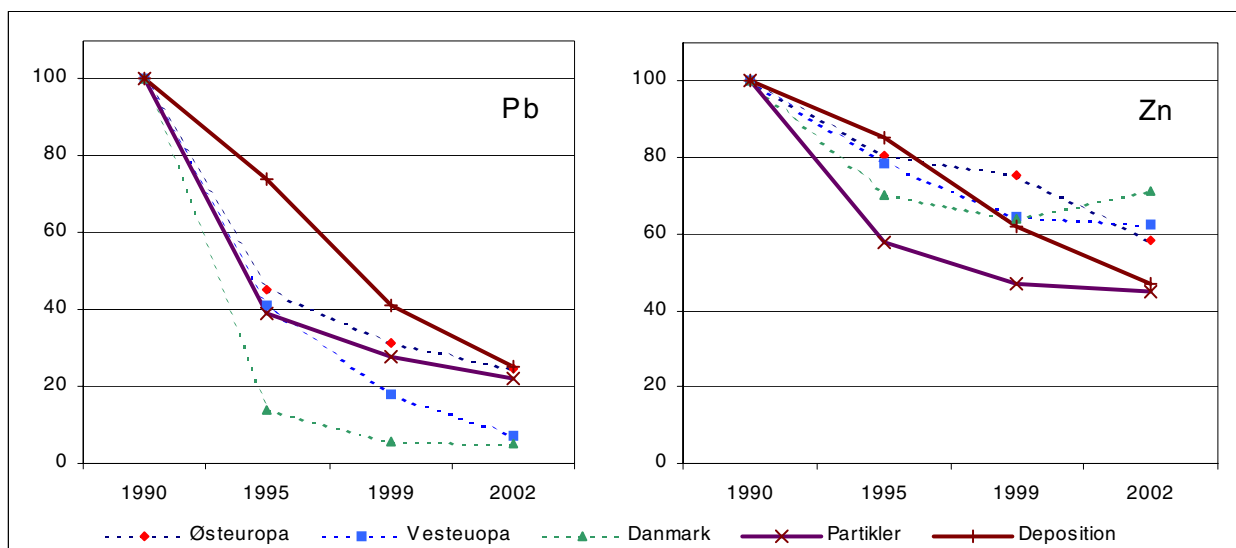
**Figur 5.2** Tidsudvikling i våddeposition over en 15 årig periode af Zn og Pb (venstre figur) og Cu og Cd (højre figur). Enhed er mg metal per m<sup>2</sup> per år, hvilket svarer til kg/(km<sup>2</sup> år).

### Links

Yderligere information kan findes i EMEP's emissionsdatabase:  
<http://webdab.emep.int/>



**Figur 5.3** Udvikling gennem 28 år for koncentrationer i luften af en række tungmetaller. Kurverne repræsenterer gennemsnit af målinger ved Kelsnor og Tange.



**Figur 5.4** Målinger af våddeposition og partikkelkoncentration i luften sammenlignet med emissioner fra lande i Øst -og Vesteuropa samt Danmark. Måleresultaterne repræsenterer middelværdier over treårsperioder omkring de angivne år. Alle resultater er normeret til 100 i 1990. Emissionsdata er hentet fra Vestreng 2003.

## 6 Ozon

### 6.1 Ozon og vegetation

#### Relevans

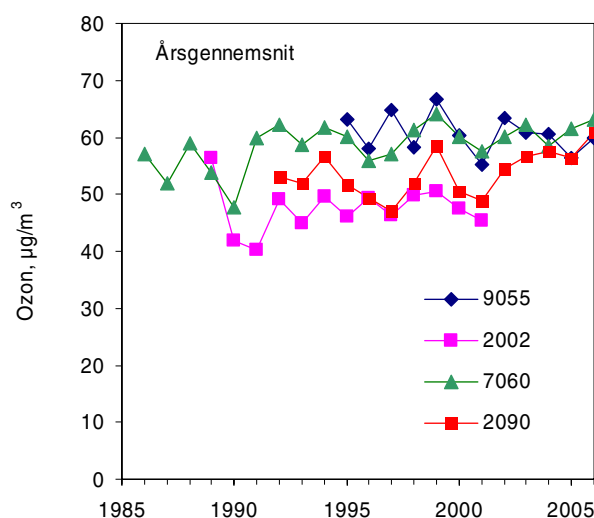
I danske baggrundsområder er ozon den eneste luftforurening, der ofte forekommer i koncentrationer, der har direkte toksisk virkning på planter. Ozon er kemisk meget reaktivt og kan oxidere mange andre forbindelser i atmosfæren. Ozon reagerer også villigt med organiske forbindelser, bl.a. cellemembraner i vores lunger eller i plantecellerne.

#### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan findes der målsætninger for belastningen med ozon for både skovøkosystemer og anden vegetation samt for mennesker. Der er fastsat en kritisk belastningsgrænse (critical level) for effekter af ozon på væksten af træer og anden vegetation. Det er valgt at bruge et index, der kaldes AOT40, som angiver den akkumulerede eksponering over en tærskelværdi på 40 ppbv ozon. Er der fx i løbet af en dag målt tre timemiddelværdier af ozon, der overstiger 40 ppbv, fx 45, 50 og 55 ppbv, bliver dagens AOT40 = 5 + 10 + 15 = 30 ppbv·timer. For bøg er der estimeret en kritisk belastningsgrænse på 10.000 ± 5.000 ppbv·timer i vækstsæsonen dvs. beregnet for perioden april til september (*Käremlämpi og Skärby, 1996*) Denne dosis forbindes med en reduktion i biomassetilvækst på ca. 10%. I forbindelse med EU's datterdirektiv fra 2002 om ozon (2002/2/EC) er der fastsat en målværdi for AOT40 på 9.000 ppbv·timer (=18.000 µg/m<sup>3</sup>·timer) til beskyttelse af vegetation. Værdien skal beregnes for perioden maj til juli for målinger fra kl. 8.00 til kl. 20.00. Denne målværdi er fastsat til beskyttelse af vegetation. Den skal først være gældende for år 2010 og skal beregnes som middel af 5 år.

#### Tilstand, udvikling og årsag

Der måles ozonkoncentrationer i Ulborg, Lille Valby, Keldsnor og indtil år 2000 også i Frederiksborg. Figur 6.1 viser årsgennemsnittet af koncentrationen af ozon over en længere årrække på stationerne. I 2006 ligger årsgennemsnittet omkring 60 µg/m<sup>3</sup> (svarende til 30 ppbv). Det ses, at koncentrationen har en vis år til år variation, og at der er en mindre forskel på koncentrationsniveauet på de forskellige målestationer. Ulborg og Keldsnor har de højeste niveauer, mens Frederiksborg og Lille Valby ligger lidt under. Hovedparten af den ozon, der findes i luften i Danmark, er kommet med luftmasser, der er transporteret til Danmark fra navnlig den sydlige og centrale del af Europa. I kildeområder kan ozon blive nedbrudt af lokalt produceret kvælstofmonoxid. De højere koncentrationer i Ulborg og Keldsnor skyldes beliggenheden med færre kildeområder (større byer, trafik og industri), mens Frederiksborg og Lille Valby ligger tæt på hovedstadsområdet, Hillerød og Roskilde med lokal emission af kvælstoffilter, der nedbryder ozonen. Resultaterne fra de seneste år afviger dog fra denne tendens, idet der gennem de seneste år har været meget lille forskel mellem målestationerne.



**Figur 6.1** Årsgennemsnittet af koncentrationen af ozon (enhed  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) over en længere år-række på stationerne Keldsnor (9055), Frederiksborg (2002), Ulborg (7060) og Lille Valby (2090). Målingerne på Keldsnor og Lille Valby er foretaget i forbindelse med LMP IV (Kemp et al. 2007).

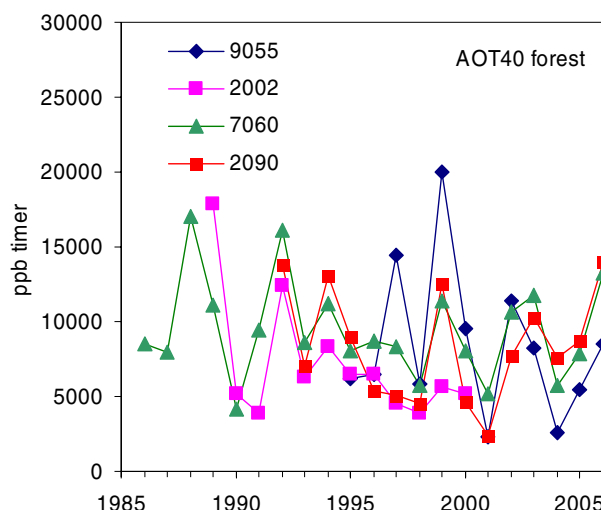
Figur 6.2 viser udviklingstendensen for AOT40 værdier beregnet for skov på baggrund af målinger fra Ulborg, Frederiksborg, Keldsnor og Lille Valby. For Keldsnor og Lille Valbys vedkommende er der ikke tale om målinger over skov, men det vurderes, at de beregnede værdier er repræsentative for skovområder tæt på disse målestationer. I 2006 er AOT40-værdien for Ulborg ca. 13.000 ppbv-timer og dermed over den kritiske belastningsgrænse. Dette gælder også Keldsnor og Lille Valby. Betragtes AOT40-værdierne over en længere årrække (figur 6.2) ses, at de er varierende og at flere af årene har værdier over den kritiske belastningsgrænse på 10.000 ppbv-timer.

AOT40-værdierne for vegetation beregnet i henhold til EU's ozondirektiv er vist i figur 6.3. AOT40 beregnet på denne måde bliver mindre end AOT40 til skov, hvilket skyldes at beregningerne til vegetation foretages for en kortere del af året end beregningerne til skov. Her ses ligeledes en stor år til år variation, hvor de højeste værdier når 12.000 ppbv-timer, hvilket er over målværdien på 9.000 ppbv-timer. Siden 2001 har der ikke været overskridelse af denne. Den varme sommer var formentligt årsag til de høje værdier målt i 2006. Allerede nu kan det forudses at værdierne i 2007 bliver væsentlig lavere.

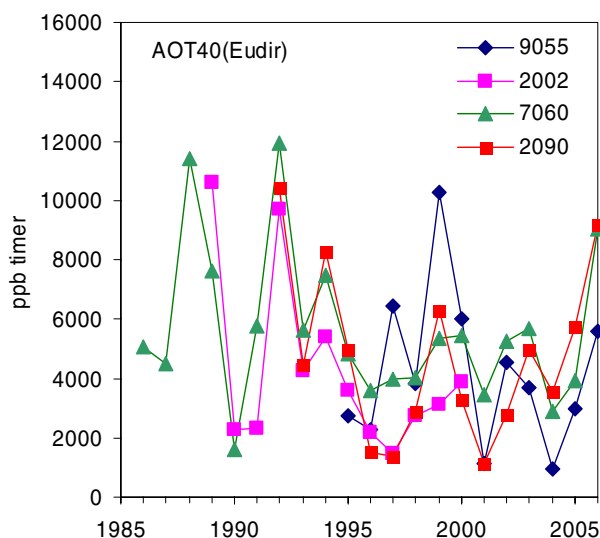
Der kan være flere årsager til, at årsgennemsnittet af ozon ikke har en faldende tendens trods reduktioner i emissionen af de oxiderede kvælstofforbindelser, der leder til ozondannelsen. Ozon dannes ved en række fotokemiske reaktioner i atmosfæren og en del varme somre har kunnet føre til øget fotokemisk aktivitet på europæisk plan. Forhøjede ozonkoncentrationer i Danmark er oftest forbundet med luftmasser, der bringes ind over landet fra Centraleuropa, hvor industriområder og områder med høj befolkningstæthed og meget trafik fører til høje ozonkoncentrationer. Også tørve- og skovbrande synes at have betydning. Meteorologiske forhold har derfor stor indflydelse på ozonkoncentrationen. Den hemisfæriske baggrundskoncentration af ozon er stigende, bl.a. forårsaget af væksten i Kina og Indien. På lokalskala kan reduceret emission af kvælstofilter ( $\text{NO}$  og  $\text{NO}_2$ ) betyde en reduktion i nedbrydningen af ozon

med kvælstofmonoxid og dermed resultere i relativt højere ozonkoncentrationer. Yderligere har fordelingen mellem emission af kvælstofdioxid og kvælstofmonoxid fra trafikken ændret sig, idet en øget del udgøres af direkte emission af kvælstofdioxid fra dieselmotorer. Dette fører til større ozonproduktion.

I de seneste år er der en tendens til færre episoder i Nordeuropa med koncentrationer over  $180 \mu\text{g m}^{-3}$ , der er grænseværdien for én-times maksimumkoncentration for beskyttelse af mennesker. Der er således mange faktorer, der spiller ind på ozonkoncentrationerne og der er brug for mere viden til at forstå, hvordan udviklingen påvirkes.



**Figur 6.2** AOT40 værdier for skov (enhed ppb timer) over en årrække, beregnet på baggrund af målinger fra Keldsnor (9055), Frederiksborg (2002), Ulborg (7060) og Lille Valby (2090). Ulborg og Frederiksborg er målt over skov, mens de øvrige stationer er med for sammenligningens skyld. Målingerne på Keldsnor og Lille Valby er foretaget i forbindelse med LMP IV (Kemp et al. 2007). AOT40 er beregnet på basis af ozonmålinger mellem sol op- og nedgang i april til september.



**Figur 6.3** AOT40 værdier (enhed ppb timer) for vegetation beregnet i henhold til EU's ozondirektiv for målestationerne Keldsnor (9055), Frederiksborg (2002), Ulborg (7060) og Lille Valby (2090). Målingerne på Keldsnor og Lille Valby er foretaget i forbindelse med LMP IV (Kemp et al. 2007). AOT40 er beregnet på basis af ozonmålinger i maj til juli fra kl 8.00 til 20.00.

### **Links**

Information om ozon i relation til byerne kan findes i Kemp et al., The Danish Air quality monitoring programme, Annual summary for 2006, Faglig rapport fra DMU nr. 623, Danmarks Miljøundersøgelser, <http://www.dmu.dk/Udgivelser/Faglige+rapporter/>

Akutelle målinger af ozon kan findes på DMUs hjemmeside: [http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_miljoe-tilstand/3\\_luft/4\\_maalinger/default.asp](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_maalinger/default.asp)

## 7 Deposition af miljøfarlige organiske stoffer

### 7.1 Våddeposition af pesticider

#### Relevans

Ved udsprøjtning af pesticider kan pesticiderne overføres til det atmosfæriske miljø dels ved aerosoldannelse, dels ved fordampning af stofferne fra jord og planteoverflader. De pesticider, der indgår i måleprogrammet, har alle en vis evne til at fordampe. En del af stofferne anvendes fortsat i Danmark eller anvendes i vore nabolande. Der måles også for nedbrydningsprodukter af nogle af disse stoffer. Der analyseres for i alt 14 almindeligt anvendte pesticider og 5 nedbrydningsprodukter af pesticider. Pesticider i regnvandet kan eventuelt påvirke naturområder og flora og fauna i de danske vandområder.

#### Målsætning

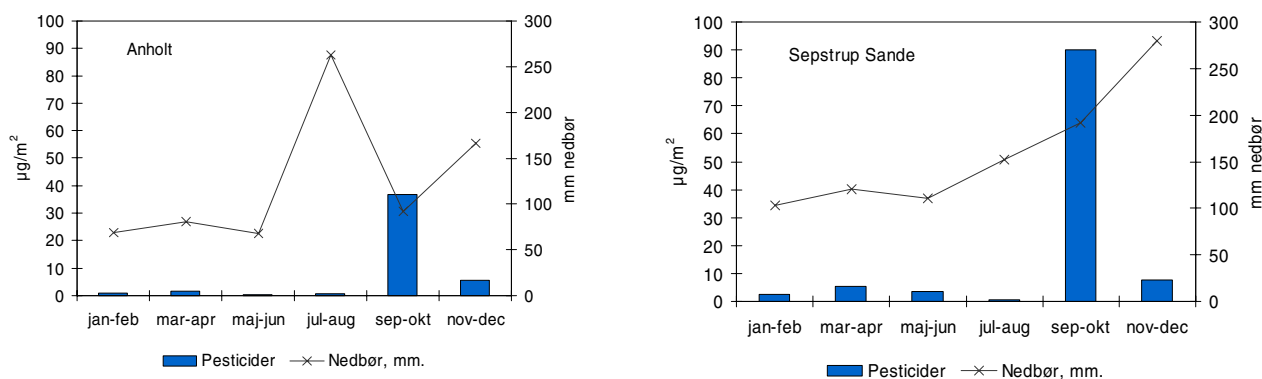
I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, end den kan tåle. Der er dog ingen direkte målsætning om størrelsen af pesticiddepositionen.

#### Tilstand og årsag

Våddepositionen af pesticider måles på to stationer, Anholt og Sepstrup Sande. Regnvandsprøver opsamles med wet-only-prøvetager og analyseres efterfølgende for indholdet af de udvalgte pesticider (se tabel 7.1). Tørdepositionen indgår således ikke i måleprogrammet. Prøverne er opsamlet over perioder på 2 måneder. I opsamlingsperioden opbevares prøverne koldt og mørkt inde i prøvetageren for at undgå afdampning og nedbrydning af pesticiderne. Depositionen er beregnet på grundlag af den samlede nedbørsmængde og koncentrationen i det opsamlede og analyserede regnvand.

Tabel 7.1 og figur 7.1 viser en oversigt over våddepositionen i 2006 af 14 almindeligt anvendte pesticider og 5 nedbrydningsprodukter af pesticider. På grund af et midlertidigt analyseproblem er prøverne fra maj-juni og juli-august ikke blevet analyseret for diuron, fenpropimorph, pendimethalin og prosulfocarb. Generelt er våddepositionen højere på Sepstrup Sande højere end på Anholt. På begge stationer er mængden af pesticider i våddeposition lav det meste af året: på Anholt max. 5  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  og i Sepstrup Sande max. 8  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  i en to måneders periode. I september-oktober er depositionsstørrelsen markant større: 38  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  på Anholt og 90  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  på Sepstrup Sande. Det er på begge stationer prosulfocarb, der står for størstedelen af depositionsstørrelsen fulgt af pendimethalin som giver et mindre bidrag. Begge pesticider anvendes til ukrudtsbekæmpelse i vintersæd, hvilket passer med tidspunktet for de høje depositionsstørrelser. Generelt er mængden af pesticider i våddeposition lav og har derfor ikke akut virkning på planter.

I 2004 og 2005 blev der som et ekstra supplement til programmet analyseret for tre chlorerede pesticider: DDT,  $\alpha$ - og  $\gamma$ -HCH (Lindan). De chlorerede pesticider har været anvendt på verdensbasis mellem 1950 til ca. 1970 til bekæmpelse af skadedyr, men efter at man opdagede, at disse stoffer er persistente og akkumuleres i fødekæden har en lang række lande forbudt anvendelse af disse stoffer. Lindan blev påvist i meget lave koncentrationer og DDT blev slet ikke påvist i 2005. Disse stoffer er derfor nedprioriteret i måleprogrammet for 2006.



**Figur 7.1** Våddepositionen,  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , af 14 almindeligt anvendte pesticider og 5 nedbrydningsprodukter i 2006 målt over 2-måneders perioder på Anholt og Sepstrup Sande. Kurven angiver nedbørsmængde i den tilsvarende periode i mm.

## Links

Yderligere information om opsamlings- og analysemetoder kan findes i *Ellermann et al., 2005, Atmosfærisk deposition, 2004., Faglig rapport fra DMU nr. 555, Danmarks Miljøundersøgelser:*

[http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/FR555.PDF](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR555.PDF)

**Tabel 7.1** Våddeposition i 2006 af 14 almindeligt anvendte pesticider samt 5 nedbrydningsprodukter af pesticider målt ved Anholt og Sepstrup Sande, µg/m<sup>2</sup>. n.d. angiver at koncentrationen af det pågældende stof ligger under detektionsgrænsen. n.a. angiver, at der ikke har været analyseret for det pågældende stof.

|                            | Jan-Feb    |            | Mar-Apr    |            | Maj-Jun    |            | Jul-Aug    |            | Sept-Okt    |             | Nov-Dec    |            |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
|                            | Anho       | Sepstru    | Anho       | Sepstru    | Anho       | Sepstru    | Anho       | Sepstru    | Anho        | Sepstru     | Anho       | Sepstru    |
| Atrazine                   | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | 0,1        | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Chloridazone               | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Desethyla-<br>trazine      | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | 0,2        | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Desethylterbu-<br>tylazine | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | 2,2        | 2,8        | 1,1        | 0,6        | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Desisopropy-<br>latrazine  | 0,8        | 0,7        | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Dichlorprop                | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Diuron                     | n.d.       | n.d.       | 0,1        | 0,2        | n.a.       | n.a.       | n.a.       | n.a.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Ethofumesate               | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Fenpropi-<br>morph         | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.a.       | n.a.       | n.a.       | n.a.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Hydroxyatra-<br>zine       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Hydroxysima-<br>zine       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | 0,5        | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Isoproturon                | n.d.       | 0,2        | 0,4        | 1,5        | n.d.       | 1,3        | n.d.       | n.d.       | 1,2         | 2,5         | 0,5        | 0,6        |
| MCPA                       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | 0,5        | n.d.       | 1,7        | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Mechlorprop                | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Metamitron                 | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Metazachlor                | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.       | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| Pendimethalin              | n.d.       | 1,6        | 0,6        | 2,1        | n.a.       | n.a.       | n.a.       | n.a.       | 4,6         | 12,3        | 1,3        | 3,1        |
| Prosulfocarb               | 0,1        | 0,1        | 0,2        | 0,8        | n.a.       | n.a.       | n.a.       | n.a.       | 30,9        | 75,3        | 3,6        | 4,2        |
| Terbutylazine              | n.d.       | n.d.       | 0,2        | 0,5        | 0,4        | 0,4        | n.d.       | 0,6        | n.d.        | n.d.        | n.d.       | n.d.       |
| <b>Sum</b>                 | <b>0,9</b> | <b>2,6</b> | <b>1,5</b> | <b>5,6</b> | <b>0,4</b> | <b>6,2</b> | <b>1,6</b> | <b>1,2</b> | <b>36,7</b> | <b>90,1</b> | <b>5,4</b> | <b>7,9</b> |

## 7.2 Våddeposition af nitrophenoler

### Relevans

Nitrophenoler er en gruppe organiske forbindelser der dannes fotokemisk i luften ved reaktion mellem kvælstofilter og aromatiske hydrocarboner (fx toluen og benzen). Både kvælstofilter og de aromatiske hydrocarboner slippes ud i forbindelse med forbrændingsprocesser (fx biler og energiproduktion). Nitrophenoler har en høj toksicitet for planter. En af nitrophenolerne, DNOC (dinitro-o-cresol), har tidligere være brugt i Danmark som ukrudtsmiddel. Nitrophenoler transporteres med luften fra kilderne til bl.a. naturområder, hvor de bliver fjernet fra atmosfæren med nedbør. Der analyseres i måleprogrammet for i alt 7 nitrophenoler.

### Målsætning

I Danmark og på europæisk plan er det en målsætning, at naturen ikke må modtage mere luftforurening, end den kan tåle. Der er dog ingen direkte målsætning om størrelsen af deposition af nitrophenoler.

### Tilstand og årsag

Våddepositionen af nitrophenoler måles på to stationer, Anholt og Sepstrup Sande. Regnvandsprøver opsamles med wet-only-prøvetager og analyseres efterfølgende for indholdet af 7 udvalgte nitrophenoler (tabel 7.2). Tørdepositionen indgår således ikke i måleprogrammet. Prø-

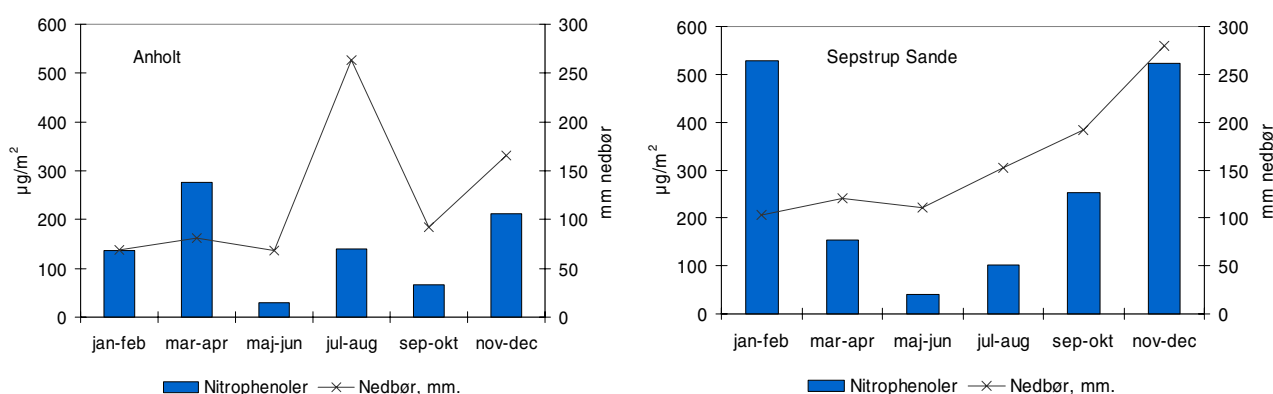
verne er opsamlet over perioder på 2 måneder. I opsamlingsperioden opbevares prøverne koldt og mørkt inde i prøvetageren for at undgå af-dampning og nedbrydning af nitrophenolerne. Depositionen er beregnet på grundlag af den samlede nedbørsmængde og koncentrationen i det opsamlede og analyserede regnvand.

Figur 7.2 og tabel 7.2 viser resultaterne af måling af våddeposition af nitrophenoler i 2006. På grund af et midlertidigt analyseproblem er prøverne fra maj-juni og juli-august ikke blevet analyseret for 2,6 dimethyl-4-nitrophenol, 3-methyl-2-nitrophenol og DNOC. Middelkoncentrationer og årlig deposition er generelt højere i Sepstrup Sande end på Anholt. Især i vinterperioden januar-februar og igen november-december var depositionen høj i Sepstrup Sande. Den høje deposition i vintermånederne kan ikke kun forklares med større nedbørsmængde, da nedbørsmængden i januar-februar kun var omkring det halve af nedbørsmængden i november-december. Sæsonvariationen på Anholt er ikke så stor og kunne tyde på at depositionen i vid udstrækning skyldes langtransport.

### Links

Yderligere information om opsamlings- og analysemetoder kan findes i *Ellermann et al., 2005, Atmosfærisk deposition, 2004., Faglig rapport fra DMU nr. 555, Danmarks Miljøundersøgelser:*

[http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/FR555.PDF](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR555.PDF)



**Figur 7.2** Samlet våddeposition af nitrophenoler i 2006 målt over 2-måneders perioder, µg/m². Kurven angiver nedbørsmængde i den tilsvarende periode i mm.

**Tabel 7.2** Våddeposition i 2006 af nitrophenoler målt ved Anholt og Sepstrup Sande, µg/m<sup>2</sup>. n.a. angiver, at der ikke har været analyseret for det pågældende stof. n.r. angiver, at den pågældende analyse ikke er afrapporteret p.g.a. metodeproblem.

|                            | Jan-Feb    |            | Mar-Apr    |            | Maj-Jun   |           | Jul-Aug    |            | Sept-Okt  |            | Nov-Dec    |            |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
|                            | Anholt     | Sepstrup   | Anholt     | Sepstrup   | Anholt    | Sepstrup  | Anholt     | Sepstrup   | Anholt    | Sepstrup   | Anholt     | Sepstrup   |
| 4-Nitrophenol              | n.d.       | 220        | 142        | 1          | n.a.      | n.a.      | n.a.       | n.a.       | 30        | 7          | 19         | 137        |
| 2,4-Dinitrophenol          | 20         | 57         | 86         | 1          | 13        | 17        | 64         | 41         | 1         | 92         | 69         | 133        |
| 2,6-Dinitrophenol          | 3          | 5          | 9          | 7          | 3         | 4         | 7          | 6          | 4         | 4          | 4          | 3          |
| 2,6-Dimethyl-4-nitrophenol | 27         | 51         | 21         | 10         | n.a.      | n.a.      | n.a.       | n.a.       | 12        | 1          | 19         | 29         |
| 3-Methyl-2-nitrophenol     | 24         | 68         | 35         | 13         | n.a.      | n.a.      | n.a.       | n.a.       | n.r.      | n.r.       | n.r.       | n.r.       |
| 3-Methyl-4-nitrophenol     | 42         | 90         | 85         | 88         | 13        | 19        | 53         | 41         | 7         | 110        | 72         | 152        |
| DNOC                       | 20         | 38         | 40         | 34         | n.a.      | n.a.      | 16         | 14         | 42        | 39         | 47         | 69         |
| <b>SUM</b>                 | <b>137</b> | <b>309</b> | <b>276</b> | <b>154</b> | <b>29</b> | <b>40</b> | <b>140</b> | <b>102</b> | <b>65</b> | <b>245</b> | <b>211</b> | <b>386</b> |

## 8 Referencer

Cappelen, J. 2007: Danmarks klima 2006 med Tórshavn, Færøerne og Nuuk, Grønland. DMI, København, Danmark. 51 s. - Teknisk rapport 07-01, <http://www.dmi.dk/dmi/tr07-01.pdf>.

Cappelen, J. og Jørgensen, B. V. 2007: Dansk vejr siden 1874 - måned for måned med temperatur, nedbør og soltimer samt beskrivelser af vejret. DMI, København, Danmark. 11 s. - Teknisk rapport 07-02, <http://www.dmi.dk/dmi/tr07-02.pdf>.

Christensen, J.H. 1997: The Danish Eulerian Hemispheric Model – a Three-Dimensional Air Pollution Model Used for the Arctic. – *Atmospheric Environment* 31(24): 4169-4191.

Ellermann, T., Andersen, H.V., Monies, C., Kemp, K., Bossi, R., Mogensen, B.B., Løfstrøm, P., Christensen, J. & Frohn, L.M., 2005: Atmosfærisk deposition 2004. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Frederiksborgvej 399, DK-4000 Roskilde, Denmark. 76 pp. NERI Technical report no. 555, <http://www.dmu.dk>

Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Brandt, J., Christensen, J., Frohn, L.M., Geels, C., Kemp, K., Løfstrøm, P., Mogensen, B.B., & Monies, C. 2006: Atmosfærisk deposition 2005. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Frederiksborgvej 399, DK-4000 Roskilde, Denmark. 66 pp. NERI Technical report no. 595, <http://www.dmu.dk>

EMEP 2007: [www.EMEP.int](http://www.EMEP.int)

Frohn, L., Christensen, J., Brandt, J., Geels, C. & Hansen, K. M. 2003: Validation of a 3-D hemispheric nested air pollution model. – *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 3, 3543 – 3588.

Fyns Amt 2005: Atmosfærisk nedfald 2004. Vandmiljøovervågning.- Odense: Fyns Amt, Miljø- og Arealafdelingen. 39 s.

Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R., 1995: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Centre for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, pp. 114.

Gyldenkerne, S., Ambelas Skjøth, C., Hertel, O. & Ellermann, T. 2005: A dynamical ammonia emission parameterization for use in air pollution models. - *Journal of Geophysical Research- Atmospheres* 110(D7): D07108 pp.

Hertel, O., Ambelas Skjøth, C., Frohn, L. M., Vignati, E., Frydendall, J., de Leeuw, G., Swartz, S., and Reis, S., 2002: Assessment of the Atmospheric Nitrogen and sulphur Inputs into the North Sea using a Lagrangian model. *Phys. Chem. Earth*, 27(35), 1507-1515.

Hovmand, M. F., Grundahl, L., Runge, E., Kemp, K., Aistrup, W.A. 1993: Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1992. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde, 96 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 91.

<http://www.dmu.dk/Udgivelser/Faglige+rapporter/>

Illerup, J.B., Nielsen, M., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Fauser, P. & Nielsen, M., 2006: Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2004. Reported to the UNECE LRTAP Convention May 2006.

[http://cdr.eionet.europa.eu/dk/Air\\_Emission\\_Inventories/Submission\\_EMEP\\_UNECE/envrgl\\_mq](http://cdr.eionet.europa.eu/dk/Air_Emission_Inventories/Submission_EMEP_UNECE/envrgl_mq)

Illerup, J.B., Nielsen, M., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Fauser, P. & Nielsen, M., 2007: Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2005. National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark, 811 pp. - NERI technical Report. Under udarbejdelse

[http://cdr.eionet.europa.eu/dk/Air\\_Emission\\_Inventories/Submission\\_EMEP\\_UNECE/envrdr4\\_a/DK\\_IIR\\_May\\_2007.pdf](http://cdr.eionet.europa.eu/dk/Air_Emission_Inventories/Submission_EMEP_UNECE/envrdr4_a/DK_IIR_May_2007.pdf)

Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J. & Ketzel, M. 2007: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2006. National Environmental Research Institute, Roskilde Denmark 41 p. - NERI Technical report No. 623.

Kärenlampi, L. & Skärby, L. (eds.) 1996: critical Levels for Ozone in Europe: Testing and finalizing the Concepts. UNECE workshop report, University of Kuopio, Finland.

Løfstrøm, P. & Andersen, H. V. 2007: Måling af ammoniak i nærheden af stalde. - Vand og Jord, 1, 16-20.

Olesen H. R., P. Løfstrøm, R. Berkowicz & A. B. Jensen, 1992: An improved dispersion models for regulatory use - the OML Model. In: Air pollution Modelling and its applications, pp. 29-38, Plenum Press, New York.

Søgaard, B., Skov, F., Ejrnæs, R., Nielsen, K.E., Pihl, S., Clausen, P., Laursen, K., Brenballe, T., Madsen, J., Baatrup-Pedersen, A., Søndergaard, M., Lauridsen, T. L., Møller, P. F., Riis-Nielsen, T., Buttenschøn, R. M., Fredshavn, J. R., Aude, E. & Nygaard, B. 2003: Kriterier for gunstig bevaringsstatus. Naturtyper og arter omfattet af EF-habitatdirektivet & fugle omfattet af EF-fuglebeskyttelsesdirektivet. 2. udg. Danmarks Miljøundersøgelser. 460 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 457.

Vestreng, V. 2003: Review and Revision, Emission data reported to CLRTAP, MSC-W Status Report 2003 EMEP/MSW-NOTE 1/2003, Norsk Meteorologisk Institutt, Oslo. [http://www.emep.int/reports/mscw\\_note\\_1\\_2003.pdf](http://www.emep.int/reports/mscw_note_1_2003.pdf)

WEBDAB (2004) <http://webdab.emep.int/>.

# Bilag 1

## Ammoniak og partikulært ammonium målt med ½-månedssdenuder

**Tabel 1** Koncentrationer af gasformig ammoniak målt i 2006, angivet som middelværdi (middel), variation angivet ved standardafvigelse (std), maksimum (max), minimum (min) og dækningsgrad over året. Bortset fra Lindet er målingerne foretaget som halvmånedsmiddel. På Lindet er der målt ugemiddelværdier.\*

|               | Middel<br>µgN/m <sup>3</sup> | Std<br>µgN/m <sup>3</sup> | Max<br>µgN/m <sup>3</sup> | Min<br>µgN/m <sup>3</sup> | Dækning<br>% | Estimerede<br>Perioder |
|---------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|
| Ulborg        | 0,41                         | 0,36                      | 1,45                      | 0,04                      | 87           | 31.05-15.09            |
| Frederiksborg | 0,21                         | 0,18                      | 0,71                      | 0,01                      | 96           | 30.06-31.07            |
| Idom hede     | 1,03                         | 0,62                      | 2,72                      | 0,25                      | 100          |                        |
| Hjelm hede    | 1,11                         | 0,74                      | 2,86                      | 0,33                      | 96           | 31.05-15.09            |
| Keldsnor      | 0,66                         | 0,39                      | 1,53                      | 0,09                      | 85           | 30.06-31.07            |
| Lindet        | 1,45                         | 1,08                      | 5,78                      | 0,21                      | 99           |                        |

**Tabel 2** Koncentrationer af partikulært ammonium målt i 2006, angivet som middelværdi (middel), variation angivet ved standardafvigelse (std), maksimum (max), minimum (min) og dækningsgrad over året. Bortset fra Lindet er målingerne foretaget som halvmånedsmiddel. På Lindet er der målt ugemiddelværdier. Der er ikke målt partikulært ammonium på Idom hede hele året.\*

|               | Middel<br>µgN/m <sup>3</sup> | Std<br>µgN/m <sup>3</sup> | Max<br>µgN/m <sup>3</sup> | Min<br>µgN/m <sup>3</sup> | Dækning<br>% | Estimerede<br>Perioder |
|---------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|
| Ulborg        | 1,22                         | 0,60                      | 2,59                      | 0,23                      | 100          | 31.05-15.09            |
| Frederiksborg | 1,17                         | 0,45                      | 2,06                      | 0,50                      | 92           | 30.06-31.07            |
| Hjelm hede    | 1,40                         | 0,60                      | 2,73                      | 0,30                      | 96           | 31.05-15.09            |
| Keldsnor      | 1,56                         | 0,55                      | 3,11                      | 0,90                      | 84           | 30.06-31.07            |
| Lindet        | 1,61                         | 0,90                      | 4,93                      | 0,28                      | 96           |                        |

**Tabel 3** Koncentrationer af den totale mængde af gasformig ammoniak og partikulært ammonium målt i 2006, angivet som middelværdi (middel), variation angivet ved standardafvigelse (std), maksimum (max), minimum (min) og dækningsgrad over året. Bortset fra Lindet er målingerne foretaget som halvmånedsmiddel. På Lindet er der målt ugemiddelværdier.\*

|               | Middel<br>µgN/m <sup>3</sup> | Std<br>µgN/m <sup>3</sup> | Max<br>µgN/m <sup>3</sup> | Min<br>µgN/m <sup>3</sup> | Dækning<br>% | Estimerede<br>Perioder |
|---------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|
| Ulborg        | 1,62                         | 0,79                      | 3,60                      | 0,50                      | 100          | 31.05-15.09            |
| Frederiksborg | 1,37                         | 0,47                      | 2,25                      | 0,61                      | 92           |                        |
| Hjelm hede    | 2,49                         | 1,02                      | 4,98                      | 0,90                      | 96           |                        |
| Keldsnor      | 2,16                         | 0,77                      | 4,12                      | 1,32                      | 88           | 30.06-31.07            |
| Lindet        | 3,08                         | 1,65                      | 8,40                      | 0,79                      | 96           |                        |

\*\*\*Dækning" er dækningsgrad af målinger, inklusiv de målinger, der er estimeret på baggrund af en total bestemmelse.

## Bilag 2 Usikkerhed og detektionsgrænser for analyse af miljøfarlige organiske stoffer

Polære pesticider (med undtagelse af pendimethalin) analyseres under akkreditering (Danak reg. no. 411). Detektionsgrænse og metodens usikkerheden for disse stoffer fremgår af tabel 1. Detektionsgrænsen er bestemt som tre gange standard afvigelse af otte overfladevandsprøver spiket til et niveau der ligger inden for fem gange den estimerede detektionsgrænse.

Måleusikkerheden er angivet som den procentuelle totale relative standardafvigelse på den bestemte koncentration (0,050 µg/l). Proceduren for opsætning af usikkerhedsbudgettet er baseret på MODUS-systemet, som er en fortolkning af GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurements) samt EURACHEM's vejledning "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurements".

Pendimethalin og nitrophenoler analyseres med den samme metode som polære pesticider. For disse stoffer er der også angivet detektionsgrænse og måleusikkerhed. Detektionsgrænsen er beregnet som tre gange standardafvigelse på seks analyser af en standard på 0,010 µg/l.

**Tabel 1** Detektionsgrænser og måleusikkerhed for pesticider og nitrophenoler, som analyseres med LC-MS-MS. Stoffer der analyseres under akkreditering er mærket med \*.

| Stof                       | Detektionsgrænse µg/l | Måleusikkerhed % |
|----------------------------|-----------------------|------------------|
| atrazin*                   | 0,001                 | 17               |
| chloridazon*               | 0,003                 | 14               |
| desethylatrazin*           | 0,002                 | 10               |
| desethylterbuthylazin*     | 0,002                 | 39               |
| desisopropylatrazin*       | 0,006                 | 15               |
| dichlorprop*               | 0,002                 | 29               |
| 2,6-dimethyl-4-nitrophenol | 0,002                 | 12               |
| 2,4-dinitrophenol          | 0,004                 | 13               |
| 2,6-dinitrophenol          | 0,004                 | 12               |
| diuron*                    | 0,001                 | 11               |
| DNOC*                      | 0,003                 | 37               |
| ethofumesat*               | 0,002                 | 32               |
| fenpropimorph*             | 0,006                 | 74               |
| hydroxy-atrazin*           | 0,002                 | 27               |
| hydroxy-simazin*           | 0,002                 | 56               |
| isoproturon*               | 0,001                 | 48               |
| MCPA*                      | 0,002                 | 30               |
| mechloprop*                | 0,002                 | 37               |
| metamitron*                | 0,003                 | 19               |
| metazachlor*               | 0,002                 | 30               |
| 3-methyl-2-nitrophenol     | 0,002                 | 11               |
| 3-methyl-4-nitrophenol     | 0,002                 | 15               |
| 4-nitrophenol*             | 0,006                 | 4                |
| pendimethalin              | 0,005                 | 33               |
| terbutylazin*              | 0,002                 | 23               |

## **DMU    Danmarks Miljøundersøgelser**

|                                                                                              |                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.                                 | På DMU's hjemmeside <a href="http://www.dmu.dk">www.dmu.dk</a> finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.                                            |
| DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø. | Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, conferencebidrag og populærfaglige artikler. |

Yderligere information: [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)

|                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Danmarks Miljøundersøgelser<br>Frederiksborgvej 399<br>Postboks 358<br>4000 Roskilde<br>Tlf.: 4630 1200<br>Fax: 4630 1114 | Direktion<br>Personale- og Økonomisekretariat<br>Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat<br>Afdeling for Systemanalyse<br>Afdeling for Atmosfærisk Miljø<br>Afdeling for Marin Økologi<br>Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi<br>Afdeling for Arktisk Miljø |
| Danmarks Miljøundersøgelser<br>Vejlsovej 25<br>Postboks 314<br>8600 Silkeborg<br>Tlf.: 8920 1400<br>Fax: 8920 1414        | Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat<br>Afdeling for Marin Økologi<br>Afdeling for Terrestrisk Økologi<br>Afdeling for Ferskvandsøkologi                                                                                                                    |
| Danmarks Miljøundersøgelser<br>Grenåvej 14, Kalø<br>8410 Rønde<br>Tlf.: 8920 1700<br>Fax: 8920 1514                       | Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet                                                                                                                                                                                                                                  |

## Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, [www.dmu.dk/Udgivelser/](http://www.dmu.dk/Udgivelser/), finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

### Nr./No. 2007

- 630 Control of Pesticides 2005. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 24 pp.
- 629 A chemical and biological study of the impact of a suspected oil seep at the coast of Marraat, Nuussuaq, Greenland. With a summary of other environmental studies of hydrocarbons in Greenland. By Mosbech, A. et al. 55 pp.
- 628 Danish Emission Inventories for Stationary Combustion Plants. Inventories until year 2004. By Nielsen, O.-K., Nielsen, M. & Illerup, J.B. 176 pp.
- 627 Verification of the Danish emission inventory data by national and international data comparisons. By Fauser, P. et al. 51 pp.
- 626 Trafikdræbte større dyr i Danmark – kortlægning og analyse af påkørselsforhold. Af Andersen, P.N. & Madsen, A.B. 58 s.
- 625 Virkemidler til realisering af målene i EU's Vandrammedirektiv. Udredning for udvalg nedsat af Finansministeriet og Miljøministeriet: Langsigtet indsats for bedre vandmiljø. Af Schou, J.S. et al. 128 s.
- 624 Økologisk Risikovurdering af Genmodificerede Planter i 2006. Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsføringssager. Af Kjellsson, G. et al. 24 s.
- 623 The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2006. By Kemp, K. et al. 41 pp.
- 622 Interkalibrering af marine målemetoder 2006. Hjorth, M. et al. 65 s.
- 621 Evaluering af langtransportmodeller i NOVANA. Af Frohn, L.M. et al. 30 s.
- 620 Vurdering af anvendelse af SCR-katalysatorer på tunge køretøjer som virkemiddel til nedbringelse af NO<sub>2</sub> forureningen i de største danske byer. Af Palmgren, F., Berkowicz, R., Ketzel, M. & Winther, M. 39 s.
- 619 DEVANO. Decentral Vand- og Naturovervågning. Af Bijl, L. van der, Boutrup, S. & Jensen, P.N. 35 s.
- 618 Strategic Environmental Impact Assessment of hydrocarbon activities in the Disko West area. By Mosbech, A., Boertmann, D. & Jespersen, M. 187 pp.
- 617 Elg i Danmark. Af Sunde, P. & Olesen, C.R. 49 s.
- 615 NOVANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse 2007-09. Del 2. Af Bijl, L. van der, Boutrup, S. & Jensen, P.N. 119 s.
- 614 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland 2006. By Glahder, C.M. & Asmund, G. 26 pp.
- 613 PAH i muslinger fra indre danske farvande, 1998-2005. Niveauer, udvikling over tid og vurdering af mulige kilder. Af Hansen, A.B. 70 s.
- 612 Recipientundersøgelse ved grønlandske lossepladser. Af Asmun, G. 110 s.
- 611 Projection of Greenhouse Gas Emissions – 2005-2030. By Illerup, J.B. et al. 187 pp.
- 610 Modellering af fordampning af pesticider fra jord og planter efter sprøjtning. Af Sørensen, P.B. et al. 41 s.
- 609 OML : Review of a model formulation. By Rørdam, H., Berkowicz, R. & Løfstrøm, P. 128 pp.
- 608 PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø. NOVANA screeningsundersøgelse. Af Strand, J. et al. 49 s.

### Nr./No. 2006

- 607 Miljøtilstand og udvikling i Viborgsøerne 1985-2005. Af Johansson, L.S. et al. 55 s.
- 606 Landsdækkende optælling af vandfugle, januar og februar 2004. Af Petersen, I.K. et al. 75 s.
- 605 Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 2005. Af Johansen, P. et al. 101 s.
- 604 Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2004. By Illerup, J.B. et al. 715 pp.
- 603 Analysing and synthesising European legislation in relation to water. A watersketch Report under WP1. By Frederiksen, P. & Maenpaa, M. 96 pp.

Kvælstofdepositionen til danske farvande og landområder er for 2006 beregnet til hhv. 97 og 72 ktøns N. Beregningerne er foretaget med luftforureningsmodellen kaldet DEHM. Kvælstofdepositionen til vand- og landområderne er faldet med henholdsvis ca. 21 og 26 % siden 1989. Svovldepositionen til danske landområder er for år 2006 beregnet til ca. 25 ktøns S. Svovldepositionen er faldet med ca. 62 % siden 1990. For fosfor er der ikke sket betydelige ændringer i koncentrationer og depositioner. Koncentrationer og depositioner af tungmetaller (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, og Pb) i 2006 adskiller sig ikke væsentligt fra de seneste år. Siden 1989 er koncentrationer og depositioner af tungmetaller faldet med en faktor to til tre. Endvidere rapporteres resultater fra måling af våddeposition af miljøfremmede organiske stoffer.