

Sammenfatning

Denne rapport sammenfatter de vigtigste konklusioner fra atmosfæredelen af NOVA 2003 og opsummerer hovedresultaterne vedrørende måling og beregning af koncentrationer af atmosfæriske kvælstof-, fosfor-, svovlforbindelser og tungmetaller samt deposition til danske hav- og landområder for året 2001.

Koncentrationer og depositioner bestemmes på basis af en kombination af målinger og modelberegninger for derved at udnytte fordelene ved de to metoder bedst muligt. Konklusioner vedrørende:

- aktuelle koncentrationsniveauer ved målestationerne,
- depositionen ved målestationerne,
- sæsonvariationer og
- udviklingstendenser for koncentrationer og depositioner

er således hovedsageligt baseret på målingerne, som også er anvendt til vurdering af resultaterne fra modelberegningerne. Beregninger og konklusioner vedrørende:

- depositioner til de enkelte farvands- og landområder,
- kildefordeling og
- det danske bidrag til depositionen

baseres på modelberegningerne, som netop anvendes for at kunne ekstrapolere resultaterne fra de enkelte målestationer ud til større geografiske områder og for at kunne vurdere bidraget fra forskellige kilder.

Forsurende og eutrofierende kvælstofforbindelser

Kvælstofdeposition til farvande

For 2001 viser modelberegningerne, at den samlede kvælstofdeposition til de danske farvande, fjorde, vige og bugte varierer fra 0,8 til 1,5 tons N/km² med et gennemsnit på omkring 1,1 tons N/km² (se Figur 2.10). Dette giver en samlet kvælstofdeposition til de danske farvandsområder på 118 ktons N, hvilket er ca. 20% lavere end i 2000 og på niveau med depositionen for 1999.

Opdatering af model

For 1999-2001 viser beregningerne en tydeligt højere deposition til de danske farvande end hidtil rapporteret for perioden 1989-1998. Årsagen er, at ACDEP-modellen er blevet opdateret. I 1999 var vi tvunget til at indføre en ny type meteorologiske input data og disse har resulteret i, at den beregnede våddeposition generelt er blevet højere (se *Ellermann et al. 2000* for flere detaljer).

2001 i forhold til 2000

Kvælstofdepositionen i år 2001 er beregnet til at være ca. 20% lavere end for 2000. Årsagen til dette fald er navnlig lavere nedbørsmængder over hovedparten af farvandene. Undtaget herfra er Østersøen omkring Bornholm, hvor der faldt relativt høje nedbørsmængder og hvor depositionen er uændret fra 2000 til 2001. Deposition opdelt på de forskellige danske farvandsområder kan ses i Tabel 2.10. En mere detaljeret opgørelse inkluderende fjorde, vige og bugte vil senere

blive tilgængelig på internettet. Depositionen er størst til fjorde og kystnære områder. Kvælstofdepositionen til de danske farvande fordeles sig med 80% tilført som våddeposition og 20% som tørdeposition.

Kvælstofdeposition til landområder

Beregningerne viser at kvælstofdepositionen til landområderne ligger mellem 1,4 og 2,4 tons N/km² med højest deposition i Jylland og med lavest deposition i den østlige del af landet. For landet som helhed beregnes en kvælstofdeposition på 87 ktøns N, hvilket svarer til depositionerne i 2000. Den geografiske variation i depositionen skyldes fordelingen af nedbør, forskelle i afstand til områder med høje emissioner i den nordlige del af det europæiske kontinent og intensitet af husdyrbrug og dermed ammoniakemission på mere lokal skala. Depositionen pr. areal-enhed er generelt højere til land end til vand, hvilket primært skyldes deposition af ammoniak fra lokale landbrug og større deposition af kvælstofdioxid til landoverflader end til vandoverflader.

Landområder + farvande

Den samlede deposition af kvælstof til danske landområder og farvande i 2001 bliver sammenlagt 205 ktøns N, hvilket betyder, at depositionen er af samme størrelsesorden som emissionen. For 2000 er den samlede emission af kvælstof estimeret til 148 ktøns N (*Illerup, 2002*). Der er derfor en betydelig netto import af kvælstof til Danmark, idet emissionen forventes at være på ca. samme størrelse i 2001 og 2000.

Sæsonvariation i år 2001

For år 2001 ses store variationer i kvælstofdepositionen for de enkelte måneder ligesom der er stor variation i sæsonvariationen for de forskellige målestationer. Generelt gælder dog for 2001, at depositionerne er højest i forårsmånederne og lavest i vintermånederne. Billedet af de gennemsnitlige sæsonvariationer for hele overvågningsperioden 1989-2001, har ikke ændret sig siden år 2000 (*Ellermann et al. 2001*).

Kilder til kvælstofdeposition

Modelberegningerne viser, at den atmosfæriske deposition af kvælstof til danske farvande i 2001 stammer stort set ligeligt fra landbrug (ca. 40%) og forbrændingsprocesser (ca. 60%). For områder tæt på landbrugskilder ses dog et lidt højere bidrag fra landbruget. Således bidrager landbrugskilder med godt 53% af depositionen til Limfjorden og godt 46% af depositionen til Kattegat, mens diverse forbrændingsprocesser er kilde til resten. Endvidere viser modelberegningerne, at landbrug tilsvarende er kilde til ca. halvdelen af kvælstofdepositionen til landoverflader. Disse beregningsresultater er i god overensstemmelse med resultaterne fra målestationerne, som viser at andelen fra landbrug svarer til 47-62% for deposition til vandoverflader ved kyster og til 40-62% for deposition til en gennemsnitlig landoverflade (10 cm høj plantevækst).

Danske bidrag

Af den samlede deposition til farvandene bidrager danske kilder med 30% til Kattegat og 9% til Nordsøen. Derimod udgør det danske bidrag mere end 40% for nogle fjorde, vige og bugte. Det høje danske bidrag i disse områder skyldes helt overvejende deposition af lokalt emitteret ammoniak. I gennemsnit udgør det danske bidrag omkring 16% af den atmosfæriske kvælstoftilførsel til de danske farvande i år 2001. De danske kilder udgør i gennemsnit 40% af depositionen til

landområderne, hvilket er betydeligt højere end for de danske farvande. For depositionerne til landområderne er der store lokale variationer grundet bidragene fra de enkelte landbrug.

Langtransport

Hovedparten (60-84%) af kvælstofdepositionen i Danmark stammer fra udlandet, hvilket hænger sammen med, at kvælstofforbindelserne kan transporteres med luften over store afstande. I Danmark kommer den største del af luftforureningen fra den nordlige del af det europæiske kontinent, hvor emissionerne fra både landbrug og forbrændingsprocesser er høje.

Udviklingstendenser for den samlede kvælstofdeposition til farvande m.m.

Den samlede deposition af kvælstof til de danske farvande består for størstedelen af våddeposition (75-85%). Da våddepositionen af kvælstof, som middel for målestationerne, er faldet (ca. 15%) vurderes at der ligeledes har været et fald i den samlede kvælstofdeposition til de danske farvande (tørdepositionen udgør kun en lille del af den samlede deposition til farvandene og der er ikke set betydelige stigninger i tørdepositionen). Ændringerne fra år til år er ofte betydelige og kan være større end den samlede ændring over perioden. Endvidere er ændringerne af våddepositionen kun statistisk signifikant på en ud af de 7 målestationer.

Ændringer i samlet deposition til landområder

Kvælstofdepositionen til danske landområder består af ca. 50% våddeposition og ca. 50% tørdeposition. Med et forsigtigt skøn vurderes det at der ikke er sket væsentlige ændringer over perioden 1989-2001. Denne vurdering bygger på, at der kun er sket et lille fald i våddepositionen og at tørdepositionen ikke er ændret betydeligt. Tørdepositionen udgøres for en stor del af deposition af ammoniak og for ammoniak ses for hovedparten af målestationerne ikke nogen statistisk signifikant ændring (se nedenfor).

Lokale ændringer

Ovenstående vurdering gælder for Danmark, som helhed. Lokalt vil der uden tvivl kunne forekomme ændringer i kvælstofdepositionen i lighed med situationen ved målestationen ved Tange, hvor der er målt en signifikant reduktion i ammoniakkoncentrationen på 33% over perioden 1989-2001. Denne betydelige reduktion i ammoniakkoncentrationen forventes at medføre et fald i tørdepositionen af ammoniak, der for Tange beregnes at udgøre lidt over en tredjedel af den samlede deposition.

Udviklingstendenser for koncentration

Ændringerne i luftkoncentrationerne af kvælstofforbindelserne på målestationerne viser samme billede, som ved tidligere rapporter:

- For NH_x (summen af gasformig ammoniak og partikelbundet ammonium) måles signifikante fald på alle målestationer på 30-43% i løbet af perioden 1989-2001. Af dette fald udgøres hovedparten af partikulært bundet ammonium, der i samme periode er faldet med 37-48% på alle målestationerne. For ammoniak varierer billedet meget fra målestation til målestation. Ved Tange observeres et statistisk signifikant fald på 33% i løbet af perioden, mens ændringerne på de øvrige målestationer er mindre og ikke statistisk signifikante.

- For årsmiddelkoncentrationen af sum-nitrat observeres signifikante fald på alle målestationer. Faldet ligger på 20-30% for perioden 1989-1999.
- For kvælstofdioxid ses på basis af de nuværende tidsserier ingen udviklingstendens for perioden 1989-2001. Variationer fra år til år er store og overskygger eventuelle tendenser.

Da ændringerne i koncentrationerne af partikulært bundet ammonium og sum-nitrat er meget ens på målestationerne gælder de målte reduktioner formodentligt for landet som helhed.

Emissionsændringer

Ændringerne i koncentrationer og våddeposition skyldes fald i emissionerne af ammoniak og kvælstoffilter i den nordlige del af det europæiske kontinent. Lokale danske kilder påvirker også koncentrationniveauerne og reduktionen i emissionen i Danmark har derfor også betydning.

Mere nedbør og ændret kemi

Visse af de observerede ændringer er mindre end forventet på basis af faldet i emissionerne. Årsagen til at ændringerne i emissionerne ikke har haft større effekt er formodentligt, at to faktorer har modvirket et fald i depositionerne. Den ene faktor er ændringerne i nedbørsmængderne, som medfører store variationer i våddepositionen fra år til år, hvilket gør det vanskeligt at observere en trend. Dernæst har de tre våde år i 1998-2000 på flere af målestationerne givet anledning til en gennemsnitlig stigning i nedbørsmængderne i løbet af perioden 1989-2001. Den anden faktor er, at faldet i luftens indhold af svovlforbindelser efter alt at dømme har medført, at ammoniak omdannes langsommere i atmosfæren, og at koncentrationen af ammoniak derfor er faldet mindre end forventet på basis af reduktionen i emissionerne.

Usikkerhed på beregningerne

Usikkerheden i beregning af deposition af kvælstof til de danske land- og vandområder er meget svær at bestemme. Med udgangspunkt i sammenligning mellem modelberegningerne og målingerne estimeres den samlede usikkerhed i beregningerne af kvælstofdepositionen til land til 50%. Anlægges igen en forsigtig betragtning kan usikkerheden i beregningerne for Kattegat estimeres til ca. 30%, hvilket også skønnes at gælde for resten af de Indre Danske Farvande. For den danske del af Nordsøen har vi ikke måledata for nedbørsmængderne, som er meget vigtige for resultatet, og usikkerheden kan derfor være større for Nordsøområdet (op mod 50%).

Fosfordeposition

Fosfordeposition og udviklingstendenser

Det estimeres, at den uorganiske fosfordeposition til de Indre Danske Farvande (areal 31.500 km²) er på ca. 130 tons uorganisk opløseligt P i 2001. Dette estimat bygger på måling af våddeposition af fosfor med optimerede metoder. Estimateret angiver en øvre grænse. Det vurderes forsat, at der ikke er sket ændringer i fosfordepositionen, idet ændringerne skyldes anvendelse af bedre metoder. Denne vurdering støttes af målinger udført af Fyns Amt (*Bendixen og Krüger 2002*).

Forsurende svovlforbindelser

Svovldeposition

For svovlforbindelserne er der for år 2001 beregnet en samlet deposition til en gennemsnitlig landoverflade på 0,7-0,9 tons S/km², hvilket resulterer i en samlet deposition til de danske landområder på ca. 33.000 tons. Imidlertid er modellens beregninger væsentligt overestimerede og et realistisk bud på den samlede svovldeposition til danske landområder vurderes derfor til ca. 20.000 tons S. Tallet kan sammenlignes med de danske atmosfæriske svovlemissioner på ca. 13.750 tons S i 2000 (*Illerup, 2002*). På basis af modelberegningerne ses en meget jævn fordeling over landet. Dog ses høje koncentrationer ved de store byer og i områder med meget nedbør. Den jævne fordeling skyldes, at det i ACDEP på nuværende tidspunkt ikke er muligt at inkludere sulfatbidrag stammende fra havsalt.

Sulfat fra havsalt

Hovedparten af depositionen udgøres af våddeposition af sulfat (64-83%), hvoraf 10-25% er naturligt og stammer fra havsalt. Størst sulfatbidrag fra havsalt ses i den vestlige del af Jylland pga. kort afstand til Nordsøen, mens havsalt kun bidrager med en lille del af sulfatdepositionen i den østlige del af landet. Den store indflydelse af havsalt i den vestlige del af Jylland bevirker, at den samlede svovldeposition er størst i Vestjylland og mindst i den østlige del af landet.

Kilder

Hovedparten af svovldepositionen i Danmark stammer fra langtransport af svovlforbindelser fra den nordlige del af det europæiske kontinent, hvor emissionerne fra diverse forbrændingsprocesser er høje. ACDEP beregningerne viser således, at kun ca. 10% af svovldepositionen stammer fra danske kilder.

Udviklingstendenser

Udviklingstendenserne for svovldepositionen er langt klarere end for kvælstofdepositionen. For perioden 1989-2001 ses for alle målestationerne signifikante og kraftige fald i våddeposition af sulfat, og i koncentrationerne af svovldioxid og partikulært bundet sulfat. Reduktionen i den samlede svovldeposition estimeres til ca. 50% baseret på reduktionerne i våddepositionen, der udgør den største del af depositionen. Årsagen til de store reduktioner er uden tvivl de store fald i emissionerne af svovldioxid i Danmark og i den nordlige del af det europæiske kontinent.

Usikkerhed på beregningerne

Som for kvælstof skønnes usikkerheden på beregningerne til at være betydelige. På basis af sammenligning mellem depositionerne bestemt med ACDEP og målingerne ved målestationerne vurderes, at ACDEP overestimerer svovldepositionen med op til 80% og det estimeres, at modelberegningerne kan være usikre med op til en faktor 2.

Tungmetaldeposition

Deposition

Den gennemsnitlige deposition (mg/m²) for det danske baggrundsområde var i 2001: Cr = 0,11, Ni = 0,20, Cu = 0,7, Zn = 8,3, As = 0,12, Cd = 0,04 og Pb = 0,8. Dette svarer i store træk til niveauerne for 2000.

Koncentration

Den gennemsnitlige koncentration af partikulært bundet tungmetal (ng/m³) var for 2001: Cr = 0,5, Mn = 2,6, Fe = 68, Ni = 1,6, Cu = 1,7, Zn = 13, As = 0,6, Cd = 0,2 og Pb = 5,8, hvilket er lidt under niveauerne for 2000.

Trends og emissionsændringer

Udviklingen i depositionen og i det atmosfæriske koncentrationsniveau af tungmetaller har for perioden 1990 til 2001 været stadig faldende. Nedgangen i tungmetalniveauerne har været mellem en faktor to og en faktor tre, størst nedgang er målt for stofferne Pb og Cd. Udviklingstendenserne følger ændringerne i emissionerne af tungmetallerne. I Danmark og mange andre europæiske lande er der sket betydelige reduktioner i emissionerne. For enkelte tungmetaller er der dog ikke sket nævneværdige reduktioner i danske udledninger og de observerede ændringer skyldes derfor navnlig emissionsreduktioner i den nordlige del af det europæiske kontinent.

Deposition til farvande

For 2001 er tungmetaldepositionen til de indre danske farvande med et samlet areal på 31.500 km² estimeret til : Cr = 3 tons, Ni = 6 tons, Cu = 23 tons , Zn = 261 tons, As = 4 tons, Cd = 1,4 tons og Pb = 27 tons. Estimerterne er baseret på en middelværdi af målinger fra alle 7 målestationer. Usikkerhederne i depositionsverdierne for de enkelte tungmetaller er ca. 30%. Sammenlignes med værdier for landbaserede udledninger af tungmetaller, er det atmosfæriske bidrag af samme størrelsesorden som disse og i nogle tilfælde større.