

## Teknisk notat

# Opdatering af beregningssystem til estimering af ammoniakafsætning fra husdyrbrug til brug for kommunernes administration af den kommende lov om godkendelse af husdyrbrug

Udarbejdet af Camilla Geels, Lise M. Frohn, Kaj M. Hansen, Jesper H. Christensen og Lars Moseholm, Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfærisk Miljø

Version 1, december 2006.



<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>5</b>	
<b>2</b>	<b>Den opdaterede beregning af afsætningen</b>	<b>7</b>	
2.1	Usikkerhedsvurdering af modelresultaterne	8	
2.2	Fremtidig udvikling af systemet	9	
<b>3</b>	<b>Modelberegninger på lokal skala</b>	<b>11</b>	
<b>4</b>	<b>Beregning af nye afsætningskurver</b>	<b>15</b>	
4.1	Meteorologi	16	
4.2	Overfladetype	19	
4.3	Kildehøjde	20	
4.4	Baggrund og kildestyrke	20	
4.5	De endelige standardkurver	21	
4.6	Beskrivelse af hvordan de opdaterede kurver er implementeret i HR	23	
<b>5</b>	<b>Referencer</b>	<b>25</b>	



# 1 Indledning

Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfæriske Miljø (DMU/ATMI) har i perioden fra maj til november, 2006 haft til opgave at opdatere beregningssystemet for ammoniakafsætning pga. etablering, ændring eller udvidelse af husdyrbrug. Projektet er finansieret af Skov- og Naturstyrelsen (SNS).

Der lægges vægt på at beregningssystemet skal være så enkelt, gennemskueligt og entydigt som muligt, dels for at forenkle sagsbehandlingen og dels for at ammoniakberegningerne ikke varierer betydeligt afhængigt af brugeren. Det udviklede beregningssystem skal således leve op til målsætningen om et robust estimeringsværktøj, der kan medvirke til et ensartet fagligt beslutningsgrundlag i den kommunale administration.

SNS har valgt at det beregningsværktøj, der skal tages i anvendelse pr. 1. januar 2007 skal baseres på en opdatering af det nuværende beregningsværktøj (FAR), hvor fejl og mangler i det nuværende system udbedres og metoden opdateres på basis af den nyeste viden indenfor området.

For at opfylde kravene i den kommende lov om godkendelse af husdyrbrug skal beregningssystemet – inden for de af Skov- og Naturstyrelsen fastsatte beskyttelsesniveauer – kunne estimere spredningen og afsætningen af ammoniak i de tilfælde hvor stald eller lager i forbindelse med den ansøgte etablering, udvidelse eller ændring af et husdyrbrug er placeret i afstanden 300 – 1000 m fra naturarealer omfattet af VMP III aftalen (kaldet bufferzone II). Afstanden regnes i denne sammenhæng som afstanden fra nærmeste punkt på stald- eller lageranlægget til nærmeste grænse på det aktuelle naturområde. Systemet skal beregne afsætningen indenfor bufferzone II, som følge af en forøgelse af ammoniakemissionen på basis af emissionsberegningen i før og efter situationen. Indenfor bufferzone II differentieres afsæringskriterierne i forhold til antallet af øvrige brug over 75 DE, der ligger i zonen og max. 1000 m fra det aktuelle husdyrbrug, for derved at tage højde for den akkumulerede effekt af produktionen i zonen. Differentieringen har SNS fastlagt således (forventes vedtaget d. 15. januar 2007):

- 0,3 kg N pr. hektar ved mere end 2 brug
- 0,5 kg N pr. hektar ved 2 brug og
- 0,7 kg N pr. hektar ved 1 brug

Ammoniakemissionen fra udbringning af husdyrgødning, handelsgødning, slam og afgrøder indgår ikke i systemet, idet beregningen kun skal forholde sig til tabet fra stald og lager i husdyrproduktionen. I øvrigt henvises bl.a. til lovforslag om miljøgodkendelse mv. af husdyrbrug og det beskyttelsesniveau, som der er opnået enighed om (se Skov- og Naturstyrelsen, 2006.). Beskyttelsesniveauet vil blive fastsat i bekendtgørelse om tilladelse og godkendelse mv. af husdyrbrug, som forventes at træde i kraft d. 15. januar 2007.

Afsætningen baseres på et sæt af ”standardkurver” svarende til forskellige kombinationer af oplands- og naturtyper. Kurverne angiver afsætningen som en funktion af afstanden til kilden. Afsætningen skaleres efterfølgende i forhold til den aktuelle emission og korrigeres for lokale vindforhold. De opdaterede standardkurver implementeres i det samlede beregningsværktøj – HusdyrRegnearket HR (tidligere Det FællesAmtslige Regneark, FAR), som er en integreret del af det internet-baserede ansøgningskema der anvendes ved miljøgodkendelser.

I dette notat beskrives hvordan afsætningen nu beregnes og resultaterne af de mange følsomhedsanalyser som danner basis for det opdaterede system gennemgås.

Opdateringen af regnearket er foretaget i samarbejde med Klaus Schiøtt Kristensen (KSK) fra Fyns Amt.

## 2 Den opdaterede beregning af afsætningen

Målsætningen har været at udvikle et robust estimeringsværktøj, der kan medvirke til et ensartet fagligt beslutningsgrundlag i den kommunale administration ved etablering, udvidelse og ændring af husdyrbrug. DMU/ATMI har derfor valgt at basere de nye afsætningskurver på lokal-skala modellen OML-DEP, som indeholder et nyligt opdateret tørafsætningsmodul for ammoniak. For at opnå et enkelt og entydigt beslutningsgrundlag har DMU/ATMI udført en lang række følsomhedsanalyser og derudfra bestemt den række af parametre, som har størst indflydelse på spredning og afsætning af ammoniak i lokalområdet omkring et husdyrhold.

I det nye system bliver afsætningen ( $A$ ) til et naturområde beregnet på basis af indtastede oplysninger fra ansøgerne, som:

$$A(L) = E \cdot D(L) \cdot \frac{VF}{100} \cdot VK$$

Hvor følgende parametre indgår

- $A$ : den årlige afsætning [kg N/ha/år]
- $E$ : emissionen fra stald/lager [kg N/år]
- $L$ : afstand fra kilde til naturområde [m]
- $D$ : standard afsætning for den relevante kombination af opland og natur [kg N/ha/år pr. kg N/år emitteret], samt højde af kilde, i afstanden  $L$ .
- $VF$ : Vindfrekvens i vindsektor mod naturområde [%]
- $VM$ : Middelvindhastighed i relevant vindsektor [m/s]
- $VK$ : vindkorrektionsfaktor, som afhænger af  $VM$
- $Z_0$ : overfladeruhed på både opland og naturområde

Vindfrekvens- og middelvindhastighedsdata er tilvejebragt fra Danmarks Meteorologiske Institut. Data udtrækkes automatisk fra tabeller i regnearket baseret på oplysninger om den ansøgte ejendoms beliggenhed. Tilsvarende udtrækkes en vindkorrektionsfaktor hørende til den relevante middelvind fra en tabel. Denne vindkorrektionsfaktor er beregnet ud fra følsomhedsstudier foretaget med OML-DEP.

Standardafsætningen udtrækkes automatisk fra den standardkurve der passer til den kombination af ruheder på opland og naturområde, som ansøgeren har valgt. Der er hhv. tre oplands- og tre naturområdetyper at vælge mellem, og ansøgningskemaet indeholder en vejledning m. fotos der skal gøre det nemmere for ansøgeren at udvælge den overfladetype, der svarer bedst til det relevante opland og naturområde.

Beregningen foretages automatisk i HR for alle kilder og til hvert punkt på naturområdets kant. Til slut beregnes den samlede afsætning fra alle punktkilder, og det punkt hvor den samlede afsætning er størst, bliver udgangspunktet for kommunens administration, dvs. det vil være denne afsætning, der skal overholde det fastlagte beskyttelsesniveau.

## 2.1 Usikkerhedsvurdering af modelresultaterne

Usikkerheden ved en OML-DEP-beregning er sammensat af mange bidrag: den OML-beregnete spredning/fortynding af ammoniak, input data (fx. emission, baggrundskoncentration), den anvendte depositions-algoritme, parameterisering samt numeriske metode til beregning af koncentration og deposition,

Den årlige afsætning ( $A$ ) er beregnet på basis af fire sæt af inputdata: emissionen ( $E$ ), standardafsætningen ( $D$ ), vindfrekvensen ( $VF$ ) og vindkorrektionen ( $VK$ ). Af disse fire input er den relative usikkerhed på  $E$ ,  $D$  og  $VF$  uafhængige, mens den relative usikkerhed på  $VK$  er indeholdt i den relative usikkerhed på  $D$ .

Usikkerheden på bestemmelsen af den totale emission i før og efter situationen vil være betydelig da der er mange lokale forhold som kan have indflydelse og som der ikke tages hensyn til i emissionsberegningen i HR. Tidligere vurderingen har skønnet at usikkerheden er ca. 50 % for de absolutte emissioner (Skov- og Naturstyrelsen, 2003). Usikkerheden på forskellen i emission mellem før og efter den ansøgte udvidelse/ændring skønnest dog at være mindre, hvilket skyldes at usikkerheden på før- og efteremissionen ikke er uafhængig. Dette gælder dog ikke ved nyetablering af et husdyrbrug.

Den relative usikkerhed på beregning af koncentrationen med OML-modellen er tidligere bestemt til mellem 20 og 70% og afhænger af en lang række lokale forhold, såsom terræn, kildegeometri, og afstand til kilden. Hertil kommer et usikkerhedsbidrag som skyldes selve depositionsberegningen. Denne usikkerhed kender vi ikke i dag, hvilket bl.a. skyldes en mangel på eksperimentelle data på depositionsområdet til sammenligning med modelresultater. I mangel af bedre skønnes denne usikkerhed at være mindst lige så stor, som den største usikkerhed på koncentrationsberegningen.

I de nærværende beregninger vurderes den årlige afsætning fra lave kilder (svarende til en kildehøjde på 3 meter) at have en relativ usikkerhed i den høje ende af usikkerhedsintervallet, hvorimod den årlige afsætning fra høje kilder (svarende til en kildehøjde på 6 meter) vurderes at have en relativ usikkerhed i den lavere ende af usikkerhedsintervallet. Denne forskel har sin begrundelse i måden kilder håndteres på i OML-DEP modellen, idet spredningen beregnes mere præcist for høje kilder.

Vindfrekvenserne der anvendes i beregningen, er baseret på en opdeling af Danmark i ni regioner med et vindfrekvensdiagram fra en udvalgt repræsentativ målestation for hver region (se i øvrigt beskrivelsen af betydningen af meteorologien). Disse diagrammer er baseret på data fra perioden 1985-2004<sup>1</sup>, hvorved betydningen af anormale år vil være midlet ud. Usikkerheden på den anvendte vindfrekvens skønnes at være mindre end 5 %. Selvom de enkelte diagrammer er repræsentative for hvert sit område, så vil der i grænseområdet mellem to diagrammer være en usikkerhed hidrørende for områdevalg. Denne usikkerhed vurderes til 20 - 40 % ud fra stikprøver.

På basis af ovenstående skøn beregnes den samlede relative usikkerhed på den enkelte beregnede afsætning til mellem 90 og 120 %, dvs. den sande afsætningsværdi kan ligge mellem nær nul og større end en faktor 2 gange den beregnede værdi i yderpunkterne. Der er her tale om et foreløbigt skøn som ikke tager hensyn til den ofte skæve frekvensfordeling af beregnede afsætningsværdier. Det vil derfor erfaringsmæssigt være et rimeligt udsagn at de beregnede værdier er behæftet med en usikkerhed af størrelsesordenen en faktor 2. Ved et stort antal beregninger med forskellige kombinationer af kilde, meteorologi og opland tilnærmes selvfølgelig middelværdien. Bestemmelsen af graden af denne tilnærmelse ligger uden for dette projekts rammer (fx. Monte-Carlo simuleringer).

---

<sup>1</sup> Undtagen for målestationerne ved Abed og Flakkenbjerg, hvor perioden målingerne startede op i hhv. maj 1986 og juli 1987.



## 2.2 Fremtidig udvikling af systemet

SNS har valgt at det beregningsværktøj, der skal tages i anvendelse pr. 1. januar 2007 skal baseres på en opdatering af beregningsværktøjet FAR, hvor fejl og mangler udbedres og metoden opdateres på basis af den nyeste viden indenfor området. DMU/ATMI har opdateret standardkurverne til beregning af afsætning af ammoniak med afsæt i at det nye beregningssystem skal være så enkelt, gennemskueligt og entydigt som muligt, dels for at forenkle sagsbehandlingen og dels for at ammoniakberegningerne ikke må variere betydeligt afhængigt af brugeren.

De endelige standardkurver og de tilhørende korrektionsfaktorer er beregnet med en opdateret version af lokal-skala modellen OML-DEP og opsætningen for beregningerne er designet på baggrund af en serie af følsomhedsanalyser. Som beskrevet i dette notat er beregningerne af merafsætningen som følge af en ansøgt produktionsændring (etablering, udvidelse eller ændring af husdyrbruget) dog forbundet med en betydelig usikkerhed. Dette skyldes primært to forhold:

1. Forenkling. Den atmosfæriske spredning og specielt tørafsætningen af ammoniak er meget afhængig af lokale forhold som fx overfladetyper på opland og naturområde og skift i disse, lokale vindforhold og ændringer i den atmosfæriske spredning i forbindelse med bygninger mm. Effekten af de lokale forhold vil ikke være fuldt ud medtaget i et system baseret på et sæt af generaliserede afsætningskurver, der repræsenterer en begrænset kombination af overfladetyper, samt vindkorrektioner udtrukket fra standard vindfrekvensdiagrammer fra 9 regioner i Danmark. Forenklingen medfører bias i mere eller mindre grad.
2. Usikkerhed. Modelberegninger af spredning og specielt afsætning af ammoniak er forbundet med en betydelig usikkerhed (faktor 2, se ovenstående) afhængig af en række lokale forhold - bl.a. af terræn, kildegeometri, afstand fra kilden og repræsentativitet af de meteorologiske data.

Tørafsætningen af ammoniak er en kompleks proces, som dels er svær at måle og dels er svær at beskrive i modeller, fordi indflydelsen fra de mange faktorer der påvirker afsætningen endnu ikke er fuldt kvantificeret. OML-DEP modellen inkluderer en state-of-the-art parameterisering af afsætningen, men usikkerheden på beregningen af afsætningen forventes som nævnt at være stor. Pga. manglen på målinger er det dog svært præcist at kvantificere usikkerheden på afsætningen. Ligeledes er der stor diskussion i internationale forskningskredse angående betydningen af det såkaldte kompensationspunkt for ammoniak, der kan have stor betydning for fordelingen af tørafsætningen omkring kilden. Disse problemer har været fokus for debatten på en nyligt afholdt international workshop<sup>2</sup>, hvorfra der forventes at udkomme en rapport med de vigtigste konklusioner og anbefalinger ultimo 2007.

DMU/ATMI anbefaler derfor at beregningsværktøjet på sigt opdateres og forbedres for at mindske usikkerheden på beregningen af afsætningen. Dette kan gøres ved:

- At undersøge mere detaljeret - end det har været muligt indenfor dette opdateringsprojekt af beregningsværktøjet - hvorledes forenklingen bidrager til bias af beregnede resultater.
- At kvantificere usikkerheden på de beregnede afsætninger, samt komme med forslag til, hvorledes denne usikkerhed kan nedsættes. Herunder en analyse af betydningen af at inddrage en simpel beskrivelse af kompensationspunktet for ammoniak.
- At inddrage flere lokale data i beregningerne, fx ved at tilgangen til digitaliserede oplysninger indbygges i systemet, eksempelvis vindstatistik. Det er dog vigtigt at denne type data dækker en længere årrække, sådan at atypiske år ikke får stor betydning for resultaterne.

---

<sup>2</sup> Expert Workshop under the Convention on Long-rang Transboundary Air Pollution (se [http://www.ammonia-  
ws.ceh.ac.uk/](http://www.ammonia-<br/>ws.ceh.ac.uk/))

- At forbedre OML-DEP modellen på en række punkter, herunder bl.a. spredning nær bygninger, baseret på resultaterne af et modevalueringsprojekt gennemført i forbindelse med VMPIII forskningspuljen. Der foreligger en opdateret såkaldt ”science OML version”, der behøver operationalisering.
- At overveje om det i fremtiden er muligt at basere reguleringen på det simple ”critical-level” (dvs. middelkoncentrationsniveauet af ammoniak) kombineret med ”critical-load” (dvs. den totale mængde afsat kvælstof) og ikke som i dag alene på ”critical-load”, da usikkerheden forbundet med spredningsberegningen, som beskrevet ovenfor, forventes at være mindre end den tilsvarende beregning af afsætningen af ammoniak. Det skal medtages i overvejelserne at beregninger viser, at forholdet mellem koncentration og afsætning varierer meget, specielt tæt på kilden. En sådan tilgang vil forudsætte en dybere forståelse af dosis-response sammenhænge, men vil til gengæld kunne føre til et enklere reguleringsregime.
- At der gennemføres eksempelvis årlige landsdækkende beregninger af kvælstofdepositionen til relevante naturområder (Natura 2000, habitatområder etc.) fra lokale kilder - for at følge og understøtte vurderingen af effekten af reguleringen af kvælstofforureningen fra husdyrbrug i takt med regulerings gennemførelse og landbrugerhvervets fortsatte udvikling.

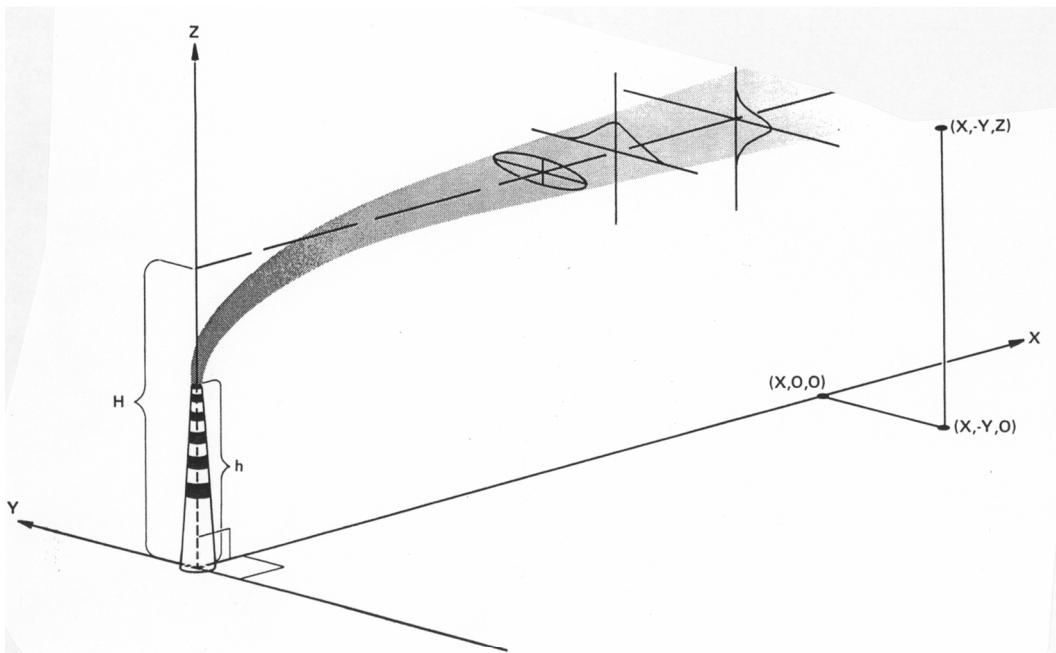
Endelig anbefales det at den totale kvælstofbelastning af et givent naturområde inddrages som en del af grundlaget for regulering af etablering, udvidelse eller ændring af husdyrbrug. Dvs. at bidraget fra baggrundsbelastningen og fladekilder til ammoniak (fx udbringningsarealer) skal indgå i beskyttelsesniveauet.

### 3 Modelberegninger på lokal skala

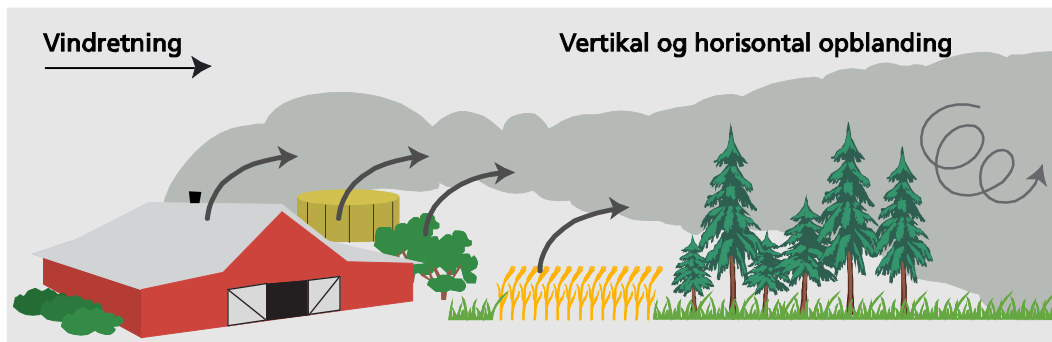
Ammoniak adskiller sig fra de fleste andre kvælstofforbindelser ved at tørdeponere hurtigt. Den lokale spredning og de lokale kilder har dermed stor betydning for den lokale kvælstofbelastning. Ved modellering af atmosfærisk transport af ammoniak benyttes forskellige modeltyper afhængig af de tidsmæssige og rumlige skalaer der fokuseres på (se fx. Hertel et al. 2006). Tæt på kildeområderne anvendes ofte Lagrangeske modeltyper, hvor transporten af et stof beskrives langs en trajektorie, der følger vinden. Den Operationelle Meteorologiske Luftkvalitetsmodel (OML) er en sådan model udviklet ved DMU/ATMI siden 1980'erne med henblik på at estimere spredning af luftforurening fra forskellige kilder på afstande op til 20-30 km. (se fx. Berkowicz et al., 1986; Olesen et al., 1992).

Målinger af luftforurening har vist at koncentrationsfordelingen nedstrøms fra en kilde, fx. en skorsten er tilnærmelsesvis normalfordelt (også kaldet en Gaussisk fordeling) pga. spredningen i atmosfæren. OML er en Gaussisk spredningsmodel hvor den atmosfæriske spredning beskrives ud fra en parameterisering baseret på grundlæggende fysiske parametre der karakteriserer turbulensen i det atmosfæriske grænselag. En skitse af OML modellens beskrivelse af den nedstrøms koncentrationsfordeling fra en skorsten er vist i figur 1.

Effekterne af flere forskellige processer, bl.a. mekanisk og termisk turbulens, og for punktkilder, røgfanens opdrift og forstyrrelser pga. omgivende bygninger, bidrager til den samlede produktion af turbulens og spredning i modellen. En detaljeret beskrivelse af de fysiske parameteriseringer er givet i de originale referencer (Olesen, 1994; 1995; Berkowicz et al., 1986). I en række sammenlignende tests i forbindelse med et internationalt harmoniseringsarbejde har modellen klaret sig fint (Olesen 1994, 1995).



Figur 1. En illustration af koncentrationsfordelingen langs centerlinjen i en røgfane.



Figur 2. Skematisk illustration af "røgfanen" fra en emissionskilde, her en gård med marker, samt den efterfølgende spredning og opblanding pga. vinden og de turbulente processer i atmosfæren.

OML er i de seneste år videreudviklet til at inkludere tørafsætning (tørdeposition) af bl.a. ammoniak, heraf navnet OML-DEP. Figur 2 illustrerer de processer som er inkluderet i ammoniakversionen af OML-DEP fra emission fra hhv. punkt- og arealkilde (stald, lager og marker), den efterfølgende spredning af "røgfanen" og endelig til afsætningen af ammoniak ved overfladen.

OML-DEP er en state-of-the-art lokal-skala spredningsmodel, og i 2006 er den blevet opdateret med et nyt tørdepositions modul. I det nye modul tages de nyeste parameteriseringer af tørafsætning af ammoniak i brug, hvilket fx. betyder at afsætningen afhænger af koncentrationen af svovldioxid og ammoniak i luften. I det følgende gives en kort introduktion til beregningen af tørafsætningshastigheden i OML-DEP.

### Tørafsætning

Afsætning af ammoniak på jordens overflade er i tørvejr bestemt af en kombination af nedsynkning som følge af tyngdekraftens indflydelse, samt turbulent og molekylær diffusion. Den samlede tørafsætning til overfladen antages at være proportional med koncentrationen i luften og en afsætningshastighed. Der eksisterer ikke en direkte formel for hvordan denne afsætningshastighed skal beregnes, og i stedet anvendes en parameterisering der er baseret på en antagelse om at afsætningsprocessen kan beskrives ved hjælp af en analogi til et elektrisk kredsløb med modstande i serieforbindelse (se fx. Seinfeld, 1986), hvor en høj modstand mod tørafsætning resulterer i en langsom tørafsætning.

I beskrivelsen af tørafsætningen bliver resultatet af at anvende denne analogi, at der kan antages at være tre modstande mod afsætning til overfladen; modstanden mod aerodynamisk transport gennem det atmosfæriske grænselag, modstanden mod transport gennem et quasi-laminært grænselag som befinder sig i de nederste få millimeter over overfladen og modstanden mod afsætning på selve overfladen.

Den aerodynamiske modstand afhænger af forskellige meteorologiske parametre, som friktionshastighed, turbulens og atmosfærisk stabilitet. Den quasi-laminære modstand afhænger af diffusiviteten af ammoniak i luft, dvs. af hvor hurtigt ammoniak opblandes i luften. I modellen anvendes et udtryk for den quasi-laminære modstand der bla. afhænger af luftens viscositet.

Overflademodstanden består af to komponenter; en der beskriver modstanden mod stomatalt optag i vegetationen (det vil sige optag gennem planternes spalteåbninger, kaldet stomata), og en der beskriver den overflademodstand der ikke afhænger af stomata. For det stomatale optag findes der i litteraturen en detaljeret beskrivelse for ozon og denne er anvendt i det nye tørafsætningsmodul. Overflademodstanden for ammoniak mod stomatalt optag baseres på resultaterne for ozon skaleret med forholdet mellem de to gassers diffusivitet. Selve beregningen af modstanden mod stomatalt optag afhænger af en lang række parametre, heriblandt vegetationstypen og bladenes størrelse,

vækstsæsonen, mængden af solindstråling som vegetationen har til rådighed til fotosyntese, overfladetemperaturen, forskellen i damptrykket i og udenfor de enkelte planter og endelig vandindholdet i jorden. Alle disse parametre er medtaget i beskrivelsen af tørafsætningshastigheden i OML-DEP's tørdepositionsmodul.

Den overflademodstand der ikke afhænger af stomata er for ammoniak afhængig af forholdet mellem koncentrationen af ammoniak og svovldioxid i atmosfærens nederste lag (suhedsgraden) samt af overfladetemperaturen og den relative fugtighed. Disse parametre indgår også i OML-DEP modellens beregningsgrundlag.

Det nye tørdepositionsmodul følger metoden til beregning af tørafsætning som i dag anvendes i EMEP modellen (Simpson et al., 2003, Emberson et al., 2000), som er en state-of-the-art model i Europæisk sammenhæng.

### **Andre fjernelsesprocesser**

Der er i OML-DEP ikke taget hensyn til perioder med regn og den efterfølgende udvaskning af luftforurening. Det er en rimelig tilnærmelse da det kun regner ca. 5 % af tiden i Danmark. Modelberegninger har også vist at langt hovedparten af vådafsætningen af ammonium stammer fra kilder udenfor Danmark og det lokale bidrag til våddeposition spiller derfor kun en lille rolle.

For at tage højde for den kemiske omdannelse af ammoniak i atmosfæren inkluderer modellen et simpelt kemimodul (Asman et al., 1989), som i gennemsnit reducerer ammoniakkoncentrationen med ca. 10 % indenfor et typisk modeldomæne på 16 km x 16 km og ved typiske meteorologiske forhold.

### **Modelopsætning og nødvendige inputdata**

OML-DEP beregner koncentrationen og afsætningen af luftforurening time for time baseret på et sæt af meteorologiske data samt oplysninger om emission og arealanvendelse.

De meteorologiske data der kan anvendes som input til OML-DEP er enten målte parametre fra en meteorologisk mast eller data beregnet med en vejrmodel. I begge tilfælde skal data bearbejdes i en såkaldt pre-processor der er udviklet specielt til at beregne de spredningsparametre, som indgår i beregningen. I den nuværende opsætning af OML-DEP anvendes data beregnet med den meteorologiske model MM5 (Grell et al., 1995). MM5 modellen dækker Danmark med en geografisk opløsning på ca. 17 km x 17 km og har en tidslig opløsning på 1 time.

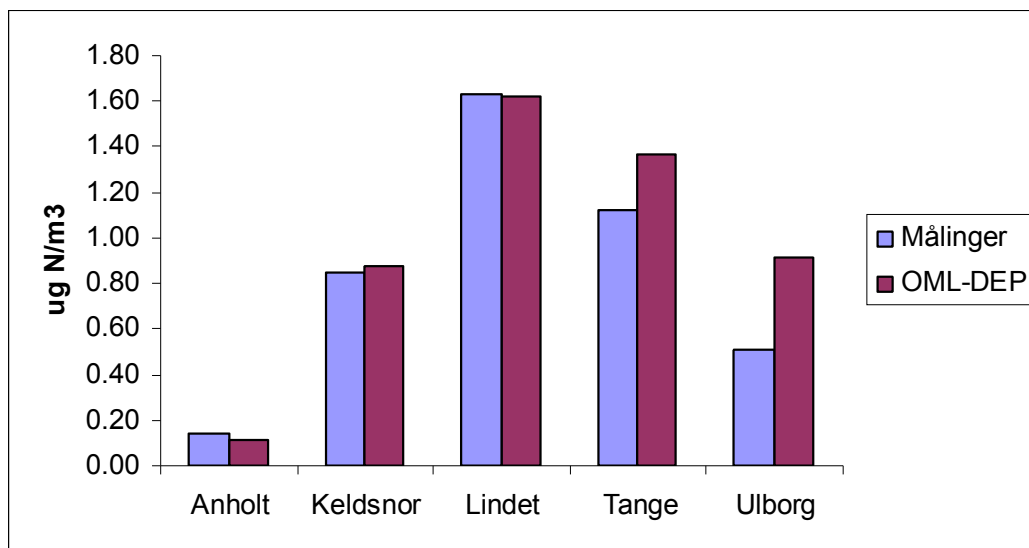
OML-DEP modellen inkluderer en beskrivelse af emissionen der tager højde for at ammoniakemissionen varierer over året alt efter hvilken stald/lager type der anvendes. Det skyldes en kombination af landbrugspraksis i Danmark (fx. udbringning af gødning om foråret) og variationer i meteorologiske parametre (hovedsageligt temperaturen), der har indflydelse på bl.a. fordampningen fra gylletanke og længden af vækstsæsonen (Gyldenkerne et al., 2005). Variationen er implementeret i modellen ved at benytte en metode hertil beskrevet i Ambelas Skjøth et al., (2004). Det nødvendige input til modellen er derfor den totale årlige emission samt typen af lager/stald.

Overfladens vegetation/beskaffenhed også kaldet arealanvendelsen har stor betydning for opblandingen i atmosfæren samt for hvor hurtigt luftforurening tørafsættes. En relativ "ru" overflade dækket af fx. skov vil således medføre en større tørafsætning til overfladen end fx. en relativt "glat" overflade som en græsmark. I OML-DEP indgår data der beskriver den aktuelle arealanvendelse for alle lokaliteter i Danmark. Endvidere er det muligt at fastsætte overfladetyperne til bestemte scenarier. Ruheden af overfladen indgår på flere måder, idet tørafsætningen afhænger af den ruhed der er knyttet til overfladen, mens den atmosfæriske spredning kontrolleres af en fast ruhed for det pågældende område.

Som tidligere beskrevet vil afsætningen af ammoniak også være påvirket af ammoniak- og svovldioxidkoncentrationen i luften (baggrundsbidraget) og tidsserier for disse komponenter skal derfor også inkluderes i en beregning af afsætningen. Baggrundsbidraget vil afhænge af emissioner udenfor OML-DEPs beregningsområde som via transporten i atmosfæren vil ”blæse ind” i området. Det inkluderes ved at anvende beregninger fra DMU/ATMI’s regional-skala model som input til OML-DEP (se Ellermann et al. 2006 for en beskrivelse af koblingen mellem de to modeller).

### Validering

OML-DEP bliver i forbindelse med NOVANA løbende anvendt til at foretage detaljerede kortlægninger af tørafsætningen af ammoniak til udvalgte naturområder (se Ellermann et al., 2005 og 2006). I 2006 er modellen valideret ved sammenligning med målte årsmiddelværdier af ammoniakkoncentrationen ved fem af de danske målestationer, se figur 3, hvoraf det fremgår at der er en rimelig god overensstemmelse mellem målinger og modelresultater.



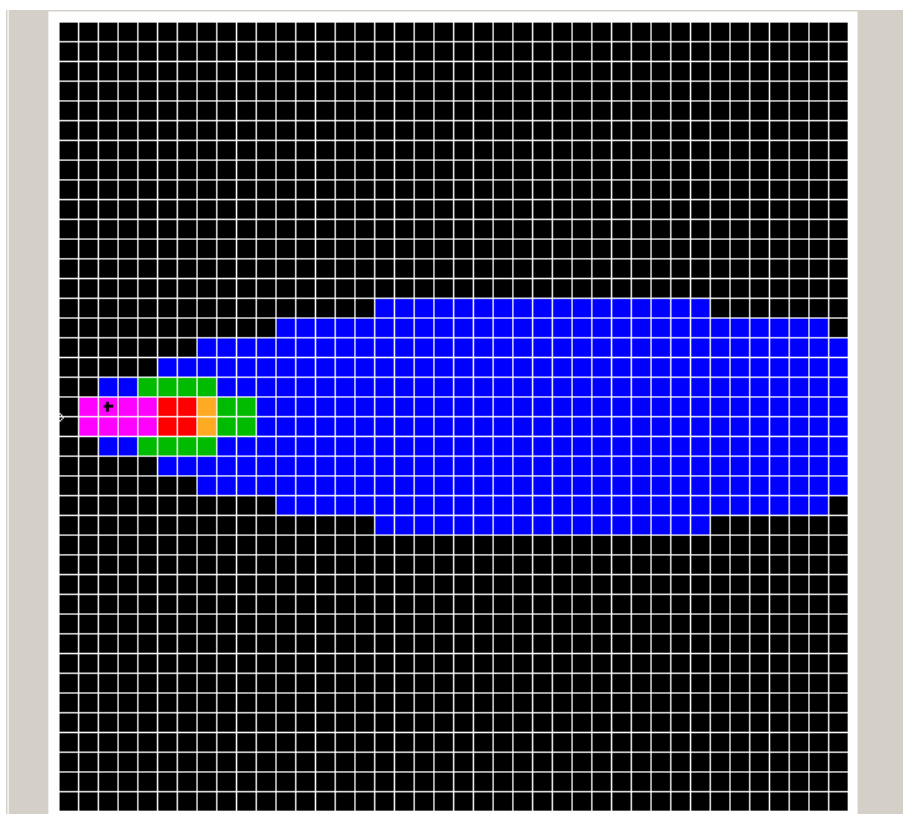
Figur 3. Sammenligning af målte og beregnede luftkoncentrationer af ammoniak ved 5 målestationer i Danmark (Baseret på data fra Ellermann et al. 2006).

## 4 Beregning af nye afsætningskurver

Spredning og afsætning af ammoniak i lokalområdet omkring en kilde afhænger af en lang række faktorer som vil variere i rum og tid. For at opbygge et sæt af afsætningskurver der skal indgå i systemet er man derfor nødt til at udføre en lang række følsomhedsanalyser med OML-DEP modellen med henblik på at udvælge de parametre, der har størst betydning for den lokale spredning og afsætning. DMU/ATMI har udført denne type beregninger med en specialopsætning, med en fast vindretning hvor vinden blæser ind fra vest ( $270^\circ$ ) og kilden er placeret yderst til venstre midtfor, i et domæne på  $40 \times 40$  receptorpunkter. Opløsningen er  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ . I figur 4 ses et eksempel på en beregning med angivelse af kilde (lille cirkel) og beregningsnettet.

Denne opsætning sikrer en høj opløsning i resultaterne, samtidigt med at det er muligt at beregne afsætning i op til 4 km fra kilden. Kurverne anvendes til at estimere den samlede årlige afsætning og alle beregninger er derfor udført på basis af meteorologiske data for et helt år. Alle resultaterne der er vist i det følgende er udført med denne opsætning og de angiver derfor afsætningen nedstrøms fra en kilde, hvis vinden konstant blæser fra vest. Den reelle afsætning skal derfor skaleres med den faktiske vindfrekvens (fx 0,20 hvis vinden blæser fra vest 20 % af tiden ved den pågældende lokalitet). Kildestyrken er  $1000 \text{ kg N/ha/år}$  i de viste eksempler. I de endelige standardkurver skaleres afsætningen så den svarer til en kildestyrke på  $1 \text{ kg N/ha/år}$ .

I det følgende beskrives de komponenter som er indgået i analysen.



Figur 4. Eksempel på resultatet af en OML-DEP beregning med en opsætning hvor kilden er placeret yderst til venstre og beregningsnettet er opdelt i  $40 \times 40$  felter á  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ . Beregningen er foretaget for et helt år med en fast vindretning (fra vest), hvilket giver en pæn symmetrisk afsætning omkring en centerlinje. Det lille kryds angiver feltet med den højeste afsætning.

## 4.1 Meteorologi

Med henblik på at kunne udvælge en tidsserie af meteorologiske parametre der repræsenterer typiske forhold i Danmark, er følsomheden overfor de tre vigtigste klasser af meteorologisk stabilitet i atmosfæren undersøgt. På basis af vindhastighed, Monin Obukhov længde (et mål for turbulensniveauet i atmosfæren) og den beregnede afsætning, er de meteorologiske parametre der er væsentlige for en OML-DEP beregning således opdelt på tre stabilitetsklasser: 1) Ustabil, 2) Neutral og 3) Stabil. Generelt set vil de tre forskellige stabilitetsklasser være dominerende i ca. 1/3 af tiden på en gennemsnitlig lokalitet i Danmark.

Der er anvendt to forskellige metoder til at udvælge de tre klasser, og derefter er der konstrueret meteorologiske datasæt der giver hhv. stabile, ustabile og neutrale meteorologiske data for et helt år. OML-DEP er derefter kørt for de forskellige meteorologi-scenarier og grafen i figur 5 viser en sammenligning af den resulterende afsætning nedstrøms fra en ammoniakkilde. Som det kan ses af figuren viste afsætningen sig at være meget følsom overfor de kriterier der ligger til grund for udvælgelsen af de tre klasser. Specielt ses afsætningen ved de to eksempler på stabile forhold at være meget forskellige indenfor de første ca. 1000 m fra kilden. Da det ikke er entydigt hvilken metode der er bedst egnet til at udvælge klasserne er konklusionen, at en sådan opdeling efter stabilitet ikke er hensigtsmæssig.

I stedet er det besluttet at anvende en tidsserie af meteorologiske data fra én lokalitet i Danmark, nemlig Lindet, beliggende i Jylland. Det anvendte meteorologiske år er udvalgt på basis af en analyse af beregninger af den totale tørabsætning af ammoniak til danske landområder samt til danske amter udført med DMU/ATMI's regional-skala model for perioden 1996 til 2005. Denne analyse viste at 2005 giver en afsætning der for størstedelen af kommunerne er tættest på gennemsnittet for de 10 år, og dette år blev derfor udvalgt som basis-år for beregningerne.

For at vurdere størrelsen af variabiliteten af afsætningen, som følge af at de meteorologiske parametre faktisk varierer fra lokalitet til lokalitet i Danmark indenfor det samme år, er der udført OML-DEP beregninger, hvor meteorologien er udtrukket fra 26 forskellige lokaliteter i Danmark. Alle andre input data (emissionsmængde, kildehøjde og overfladetype) er de samme i disse beregninger. Som det ses på figur 6 er der tæt på kilden nogen forskel på afsætningen (op til ca. 40 %). Dette afspejler afsætningens afhængighed af lokale forhold. Tæt ved kilden har variationen i meteorologi størst betydning, idet afsætningen er størst her. Lokale meteorologiske variationer består primært i forskelle i middelvindstyrke, også som funktion af vindretning. I større afstand fra kilden er koncentrationen i luften mindre på grund af opblanding i atmosfæren og variationer i den lokale meteorologi vil dermed have mindre betydning for den samlede afsætning.

Variationen i afsætningen pga. variationen i lokale meteorologiske parametre er så betydelig at det er nødvendigt at inkludere en korrektion af standardkurverne, når disse er beregnet på basis af data fra én lokalitet i Danmark. Vindstyrke og vindretning har stor betydning for afsætningen og er samtidig de meteorologiske parametre, som typisk er tilgængelige via DMI's netværk af målestationer i Danmark. Det er derfor besluttet at korrigere afsætningen fra standardkurverne på basis af vindkarakteristika (middelvind og vindretning). De vinddata som anvendes her er baseret på en opdeling af Danmark i ni regioner med et vindfrekvensdiagram fra en udvalgt repræsentativ målestation for hver region. Opdelingen, udvælgelsen af målestationerne samt udarbejdelsen af vindfrekvensdiagrammerne er foretaget af Jesper Theilgaard (Theilgaard, 2006) og DMI på basis af observerede vindretninger ved det danske net af vejrstationer i perioden fra 1985-2005<sup>3</sup> (bla. Cappelen & Jørgensen, 2002, Theilgaard, 2006). Den nødvendige information om vinden udtrækkes automatisk i HR fra den region som den pågældende kommune ligger i.

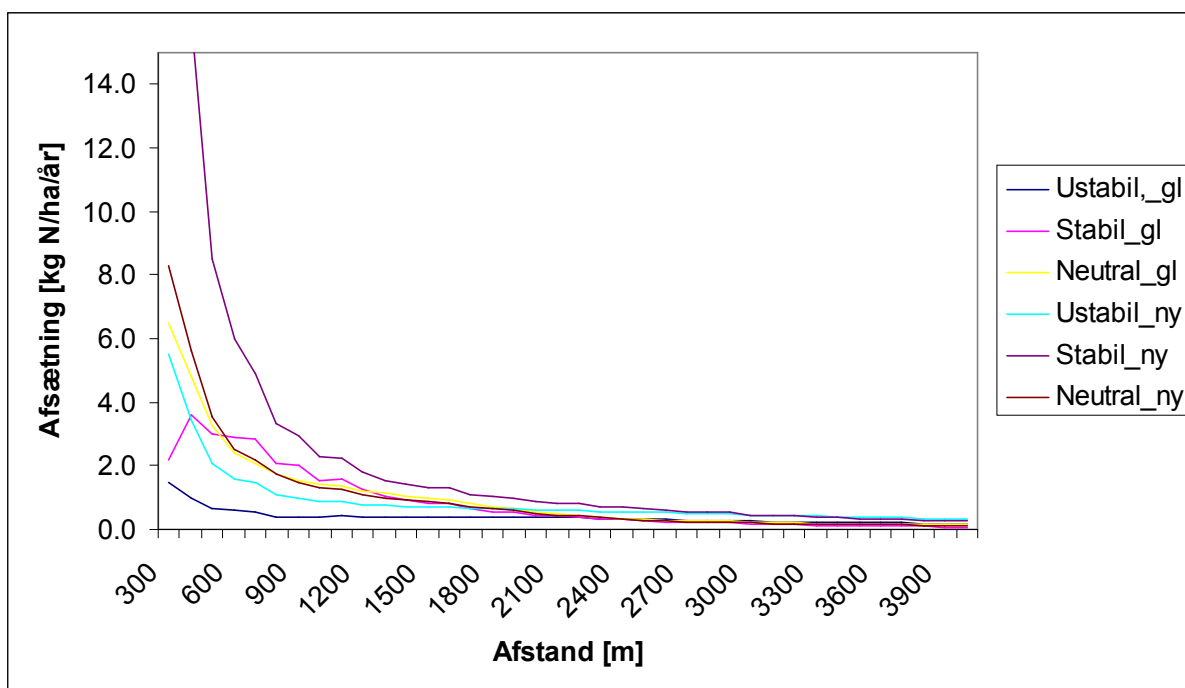
---

<sup>3</sup> Undtagen for målestationerne ved Abed og Flakkenbjerg, hvor perioden målingerne startede op i hhv. maj 1986 og juli 1987.

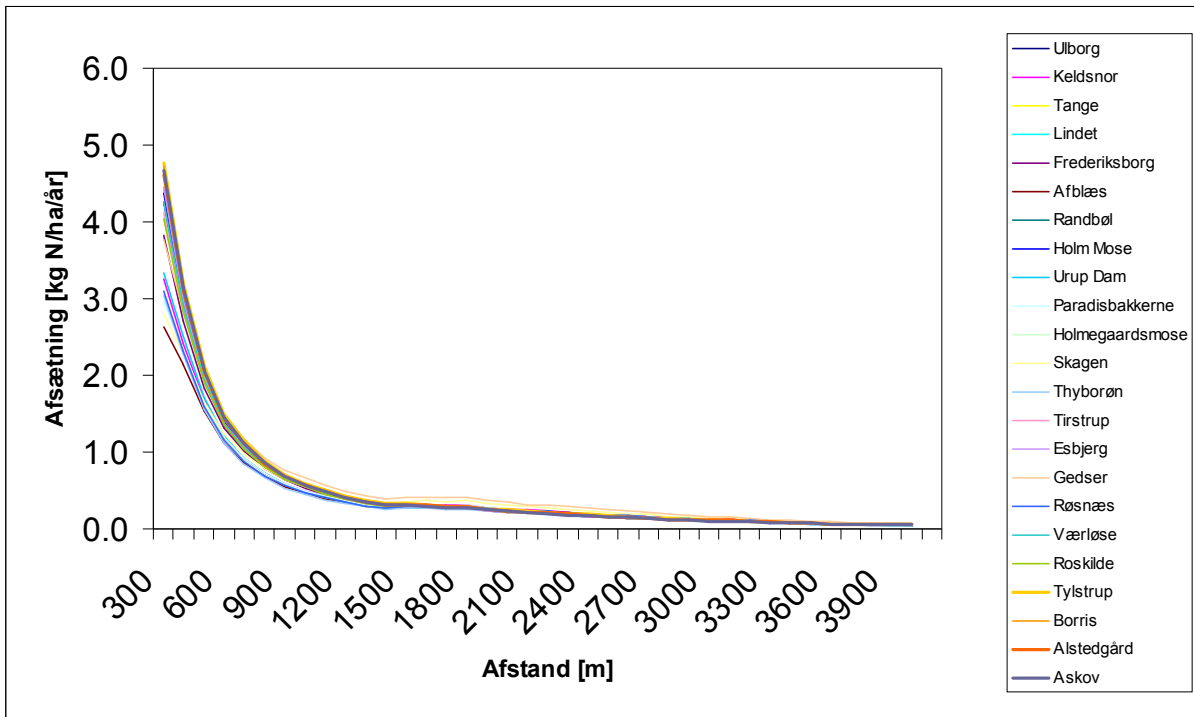


Korrektionen, der i HR skal anvendes på standardkurverne, er bestemt på basis af 16 OML-DEP kørsler, hvor vindhastigheden i 10 meters højde (U10) i den meteorologiske standard-tidsserie er varieret fra  $0,5 \cdot U_{10}$  til  $2,0 \cdot U_{10}$ . Det svarer til at variere den årlige middelvindhastighed mellem ca. 2,3 m/s og 8,9 m/s. De beregnede afsætningskurver for de forskellige værdier af U10 ses i figur 7, hvor de højeste middelvinde giver den mindste afsætning, mens lavere vindhastigheder medfører en højere afsætning. Årsagen til denne sammenhæng er at en høj middelvindhastighed betyder, dels at det emitterede ammoniak spredes over større afstande, dels at opblandingen i atmosfæren bliver større og overfladekoncentrationen dermed mindre. Tilsammen resulterer det i en lavere afsætning tæt på kilden.

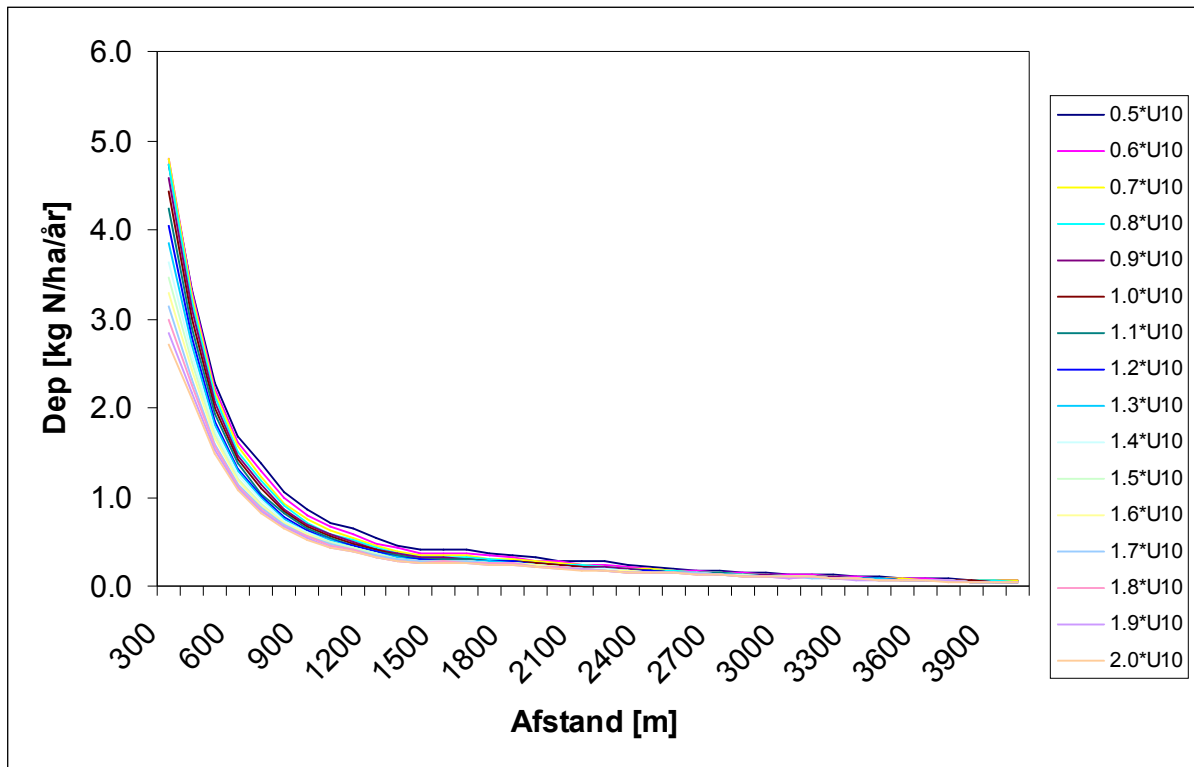
Vindkorrektionen varierer en smule med afstanden fra kilden, men vi har valgt at basere de endelige vindkorrektioner på et gennemsnit, sådan at hver middelvind har én vindkorrektionsfaktor. I regnearket udtrækkes automatisk vindkorrektionen svarende til den middelvind, som er tættest på den aktuelle middelvind ved den ansøgte lokalitet. Vindkorrektionerne er også afhængige af overfladetyperne, og der er således 18 vindkorrektionstabeller, en til hver kombination af opland, naturområde og kildehøjde (se nedenfor). I tabel 1 er middelvindene og et eksempel på de tilhørende vindkorrektioner angivet.



Figur 5. Afsætningen ved hhv. ustabile, stabile og neutrale forhold – udvalgt på to måder (ny og gl.). Kurverne angiver afsætningen nedstrøms fra kilden (dvs. fast vindretning).



Figur 6. Afsætningen nedstrøms fra en kilde baseret på OML-DEP beregninger med meteorologiske tidsse-  
rier fra 26 forskellige lokaliteter i Danmark.



Figur 7. Afsætningen nedstrøms fra en kilde ved forskellige middelvindhastigheder ved 10 m ( $U_{10}$ ).

Middelvind [m/s]	Vindkorrektion
2,3	1,25
2,7	1,16
3,1	1,09
3,5	1,05
4,0	1,01
4,4	1,00
4,8	0,98
5,3	0,97
5,7	0,96
6,2	0,95
6,6	0,93
7,1	0,92
7,5	0,90
8,0	0,89
8,4	0,88
8,9	0,87

Tabel 1. Middelvind og eksempel på de tilhørende vindkorrektioner for en kilde på 3 m.

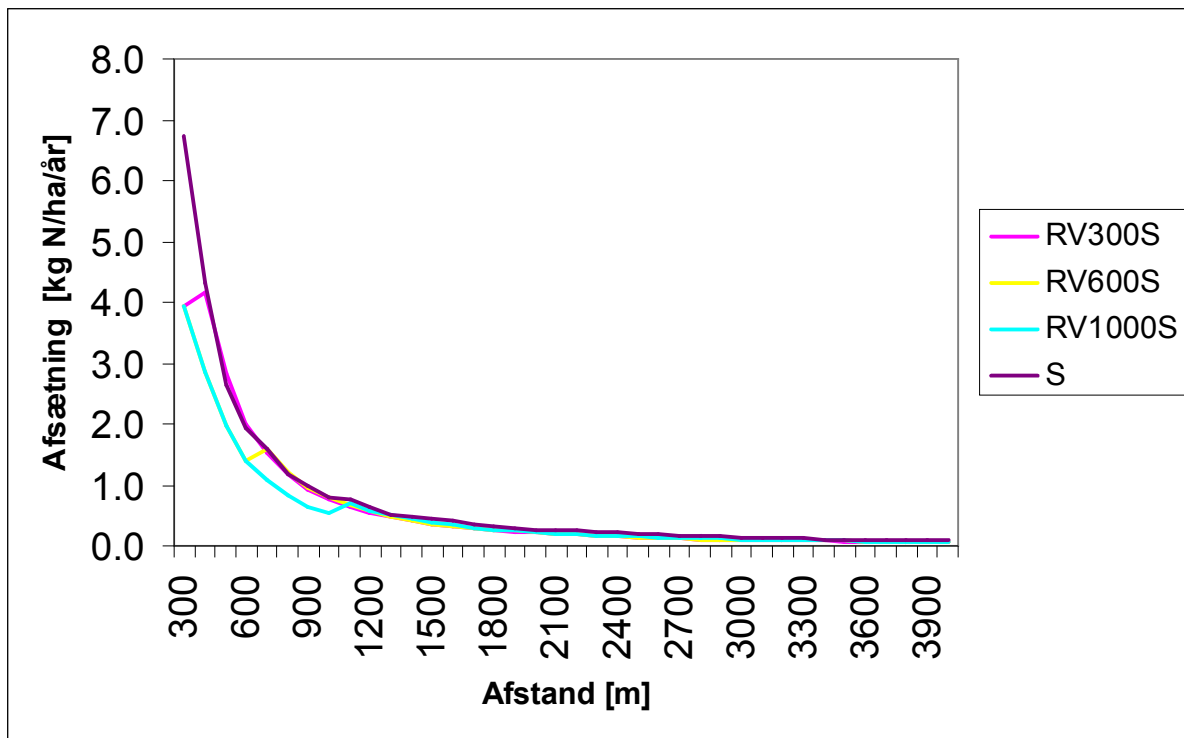
## 4.2 Overfladetype

Overfladetydens hovedkarakteristika er ruheden og både ruheden af oplandet dvs. området mellem kilden og det aktuelle naturområde, samt ruheden af selve naturområdet har betydning for afsættningen.

Beregninger med OML-DEP, hvor forskellige ruheder på hhv. opland og naturområde er kombineret, viser at ruheden af oplandet vil være bestemmende for opblandingen i grænselaget og dermed spredningen, mens det er ruheden på kanten af naturområdet der er bestemmende for afsættningens hastighed. I figur 8 ses afsættningen som funktion af afstanden når ruheden skifter fra et opland med ringe vegetation (RV) til et naturområde med skov (S) ved hhv. 300 m, 600 m og 1000 m afstand fra kilden, samt afsættningen hvis hele området består af skov. Ruheden (og dermed afsættningen) er større i området med skov og kurverne ses ved de forskellige afstande at ”hoppe” fra kurven med afsættningen til ringe vegetation over på kurven der angiver afsættningen til en skov.

Standardkurverne til HR er derfor beregnet med en opsætning af modellen, hvor ruheden af oplandet indgår i beregningen af de atmosfæriske spredningsparametre, mens ruheden af naturområdet indgår i beregningen af afsættningens hastighed.

DMU/ATMI har valgt at basere de beregnede kurver på 9 kombinationer af ruheder på opland og naturområder. Ruhederne er valgt på basis af typiske værdier af ruheder i landbrugs- og naturområder i Danmark, samt de ruheder som er tilgængelige i modellen. HR vil indeholde en ”pixi-bog” med beskrivelser af de forskellige overfladetyper, samt fotos med eksempler.



Figur 8. Afsætningen nedstrøms fra en kilde ved skift i overfladens ruhed fra et opland med ringe vegetation (RV) til et naturområde med skov (S). Afsætningen til et område kun med skov er vist til sammenligning.

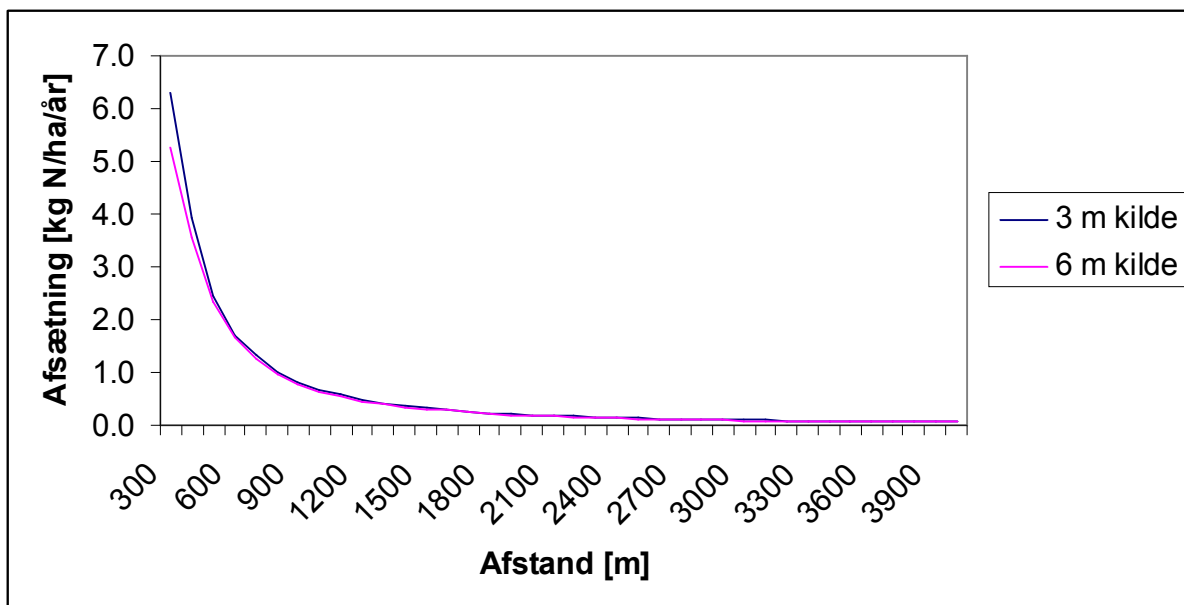
### 4.3 Kildehøjde

Højden af kilden har betydning for spredning og afsætning omkring kilden pga. de turbulente forhold i atmosfæren. Generelt vil en lav kilde bidrage til en højere afsætning i lokalområdet tæt på kilden end en højere kilde. På basis af oplysninger om typiske stald- og lagerforhold, samt en følsomhedsanalyse og usikkerhedsberegning er to højder på kilderne udvalgt. Lave kilder (typisk lager) vil således være repræsenteret ved standardkurver for en 3 m kilde, mens højere kilder vil være repræsenteret ved kurver svarende til en 6 m kilde. I figur 9 ses en sammenligning af standardkurverne for de to højder på kilderne. 300 m fra kilden er afsætningen fra den 3 m høje kilde ca. 20 % højere end fra den 6 m høje kilde, men forskellen udlignes hurtigt pga. opblandingen i atmosfæren. Ca. 800 m fra kilden er afsætningen fra de to kilder den samme.

### 4.4 Baggrund og kildestyrke

Som tidligere beskrevet er der i det anvendte tørabsætningsmodul en afhængighed af den samlede ammoniak- og svovldioxidkoncentration i luften. I praksis vil baggrundskoncentrationen af disse komponenter variere fra lokalitet til lokalitet i Danmark. Specielt vil niveauet af ammoniakkoncentrationen variere alt afhængig af antallet af husdyrbrug i området (se fx Ellermann et al. 2006). Det er således ikke muligt at beregne standardkurverne for en enkelt kilde uden hensyntagen til den generelle baggrund.

Standardkurverne er derfor baseret på to sæt af beregninger: et sæt hvor både baggrunden og kilden er inkluderet og et sæt hvor kun baggrunden er inkluderet. De endelige kurver for afsætningen fra den enkelte kilde er beregnet som forskellen mellem de to sæt af beregninger. Som baggrund anvendes en tidsserie af ammoniakkoncentrationen for Lindet i Jylland beregnet med DMU/ATMIs regional-skala model.

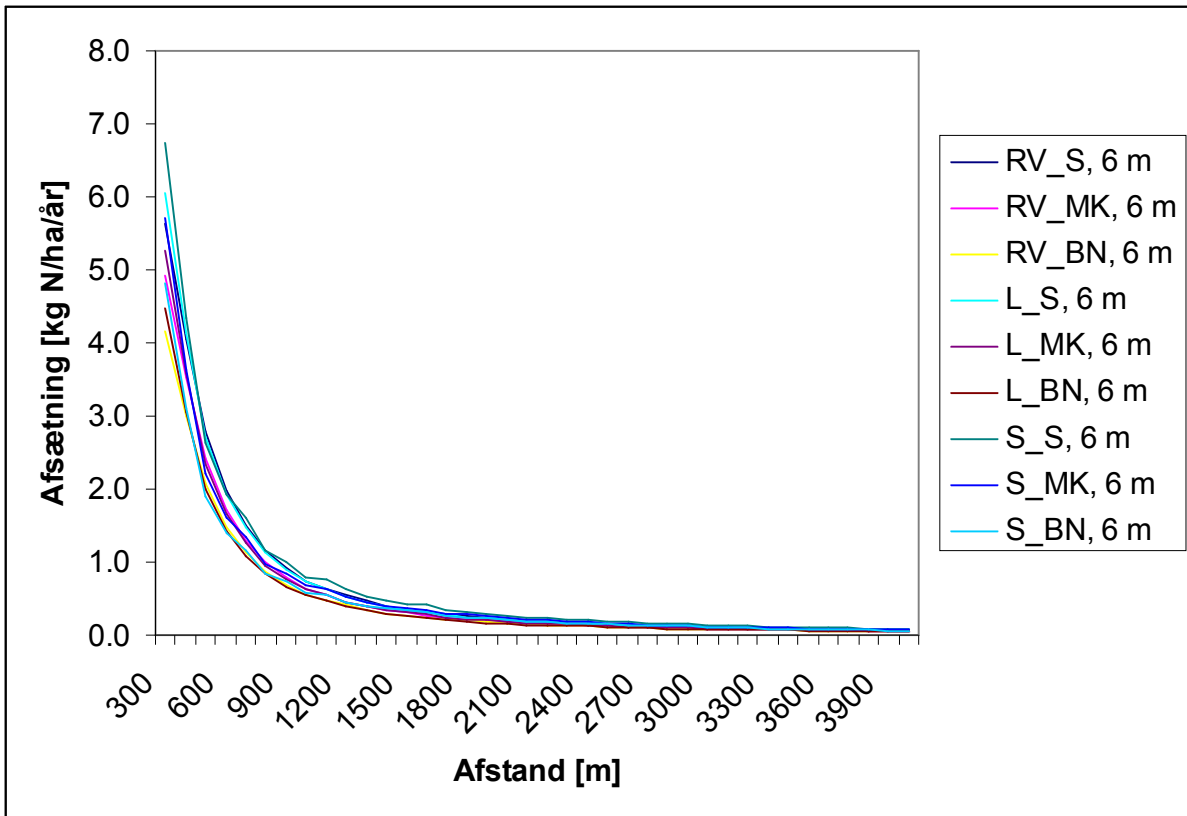


Figur 9. Eksempel på standardkurver ved hhv. en 3 m og 6 m høj kilde.

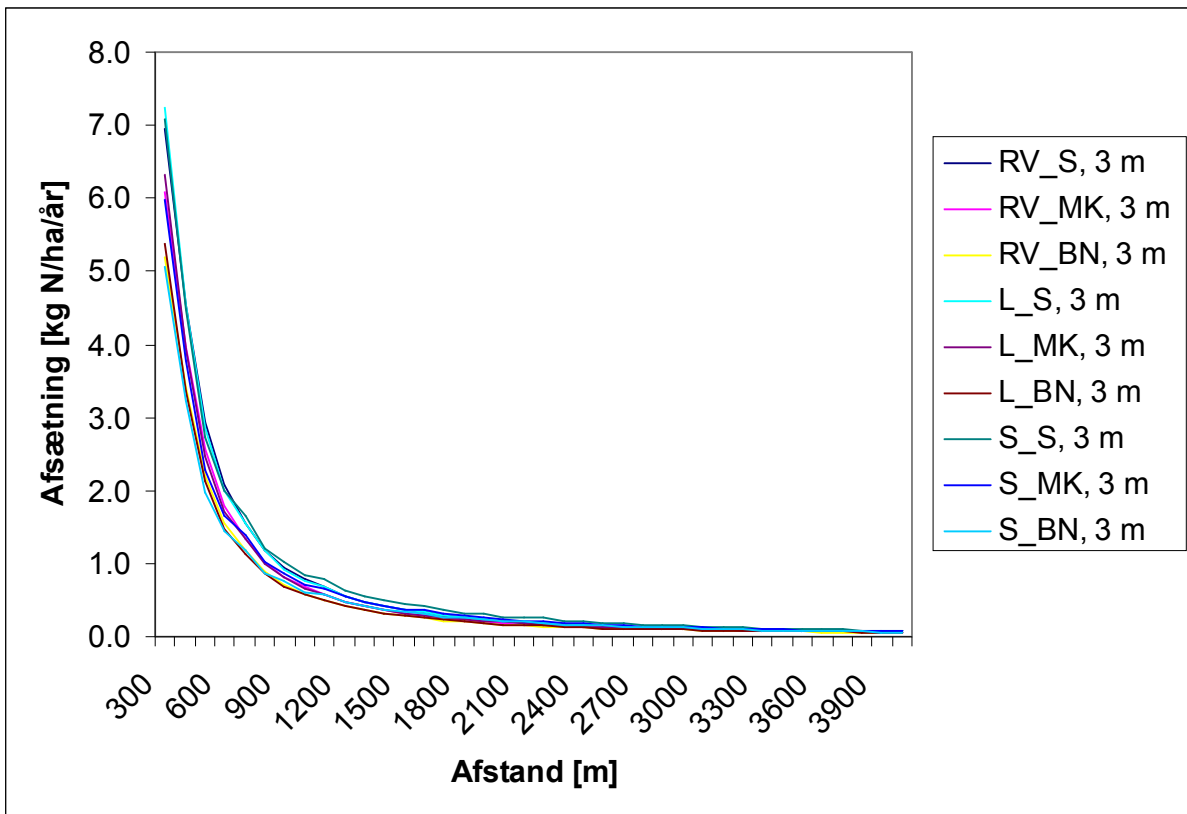
Robustheden overfor valget af baggrund samt en evt. betydning af kildestyrken er bl.a. vurderet på basis af en række beregninger med varierende kildestyrke fra 0-100.000 kg N/ha/år. Resultaterne af beregningerne viste kun små forskelle på under 10 % mellem de forskellige kildestyrker. Det konkluderes derfor at de beregnede standardkurver med rimelighed kan anvendes for kildestyrker indenfor ovennævnte interval og for alle lokaliteter i Danmark uden hensyntagen til det lokale ammoniak- og svovldioxidniveau.

#### 4.5 De endelige standardkurver

I figur 10 og 11 ses de endelige standardkurver, som ligger til grund for beregningen af afsætningen omkring en punktkilde på hhv. 6 m og 3 m. I det næste afsnit gives en nærmere beskrivelse af hvordan kurverne rent teknisk er implementeret i HR.



Figur 10. De endelige standardkurver for en 6 m høj kilde og med 9 forskellige kombinationer af overflade typer på hhv. opland og naturområde.



Figur 11. De endelige standardkurver for en 3 m høj kilde og med 9 forskellige kombinationer af overflade typer på hhv. opland og naturområde.

#### 4.6 Beskrivelse af hvordan de opdaterede kurver er implementeret i HR

DMU/ATMI har leveret 18 tabeller (svarende til 9 kombinationer af opland/natur og 2 kildehøjder) med information om afsætningen for hver 100 m i afstande fra 300 m til 4000 m fra kilden, samt hældningen på linjestykkerne der forbinder datapunkterne. På basis af oplysninger om ruheder, afstand mellem kilde og naturområde samt kildehøjde (her vælges blot den af de to højder som er nærmest) laves udtræk af standardafsætningen fra tabellerne. Dette sker automatisk i regnearket.

Opdelingen i små linjestykker er gjort for at undgå at lave et egentligt kurvefit til standardkurverne. Kurvefit vil ofte være forbundet med en betydelig usikkerhed på de endelige resultater, navnlig i yderpunkterne af kurven. Ved kun at interpolere mellem de beregnede punkter i linjestykker uddrages ikke mere information end modelberegningerne med den givne modelopløsning giver.

Tabellerne består af 3 søjler: den første angiver afstanden fra kilden i meter, den anden afsætningen i den pågældende afstand i enheden kg N/ha/år pr emitteret kg N/år, og den tredje søjle angiver hældningen ( $a$ ) af det rette liniestykke mellem den aktuelle afsætningsværdi og den der ligger 100 meter længere væk fra kilden (og som står i linien nedenunder).

Når der skal beregnes en standardafsætning ( $D$ ) i en vilkårlig afstand  $L$  fra kilden (op til 4000 m), foregår det på følgende måde:

Først findes det afstandsinterval som  $L$  ligger i (fx ligger  $L = 348$  m i intervallet 300 - 400 m). Så fratrækkes den nedre værdi af intervallet ( $L^* = L - 300 = 48$  m) og depositionen ( $D$ ) beregnes ud fra følgende formel:

$$D(L = 348m) = a(L = 300m) \cdot L^* + D(L = 300m)$$

hvor  $a(300m)$  og  $D(300m)$  står i hhv. tredje og anden søjle i tabellen.

Endvidere har DMU/ATMI leveret 18 tabeller med vindkorrektioner som funktion af middelvinden, en for hver kombination af opland, naturområde og kildehøjde. Vindkorrektionerne er medtaget for at tage højde for at middelvinden ved en given lokalitet og vindretning har betydning for hvor meget der afsættes. For hver kombination er der beregnet vindkorrektioner for 16 forskellige middelvinde mellem 2,3 m/s og 8,9 m/s (med interval på ca. 0,4-0,5 m/s). På basis af middelvinden i den aktuelle vindretning udvælges den af de 16 middelvinde som bedst svarer til middelvinden ved den aktuelle lokalitet – og den tilhørende vindkorrektion udtrækkes af tabellen.

HR vil indeholde en ”mini-manual” udformet af Klaus Schiøtt Kristensen fra Fyns Amt, som giver en kort beskrivelse af beregningsmetoden.





## 5 Referencer

- Ambelas Skjøth, C., Hertel, O., Gyldenkerne, S. and Ellermann, T., 2004: Implementing a dynamical ammonia emission parameterization in the large-scale air pollution model ACDEP. - *Journal of Geophysical Research -Atmospheres* 109(D6): 1-13.
- Asman, W. A., Pinksterboer, E. F., Mass, H. F. M, Erisman, J.-W., Waijers-Ypelaan, A., Slanina, J. og Horst, T. W., 1989: Gradients of the Ammonia Concentration in a Nature Reserve: Model Result and Measurements. *Atmospheric Environment*, vol. 23, no. 10, pp.2259-2265.
- Berkowicz, R., H. R. Olesen & K. B. Gislason 1986: The Danish Gaussian air pollution model (OML): Description, Test and sensitivity analysis in view of regulatory applications. In: *Air pollution Modelling and its applications*, pp. 453-481, NATO-CCMS, vol. 10, Plenum Press, New York.
- Cappelen & Jørgensen, 2002, Dansk vejr siden 1874 – måned for måned med temperatur, nedbør og soltimer samt beskrivelser af vejret with English translations. DMI's tekniske rapport, no. 06-02.
- 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. - Faglig rapport fra DMU 555: 76 s. (elektronisk).
- 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. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU 595: 66 s. (elektronisk).
- Emberson, L. D., Simpson, D., Tuovinen, J.-P., Ashmore, M. R. and Ca,bridge, H. M., 2000: Towards a model of ozone deposition and stomatal uptake over Europe. *Research Note No. 42*, EMEP/MSC-W 6/2000, 57p.
- Geels, C., Bak, J.L., Callesen, T., Frohn, L.M., Frydendall, J., Gyldenkerne, S., Hansen, A.G., Hutching, N., Jacobsen, A.S., Pedersen, P., Schneekloth, M., Winther, S., Hertel, O. & Moseholm, L. (2006): Vejledning om godkendelse af husdyrbrug. Faglig rapport fra arbejdsgruppen om ammoniak. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU 568: 89 s. (elektronisk).
- Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R., 1995: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Mesocale 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., Løfstrøm, P., Geels, C., Frohn, L.M., Ellermann, T. & Madsen, P.V. (2006): Modelling Nitrogen Deposition on a Local Scale—A Review of the Current State of the Art. - *Environmental Chemistry* 3(5): 317-337.

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.

Olesen, H.R., 1994: Evaluation of the OML Model. In: Cuvelier, C. (ed.): Proceedings of the Workshop Intercomparison of Advanced Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Models. August 30 - September 3, 1993 (Manno-Switzerland). CSCS (Centro Svizzero di Calcolo Scientifico). EUR 15603 EN: pp. 43-47.

Olesen H.R., 1995, Regulatory dispersion modelling in Denmark. International Environmental Pollution 5 (4-6), pp. 412-417.

Seinfeld, J. H., 1986: Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. Printed by John Wiley & Sons, Inc. New York, 1986, pp. 738.

Simpson, D., Fagerli, H., Jonson, J. E., Tsyro, S. and Wind, P., 2003: Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe, PART 1, Unified EMEP Model Description. EMEP Report 1/2003, 96p.

Skov- og Naturstyrelsen, Miljøministeriet, 2003, Manual vedr. vurdering af de lokale miljøeffekter som følge af luftbåret kvælstof ved udvidelse og etablering af større husdyrbrug.

Skov- og Naturstyrelsen, Miljøministeriet, 2006, Vejledning fra Skov- og Naturstyrelsen. Tilladelse og miljøgodkendelse mv. af husdyrbrug

Theilgaard, J, 2006, Det danske vejr, Gyldendal.