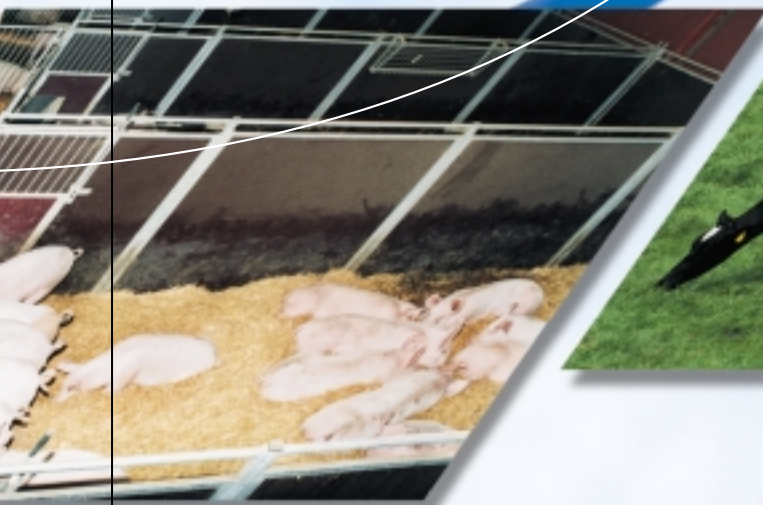
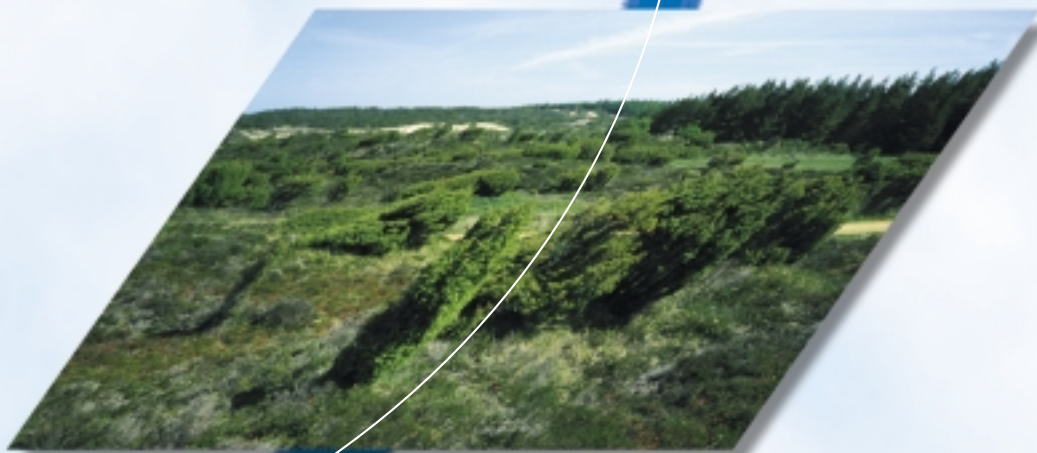


AMMONIAK

i
landbrug
og
natur



JORDBRUG & MILJØ, 1
Ammoniak i landbrug og natur

Forfattere:

Knud Tybirk, Danmarks Miljøundersøgelser
Villy Jørgensen, Danmarks JordbrugsForskning

Udgivere:

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser ©
URL: www.dmu.dk

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Danmarks JordbrugsForskning ©
URL: www.djf.dk

December 1999

Layout og produktion:

Kathe Møgelvang og Juana Jacobsen,
Grafisk Værksted, DMU, Silkeborg

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Silkeborg Bogtryk,
miljøcertificeret (EMAS reg. nr. DK-S-0084)

Papir: Cyclus Print, 100% genbrugspapir,
vegetabiliske trykfarver, vandbaseret vegetabilisk lak

Sideantal: 40

Oplag: 4.000

Trykt udgave:	Elektronisk udgave:
ISSN: 1399-8323	ISSN: 1399-9443
ISBN: 87-7772-505-0 (DMU)	
ISBN: 87-88976-42-4 (DJF)	

Pris: 50,- kr

Klassesæt á 10 stk: 250,- kr.

(Priser incl. 25% moms, excl. forsendelse)

Kan købes hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsøvej 25, Postboks 314
8600 Silkeborg
Tel: 89 20 14 00 Fax: 89 20 14 14

Danmarks JordbrugsForskning
Forskningscenter Foulum
Informationsenheden, Postboks 50
8830 Tjele
Tel: 89 99 16 15 Fax: 89 99 10 40
e-mail: ebbe.birch@agrsci.dk

Miljøbutikken
Information & bøger
Læderstræde 1-3
1201 København K
Tel: 33 95 40 00 Fax: 33 92 76 90
e-mail: butik@mem.dk

AMMONIAK

i landbrug og natur

Knud Tybirk, Danmarks Miljøundersøgelser
Villy Jørgensen, Danmarks JordbrugsForskning

Forord

I den politiske aftale om Vandmiljøplan II i 1998 indgik, at der skal fremlægges en handlingsplan for Folketinget til at begrænse ammoniakudslippet fra landbruget. Derfor har Danmarks JordbrugsForskning, Danmarks Miljøundersøgelser og Forskningscentret for Skov og Landskab i fællesskab udarbejdet tre delrapporter med opdateret viden og datagrundlag som baggrund for en sådan politisk beslutning. Dette temahæfte bygger hovedsagelig på de tre delrapporter. Flere detaljer om de enkelte emner der behandles i dette hæfte, er uddybet i disse tre publikationer der findes i litteraturlisten side 39.

Endvidere har Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut lavet en fjerde delrapport om de økonomiske aspekter af tiltagene til at begrænse fordampningen af ammoniak. Disse resultater indrages kun meget summarisk i dette temahæfte.

Temahæftets mål er at give et lettilgængeligt overblik over, hvad ammoniak betyder i landbruget og i naturen samt en oversigt over, hvilke muligheder vi i Danmark har for at begrænse udslippene af ammoniak. Hæftets første halvdel fortæller hvorfor ammoniak både er et vigtigt næringsstof og samtidig er et problem for naturen og miljøet. Dernæst beskrives, hvor udslippene af ammoniak kommer fra, og de forskellige muligheder for at begrænse udslippene diskuteres.

En lang række kolleger har kommenteret og bidraget med konstruktive kommentarer og forbedringer af dette temahæfte, og de takkes alle for dette.

Indledning 5



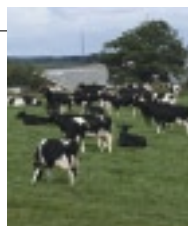
Hvorfor er ammoniak et problem? 9

Økosystemerne forandres	11
Spredning og afsætning	17



Kvælstof i landbruget 23

Tab af ammoniak – et overblik	24
Fodring og ammoniaktab	25
Ammoniaktab fra stalde	25
Tab fra gødningslagre	28
Udbringning af husdyrgødning	30
Øvrige udslip	32



Reduktionsmuligheder 35



Sammendrag 37

Supplerende læsning	39
Ordliste	39





Indledning

Denne rapport handler især om ammoniak i landbruget, i luften og i naturen. Hvorfor er det et problem, og hvad er de mulige løsninger på problemet? Rapporten er baseret på mange forsøgsresultater, der ofte er behæftet med en ret stor videnskabelig usikkerhed. Sådanne aspekter berøres kun sporadisk her, idet der henvises til baggrundsrapporterne i litteraturlisten, hvor de væsentligste usikkerhedsmomenter og datamangler er diskuteret. Her har vi valgt at give en kortfattet og forenklet sammenstilling af vor nuværende viden.

I Danmark er ammoniak det væsentligste luftforureningsproblem uden for byerne. For at forstå problemets omfang og mulige løsninger ridser vi her i indledningen op, hvad der historisk er sket for at begrænse luftforureningen nationalt og internationalt. Derudover sættes ammoniakken i sammenhæng med andre væsentlige luftbårne stoffer, nemlig svovl- og kvælstofilter. Disse stoffer stammer hovedsagelig fra afbrænding af olie, kul og gas (kraftværker, industri og trafik). Svovldioxid (SO_2) forurener jorden, mens kvælstofilter (såkaldt NO_x) og ammoniak (NH_3) både virker gødskende (kaldes eutrofiering) og kan virke forsurende.

Debatten om luftforureningen begyndte allerede i slutningen af 1960'erne, og siden 1979 har arbejdet med at begrænse den langt-

transporterede luftforurening været formaliseret under FN. Siden 1987 er der i FN-regi indgået en række internationale aftaler, som især har begrænset udslippene af svovl og i mindre grad af NO_x og NH_3 . I øjeblikket arbejdes med 2. generation af aftaler, som omfatter både svovl- og kvælstofudslip.

I Danmark strammer Vandmiljøplan II og andre reguleringer kravene til udnyttelsen af husdyrgødningens kvælstof. Dette vil også reducere udslippet af ammoniak og falder i tråd med de igangværende forhandlinger om internationale aftaler til reduktion af forsurende og eutrofierende luftforurening. Der foregår forhandlinger i FN-regi (Geneveprotokollen) og EU forbereder en forureningsstrategi, som vil pålægge medlemslandene bindende kvoter for udslip, bl.a. af ammoniak. Aftalerne er baseret på en miljømålsætning, og reduktionerne fordeles mellem landene efter en optimeret økonomisk beregning for at få mest miljøeffekt for pengene.

Der findes pt. ikke nogen formuleret dansk målsætning specifikt for ammoniak. Omkring 98% af de danske ammoniakudslip kommer fra landbruget. De internationale aftaler fastlægger hovedsagelig begrænsninger af den langtransporterede del af forureningen. Men ammoniak er i høj grad også et lokalt problem, som de internationale aftaler ikke alene kan løse.

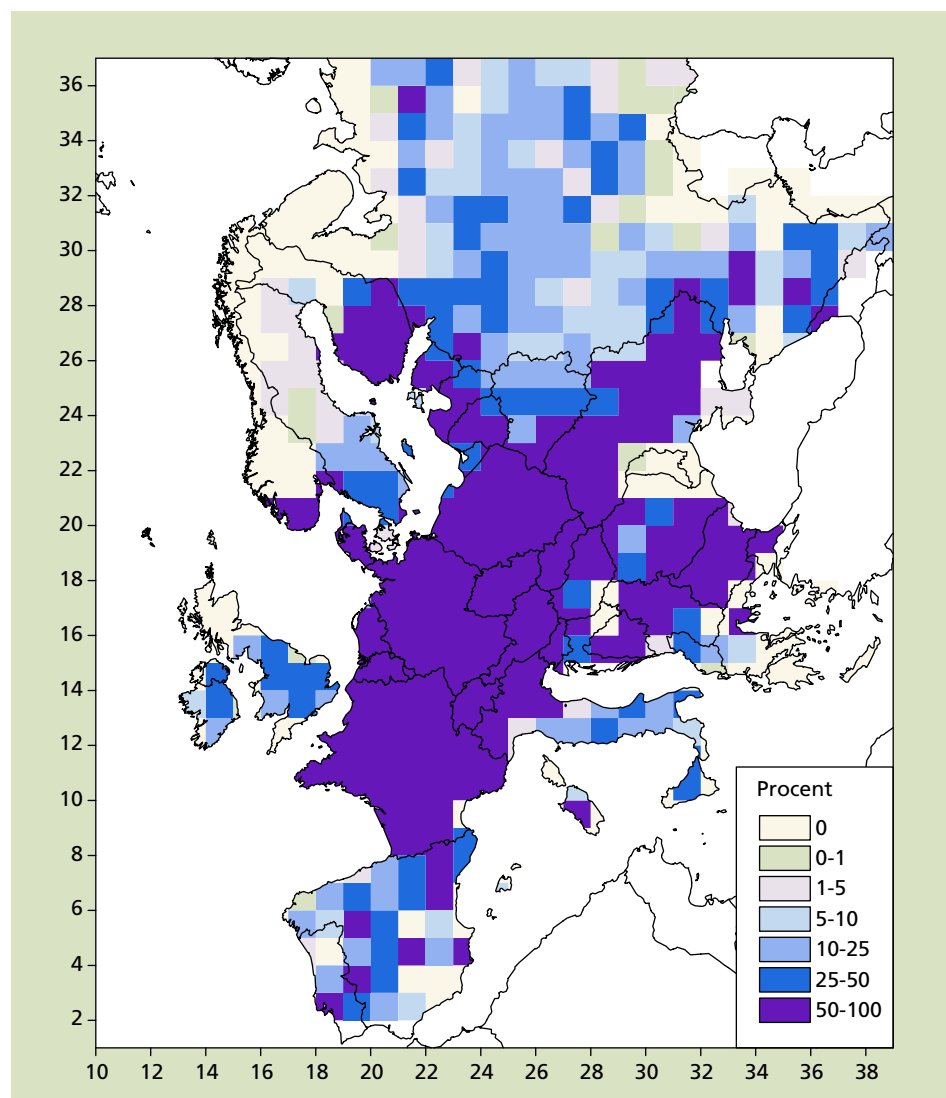
Internationalt er den langsigtede miljømålsætning, at ingen områder må modtage mere luftforurening, end naturen kan tåle. Den belastning et naturområde på langt sigt kan tåle uden skade, kaldes områdets tålegrænse. Målet er, at denne grænse ikke overskrides noget sted i Europa. For år 2010 har man dog som delmål sat en halvering af arealet med overskridelser af tålegrænser overalt i Europa. Dette forudsætter kraftige reduktioner i udslippene, og ifølge direktivudkastet forventes Danmark at få et loft på 58.000 tons udslip af ammoniak-kvælstof årligt fra år 2010. Dette ligger et stykke under det beregnede udslip for 1996 på 93.000 tons. Det er beregnet, at med uændret husdyrproduktion og ved en fuld gennemførelse af

allerede vedtagne handlingsplaner for landbruget (inklusive Vandmiljøplan II) kan Danmark i år 2003 nå ned på et udslip på 72.200 tons.

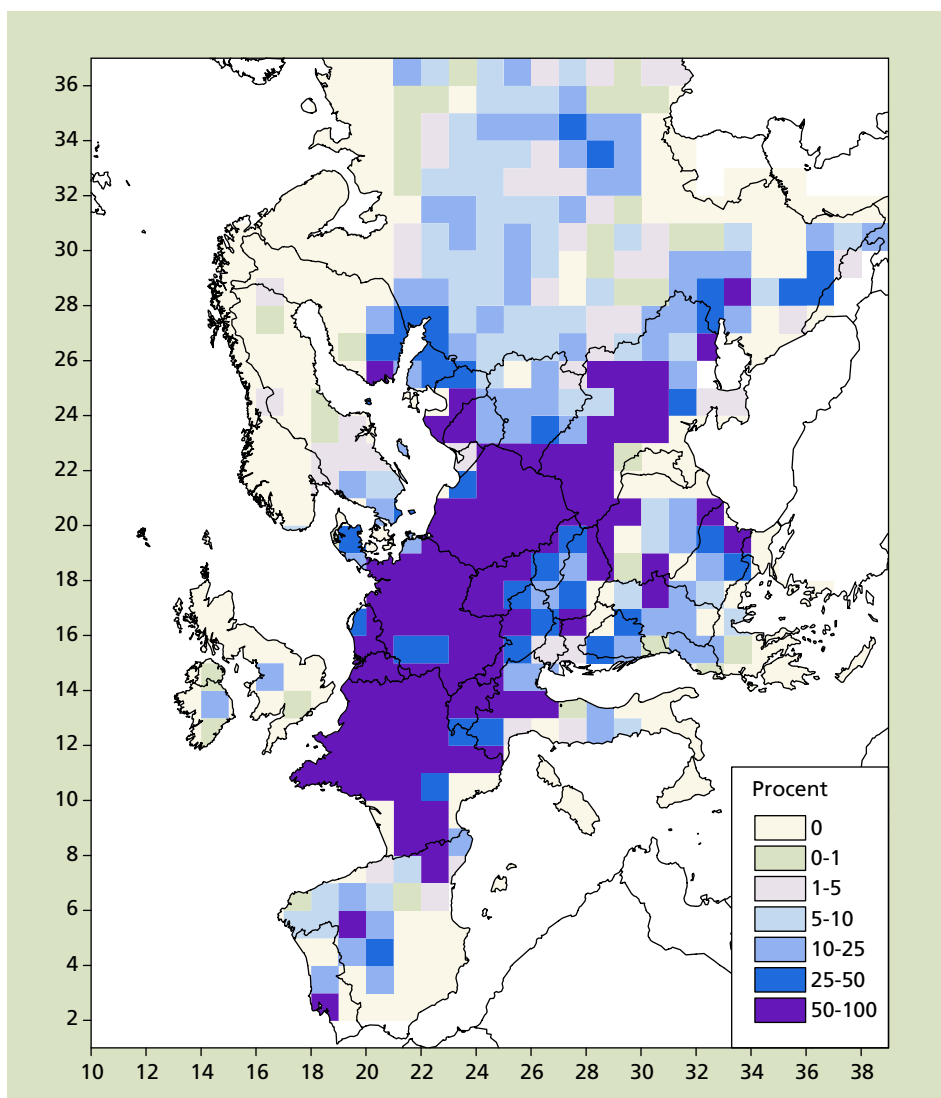
Selv med så forholdsvis kraftige reduktioner er der langt igen til at opfylde en målsætning om at halvere det skov- og naturareal i Danmark, der ikke får for meget kvælstof. Der kan dog opnås ganske væsentlige forbedringer af miljøtilstanden ved at målrette reduktionstiltagene mod de mest udsatte og mest følsomme naturområder. De iværksatte tiltag og internationale forhandlinger er vigtige skridt for at nedbringe emissionerne, men de er ikke tilstrækkelige til at beskytte naturen mod belastning af kvælstof.

Figur 1. Procent af areal i kvadraterne med overskridelse af tålegrænserne for kvælstof i 1990. Kortet danner udgangspunkt for internationale forhandlinger om reduktioner.

Kilde: www.iiasa.ac.at



To væsentlige faktorer for udslippet af ammoniak er den totale husdyrproduktion i Danmark og de enkelte bedrífers størrelse og intensitet (harmoni mellem antal dyreenheder og dyrkningsareal), men det er strukturpolitiske forhold, som denne rapport ikke kommer mere ind på. En anden væsentlig faktor for nedbringelse af udslippet er samspillet med krav om bedre dyrevelfærd, som på visse områder kan være i modstrid med ønsket om at nedbringe ammoniakudslippet. Der er behov for at udvikle nye teknologier, som tager hensyn til alle disse mål.



Figur 2. Beregnet procent areal i kvadraterne med overskridelse af tålegrænser for kvælstof i 2010. Dette scenarie er baseret på gennemførelse af nye protokoller, som dog ikke vil løse eutrofieringsproblemet.

Kilde: www.iiasa.ac.at



Hvorfor er ammoniak et problem?

Der er masser af kvælstof i naturen. Luften indeholder ca. 78% kvælstof. Men det meste er biologisk inaktivt kvælstof, såkaldt frit kvælstof (N_2). Kvælstof fandtes oprindeligt ikke som næringsstof i jorden – det er en luftart, hvilket er en afgørende forskel fra andre vigtige plantenæringsstoffer som fosfor og kalium. Kun meget langsomt gennem klodens udvikling er kvælstof blevet gjort biologisk aktivt, dvs. bundet sammen med brint, ilt eller kulstof til nitrat, ammoniak og organisk bundet kvælstof.

Luftformigt kvælstof kan gøres biologisk aktivt ved stærke elektriske udladninger, fx lyn, eller ved at specialiserede bakterier, alger og svampe kan opfange og anvende kvælstoffet. Denne proces kaldes kvælstoffiksering, og fx kan bakterier på bælgplanters rødder fikse luftens kvælstof.

Kvælstof i historisk lys

Gennem millioner af år er puljen af biologisk aktivt kvælstof kun vokset langsomt. En stor del af det fikserede kvælstof frigives dog igen til atmosfæren efter omdannelse til frit kvælstof (N_2). Det er først inden for det seneste århundrede, at mennesket for alvor er begyndt aktivt at udnytte kvælstof i landbruget. Husdyrproduktionen blev en væsentlig faktor til at opkoncentrere kvælstof fra naturgrundlaget. I begyndelsen var det indførelsen af kløver, ærter o.lign. som fikserede luftens kvælstof og derved tilførte jorden kvælstof.

Mergel, kalk og fugleekskremer (guano) med meget fosfor øgede jordens produktivitet. Derved kunne landbruget holde flere husdyr, og brugen af husdyrgødning forbedrede landbrugsjordens produktivitet yderligere. Først efter 1950'erne er mennesket for alvor begyndt at ændre på Jordens samlede omsætning af kvælstof, hvor vi i dag styrer en meget stor del af klodens totale kvælstofkredsløb.

Fremstillingen af kunstgødning fra frit luftformigt kvælstof og anvendelsen heraf har fordoblet den 'menneskelige' kvælstoffiksering på Jorden siden midten af 1970'erne. Mennesket kontrollerer i dag lige så meget kvælstoffiksering som den naturlige.

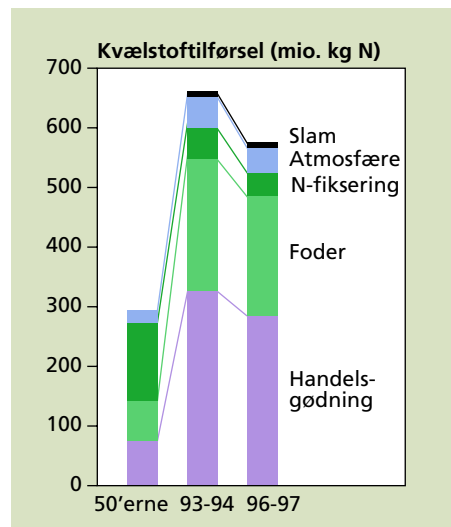


FOTO: KAREN SØEGAARD

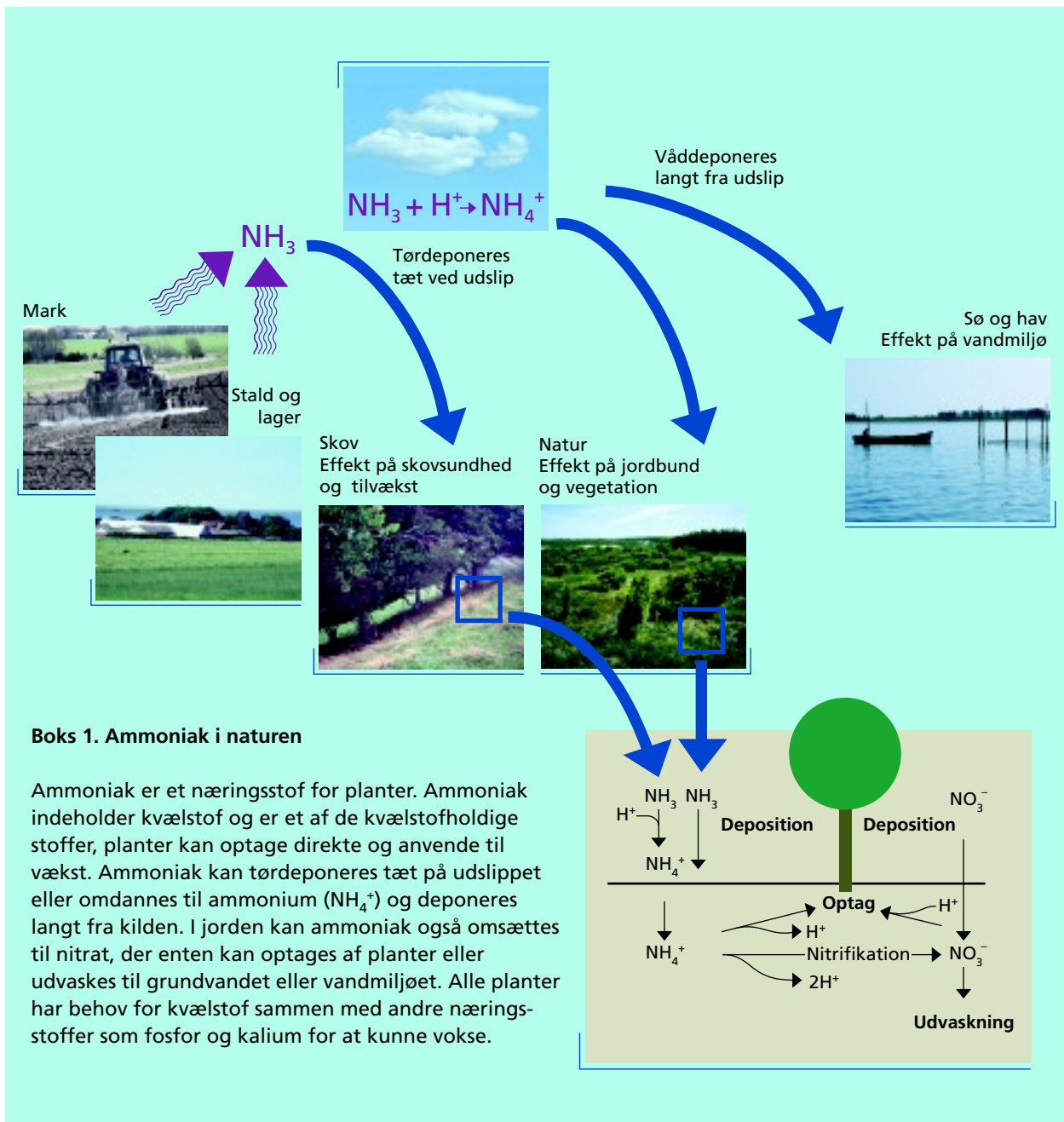
Figur 3. Rødder af fx kløver har kvælstoffikserende rødknolde.

Figur 4. Kvælstoftilførsel til landbruget i 1950'erne, 1993-94 og 1996-97 (Kyllingsbæk 1995 og 1999). Dansk landbrug tilføres langt mere kvælstof fra handelsgødning, foderimport og atmosfærisk nedfald i dag end i 1950'erne. Omvendt spiller biologisk kvælstoffiksering ikke så stor en rolle i dag.

En væsentlig del af produktivitetstigningerne i landbruget skyldes, at landmanden nu kan regulere gødsningen med kvælstof (sammen med øvrige næringsstoffer) efter afgrøderne behov. Men det højeffektive landbrug med stor vægt på intensiv produktion af kød og mælk kan give store tab af kvælstof til naturen, både i form af udvaskning af nitrat og fordampning af ammoniak.

Ammoniak i naturen

En stor omsætning af kvælstof i planter og dyr giver tab af kvælstof til omgivelserne, enten i form af nitrat, frit kvælstof eller ammoniak, afhængig af forholdene. Ammoniak frigives altså fra planter og dyr under deres vækst og nedbrydning, så ammoniak og andre kvælstofholdige luftarter (biologisk aktivt kvælstof) findes derfor naturligt i atmo-



sfæren i lave koncentrationer. Når ammoniak bliver et problem, er det kun fordi det lokalt optræder i unaturligt store mængder.

Ammoniak i luften afsættes igen på landjorden (se boks 1). Afsætningen kan ske både tæt på og langt fra kilden afhængigt af forholdene. Blandt andet derfor har andre organismer end de kvælstoffikserende planter været i stand til at kolonisere nye områder og langsomt ophobe kvælstof i økosystemerne. Fosfor og kalium og forskellige mikronæringsstoffer findes som mineraler i jorden i små mængder. Udviklingen af de fleste økosystemer og deres arter er foregået med konstant lavt kvælstofniveau som et grundvilkår.

Set i forhold til landbrugets planter er det endog meget lave årlige tilførsler af kvælstof, de fleste vilde plantearter trives ved. I landbruget er den anbefalede tilførsel til vinterhvede 180 kg N pr. hektar pr. år, mens det naturlige baggrundsniveau for kvælstoftilførsel fra luften anses for at være på 3-7 kg N pr. hektar pr. år

De fleste arter vokser hurtigere med mere kvælstof end der findes naturligt, hvis ikke andre næringsstoffer mangler. Men der er meget stor forskel på de enkelte arters evne til at udnytte mere næring og dermed konkurrere under næringsberigede forhold. Der er nemlig også arter, som er tilpasset mere næringsrige levesteder. Hævet havbund, eng-

arealer og strandenge har fået aflejret kvælstofrigt materiale gennem tiderne og plantearter fra disse økosystemer er tilpasset mere næringsrige forhold. Derfor kan den utilsigtede tilførsel af kvælstof fra ammoniak være til fare for de skove og naturarealer, der er tilpasset lave kvælstofmængder. Ammoniak kan give en række uønskede forandringer i skove, overdrev, heder og højmoser. Virkningen afhænger af vilkårene og hvilke naturtyper, det drejer sig om. Dette vil blive uddybet i de følgende afsnit.

Økosystemerne forandres

Planteverdenen kan inddeles i tre typer:

- Nøjsomhedsplanter er tilpasset til at leve under næringsfattige forhold (fx tørve-mosser i højmoser, mange laver på heder og i klit, mange overdrevsplanter).
- Pionerplanter kan hurtigt etablere sig i forstyrrede økosystemer og udnytte pladsen her. De kan derimod ikke klare sig, hvor der er hård konkurrence om næring, vand eller lys. Mange af de arter, der optræder som ukrudt i landbruget er pionerplanter.
- Konkurrenceplanter formår at udnytte lokaliteter med mange næringsstoffer og vokse sig store og kraftige, hvorved pioner- og nøjsomhedsplanter udkonkurreres. Det gælder fx for brændenælde, ægertidsel, hindbær og mange græsser.



FOTOS: KNUD TYBIRK ■ DMU



Figur 5. Et kig ind i en skovkant med følsom vegetation. Vegetationsforandringer er konstateret tæt på store stalde.

Forhøjet kvælstoftilførsel i naturlige økosystemer giver ændringer, fordi nogle få ret almindelige arter er bedre til at drage fordel af mere næring end andre. Disse almindelige arter (generalister) bliver dermed meget dominerende og udkonkurrerer andre arter, der er karakteristiske for bestemte økosystemer (specialister). Især er nøjsomhedsplanterne som gruppe truet af denne udvikling.

Mennesker påvirker naturgrundlaget

Naturarealer er især følsomme over for øget næringstilførsel. Halv-kulturarealer (enge,

skellen fra hedeslettens sandjord i Vestjylland til den næringsrige lerjord i Østdanmark. Disse forskelle skyldes bl.a. de forskellige istidens aflejringer. Den sidste istid dækkede det meste af landet undtagen Vestjylland, hvor smeltevandet udvaskede næringsstofferne og efterlod en sandet og næringsfattig jord.

Jorden udpines

Menneskets intense udnyttelse af jorden gennem århundreder har betydet meget for forholdene i dag. For 4-5.000 år siden var det meste af Danmark skovdækket og store hovdyr græssede i lysningerne. I skovene har der altid været konkurrence om lyset, og mange af næringsstofferne findes i træerne. Skovbundens planter trives derfor med kun lidt næring og lys, og samtidig kan de klare at blive græsset af store hovdyr.

Svedjebuget i stenalderen betød tab af en del ophobet kvælstof fra skovene ved afbrænding. Agerbruget udviklede sig fra jernalderen op gennem middelalderen til at opkoncentrere næringsstoffer i indmarken, mens udmarken langt fra gårdene og landsbyerne langsomt blev udpint, fordi husdyrgødningen ikke nåede derud. Denne udvikling fortsatte helt op i forrige århundrede. Store dele af Jylland var udpint hedejord eller overdrev, mens relativt små arealer med bedre næringsforhold (især i ådalene) var dyrket som intensivt landbrug.

Figur 6. Guldaldermaleri med fårehyrde på heden: Intens udnyttelse af naturen giver sin egen skønhed og storslåethed. En del specialiserede arter trives under sådanne forhold.
Statens Museum for Kunst.



Figur 7. Draved mose. Højmoserne får al deres næring fra luften og er derfor specielt følsomme over for den forhøjede mængde af luftbærent kvælstof, som følger med det moderne landbrug.

heder, overdrev) og skove er derudover påvirket af menneskets brug af arealerne gennem tidligere tiders og nutidig drift og pleje.

Dansk jordbund varierer fra egn til egn, og både landmænd og haveejere kender for-



FOTOS: KNUD TYBIRK ■ DMU



Da H.C. Andersen i postvognen mellem Randers og Viborg i 1859 skrev om "heden alvorstør, her, hvor ørknens luftsyn bor" dominerede de næringsfattige menneskeskabte halv-kulturarealer landskabet. Heden blev opfattet som en udpint og vidtstrakt ørken, hvor kun lyngen kunne gro. Eller med andre ord: Kun de arter, der kunne klare sig med meget lidt næring kombineret med afbrænding, græsning og strid blæst kunne klare sig. Og det er under sådanne stressede vilkår, at mange nøjsomhedsplanter kan klare sig.

Lysåben og næringsfattig natur er værdifuld

I den næringsfattige natur lever mange af de arter, der var tilpasset tidligere tiders lave næringsstofniveauer. Heder, overdrev og enge har gennem århundreder været lysåbne samfund, hvor man har fjernet flere næringsstoffer, end der har været tilført. Man har derved langsomt udpint områderne, som kun har givet et meget lavt udbytte set med landbrugerens øjne i dag. Sådanne økosystemer huser en stor del af Danmarks planterigdom, især de karakteristiske nøjsomhedsplanter og en række tilhørende dyre- og svampegrupper. Arealerne med heder og overdrev er kraftigt reduceret. De er erstattet af intensivt dyrket landbrugsjord og skov, hvor indførte dyrkede afgrøder og træer dominerer. Mange af de hjemmehørende arter er derfor blevet sjældne, og de resterende levesteder er truet af tilgroning og overgødsning. Dermed mister vi den historie, som disse økosystemer kan fortælle os om levevilkårene tilbage i tiden.

Belastning med ammoniak

Øget tilførsel af kvælstof giver konkurrenceplanterne gode vilkår. De er store og hurtigtvoksende og ligner derved de fleste af vore kulturplanter, som netop forædles for at opnå disse fordele over for konkurrerende ukrudt. Hvis konkurrenceplanterne får lov at dominere, bliver det et mere artsfattigt miljø. Ammoniak forandrer et af naturens grundvilkår, og de sjældne helt næringsfattige biotoper med mange specialister erstattes af mere almindelige biotoper med mange generalister. Med andre ord reduceres kvaliteten og mangfoldigheden af vor natur.



FOTO: KNUD TYBIRK ■ DMU

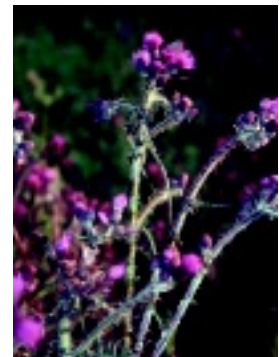


FOTO: KNUD TYBIRK ■ DMU

Figur 8. Konkurrenceplanter vokser godt med meget næring og udkonkurrerer andre mere nøjsomme arter.



FOTO: GÖSTA KJELLSSON ■ DMU



Figur 9. Gullisten og rødlisten. Rødlisten illustrerer toppen af isbjerget: de akut truede arter udgør en lille del; formodentlig er langt flere nøjsomhedsplanter på tilbagegang.

En ekstremt næringsfattig naturtype som højmosen er ikke særlig rig på arter. Højmosen er beboet af specialister, der ofte kun kan klare sig der. Øget kvælstoftilførsel forbedrer betingelserne bl.a. for vidt udbredte græsser og forandrer dermed økosystemet.

Processerne forskydes

Når sammensætninger af arter i naturen ændres, kan det være helt naturligt, men det kan også være et symptom på, at der er sket ændringer i de naturlige processer i

økosystemet (se boks 2). Disse processer og dertil knyttede organismer er netop, hvad der adskiller den ene naturtype fra den anden.

Den seneste danske liste over truede arter fra 1997 angiver, at 15% af de truede svampearter er følsomme over for kvælstofbelastning. Det tilsvarende tal for laver, der udelukkende henter deres næring fra luften, er endnu højere. Mere end 1/4 af danske lavarter anses for at være truet af luftforurening. Arterne på rødlisten er dog kun toppen af

Boks 2. Lyngfamiliens specialitet

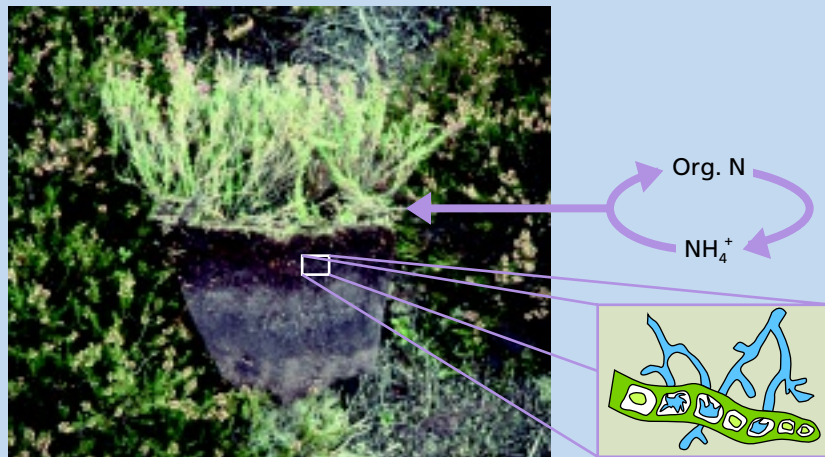


FOTO: HANNE LAKKENBORG KRISTENSEN ■ DMU

Et permanent lavt niveau af kvælstof og fosfor på heder har været medvirkende til, at planter af lyngfamilien (fx hedelyng, revling, blåbær) har udviklet et kompliceret samspil med specielle svampe (såkaldt mykorrhizasymbiose), som styrker deres evne til at optage kvælstof og fosfor. De fleste planter optager kvælstoffet enten som ammoniak eller nitrat fra jordvæsken. Dette er uorganisk og letomsætteligt kvælstof, men derudover findes en meget stor pulje af organisk bundet kvælstof i jorden, som de fleste planter ikke har adgang til. Lyngplanterne opbygger et lag af organisk materiale på jorden (morlag) ved at have meget langsomt nedbrydeligt løv. Dette morlag kan

lynhurtigt binde uorganisk ammoniak eller nitrat og derved gøre det utilgængeligt for de fleste konkurrenceplanter. I stedet har lyngplanterne i tæt samarbejde med mykorrhizasvampe deres eget 'lukkede' kvælstofkredsløb bundet på organisk form, så de kan udnytte denne store pulje af organisk kvælstof. Derved er disse karakteristiske planter i stand til at dominere på vores heder, i visse skove og til dels i højmoserne. Hvis tilførslen af ammoniak fra luften øges, vil det delikate samspil mellem de karakteristiske arter få hårdere konkurrence fra andre almindelige planter. Græsser klarer sig fx bedre på heder, hvis de har adgang til uorganisk kvælstof.

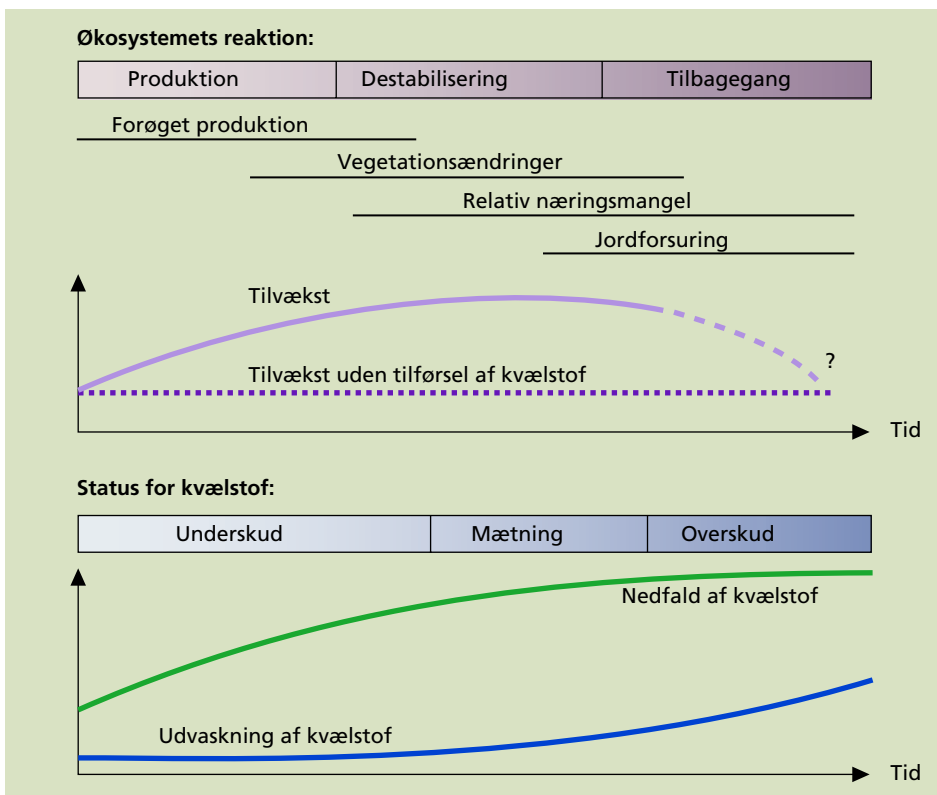
Typiske konkurrenceplanter, der går frem ved tilførsel af luftbårent kvælstof		Typiske nøjsomhedsplanter, der går tilbage ved tilførsel af luftbårent kvælstof	
Græsser	Urter	Urter	Mosser og laver
Hvene-arter	Hindbær	Kattefod	Rensdyrlav-arter
Rapgræs-arter	Alm. fuglegræs	Guldblomme	Bægerlav-arter
Svingel-arter	Stor fladstjerne	Soldug	Alm. etagemos
Bakkestilkaks	Stor nælde	Visse-arter	Trind fyrremos
Bølget bunke	Gederams	Ensian-arter	Tørvemosser
Fløjlsgræs	Burresnerre	Mælkeurt	
Blåtop		Timian	

Tabel 1. Eksempler på planter fra halvkulturrealer og skove, der påvirkes af øget kvælstofbelastning.

isbjerg. Der er en bred vifte af tidligere almindelige arter, der er gået tilbage, men som ikke er akut truede af udryddelse i Danmark (tabel 1). Der er flere grunde til at bremse denne udvikling. Den væsentligste er, at det danske landskab bliver fattigere og mindre rig på oplevelser. Derudover har Danmark en international forpligtelse til at sikre arterne og deres levesteder.

For skovenes vedkommende har øget tilførsel af kvælstof umiddelbart en effekt på træernes tilvækst (figur 10). Træerne optager kvæ-

stoffet og skovenes produktivitet stiger. En sådan øget tilvækst blev konstateret i danske hedeplantager i 1980'erne, men forsøg har vist, at gødsning med yderligere kvælstof ikke længere medfører øget tilvækst. Det tyder på, at skovene mange steder nu er mættede med kvælstof. Ved fortsat forhøjet belastning forventes det, at skovens stabilitet mindskes. Træerne kan optage en vis mængde og omsætte dette til vækst, men på et tidspunkt – afhængig af jordbunden og driften – har skoven fået overskud af kvælstof. Derved opstår der en relativ mangel på



Figur 10. Anerkendt hypotese om kvælstofmætning i dyrkede skove som følge af øget atmosfærisk tilførsel. Den skitserede udvikling tager typisk årtier og er derfor meget vanskelig at dokumentere med sikkerhed i felten. Mange danske skove er i dag mættede eller har overskud af kvælstof.

Efter Per Gundersen.

andre næringsstoffer, som gør træerne sårbare over for fx frost, tørke og insektangreb. Derudover vil skovbundsvegetationen forandres, og der er risiko for, at skovens tilvækst falder. Samtidig kan ammoniak omdannes til nitrat, og hvis dette ikke optages af vegetationen, kan det udvaskes. En sådan udvaskning medvirker til at forsure jorden.

I 30% af skovene i Danmark er det konstateret, at koncentrationen af nitrat i jorden er forhøjet i forhold til naturlige niveauer. Dette ses som et klart signal om overskud af kvælstof jf. figur 10. Risikoen for udvaskning af nitrat fra skovene er dermed øget. Det vil dog ikke være af samme størrelsesorden som fra landbruget.

I de danske farvande afsættes der også ammoniak. Her er afstanden til kilderne dog forholdsvis stor, og afsætningen fra luften er ikke så betydningsfuld i forhold til belastningen med nitrat fra landbruget. I Kattegat stammer ca. 29% af den totale belastning med kvælstof fra luften, mens det for fjordene er under 10% af tilførslen. Af disse bidrag er ammoniak fra dansk landbrug dog kun ca. $\frac{1}{3}$, resten udgøres af kvælstofilter og ammonium, der kommer fra andre lande. Det danske bidrag af ammoniak kan dog betyde noget i fjordene i sommerperioden, hvor koncentrationen af kvælstof i vandet er så lav, at atmosfærisk nedfald kan resultere i øget algevækst.

Danske søers tilstand er mere påvirket af tilførsel af fosfor end kvælstof. Der kan dog

være tale om ændringer i artssammensætninger af algerne og en vis forsurende effekt af ammoniak i enkelte søer, men generelt anses atmosfærisk kvælstof ikke for at have stor indflydelse på vore søer.

Tålegrænser

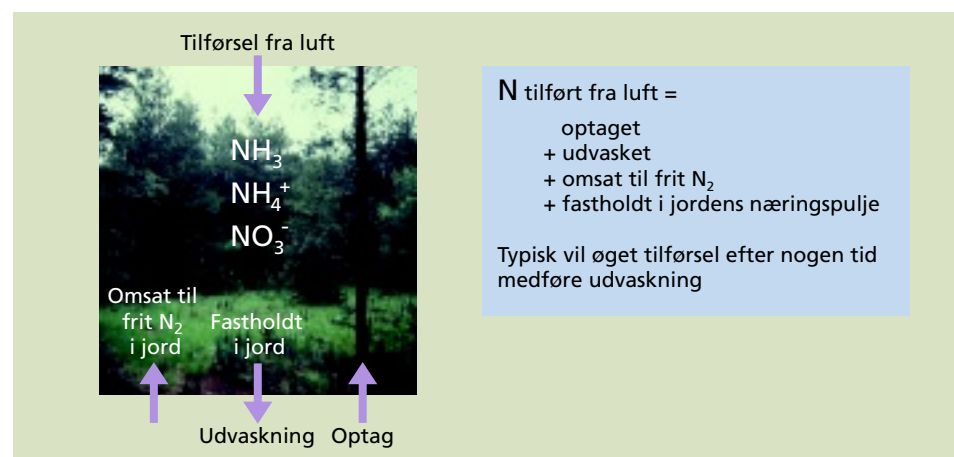
Man taler om, at økosystemets tålegrænse er overskredet, når der sker påviselige forandringer. Men forandringerne i økosystemerne på landjorden sker med stor tidsmæssig forskydning, da fx træernes vækst og jordens stødpudeevne forsinker de synlige effekter i naturen. Skadevirkningerne afhænger bl.a. af jordbundens evne til at neutralisere syrevirkningen af ammoniak og andre forsurende stoffer, og af hvor meget biomasse, der fjernes ved skovdrift eller naturpleje.

Kvælstoffet ophobes i økosystemet indtil der indtræder en mætning. Et økosystem, der tilføres lidt forhøjede doser over meget lang tid, kan ofte få de samme problemer, som ses ved meget forhøjede tilførsler over kortere tid. En forhøjet tilførsel med kvælstof over en lang periode kan forventes at få negative konsekvenser, men det afhænger meget af jordens beskaffenhed. En sur og grovkornet sandjord er meget mere følsom end en neutral og næringsrig lerjord.

Tålegrænser for skove

Med et detaljeret kendskab til jordens beskaffenhed og træernes produktivitet kan forskerne beregne tålegrænser for forurening eller eutrofiering af skovjorder med modeller. Beregningen foretages for de konkrete

Figur 11. Beregning af total tilførsel og fjernelse af kvælstof skal balancere. Tålegrænsen overskrides, hvis der tilføres mere, end der fjernes på langt sigt.



Tålegrænser for kvælstofbelastning for danske skove fastsat for at beskytte træproduktion

Eg	17-28 kg N/ha/år
Bøg	17-27 kg N/ha/år
Gran	8-15 kg N/ha/år
Fyr	7-10 kg N/ha/år

Tålegrænser for danske naturtyper (30-50 års tidshorizont) fastsat ud fra feltundersøgelser og modelberegninger af vegetationsforandringer herhjemme og i udlandet

Indlandshede	15-20 kg N/ha/år
Klithede	10-15 kg N/ha/år
Overdrev	10-15 kg N/ha/år
Højmose	5-10 kg N/ha/år

Tabel 2. Så meget kvælstof kan danske skove og naturtyper tåle. Intervallerne afspejler forskelle i jordbund og driftsform.

Se også figur 15.

skovområder over en meget lang tidshorizont, fx 200 år (se figur 11). Der skal på langt sigt være overensstemmelse mellem tilførsel og fraførsel af næringsstoffer og syre-basebalancen i jorden. Tilførsel af næringsstoffer og de såkaldte basekationer (kalium, magnesium, calcium), der er vigtige for jordens syrebalance, beregnes ud fra jordens forvitringsevne og den atmosfæriske tilførsel. Biomasse, der fjernes ved skovproduktion, skal derefter trækkes fra i regnestykket. Man kan således på ret detaljeret skala beregne og kortlægge, fx hvor meget kvælstof skovene kan tåle. Sådanne tålegrænsekort indrapporteres af Danmarks Miljøundersøgelser til et fælles europæisk datacenter i Holland og er grundlaget for forhandlinger om internationale reduktionsaftaler.

Tålegrænser for naturarealer

Der er fastsat tålegrænser for enge, heder, overdrev og højmoser med en 30-50-årig tidshorizont. Her har man oftest ikke tilstrækkeligt detaljeret kendskab til at foretage komplicerede modelberegninger, men grænserne er fastsat ud fra den bedste tilgængelige viden og fx undersøgelser af vegetationsforandringer i økosystemerne. Der er derfor en vis usikkerhed forbundet med disse tålegrænser. Tabel 2 viser intervallerne for de beregnede tålegrænser fastsat med vor nuværende viden for de danske naturtyper og skove.

Tålegrænserne for skove er modelberegnet ud fra kriterier, der skal beskytte skovenes produktivitet. De lave tålegrænser for gran og fyr skyldes, at de ofte er plantet på sandet jord og at høsten af træ er forholdsvis lav, især i klitplantagerne. For naturområderne er tålegrænserne fastsat ud fra ønsket om at bevare økosystemernes karakter uden påvi-

selige forandringer. Tålegrænserne for gran, fyr, klithede, overdrev og højmose er sammenlignelige i størrelse, men altså fastsat ud fra forskellige kriterier og med forskellige metoder.

Spredning og afsætning

Ammoniakken, der fordamper fra landbruket, kan få tre forskellige "skæbner":

- Afsættes direkte på vegetationen eller vandoverflader som gasformigt ammoniak.
- Optages af vanddråber.
- Omsættes til ammonium (NH₄⁺) bundet til partikler.

Stofferne kan vaskes ud af luften i regnvejr (vådafsætning) eller afsættes i tørt vejr som gas eller i partikler (tøraftsætning).

Koncentrationen af ammoniak i luften falder hurtigt med øget afstand fra kilden både pga. fortyndingseffekt i luften, afsætningen på vegetation og omdannelse af ammoniak til ammonium. En stor del af ammoniakken afsættes derfor tæt på udslippet, men omfanget afhænger meget af terrænet og overfladens beskaffenhed, dvs. hvor stor en overflade luften kan komme i kontakt med. Det er beregnet, at der afsættes 20-60% af ammoniakken (for hhv. græs og skov) inden for 2 km fra udslippet.

Når forskerne beregner, hvordan ammoniak spredes og afsættes, er der stor usikkerhed på tallene, bl.a. på grund af sparsomme og vanskelige målinger. Der måles luftkoncentrationer, som sammen med mikrometeoro-

Figur 12. Placeringen af staldanlæg har stor betydning for lokale miljøeffekter (se også boks 3 side 21).



FOTOS: KNUD TYBIRK ■ DMU



logiske data kan give tal for depositionen. Derudover måles koncentrationen af ammoniak i gennedrypsvand i skove. Danmarks Miljøundersøgelser foretager landsdækkende beregninger af spredning og afsætning på et 5x5 km kvadratnet, der dækker over meget stor variation.

Udover den helt lokale afsætning af ammoniak og dermed følgende store variation afhængig af husdyrtætheden vil store ammoniaktab i intensive landbrugsområder også øge depositionen i et relativt stort regionalt område, som fx en kommune eller et amt.

Skovbryn og småskove modtager mere ammoniak end de indre dele af skoven især pga. turbulente vindforhold. Nåleskove har en større overflade i kontakt med luften end løvtræer. Især skovbryn i nåleskove eller et læhegn med nåltræer tæt på en stor ammoniakkilde kan modtage meget store mængder ammoniak. Målinger i skovbryn har vist en afsætning på over 100 kg kvælstof pr.

hektar pr. år i områder med mange husdyr. De fleste danske skove er meget små og ligger spredt i landbrugslandskabet. Omkring 60% af det danske skovareal ligger mindre end 200 m fra en skovkant. En meget stor del af de danske skove modtager derfor mere ammoniak end de modelberegnete gennemsnit for 5x5 km kvadrater.

Naturområder som heder og overdrev modtager mindre mængder af ammoniak pr. hektar end skovene. Dette skyldes overfladens beskaffenhed, og at de ofte ligger afsides. En del klitheder modtager formentlig kun 5-10 kg kvælstof pr. hektar årligt – og en væsentlig del heraf er bidrag fra udlandet.

Danmark 'eksporterer' ammoniak

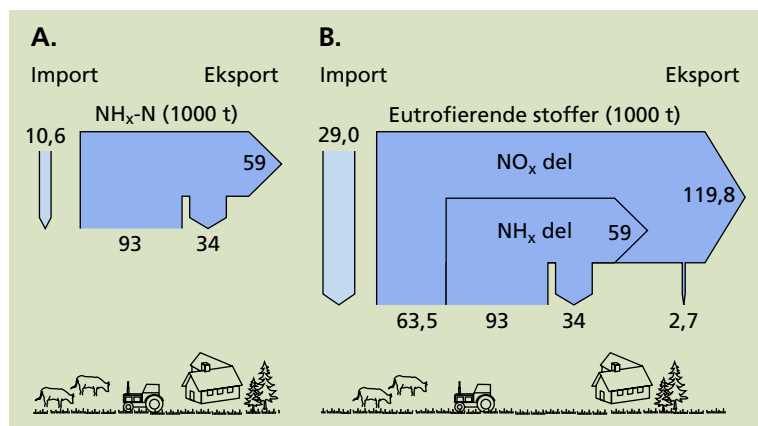
Den del af ammoniakken, der ikke afsættes umiddelbart, bliver i luften omdannet til partikler, som indeholder ammonium (NH_4^+). Disse partikler afsættes meget langsomt end ammoniakken og vil derfor kunne transporteres over store afstande. En del af de danske udslip af ammoniak ender derfor i andre lande, fx Sverige, mens vi samtidig modtager ammonium fra udlandet, især Holland og Tyskland. Danmark modtager ca. 11.000 tons ammoniakkvælstof fra udlandet, medens ca. 59.000 tons af det danske udslip ender i udlandet, så Danmark er 'nettoeksportør' af ammoniakkvælstof (figur 13). Ammoniak fra danske kilder er samtidig den vigtigste kilde til eutrofiering af naturområder i Danmark.

Afsætningen af kvælstof til et punkt kan opdeles i tre bidrag (figur 14):

Figur 13. Totale årlige grænseoverskridende bidrag ('import' og 'eksport') af kvælstofforbindelser til og fra Danmark.

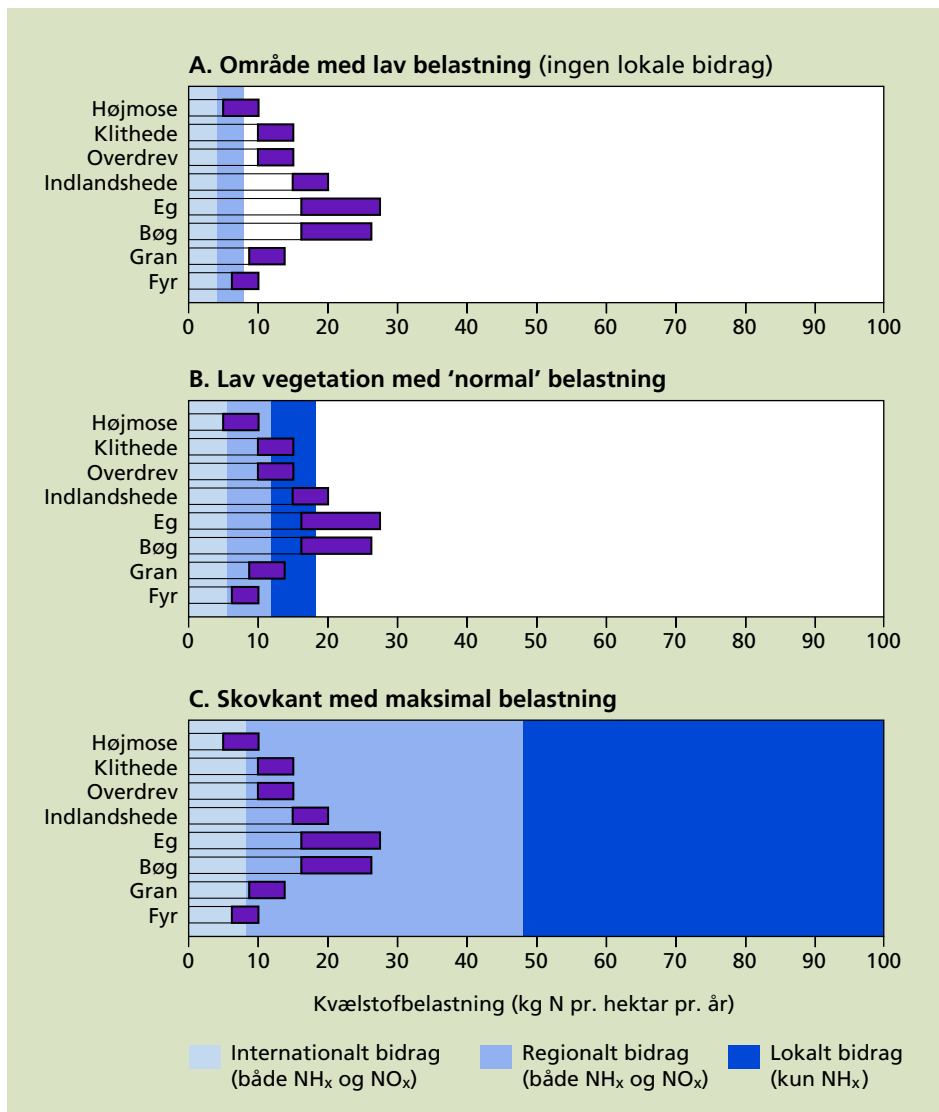
A. Import og eksport af ammoniak-N i 1000 tons.

B. Import og eksport af eutrofierende stoffer (NH_x og NO_x) i 1000 tons.



- Bidrag fra lokale kilder, fx store husdyrbedrifter (< 2 km afstand).
- Et regionalt bidrag, som afspejler den generelle husdyrtæthed i området (kommune/amt).
- Den internationale del (både ammonium og kvælstofilter).

Udslippene af ammoniak i Danmark er reduceret en smule gennem de seneste år, men forventes at falde betydeligt mere som følge af forbedret gødningspraksis og andre danske og internationale reguleringer.



Figur 14. Tre scenarier for belastning med kvælstof til et punkt. Belastningen er opdelt i et internationalt, et regionalt og et lokalt bidrag. Søjlernes farvede del viser, i hvilket interval belastningen overskrider tålegrænsen for kvælstof, som afhænger af naturtype, klima og jordbundsforhold.

A. Selv i et område med meget lav belastning fjernt fra danske husdyrbrug kan tålegrænsen være overskredet på højmoser og i fyrreskov.

B. I områder med normal belastning og lav vegetation kan tålegrænsen være overskredet for de fleste naturtyper.

C. I skove og skovkanter i områder med mange husdyr overskrides tålegrænserne typisk for alle skovtyper.

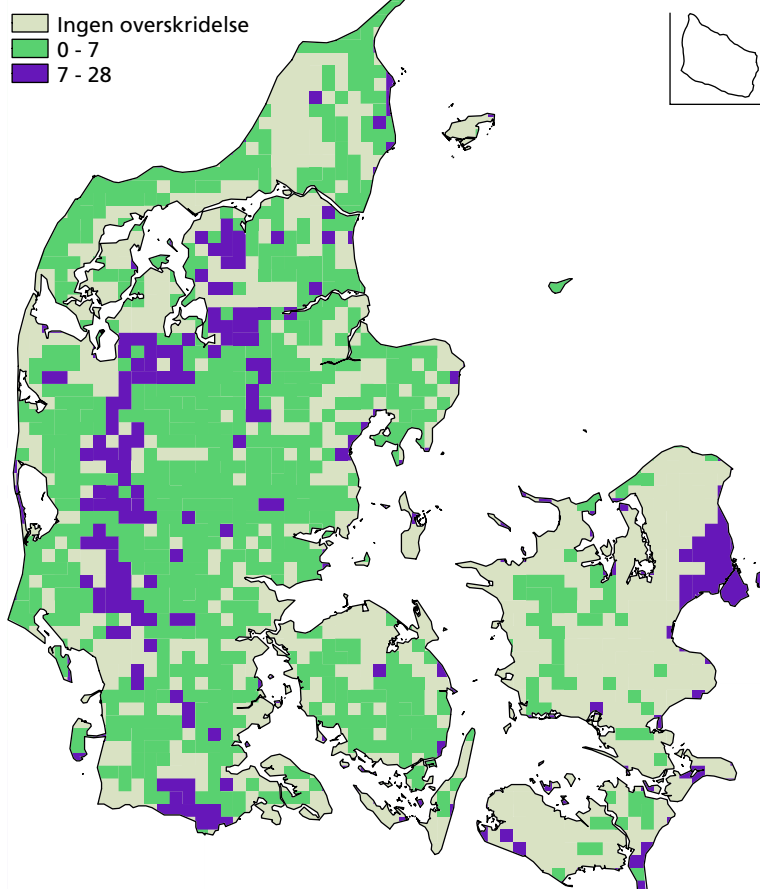
Figuren illustrerer at generelle tiltag bør kombineres med lokale tiltag for at reducere overskridelser af tålegrænser.

Effekten af kvælstof i et økosystem skyldes den samlede tilførsel, der også omfatter kvælstofilterne (NO_x). Det er stoffer, der opstår når fossil energi afbrændes, og således især uledes fra energiproduktion, transport og industri. NO_x'erne spredes over lange afstande, og Danmark er også 'nettoeksportør' af NO_x. Når man lægger kvælstoffet fra ammoniak og kvælstofilterne sammen, er det gennemsnitlige årlige nedfald i Danmark mindsket fra ca. 21 kg kvælstof pr. hektar i slutningen af 1980'erne til ca. 15 kg kvælstof pr. hektar i 1996. Heraf udgør NO_x'erne knap 1/3. En stor lokal og regional variation i ammoniakafsætningen er imidlertid afgørende for skader på økosystemerne.

Overskridelser

Hvis man kombinerer kort over beregnede tålegrænser med depositions kort finder man de områder, hvor det er mest sandsynligt, at tålegrænserne overskrides. For kvælstof laves beregningerne på 5x5 km. Så store felter afspejler dog ikke den nævnte lokale variation i hverken udslip eller følsomheden af naturarealerne. Kortet giver derfor kun et groft billede af situationen (figur 15). Vi kan dog beregne det samlede areal af skovene og naturarealerne, hvor tålegrænsen er overskredet. Beregningen er lavet for 1996 og for en tænkt situation, hvor de danske udslip reduceres med 50% med samme reduktion overalt (tabel 3).

Så meget overskrides tålegrænsen for kvælstof (kg pr. hektar pr. år)



Figur 15. Kortet viser, hvor og hvor meget tålegrænsen for kvælstofbelastning er overskredet i 1997.

Der er ikke foretaget beregninger for Bornholm, da datagrundlaget ikke er tilstrækkeligt.

Effekter

De konkrete effekter af overskridelserne er vanskelige at måle. Overvågning af sundheden i danske skove har ikke givet nogen entydig sammenhæng med luftforureningens virkning, bl.a. fordi den lokale afsætning af ammoniak ikke er velkendt. Der forventes dog at være en sammenhæng med træernes sundhed, når træerne bliver udsat for tørke eller sygdomsangreb. Forhøjet nitratindhold i jorden er især konstateret i de små skove, der modtager meget ammoniak fra luften (se også boks 3).

Undersøgelser herhjemme har vist, at der er kommet flere kvælstofelskende konkurrenceplanter ind i skovene, end der var tidligere. Dette ses fx i Hald Ege ved Viborg og tilsvarende forhold er konstateret i Sverige og Holland. Vi har dog ikke haft nogen systematisk registrering og overvågning af bundvegetationen i skovene herhjemme.

Højmosernes tålegrænser for kvælstof anses for overskredet overalt i Danmark, og der er påvist forandringer af vegetationen i de overvågede moser. Vi kender dog ikke den præcise tålegrænse, da den er lavere end den nuværende deposition, men vegetationen er forandret siden 1950'erne. Det samme gælder for klitheder og overdrev – selvom det dog kan være vanskeligt i dag at dokumentere, hvordan tilstanden ville være uden kvælstoftilførsel. Men der er gode indikationer på, at konkurrenceplanterne vinder over de sjældnere nøjsomhedsplanter ved øget tilførsel. På Randbøl hede er det klart vist, at græsser er i fremgang på bekostning af lyngplanterne. Forklaringen herpå er dog ikke entydig, da der også er ændret brug og pleje af disse halvkulturrealer.

Set fra et natur- og miljømæssigt synspunkt overskrides tålegrænserne stadig i flertallet af vore skove og naturområder på trods af en faldende tendens i udslippene. Generelle reduktioner i udslip vil ikke alene kunne fjerne overskridelserne af tålegrænserne i alle lokaliteter. Der må en målrettet indsats til nær de følsomme naturområder og skove for at beskytte dem mod tilførsel af ammoniak.

Tabel 3. Overskridelser af tålegrænser for eutrofiering (% af areal) for fire skovtyper beregnet for 1996 ammoniakudslippene og for en jævnt fordelt halvering af 1996 udslippene.

Beregningseksempler	Areal hvor tålegrænsen er overskredet (%)			
	Eg	Bøg	Gran	Fyr
1996-situation for ammoniakudslip	51	40	81	81
50% reduktion af danske ammoniakudslip	35	26	70	73



FOTOS: KNUD TYBIRK ■ DMU

Figur 16. Bundvegetationen i Hald Ege. Skovbundens vegetation kan forandres som følge af NH_3 belastningen.

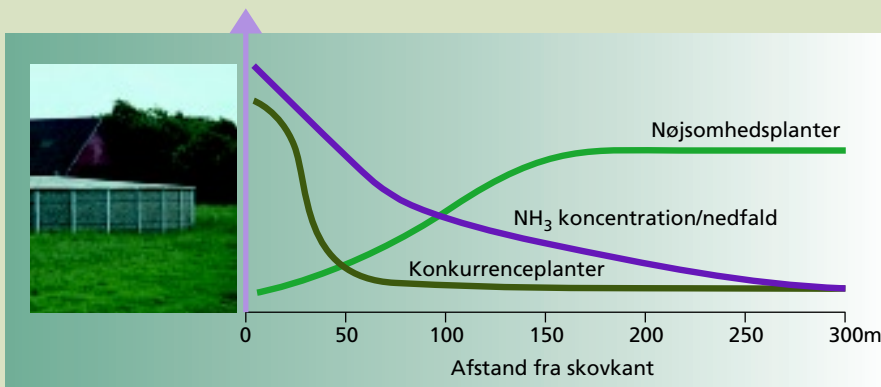
Boks 3. Lokale effekter af ammoniak i skove

Et skotsk studie har i detaljer studeret effekten af ammoniakudslip i nåle- og løvskove nær kyllinge-, svine- og kvægfarme (Pitcairn m.fl. 1998). Der blev beregnet udslip af ammoniak fra staldene, målt koncentrationer i luften, målt koncentrationer af kvælstof i vegetationen og studeret vegetationens sammensætning langs en linie på 300 m fra staldene.

Der blev beregnet nedfald af kvælstof på 40-80 kg pr. hektar pr. år i skovbrynene og visse steder fundet direkte svidningsskader på Skovfyr og

Sitkagran, som følge af meget høj koncentration af ammoniak. Indholdet af kvælstof målt i bladene faldt med stigende afstand til udslippene.

Vegetationen forandrede sig meget klart de nærmeste 300 m fra staldene, hvor Bølget Bunke, Krybende Hestegræs, Gederams, Hindbær og Stor Nælde dominerede tæt på udslippene, mens mosser, bregner, Skovmærke og Skovsyre trivedes bedst længere inde i skovene. Diversiteten i floraen var alle steder lavest tæt på staldene.





Kvælstof i landbruget

Kvælstof har en række vigtige funktioner i både planter og dyr, hvor det bl.a. indgår i komplicerede forbindelser som aminosyrer, der er byggestene til proteiner og enzymer. Der er meget store forskelle på forskellige planters kvælstofbehov. Landbrugsplanter, som skal producere meget plantemateriale, har et relativt stort kvælstofbehov, og kvælstof kommer derfor let til at mangle i jord og jordvæske.

Derfor tilfører landmanden kvælstofgødning til planterne. Afgrøderne optager kvælstof i form af nitrat eller ammonium fra jordvæsken. Uanset om kvælstof tilføres som handelsgødning, husdyrgødning, eller anden organisk gødning, skal det omdannes til nitrat eller ammonium før det kan optages af planterne. Bælgplanter, som ærter og bønner, kan optage kvælstof fra luften og omdanne det til de former, der kan anvendes i den interne biologiske omsætning.

Når plantemateriale og dyr nedbrydes frigives kvælstof i flere former, herunder også frit kvælstof (N_2), der så igen kan indgå i atmosfærens naturlige pulje. Ved nedbrydningen af organisk stof dannes der også nitrat og ammoniak, som kan give anledning til forurening af grundvand og atmosfære.

Planterne kan anvendes som foder til husdyr. Husdyrene har et dagligt behov for en vis mængde aminosyrer. Aminosyrer indeholder ca. 16% kvælstof. En del af dette kvælstof indbygges i mælk og kød, men en stor del udskilles i urin eller fæces.

Både planteavl og husdyrbrug medfører således, at de komplicerede kvælstofkredsløb i naturen påvirkes stærkt af vores forskellige aktiviteter. Vores indgriben medfører, at vi dels omfordeler de mængder, som befinder sig i de forskellige naturlige magasiner og dels påvirker intensiteten i kredsløbene. Endelig kan der ske det, at vi ændrer på de tilstandsformer, som kvælstoffet befinder sig i. Fx udskilles der gennem husdyrene relativt store ammoniakmængder. En del af denne ammoniak afgives til luften.

Størrelsesforhold for landbrugets omsætning af kvælstof

Nogle få tal kan illustrere, hvilke mængder vi har med at gøre. Landmanden tilfører årligt et sted mellem nul og 300 kg kvælstof pr. hektar til sine afgrøder. Mængden afgøres af forventet produktion, afgrødens karakter og specielle krav. Landmanden tilfører ikke kvælstof til bælgplanter, fx ærter, da bælgplanterne er i stand til at optage og udnytte luf-



Figur 17. Majs, raps og ærter samt køer på græs. Produktion af foder til vinteren og salgsafgrøder, raps, samt græs til direkte afgræsning finder sted på de fleste bedrifter med kvæg.



FOTOS: E. KELLER NIELSEN ■ DJF

tens kvælstof. Til kornafgrøder tilføres typisk 100-180 kg kvælstof pr. hektar. Til græsafrøder op til 300 kg kvælstof pr. hektar. Lovgivning fastlægger i dag maksimalt tilladte mængder af kvælstof til alle betydende afgrøder. Formålet med dette er at begrænse tabet af kvælstof til omgivelserne, først og fremmest udvaskningen af nitrat. En højtstående malkeko får gennem foderet tilført ca. 170 kg kvælstof pr. år. Ca. 75% af denne kvælstofmængde udskilles igen med fæces og urin.

Den samlede kvælstoftilførsel til landbruget kommer fra flere kilder, indkøbt foder og gødningsstoffer, bælplanternes fiksering og tilførsel fra atmosfæren. Den samlede tilførsel var i 1996/97 ca. 590.000 tons, eller 218 kg kvælstof pr. hektar. Fraførslen med animalske produkter og planter er 175.000 tons eller 65 kg kvælstof pr. hektar. Der bliver så et overskud på ca. 415.000 tons, eller 153 kg kvælstof pr. hektar. Overskuddet går til udvaskning, fordampning af ammoniak og denitrifikation (afgivelse af frit kvælstof til atmosfæren) samt ændringer i jordens organiske pulje.

Det samlede overskud er faldet med ca. 100.000 tons siden 1980. Dette skyldes især et nedsat forbrug af handelsgødning, som

primært er forårsaget af en bedre udnyttelse af kvælstof i husdyrgødningen.

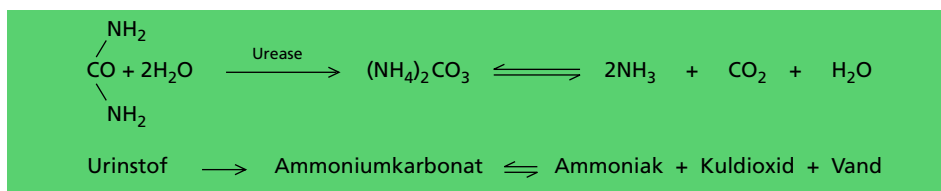
Tab af ammoniak – et overblik

Ammoniak tabes som tidligere nævnt fra landbrugets omsætning af kvælstof. Totalt set er kvælstoftabet til luften en ret lille del af omsætningen af kvælstof i erhvervet og udgør kun ca. halvdelen af kvælstoftabet til vandmiljøet i form af nitrat. Men det har stor betydning især for naturen på landjorden og vores skove. I tabel 4 er vist udslip/tab af ammoniak-kvælstof fra landbruget og fra spildevandsslam.

Ammoniak-kvælstof (tons pr. år, 1996)	
Husdyrgødning i alt	70.200
Handelsgødning	6.500
Halmludning	4.200
Afgrøder	11.700
Spildevandsslam	100
Total udslip	92.700

Tabel 4. Årligt udslip af ammoniak-kvælstof fra forskellige kilder.





Husdyrgødningen er den vigtigste kilde til udslip af ammoniak-kvælstof. Det samlede udslip fra husdyrgødning blev i 1996 beregnet til 70.200 tons. Tabet fra stalde udgør ca. 42%, medens tabet under og efter udbringning udgør ca. 32% og tabet fra lagre ca. 23% af det samlede udslip (figur 19).

Når kravene i Vandmiljøplan II er gennemført, vil udslippet fra husdyrgødningen være reduceret til 52.600 tons ammoniak-kvælstof pr. år. Det totale udslip forventes at være reduceret til 72.200 tons pr. år.

Tab af ammoniak fra husdyrgødning medfører, at landmanden taber dele af et vigtigt produktionsmiddel/gødning, hvilket samtidigt medfører uønskede miljøpåvirkninger.

Fodring og ammoniaktab

Husdyrene kan ikke bruge alle de aminosyrer, de får tilført gennem foderet. Oftest er der i foderet et overskud af de såkaldte ikke-livsnødvendige aminosyrer, som efterfølgende nedbrydes og udskilles med urinen i form af urinstof. Med den faste gødning udskilles andre former for organisk bundet kvælstof. Hos drøvtyggere kan urinstof-kvælstof udgøre op mod 60% og hos svin op mod 75% af den totale udskillelse af kvælstof. Hos fjerkræ udskilles kvælstoffet som urinsyre, der omdannes meget langsomt til ammoniak.

Da bakterier let omdanner urinstof til ammoniak (figur 18), udgør denne kvælstofpulje det primære potentiale for tab af ammoniak i den videre håndteringskæde i stalde, under lagring og ved udsprejning på mark. Alt andet lige vil en stigende koncentration af urinstof øge tabet af ammoniak til den omgivende luft.

Koncentrationen af kvælstof i urinen afhænger af mange forhold, og især har foderets

sammensætning og mængden af drikkevand stor betydning. Gennem de seneste år har der i flere lande været forsket en del i at begrænse udledningen af kvælstof fra husdyr. Det har vist sig muligt at nedbringe udskillelsen af kvælstof ved at tilpasse proteinindhold og sammensætning mere præcist til dyrenes behov. Endvidere er det nu muligt at erstatte noget af proteinet i foderet med livsnødvendige aminosyrer, som til sættes i koncentreret form. Da husdyrenes effektivitet til stadighed forbedres, så der skal bruges mindre foder til at producere fx 1 kg kød, vil dette også medføre en reduktion i mængden af kvælstof, der udskilles. Sammenfattende betyder dette, at pr. produceret enhed af kød, mælk og æg er der gennem de senere år sket et betydeligt fald i udskillelsen af kvælstof. Til gengæld er mængden af husdyr, specielt svin, steget.

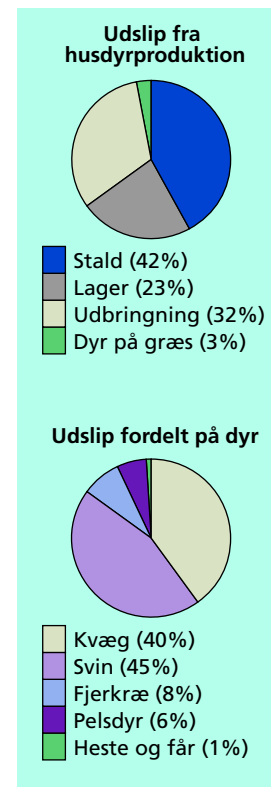
Det er vigtigt at fortsætte bestræbelserne på at nedbringe indholdet af protein i husdyrenes foder, så udledningen af kvælstof kan reduceres yderligere. En væsentlig reduktion i koncentrationen af urinstof må forventes at kunne reducere ammoniakfordampningen betydeligt i alle de følgende led: stalde, lagre, udbringning.

Et andet interessant aspekt er, at det gennem fodringen er muligt at nedbringe urinen pH-værdi. Lavere pH hæmmer omdannelsen af urinstof til ammoniak. Der er imidlertid behov for mere forskning på dette område for at klarlægge eventuelle uønskede effekter af en fodringsstrategi, som sigter mod et lavt pH i urinen.

Ammoniaktab fra stalde

Ammoniaktabet fra stalde er som nævnt relativt stort. Det daglige ammoniaktab for et dyr ligger på 0,5-30 g ammoniak afhængigt af dyreart og stalddtype. De laveste tal er fra

Figur 18. Urinstof omdannes hurtigt til ammoniumkarbonat og videre til ammoniak ved hjælp af enzymet urease, som findes i både fæces og jord.



Figur 19. Fordeling af ammoniakudslip fra husdyr 1996.

Boks 4. Staldtyper for kvæg og svin



Kvæg

Bindestalde

Dyrene står bundet og har kun den nødvendige plads til at ligge, rejse sig og foretage begrænsede bevægelser i stående stilling. Der ædes fra samme plads. Fæces og urin kan opsamles i samme beholder som gylle eller opbevares separat i de to fraktioner, fæces og urin.



Sengestalde

Hvileareal med sengebåse (ingen binding). Gangareal til motion og afgivning af gødning. Dyrene bevæger sig frit på arealet. Gødning som under bindestalde.



Dybstrøelsesstalde

Hvileareal med dybstrøelse. Gangareal til motion og afgivning af gødning. Fæces og urin opsamles i dybstrøelsen, som udmuges 1-3 gange årligt.



Svin

Lige som for kvæg findes der forskellige staldtyper til svin. En fuldspaltestald er en stald med spalter/riste i hele det areal, hvor grisene færdes. Her anvendes ingen strøelse. Ved renovering og nybyggeri satser man i dag på delvist spaltegulv og strøelse på en stor del af arealet, hvor grisene færdes. Der findes også stalde eller staldafsnit baseret på dybstrøelse, specielt til drægtige søer. Der findes endvidere forskellige mellemformer af stalde.

mindre husdyr, fx fjerkræ, og det højeste tab er fra malkekøer i visse staldsystemer, som giver et højt ammoniaktab.

En oversigt over de vigtigste staldtyper til svin og kvæg findes i boks 4. Derudover har frilandshusdyr, specielt svin, opnået en vis popularitet de senere år. Selv om tabet fra disse er stort pr. dyr, betyder det ikke meget for den totale ammoniakfordampning på grund af den begrænsede udbredelse af denne driftsform i Danmark.

Generelle faktorer af betydning for ammoniaktabet i stalde

Der kan være konflikter mellem ønsket om at reducere fordampningen af ammoniak fra stalde på den ene side og på den anden side de senere års bestræbelser på at opnå højere dyresundhed og -velfærd og et bedre arbejdsmiljø for personalet. Kravene om bedre dyresundhed og -velfærd går bl.a. på at give mere plads og strøelse til de enkelte dyr (rode-materiale til svin). Af hensyn til indeklimaet er der ofte en ret kraftig ventilation af stalden. Både mere plads til dyrene og forstærket ventilation medfører let at ammoniaktabet stiger.

Overflader, hvor der afsættes gødning

Store arealer, som tilsmudsas med gødning, medfører relativt store ammoniaktab, idet en stor del af gødning og urin kommer i direkte kontakt med luften. Strukturen af de materialer/overflader, som kommer i direkte berøring med gødningen har stor betydning. Det har vist sig, at ammoniakfordampningen kan reduceres betydeligt med glatte og smudsafvisende overflader. Tabene kan reduceres markant ved hyppig skrabning og/eller spuling af overfladerne, så gødningen kun er i kontakt med luften i kort tid. Her er det vigtigt, at overfladerne kan skrubes helt rene, idet ammoniaktabet vil fortsætte fra vedhæftet smuds, selv i små mængder. Disse forhold gælder både på arealer, hvor dyrene færdes, og i gyllekanaler med direkte kontakt til luften.

Hyppig tømning af gyllekanaler nedsætter ikke udslippet af ammoniak, hvis der igen hurtigt afsættes gødning på alle overflader

i kanalerne. Det vil være relevant at få mere viden om effekten af utraditionelle udformninger af gyllekanaler, hvor gødningskontakt med luften minimeres. Endvidere må luftskifte/ventilation og bygningernes udformning planlægges, således at lufthastigheden over husdyrgødning minimeres. Disse krav kan som nævnt kollideres med krav om et godt arbejdsmiljø og høj dyresundhed i stalden.

Temperatur

Fordampningen af ammoniak stiger med temperaturen. Det kan derfor være en fordel at holde temperaturen så lav som muligt i stalden og specielt omkring husdyrgødningen. Kunstig sænkning af temperaturen i og omkring husdyrgødningen kan reducere ammoniaktabene fra stalden. Denne metode vil formentlig være kostbar og energikrævende. Temperaturstyring kan i nogen udstrækning ske ved regulering af ventilationen og ved hjælp af udetemperaturen.



FOTO: ANDERS CORRELL ■ DJF

Figur 20. Hyppig rengøring i stalde kan reducere ammoniaktab markant.

Syrebehandling

Ammoniakfordampningen kan reduceres med over 50% ved at sænke gyllens pH til ca. 4. Lavere pH medfører, at ammoniak omdannes til ammonium, som ikke fordamper. Til at opnå en tilstrækkelig sænkning af pH kræves imidlertid store mængder af en stærk syre. Det vil være forbundet med ret store omkost-

ninger dels til syre og dels til den nødvendige omrøring af de store stofmængder, der i givet fald skal blandes. Da der endvidere vil blive tale om specielle sikkerhedsmæssige foranstaltninger og risiko for ætsning af materialer og udbringningsudstyr, vil metoden næppe få praktisk interesse.

Fjerkræ og pelsdyr

Metoderne til at fjerne gødningen fra de mindre husdyr er oftest helt anderledes end ved kvæg og svin. I store træk gælder dog de samme grundlæggende regler for reduktion af udslippet af ammoniak, som gælder for større husdyr. Men betydningen af staldd typer kan være stor, når man skal vurdere lokale effekter af ammoniakken. Stalde, evt. bure, til mindre husdyr er ofte indrettet, således at gødning og urin afsættes i tynde lag på store flader. Dette medfører, at en stor del af gødningen kommer i kontakt med luften, og derved opstår der et stort ammoniaktab til luften. Der bliver nu udviklet nye metoder, som kan reducere udslippet af ammoniak til luften.



Figur 21. Reduktion af udslippet af ammoniak fra pelsdyr og fjerkræ kræver særlige foranstaltninger.



FOTOS: E. KELLER NIELSEN ■ DJF

Praktiske muligheder for reduktioner

For det første skal dannelsen af ammoniak begrænses mest muligt. Dette gennemføres bl.a. ved at udnytte mulighederne gennem fodring. Det centrale for alle dyrearter er, at stalde og faciliteter til opbevaring af gødning skal udformes, så husdyrgødningen kommer mindst muligt i kontakt med atmosfærisk luft. Ved mindre husdyr kan det være nødvendigt med foranstaltninger, som medfører, at urinen straks opsuges i et passende materiale, fx et gruslag.

Nogle af de nævnte muligheder vil med begrænsede omkostninger kunne gennemføres i etablerede stalde, fx ændringer i ventilationen samt forbedring af de hygiejniske forhold/reduktion af gødningsoverflader i kontakt med luften. Andre vil imidlertid være ret kostbare, fx ændret udformning af gyllekanaler samt etablering af effektive skrabe-/skyllesystemer på smudsafvisende overflader.

I alle tilfælde gælder det, at ved ændringer og nybygninger, hvor man skal imødekomme krav om dyrevelfærd ved bl.a. større bevægelsesmuligheder for dyrene, må der gøres en indsats for at minimere arealet, hvor der afsættes gødning. Ved renovering eller nybygning af gyllekanaler bør det overvejes at konstruere systemer, hvor urin og fæces kan adskilles, så urinen meget hurtigt kan ledes til lager, hvor tabet af ammoniak er minimalt. Generelt skal de overflader, hvor gødning kommer i direkte kontakt med den atmosfæriske luft, reduceres. Lufthastigheden over gødningsoverflader skal reduceres til et minimum. Herved vil transporten af ammoniak fra gødningsoverflader til luften blive mindsket.

Tab fra gødningslagre

Der er behov for at etablere lagre til gødning, da gødningen ofte skal opbevares i mange måneder. Dette er nødvendigt for at gødningen kan udbringes på det mest hensigtsmæssige tidspunkt, hvor planterne har behov for de tilførte næringsstoffer. Lagre kan have mange forskellige udformninger,

fra åbne møddinger for opbevaring af fast gødning til store beholdere for opbevaring af den flydende gylle (blanding af urin og fæces).

Fra lagre af husdyrgødning er der mulighed for store ammoniaktab afhængig af forskellige forhold, hvor gødningsform, lagringsfaciliteter og lagringsperiode er de vigtigste.

Der har gennem årene været gennemført mange forsøg og undersøgelser for at finde den optimale håndtering af husdyrgødningen med henblik på at minimere tabet af kvælstof fra lager og under udbringning. Før anvendelsen af handelsgødning blev udbredt, var der meget stor interesse for optimal opbevaring og udnyttelse af husdyrgødningen. Der blev i perioden 1930-50 gennemført mange forsøg, som belyste, hvorledes husdyrgødningen skulle opbevares og anvendes for at få den bedst mulige udnyttelse af næringsstofindholdet, primært kvælstof. Der blev skrevet mange vejledninger om opsætning af møddinger og om udbringning af husdyrgødning. Tidligere var der næsten udelukkende tale om fast husdyrgødning og ajle. I dag forekommer 75% af husdyrgødningen imidlertid som gylle, hvilket både rejser nye problemer og medfører nye muligheder.

De senere års udvikling og forskning i en række lande har bl.a. været koncentreret om yderligere forbedringer af metoder og strategier med henblik på at reducere samtlige tab til omgivelserne og dermed reducere miljøpåvirkningerne. Reduktion af tab medfører, at ammoniakken i stedet for bliver et værdifuldt plantenæringsstof.

Fra gylle, som typisk opbevares i åbne beholdere, kan ammoniaktabet fra overfladen let komme op på 10% af det totale kvælstofindhold. Ved at etablere en eller anden form for overdækning, fx et flydelag af halm eller lecanødde oven på gyllen, kan tabet reduceres til ca. 2%. Ved opbevaring af ajle uden en effektiv overdækning kan der i løbet af nogle måneder ske et fordampningstab af ammoniak på op mod 50% af det samlede kvælstofindhold. En effektiv overdækning kan reducere dette tab til et par procent.



FOTO: E. KELLER NIELSEN ■ DIF



FOTO: KNUD TYBIRK ■ DMU



FOTO: E. KELLER NIELSEN ■ DIF

Figur 22. Tre gyllebeholdere med låg (øverst), leca (midt) og størknet gylle (nederst). Måling af fordampning af ammoniak fra mødding med fast gødning.

Der er i dag lovkrav om overdækning af ajlebeholdere og om flydelag på gyllebeholdere. Disse foranstaltninger reducerer ammoniaktabet betydeligt. Undersøgelser har imidlertid vist, at mange gyllebeholdere ikke har et effektivt flydelag. Dette gælder primært gylletanke med svinegylle, da det er vanskeligere at få etableret et effektivt flydelag på svinegylle. Som nævnt kan der anvendes andre materialer, der flyder på overfladen af gyllen og afbryder forbindelsen mellem gylle og luft.

Fast gødning opbevares fortsat typisk i åbne møddingssteder. Herfra fordamper ammoniak let fra overfladen, og næringsstofferne kan nedvaskes med regnvand. Ammoniaktabet fra åbne møddingssteder kan udgøre op til 30% af totalindholdet af kvælstof, når det drejer sig om svinegødning. Tabet vil formentlig oftest være lavere fra kvæggødning. Et højt indhold af halm i gødningen betyder et højt forhold mellem kulstof og kvælstof,



FOTO: E. KELLER NIELSEN ■ DIF

man taler om et højt C/N forhold. Halmrig gødning medfører et højere luftskifte, som kan føre til øget udslip af ammoniak. Et højt C/N forhold medfører dog omvendt, at der kan forekomme en omfattende biologisk omsætning i gødningen, som medfører, at kvælstoffet bindes i organiske forbindelser, som ikke kan fordampe. Der er således forhold, som trækker i hver sin retning. I dybstrøelse er der et højt indhold af kulstof, og tabet kan derfor være meget lavt. Det samlede tab fra dybstrøelse afhænger dog af behandlingen, efter at der er muget ud af stalden. Løs lejring med megen luft i dybstrøelsen medfører et større tab af ammoniak. Svinegødning har ofte en højere temperatur i møddinger end kvæggødning. Stigende temperatur medfører en stærk stigning i ammoniakfordampningen.

Udbringning af husdyrgødning

Husdyrgødning bør så vidt muligt udbringes om foråret umiddelbart før eller i afgrødernes vækstsæson for at minimere det totale kvælstoftab. Der kan dog være behov for at udbringe på andre tidspunkter, fx til overvintrende afgrøder og græs. I forbindelse med udbringningen kan der tabes en stor del af gødningens ammoniakindhold. Et regelsæt stiller en række krav til udbringningstidspunkter for at minimere tabet af næringsstoffer til omgivelserne, specielt ved udvaskning. Flydende husdyrgødning, der udbringes på ubevoksede arealer, skal nedbringes hurtigst muligt og inden 12 timer.

En række faktorer har betydning for ammoniaktabet under og efter udbringning, uanset gødningstype:

- Gødningens sammensætning, især næringsstof- og tørstofindhold.
- Vejrforhold under og efter udbringning, primært temperatur, vindforhold og luftfugtighed.
- Jordbundsforhold. Primært porøsitet og vandindhold ved udbringning.
- Udbringningsstrategi og udbringningsteknik, herunder henliggetid før nedbringning i jorden.



FOTO: BENT LAUGE MADSEN ■ SNS



FOTO: JENS PETERSEN ■ DJF



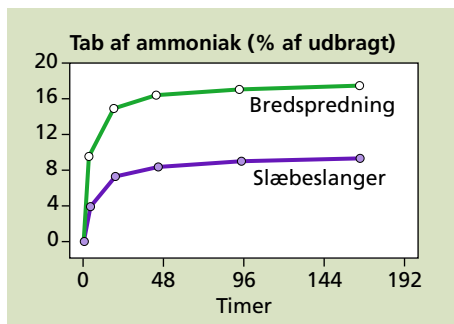
FOTO: JENS PETERSEN ■ DJF

Figur 23. Tre metoder til udbringning af gylle. Bredspredning, med slæbeslanger og nedfældning.

Gylle

Størstedelen af husdyrgødningen håndteres i dag som gylle. Ved udbringning af gylle har bredspredning tidligere været den eneste anvendte metode. Med tryk ledes gyllen til en spredeplade, hvorfra den kastes op i luften og spredes flere meter til siden. For landmanden er metoden rationel og relativt billig. Metoden forbindes ofte med tab af ammoniak og store lugtgener. Undersøgelser har imidlertid vist, at ammoniaktabet er under 1% af gyllens indhold af ammonium ved den lufttur, som gyllen får ved bredspredning.

Det er henliggetiden på jordoverfladen, afgrødens højde samt vejrforholdene i henliggeperioden, som er afgørende for det totale



Figur 24. Spredemetode og henliggetid er afgørende for ammoniaktabet.

Efter Sven Sommer.

ammoniaktab ved udbringningen. Lang henliggetid, gyllen spredt i et tyndt lag på hele jordoverfladen, stor vindhastighed og høje temperaturer er faktorer, som medfører meget store ammoniaktab. Under sådanne ugunstige forhold kan der fra bredspredt gylle i løbet af 1 døgn tabes op til 25% af gyllens indhold af ammonium.

Ved meget høj luftfugtighed, evt. regnvejr og vindstille, vil ammoniaktabet være minimalt, men i praksis vil det oftest ikke være muligt at foretage udbringning under sådanne gunstige forhold. Det gælder derfor om, at gyllen nedbringes i jorden hurtigst muligt efter udbringning. Nedbringningsmetoden er for så vidt ligegyldig, når blot gyllen bliver effektivt dækket med jord. Ved omhyggelig direkte nedfældning kan der opnås en meget effektiv reduktion af ammoniaktabet. Det samme kan imidlertid stort set opnås ved bredspredning, hvis indarbejdning i jorden finder sted straks efter udbringningen. Hurtig nedbringning vil også mindske lugtgenerne.

Direkte nedfældning af gyllen ved udbringning er en effektiv mulighed for at reducere ammoniaktab og lugtgener i de kritiske faser under og efter udbringning. Direkte nedfældning forekommer da også i stigende grad, men metoden er forbundet med betydelige ulemper. Direkte nedfældning kræver et særligt udstyr i form af nedfælderskær. Disse skær skal skære ned i en passende jorddybde, normalt 5-8 cm. Nedfældning er langt mere energikrævende end almindelig bredspredning og reducerer arbejdskapaciteten til ca. halvdelen, set i forhold til almindelig bred-

spredning. Direkte nedfældning anvendes i stigende omfang på græs, hvor det er den eneste mulighed for nedbringning i jorden.

Slangeudlægning af gylle har fået en betydelig udbredelse gennem de senere år. Gyllen placeres på jordoverfladen gennem en række slæbende slanger med et passende mellemrum. Udbringning af gyllen i strenger på jordoverfladen medfører en mindre overflade af gyllen. Dette kan halvere tabet af ammoniak i henliggeperioden set i forhold til bredspredningen, hvor gyllen ligger i et tyndt lag på hele jordoverfladen. Ved udbringning i fx en kornafgrøde, der er ca. 25 cm høj, kan man ved slangeudlægning placere gyllen på jordoverfladen og imellem planterne, hvor der er vindstille. Anvendelse af slangeudlægning kan i visse tilfælde reducere tabet af ammoniak med op til 75% set i forhold til bredspredning med efterfølgende henliggetid på jordoverfladen. En sådan effekt kan imidlertid kun nås, når planterne har en vis højde. Hvis planterne er lave, fx under 10 cm, vil de ikke kunne give tilstrækkelig læ til reduktion af ammoniakfordampningen.

Jordens porøsitet og gyllens tørstofindhold har også betydning, idet en hurtig nedsivning (infiltration) af gyllen i jorden reducerer ammoniakfordampningen.

Ajle, fast møg og dybstrøelse

Det er de samme faktorer, der har betydning for ammoniaktabet fra alle gødningsformer. Tabene af ammoniak fra ajle kan dog være ret varierende afhængig af forholdene. Det meget lave tørstofindhold i ajlen medfører, at nedsivningen i jorden vil være større end for gylle.



Figur 25. Udbringning af fast gødning sker fortsat ved bredspredning.

Fast gødning kan ikke pumpes og bliver derfor bredspredt. Der vil ikke umiddelbart ske en nedsvivning af væske i jorden fra disse gødningsformer. Ammoniaktabet er dog lavere fra fast husdyrgødning end fra gylle. I løbet af de første 12 timer er tabet 2-3% af det samlede kvælstofindhold. Der er således bedre tid til at nedpløje fast staldgødning end gylle, uden at der sker de store tab.

Sammendrag og konklusioner vedr. udbringning

Maksimal udnyttelse af husdyrgødningens kvælstof og dermed minimering af ammoniaktabet kræver, at der tages hensyn til flere forhold. De vigtigste er, at landmanden vælger den optimale udbringningsteknik set i forhold til den aktuelle afgrøde, men hurtig og effektiv opblanding i jorden er den mest effektive metode til at minimere ammoniaktab og lugtgener. Vejrmæssige og praktiske forhold kan dog undertiden forhindre optimal praksis. I kølige og nedbørsrige perioder, hvor det teoretisk kan være optimalt at udbringe husdyrgødningen, kan kørsel med det tunge udbringningsudstyr medføre alvorlige skader på jord og planter. Endvidere kan risikoen for udvaskning af næringsstoffer til vandmiljøet være et problem i denne periode. Gylle må dog først udbringes efter 1. februar.

De fleste landmænd råder ikke over forskellige tekniske løsninger til udbringning, da der er tale om kostbart udstyr. Ved at anvende maskinstation vil der være større muligheder for at vælge et udstyr, som er velegnet til den aktuelle situation.

For at opnå den bedst mulige udnyttelse af gødningens næringsstoffer og minimal fordampning af ammoniak skal anvendelse af gødning indgå som en integreret del af driftsplan og driftsledelse. Som eksempler kan nævnes:

- Ændrede såmetoder for afgrøden, fx med større rækkeafstande, kan medføre mulighed for nedfældning af flydende husdyrgødning i afgrøder, hvor dette ellers ikke er muligt. Evt. kan der udvikles udstyr, som kan arbejde i normal rækkeafstand uden at skade planterne.

- Nedfældning af husdyrgødning kan med fordel udbredes til andre afgrøder end græs. Nedfældning kan både reducere tabet af ammoniak og placere næringsstofferne tæt ved planternes rødder og dermed bevirke en bedre udnyttelse af plantenæringsstofferne.

- En let harvning, som også sigter på ukrudtskontrol, før gylleudlægning, kan medføre en hurtigere nedsvivning af gyllen i jorden.

Ovennævnte punkter er eksempler på muligheder for at se problematikken vedr. ammoniaktab under udbringning som en integreret del af driftsplanlægning og operative forhold.

Øvrige udslip

Af øvrige kilder til ammoniakudslip skal nævnes handelsgødning, halmudning og fordampning direkte fra afgrøder. Disse kilder udgjorde i 1996 henholdsvis 7,0%, 4,5% og 12,6% af det samlede udslip af ammoniakkvælstof, se tabel 4.

Ammoniaktabet fra handelsgødning kan variere meget med gødningsform og forholdene efter udbringning. Fra urea og især flydende ammoniak er der risiko for store tab, hvis ikke disse gødninger straks indarbejdes i jorden. Flydende ammoniak nedfældes imidlertid altid, og derfor er tabet herfra nede på ca. 1% af totalkvælstof. Generelt vil tabene minimeres, hvis handelsgødning placeres eller indarbejdes direkte i jorden ved udbringning.

Ammoniak anvendes undertiden til behandling af halm for at opnå en direkte forbedring af kvaliteten eller en positiv effekt på konserveringen. Da der skal anvendes et vist overskud for at opnå en god effekt, vil der efterfølgende forekomme et ammoniakudslip til atmosfæren. I de senere år er der imidlertid anvendt betydelig mindre ammoniakmængder pr. vægtenhed halm end tidligere. Endvidere behandles der mindre halm mængder end tidligere. Udslippet af ammoniakkvælstof fra halmudning er vurderet til 4.200 tons pr. år.



FOTO: ANDERS CORRELL ■ DJF

Figur 26. Hurtig nedbringning af udbragt gødning reducerer ammoniaktabet væsentligt.



FOTO: BENT LAUGE MADSEN ■ SNS

Figur 27. Ammoniaktabet fra velgødede planter kan være betydeligt.

Ammoniaktabet fra planter i vækst kan være betydeligt. Der er fundet meget varierende tab, fra 0,5-6 kg ammoniak pr. hektar og år, i forskellige undersøgelser. Tabet synes især at være afhængigt af planteart, udviklingstrin og kvælstofstatus. Det vil sige, at et højt kvælstofindhold i planterne medfører et stigende tab af ammoniak fra planternes overflade.

Nye gødskningsstrategier, som sigter mod at optimere optagelse og koncentration af kvælstof i planterne, kan muligvis som en

sidegevinst reducere ammoniaktabet noget. Formålet med de nævnte nye gødskningsstrategier er, at planterne hele tiden skal sikres lige netop den næringsstoffmængde, som er nødvendig for optimal produktion. Målene er en høj udnyttelse af næringsstofferne og minimering af tabene til det omgivende miljø.

Reduktionsmuligheder

De generelle regler for at nedbringe ammoniakudslippet, uanset om der er tale om tab fra stald, lager eller under og efter udbringning, kan sammenfattes i nogle enkle punkter:

- Overflader af husdyrgødning i kontakt med atmosfærisk luft bør minimeres.
- Lufthastighed og temperatur over gødning i kontakt med atmosfærisk luft bør minimeres.
- Husdyrgødning skal hurtigst muligt bringes på lager med overdækning/flydelag.
- Ved udbringning på marken bør gødningen hurtigst muligt indarbejdes i jorden eller placeres i bunden af et plantedække.

Selv om disse regler synes ret enkle, vil flere af dem være vanskelige at overholde i praksis med de nuværende tekniske muligheder. Fx er der behov for mere viden til udvikling af gødskningsstrategier, som integrerer landøkonomiske og miljømæssige mål. Praktiske og økonomiske forhold kan i høj grad begrænse mulighederne for optimal målopfyldelse.

Økonomiske beregninger foretaget af Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut har vist, at hvis man sammenholder omkostninger og effekt på udslip, bør

der primært sættes på følgende foranstaltninger:

- Hyppig udmugning fra stalde, dvs. flere gange dagligt.
- Optimal ventilering.
- Reducering af det gulvareal i stalden, hvor der afsættes gødning.
- Dybstrøelse i markstakke bør dækkes.
- Hurtig nedbringning, helst ved direkte nedfældning (henliggetid maksimalt 1 time).

Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut vurderer, at de fire førstnævnte ret billige foranstaltninger vil kunne reducere ammoniakudslippet med 4.000 tons kvælstof pr. år, og at omkostningerne vil være 150 mio. kr. pr. år. Besparelsen i handelsgødning vil være på ca. 10 mio. kr. årligt. Derudover vil reduktion af nedbringningstiden til 1 time (hvilket i praksis er vanskeligt) kunne give en yderligere reduktion på 5.500 tons kvælstof pr. år.

Det skal understreges, at der i fremtiden vil være et stærkt behov for at se alle disse problemstillinger i en større sammenhæng. Det nytter ikke at afdække og løse et specifikt problem, hvis problemet blot flyttes, eller der opstår nye proble-



FOTO: E. KELLER NIELSEN ■ DJF



FOTO: E. KELLER NIELSEN ■ DJF



FOTO: ANDERS CORRELL ■ DJF

mer. Som tidligere nævnt kan nedsat ventilation i stalde medføre nedsat ammoniakudslip til omgivelserne, men det kan også medføre både forringet arbejdsmiljø samt nedsat dyresundhed og velfærd. Ved nedsat ammoniaktab fra stald og lager vil der være en højere koncentration i gødningen, når den skal bringes ud på marken. Der vil derfor være en risiko for, at en positiv virkning af tiltag i et led kan tabes i et andet led, hvis der ikke gennemføres en helhedsorienteret problemløsning.

Det kan konkluderes, at man skal være opmærksom på sådanne modsætninger i forskellige led i kæden af gødningshåndtering. I modsat fald kan man under udbringning af husdyrgødning miste de positive effekter på ammoniakudslippet, som er opnået ved effektive tiltag i stald og på lager. En integreret problemløsning er nødvendig for at opnå en væsentlig reduktion af udslippet af ammoniak.

Udslip, afsætning og dermed skader på naturen som følge af ammoniak er ofte et lokalt og regionalt problem. Derfor opnås den største miljømæssige gevinst ved at sætte ind der, hvor miljøproblemerne er størst. Regulering af ammoniaktab skal endvidere ses i forhold til internationale aftaler om reduktion af udslip. Regionale og lokale tiltag vil dog fortsat være vigtige for at reducere miljøeffekterne i Danmark.



Sammendrag

Ammoniak forekommer naturligt i atmosfæren i små mængder. Men ammoniak er blevet et miljøproblem, fordi det moderne husdyrbrug er årsag til, at ammoniak lokalt optræder i kraftigt forhøjede mængder uden for landbruget. Mange naturlige økosystemer er udviklet under betingelser med meget lidt tilgængeligt kvælstof. En øget tilførsel kan derfor give uønskede forandringer i naturen.

Ammoniak ændrer på økosystemernes processer, fordi det både er et næringsstof og samtidig kan medvirke til at forsure jorden. Resultaterne kan være, at kvælstof ophobes og konkurrencesterke plantearter fortrænger nøjsomme planter. Næringsstofbalancerne forskydes og jordens kemi forandres. Træer bliver visse steder mere sårbare over for sygdomme og insektangreb, og tilvæksten kan falde. Derudover er der nu risiko for udvaskning af nitrat fra nogle danske skove. Naturen overbelastes med kvælstof, og man siger, at tålegrænserne overskrides. På en meget stor del af vore naturarealer og skove er tålegrænserne i dag overskredet, især i regioner med mange husdyr.

Ammoniak er et problem lokalt og regionalt, da en stor del afsættes inden for 2 km fra udslippet. Afsætningen er særlig stor i skov-

kanter og læhegn. En del af ammoniakken transporteres over lange afstande i form af ammonium, og Danmark er 'nettoeksportør' af ammoniak. Hver hektar landjord i Danmark modtager årligt i gennemsnit ca. 15 kg kvælstof fra luften. Omkring $\frac{2}{3}$ af kvælstofet kommer fra udslip af ammoniak fra dansk landbrug, som især påvirker naturen lokalt. Ca. $\frac{1}{3}$ kommer fra udlandet enten som langtransporteret ammonium eller kvælstofilter, der især stammer fra afbrænding af fossile brændsler. Ammoniak afsættes også på havet og fjorde, men har kun ringe betydning her sammenlignet med tilførslen af nitrat med vandløbene. Omkring 10% af den totale tilførsel af kvælstof til Kattegat stammer fra dansk ammoniak.

$\frac{3}{4}$ af ammoniakken kommer fra husdyrgødning, især svine- og kvægbrug. Kun 14% heraf kommer fra fjerkræ, pelsdyr, heste og får. Ammoniakken fra husdyrproduktionen fordampes enten fra stald (42%), lager (23%) eller under og efter udbringning (32%). Husdyr på græs giver kun lidt udslip i forhold til det totale tal (3%). Dertil kommer udslip fra brug af handelsgødning, fra voksende afgrøder, fra ludning af halm, mv. Disse bidrag udgør tilsammen $\frac{1}{4}$ af de totale danske udslip af ammoniak.

Rapporten beskriver, hvad der betyder noget for tabene af ammoniak og dermed også de muligheder, der kan udnyttes for at nedbringe udslippene. De generelle regler for optimal håndtering af husdyrgødning i alle led er at:

- Kontakten med luften skal begrænses mest muligt.
- Lufthastigheden over husdyrgødningen skal minimeres.

De væsentligste konkrete faktorer i de enkelte led er:

I staldene:

- Dyrenes foder betyder en del for gødningens indhold af kvælstof og dermed for mulig tab af ammoniak.
- Gulvenes udformning og overflade samt hyppighed af udmugning har indflydelse på udslippenes størrelse.
- Surhedsgraden af gødningen, temperatur- og ventilationsforhold i staldene er også vigtige faktorer.

På lager (mødding/gylletank):

- Tabet fra gødningslagre kan reduceres ved at etablere afdækning af møddinger og et flydelag eller et fast låg over gyllen.

Ved udbringning:

- Gødningen skal ned i jorden så hurtigt som muligt – enten ved direkte nedfældning, nedpløjning eller harvning.
- I voksende afgrøder bør der anvendes slæbeslanger.

Desværre er nogle af mulighederne for reduktioner i stalden ikke umiddelbart forenelige med husdyrvelfærd og arbejdsmiljø (bindestalde, fuldspaltegulv og ringe ventilation). Og sammenhængene er komplicerede, da fx reduktioner i udslip fra stald og lager giver større koncentration af ammonium i gødningen, som så kan give højere fordampning ved udbringning.

Visse af tiltagene er relativt billige, og nogle af omkostningerne vil opvejes ved bedre udnyttelse af gødningen og dermed besparelse på indkøb af handelsgødning. Internationalt forhandles der i øjeblikket om nye aftaler til reduktion af bl.a. ammoniak, som kan forventes på lang sigt at nedbringe det langtransporterede bidrag til dansk natur.

Vandmiljøplan II og andre reguleringer vil medvirke til, at tabet af ammoniak generelt bliver reduceret i Danmark, men der findes en række yderligere muligheder for at nedbringe udslippene. Generelle tiltag vil ikke nødvendigvis få nogen stor miljøeffekt herhjemme, da det i høj grad er udslippet af ammoniak lokalt og regionalt, der belaster naturen. Hvis man ønsker at reducere miljøeffekterne mest muligt må generelle tiltag kombineres med tiltag på bedrifter nær ved følsomme naturtyper og skove.

Supplerende læsning

- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. og Poulsen, H.D., 1999. Emission af ammoniak fra landbruget – status og kilder. Ammoniakfordampning – redegørelse nr. 1. DJF/DMU rapport, 71s.
- Bak, J., Tybirk, K., Gundersen, P., Asman, W.A.H., Jensen, J.P. og Conley, D., 1999. Natur- og miljøeffekter af ammoniak. Ammoniakfordampning – redegørelse nr. 3. DJF/DMU rapport, 66s.
- Jacobsen, B.H., 1999. Økonomiske vurderinger af tiltag til reduktion af ammoniakfordampningen fra landbruget. Ammoniakfordampning – redegørelse nr. 4. DJF/SJFI (Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut) rapport, 55s.
- Kyllingsbæk, A., 1995. Kvælstofoverskud i dansk landbrug 1950-1959 og 1979-1994. SP-rapport 23. 61s.
- Kyllingsbæk, A., 1999. Kvælstofbalancer i landbruget. DJF/DMU rapport, 19s.
- Pitcairn, C.E.R.; Leith, I.D.; Sheppard, L.J.; Sutton, M.A.; Fowler, D.; Munro, R.C., Tang, S. and Wilson, D., 1998: The relationship between nitrogen deposition, species composition and foliar nitrogen concentrations in woodland flora in the vicinity of livestock farms. Environmental Pollution, 102: 41-48.
- Rom, H.B., Petersen, J., Sommer, S.G., Andersen, J.M., Poulsen, H.D., Kristensen, V.F., Hansen, J.F., Kyllingsbæk, A. og Jørgensen, V., 1999. Teknologiske muligheder for reduktion af ammoniakfordampningen fra landbruget. Ammoniakfordampning – redegørelse nr. 2. DJF/DMU rapport, 78s.

Ordliste

- Ajle:** urin fra husdyr
- Ammonium:** NH_4^+
- Deposition = afsætning:** nedfald eller afsætning af luftbårne stoffer. Depositionen kan være tør eller våd afhængigt af vejret.
- Eutrofiering:** overgødsning, den utilsigtede gødskende virkning af næringsstoffer i naturlige økosystemer
- Gulliste:** fortegnelse over plante- og dyrearter, der er i tilbagegang, eller som vi har et særligt internationalt ansvar overfor
- Fast husdyrgødning:** fæces og urin + halm
- Flydelag:** flydende lag af halm, fæces, lecanødder e.lign. i gyllebeholdere
- Fæces:** fast afføring
- Henliggetid:** den tid, der går fra gyllen/gødningen udbringes på marken, til den pløjes/harves ned
- Rødliste:** liste over truede arter i dansk natur
- Tålegrænser:** den mængde kvælstof, et bestemt økosystem kan tåle pr. hektar og år uden påviselige forandringer
- Vandmiljøplan II:** Politisk aftale om reduktion af kvælstofudledning. URL: www.mst.dk/handling



Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Danmarks JordbrugsForskning



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Ammoniak er et vigtigt plantenæringsstof, som kan medføre uønskede påvirkninger af følsomme naturtyper. Ammoniakken favoriserer nogle vidt udbredte og konkurrencesterke planter. Det betyder, at de sjældne og karakteristiske nøjsomhedsplanter på vore naturarealer og i skovene kan forsvinde.

Ammoniak fordampes især fra husdyrhold – både fra stalde, gødningslagre og ved udbringning. En stor del af ammoniakken ender i skove og i naturen tæt på kilden.

Rapporten beskriver kortfattet disse problemer og giver en række forslag til at nedbringe ammoniakudslippet: Bedre foderudnyttelse, hyppig udmugning i staldene, effektive flydelag på gylletanke og hurtig nedpløjning. Derved kan landbruget bidrage til at løse et lokalt og et internationalt miljøproblem.

