



Baggrundsnotat til Vandmiljøplan II – slutevaluering

Vandmiljøplan II - modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan, 1984-2002

Christen D. Børgesen
Danmarks JordbrugsForskning

Ruth Grant
Danmarks Miljøundersøgelser

Indhold

1. Indledning.....	2
2. Beregningsmetoder.....	2
3. Kvælstofoverskud på landsplan 1980-2002.....	3
4. Modelberegnet kvælstofudvaskning og kvalitetssikring.....	4
5. Udvikling i kvælstofudvaskning under Vandmiljøplanerne, 1984-2002.....	8
6. Referencer	9
Bilag 1. Modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan ved SKEP/DAISY og N-LES	11
Bilag 2. Modelberegning af kvælstofudvaskning i landovervågningsoplandene: Opskalering til Landsplan	19
Bilag 3. Datagrundlag for modelberegning af kvælstofudvaskning med hensyn til husdyrgødning og høstudbytter.....	22

1. Indledning

Som led i slutevalueringen af Vandmiljøplan II (VMP II) har Danmarks JordbrugsForskning (DJF) og Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) foretaget en modelberegning af kvælstofudvaskningen på landsplan. Der er stor usikkerhed på sådanne opgørelser, dels på grund af usikkerhed på datagrundlaget og manglende viden om landbrugspraksis specielt tilbage i tid, dels på grund af usikkerhed på modelberegningen og opskaleringen til landsplan. Der er derfor anvendt tre forskellige principper for modelberegning af kvælstofudvaskning og opskalering til landsplan.

Tab af kvælstof ved landbrugsdrift sker i form af ammoniakfordampning, denitrifikation og kvælstofudvaskning. Endvidere kan kvælstof ophobes i systemet. I dette notat er størrelsen af de enkelte tabsposter beregnet uafhængigt af hinanden. Endvidere er det overordnede tab opgjort ved opstilling af en total kvælstofbalance for dansk landbrug. Størrelsen af de beregnede tabsposter, og specielt kvælstofudvaskningen er kvalitetssikret ved sammenligning med det totale overskud i kvælstofbalancen

Dette notat beskriver opgørelse af kvælstofoverskud for hele landet, modelberegning af kvælstofudvaskning og udvikling i kvælstofudvaskningen under vandmiljøhandlingsplanerne, 1984-2002.

2. Beregningsmetoder

2.1 Kvælstofoverskuddet

Den totale kvælstofbalance på landsplan er opstillet af Kyllingsbæk (2003a). I balancen indgår data for kvælstoftilførsel med handelsgødning, affald bl.a. spildevandsslam, indkøbte fodermidler, bælgplanters fiksering af kvælstof fra luften og nedfald fra atmosfæren bl.a. med nedbøren. Endvidere indgår der data for salg af vegetabiliske og animalske produkter. Mængden af kvælstof er fremkommet ved at multiplicere produktmængderne med normtal for kvælstofindhold i produkterne. Forskellen mellem tilført og fraført kvælstof udgør kvælstofoverskuddet. I forhold til tidligere opstillinger af kvælstofbalancer er der foretaget en justering af kvælstofindholdet i korn, idet dette indhold har været faldende gennem de senere år (Grant, 2002).

Datagrundlaget er hovedsageligt fra Landbrugsstatistikken fra Danmarks Statistik. Usikkerheden på de anvendte statistiske data må anses for at være forholdsvis lille, af størrelsesordenen 2 %, da de alle omfatter data for køb og salg af produkter. Usikkerheden er større på enkelte andre poster hvor der ikke foreligger konkrete data. Det gælder især tilførslen ved kvælstoffiksering som dog kun udgør 6-8 % af den totale tilførsel af kvælstof.

Opstilling af et års kvælstofbalance kræver data fra 3 kalenderår. Fx vil balancen for høståret 2002 bestå af gødningsforbruget i gødningsåret 2001/02, høsten i 2002 samt husdyrproduktionen i driftsåret 2002/03. I dette notat refereres til høståret.

2.2 Kvælstofudvaskning

Til opgørelse af kvælstofudvaskning fra rodzonen på landsplan er der anvendt tre forskellige modelberegninger.

Den første beregning er en landsberegning med SKEP/DAISY. Der tages udgangspunkt i en lang række grundlæggende beregninger med den dynamiske model DAISY (Hansen et al., 1990), og

data herfra anvendes i en detaljeret opskaleringsmodel SKEP. I SKEP arbejdes der på kommuneniveau med opstilling af sædskifter og gødningsplaner som er tilpasset statistiske data for kommunen, amtet og hele landet. Metoden er detaljeret beskrevet af Børgesen og Heidmann (2000), mens detaljer for nærværende opgørelse findes i bilag 1.

Den anden beregning er ligeledes en landsberegning, men med anvendelse af den empiriske model N-LES3 (Kristensen et al., 2003). Beregningen sker på de opstillede sædskifter i SKEP hvorefter der foretages en opskalering til landsplan efter samme principper som ved SKEP/DAISY (bilag 1).

Den tredje beregningsprocedure tager udgangspunkt i aktuell landbrugspraksis i fem landovervågningsoplande under det Nationale Overvågningsprogram (Grant et al., 2003). Oplandene består af to sandjords- og tre lerjordsoplande. Udvaskningen er beregnet med den empiriske model N-LES3 (Kristensen et al., 2003) hvorefter beregningerne er opskaleret til landsplan (bilag 2).

2.3 Øvrige tabsposter

Kvælstof tab ved ammoniakfordampning

Tabet af ammoniak er beregnet som tabet i stalden, under lagringen og i forbindelse med udbringning på marken. Tabet i de enkelte led er beregnet som produktet af gødningens kvælstofindhold og en koefficient for fordampningen. Dertil kommer et mindre tab i forbindelse med ammoniakbehandling af halm og et tab direkte fra voksende afgrøder. Der er en vis usikkerhed ved beregningen som bl.a. skyldes at oplysningerne om fordelingen af forskellige typer af staldsystemer i landet er mangelfuld (Illerup et al, 2003, Mikkelsen, pers. medd. 2003).

Kvælstof tab ved denitrifikation

Denitrifikationen er beregnet ud fra en relation mellem denitrifikation og gødningstildeling, idet der skelnes mellem handels- og husdyrgødning. Den beregnede denitrifikation falder med faldende tilførsel af kvælstof. Bestemmelsen af denitrifikationen er særdeles usikker. Årsagen er at denitrifikation ofte forekommer lokalt og i forbindelse med stor nedbør. Der er anvendt en modificeret model i forhold til Vinther (2002) (Vinther, pers. medd., 2003).

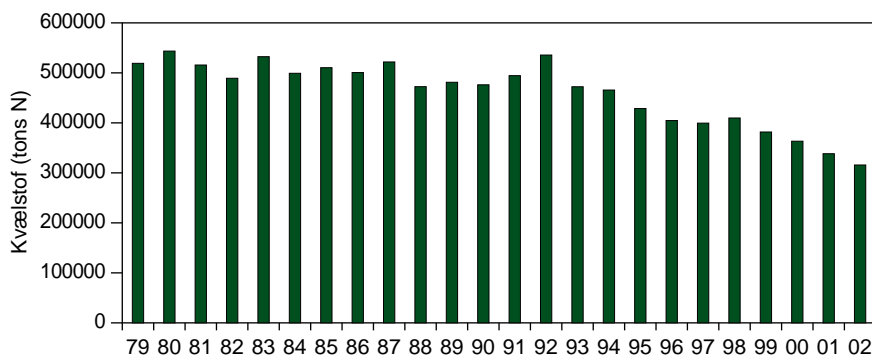
Ændring af jordens kvælstofindhold

Vurderingen af ændringer i jordens indhold af kvælstof er baseret på undersøgelser i 'Kvadratnetpunkterne' i perioden fra 1986/87 til 1997/98. Resultaterne er efterfølgende opskaleret til landsplan (Heidmann og Søgaard, 2002).

3. Kvælstofoverskud på landsplan 1980-2002

I dansk landbrug tilføres betydeligt mere kvælstof end der fjernes gennem salg af landbrugsproduktionen. Kvælstoffet tilføres via importeret handelsgødning og foder, ved deposition (nedfald) fra atmosfæren og ved kvælstoffiksering (planter der henter kvælstof fra luften). Fraførslen sker ved salg af vegetabiliske og animalske produkter. Forskellen, også kaldet overskuddet, omfatter dels kvælstof, der tabes til omgivelserne ved udvaskning, denitrifikation eller ammoniakfordampning, dels en eventuel ændring i jordens indhold af organisk bundet kvælstof. Det er muligt at bestemme overskuddet af kvælstof ret nøjagtigt. DJF og DMU vurderer at kvælstofoverskuddet med stor sandsynlighed ligger indenfor et interval på -10.000 til +25.000 tons kvælstof i forhold til den beregnede værdi.

Det totale overskud af kvælstof på landsplan (figur 1) er faldet fra omkring ca. 520.000 tons N pr år i begyndelsen af 1980'erne til omkring 500.000 tons N pr år i midt i 1980'erne og yderligere til ca. 470.000 tons N pr år i begyndelsen af 1990'erne. Herefter er overskuddet faldet markant til godt 316.000 tons N pr år i 2002. Fra midt i 1980'erne og frem til 2002 er det årlige overskud af kvælstof således faldet med ca. 184.000 tons N. Landbrugets kvælstofhusholdning er altså forbedret væsentligt, især siden starten af 1990'erne. Faldet i kvælstofoverskuddet skyldes hovedsageligt at udnyttelsen af husdyrgødningens kvælstofindhold er forbedret. Herved er det årlige forbrug af handelsgødning faldet fra ca. 406.000 tons N i 1984 til 206.000 tons N i 2002, et fald på 200.000 tons N pr år.



Figur 1 Kvælstofoverskud i dansk landbrug, 1980-2000. I overskuddet indgår den samlede kvælstoftilførsel fra atmosfæren (Kyllingsbæk, 2003b), mens der i overskuddet opgjort af Kyllingsbæk (2003a) kun anvendes nettotilførsel (alene fra kilder udenfor dansk landbrug).

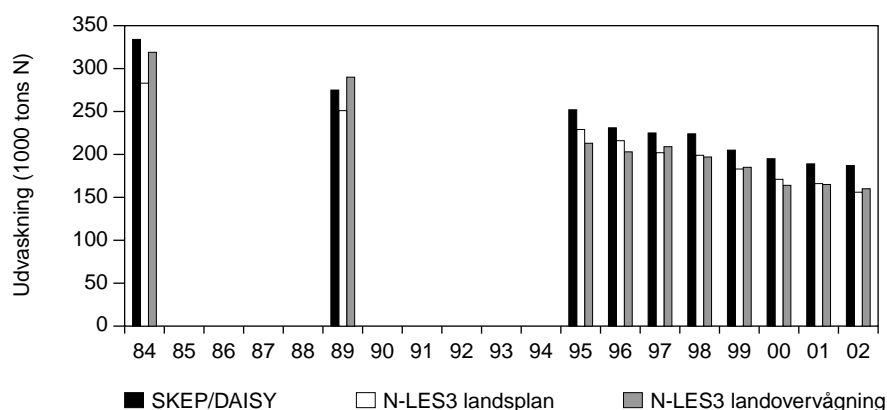
4. Modelberegnet kvælstofudvaskning og kvalitetssikring

4.1 Resultater af modelberegningerne

Den modelberegnete kvælstofudvaskning fra rodzonen på landsplan er vist for de tre modelberegninger i figur 2 og tabel 1.

Beregningerne er gennemført ved en nedsivning på ca. 430 mm. Denne nedsivningsmængde er i overensstemmelse med hvad man vil forvente på baggrund af målinger af ferskvandsafstrømningen og modelberegninger. Den årlige gennemsnitlige ferskvandsafstrømning i perioden 1990-2001 udgjorde 338 mm (Bøgestrand et al., 2002), oppumpning vurderes til ca. 14 mm, mens afstrømning direkte til havet er opgjort til ca. 50 mm (Henriksen og Sonnenborg, 2003). Endelig er der en øget fordampning fra vådområder og skov i forhold til fordampningen fra landbrugsarealer. Korrektionen herfor er ca. 23 mm (Blicher-Mathiesen, pers. medd., 2003). Ved sammentælling af disse poster kommer man frem til nedsivning fra landbrugsarealerne på ca. 425 mm.

Den gennemsnitlige udvaskning er opgjort til ca. 311.000 tons N pr år midt i 1980'erne og til ca. 168.000 tons N pr år i 2002. SKEP/DAISY beregningen viser generelt en lidt større udvaskning end de to beregninger med N-LES. For N-LES beregningerne viser opgørelsen på landsplan i første del af perioden en lavere udvaskning end opgørelsen baseret på aktuel landbrugspraksis i landovervågningsoplandene, mens der er god overensstemmelse mellem de to opgørelser i sidste del af perioden. Dette skyldes sandsynligvis at det i en opgørelse på landsplan ikke er muligt at afspejle den heterogenitet i gødskningspraksis m.v., der har været i aktuel landbrugspraksis. Denne heterogenitet indgår i beregningen for landovervågningsoplandene, idet datagrundlaget her bygger på aktuel landbrugspraksis indsamlet ved interviewundersøgelse.



Figur 2 Modelberegnet kvælstofudvaskning på landsplan med tre forskellige beregningsmetoder.

Tabel 1 Modelberegnet kvælstofudvaskning på landsplan med tre forskellige beregningsmetoder.

	1985 ¹⁾	1989	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	vand-afstrømn. mm
	N-udvaskning (1000 tons N pr år)										
Landsberegning											
SKEP/DAISY	334	275	252	231	225	224	205	195	189	187	- ³⁾
N-LES3	283	251	229	216	202	199	183	171	166	156	422
Landovervågning – N-LES3	(316) ²⁾	295	224	211	211	198	189	172	167	160	438
Gennemsnit	311	274	235	219	213	207	192	179	174	168	427

1) det er forudsat at al husdyrgødning bringes ud på marken

2) skønnet ved ekstrapolation

3) SKEP/DAISY beregningen er i klimanormaliseringen kalibreret ud fra kvælstofudbyttet, hvilket betyder at afstrømningen ikke indgår direkte i de klimanormaliserede udvaskningsresultater. Afstrømningen er i øvrigt på samme niveau som for de landsdækkende NLES beregninger.

DJF og DMU foretog med de samme tre modeller en lignende opgørelse af kvælstofudvaskning i efteråret 2002. Opgørelsen viste en udvaskning i midten af 1980'erne på 310.000-320.000 tons N pr år. Siden er der arbejdet videre med modellerne, og det har givet anledning til følgende betydende ændringer:

SKEP/DAISY:

- I de grundlæggende DAISY beregninger er kvælstoffikseringen undervurderet hvorfor der i opskaleringen foretages en korrektion, således at fikseringen bliver i overensstemmelse med Høgh-Jensen et al., (2003).
- Kvælstofmængderne i de høstede udbytter er tilpasset således at de bliver i overensstemmelse med kvælstofbalancerne på landsplan. I den tidligere beregning var udbytterne undervurderet i sidste del af perioden.

Det første punkt medfører at den modelberegnete udvaskning generelt øges, mens sidste punkt betyder en mindsket udvaskning i sidste del af perioden. Resultatet er en større reduktion i udvaskningen igennem perioden fra midt i 1980'erne og frem til 2002.

N-LES3:

Til de to opgørelser med N-LES er der anvendt en ny version af den empiriske model N-LES3 (Kristensen et al., 2003). I denne version er afgrøderne samlet i et færre antal grupper, og der er tilføjet parametre for forfrugt, høstet kvælstof og vandafstrømning i det foregående år. Desuden indgår der

en teknologieffekt/årseffekt. Dette er en effekt der ikke kan beskrives ved afgrøden, kvælstoftilførslen, jordtypen eller vandafstrømningen. Teknologieffekten kan være dyrkning af forbedrede sorter, bedre plantebeskyttelse, ændrede pløjetidspunkter m.v. Teknologieffekten betyder at der er større reduktion i den modelberegnete udvaskning over tid end ved anvendelse af tidligere versioner.

For N-LES opgørelsen på landsplan er der i forhold til en opgørelse i 2002 (Børgesen, 2002) foretaget ændringer i antagelsen om vanding. Det har ført til lavere modelberegnete udvaskninger på landsplan.

Samlet set har tilpasningerne i de tre modelberegninger ikke givet anledning til en ændret vurdering af kvælstofudvaskningen i midten af 1980'erne. Den opgjorte reduktion i udvaskning over tid er derimod forøget.

4.2 Kvælstofudvaskning og kvælstofoverskud

Den gennemsnitlige beregnede kvælstofudvaskning vurderes i tabel 2 i forhold til opgørelsen af kvælstofoverskud på landsplan og tabsposterne ammoniakfordampning og denitrifikation. Der er ikke foretaget nogen særskilt kvantificering af ændring i jordens kvælstofindhold, idet undersøgelser fra Kvadratnettet viste at der næppe kunne registreres nogen ændringer i perioden fra 1986/87 til 1997/98.

Kvælstofoverskuddet er forholdsvis sikkert bestemt. Som nævnt vurderer DJF og DMU at dette med stor sandsynlighed ligger indenfor et interval på -10.000 til +25.000 tons kvælstof i forhold til den beregnede værdi. Der er relativt større usikkerhed på opgørelserne af de enkelte tabsposter.

På baggrund af resultatet af de tre modelberegninger og opstillingen i tabel 2 vurderer DMU og DJF at udvaskningen med stor sandsynlighed ligger i intervallet 280.000-370.000 tons N pr år midt i 1980'erne og i intervallet 150.000-210.000 tons N pr år i 2002.

Når man lægger de beregnede tabsposter for kvælstofudvaskning, ammoniakfordampning og denitrifikation sammen og sammenligner med landbrugets overskud af kvælstof, er der en rest som det ikke umiddelbart er muligt at redegøre for. Det kan betyde at der er en systematisk undervurdering af en eller flere af tabsposterne eller at der forekommer en ophobning af kvælstof i jorden.

I udgangspunktet midt i 1980'erne og ved slutningen af VMP II perioden er restleddene af samme størrelse. I den mellemliggende periode har restmængden derimod været større. Det kan være at høstudbyttet har været overvurderet og/eller at den beregnede husdyrgødningsmængde har været undervurderet. Disse poster indgår i beregningen af tabene, som herved bliver for lave i den pågældende periode (se endvidere bilag 3). Det giver en usikkerhed med hensyn til hvornår i perioden udvaskningsreduktionen især har fundet sted.

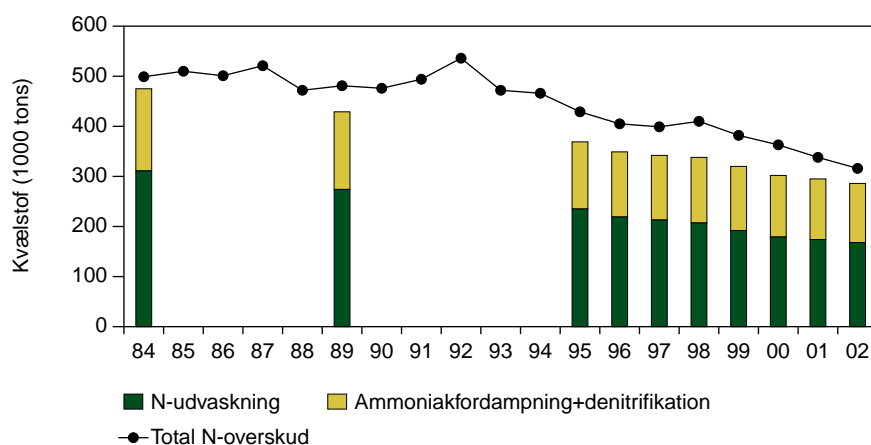
Over hele perioden fra midt i 1980'erne til 2002 er det beregnede årlige kvælstofoverskud faldet med 184.000 tons N, og summen af tabsposterne for kvælstofudvaskning, ammoniakfordampning og denitrifikation er faldet med 189.000 tons N (figur 3). På trods af de store usikkerheder er det derfor DMU's og DJF's konklusion at den viste beregning af reduktion i udvaskning er en pålidelig og robust vurdering.

Tabel 2 Kvælstofoverskud og opgørelse af tabsposterne (1.000 tons kvælstof).

Høstår	Kvælstof-overskud	Udvaskning		Ammoniakfordamp. ²⁾	Denitrifikation, mark	Rest, inkl. ændring i jordens kvælstofpulje
	Beregnet	Beregnet	Skønnet interval	Beregnet	Beregnet	Beregnet
1984 ¹⁾	500	311	280-370	113	51	25
1989	481	274		108	47	52
1995	429	235		91	43	60
1996	405	219		88	42	56
1997	399	213		87	42	57
1998	410	207	190-250	88	43	72
1999	382	192		84	44	62
2000	363	179		83	40	61
2001	338	174		81	40	43
2002	316	168	150-210	79	39	30

1) det forudsættes at al husdyrgødning bringes ud på marken, dvs. der er ingen gårdbidrag

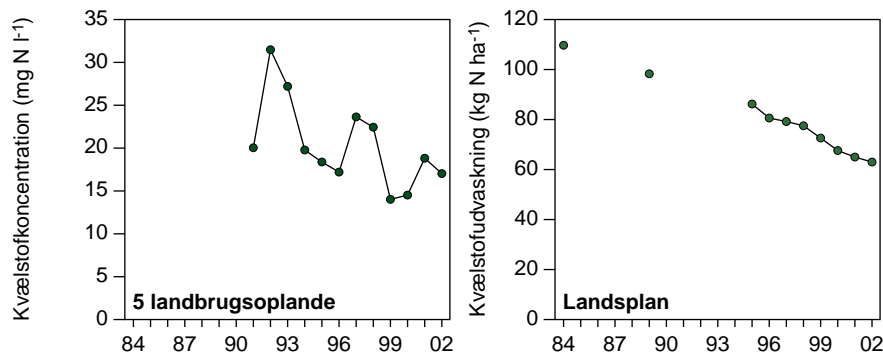
2) inklusiv tab ved denitrifikation i stald og lager



Figur 3 Opgørelse af det totale kvælstofoverskud og tabsposter på landsplan, 1984-2002.

4.3 Kvælstofudvaskning og målinger i rodzonevand

Den gennemsnitlige beregnede kvælstofudvaskning er også vurderet ved sammenligning med målinger i rodzonevandet i fem landbrugsoplande under det Nationale Overvågningsprogram (Grant et al., 2003). Overvågningen har været gennemført siden 1989, og der foreligger data for perioden til og med 2002. Dataene viser at de vandføringsvægtede koncentrationer er faldet med 32-47 % i denne periode. Spredningen på tallene er dog stor. I samme periode er de modelberegneede udvaskninger af kvælstof på landsplan faldet med 39 % (figur 4). Den beregnede reduktion i udvaskning stemmer således overens med aktuelle målinger.



Figur 4 Vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer baseret på målinger i rodzonevandet i fem landovervågningsoplande under det Nationale Overvågningsprogram og den modelberegneede gennemsnittdvaskning af kvælstof.

5. Udvikling i kvælstofudvaskning under Vandmiljøplanerne, 1984-2002

Der har siden midten af 1980'erne været gennemført en række vandmiljøhandlingsplaner:

- NPo handlingsplanen, 1985
- Vandmiljøplan I, 1987
- Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug, 1991 og 1996
- Vandmiljøplan II, 1998

Modelberegning af kvælstofudvaskning for 1984 viser situationen før iværksættelse af reguleringer i landbrugets gødningsanvendelse, mens beregningen for 1989 viser situationen umiddelbart før implementering af reguleringerne i VMP I. Beregningen for 1998 viser situationen ved fuld implementering af VMP I og Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug. Denne opgørelse udgør således udgangspunktet for VMP II.

Tabel 3 viser at udvaskningen i midten af 1980'erne blev opgjort til ca. 311.000 tons N pr år når det antages at al gødning blev bragt ud på marken. Virkemidlerne i VMP I og Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug samt den generelle udvikling i landbruget har bevirket at udvaskningen er faldet til ca. 207.000 i 1998. Frem til 2002 er udvaskningen faldet yderligere til ca. 168.000 tons N pr år. Dette svarer til en reduktion på ca. 143.000 tons N pr år. En del af ændringen skyldes at arealer er gået ud af produktion. Når kvælstofudvaskningen opgøres pr arealenhed svarer det til at den årlige udvaskning er faldet fra ca. 110 kg N pr ha midt i 1980'erne til ca. 78 kg N pr ha i 1998 og yderligere til 63 kg N pr ha i 2002.

Modelberegningen omhandler det dyrkede areal, og heri indgår ikke vådområder og skov. Derfor vil der i 2002 være en yderligere reduktion i kvælstofudvaskningen på 150 tons N som følge af reetablering af vådområder. På den anden side vil der være en udvaskning fra skovrejsningsarealet på 12 kg N pr ha pr år som skal lægges til den modelberegneede udvaskning. Med et skovrejsningsareal i 2002 på ca. 12.000 ha svarer det til 150 tons N. Samlet set vurderes udvaskningen i 2002 fortsat at udgøre ca. 168.000 tons N i 2002 (tabel 3).

Tabel 3 Udviklingen i kvælstofudvaskning for hele landet fra midt 1980'erne til 2002. Udvaskningstallene repræsenterer modelberegning for det dyrkede areal. For 2002 er denne beregning endvidere korrigeret for VMP II tiltag, der ikke er inkluderet i det dyrkede areal.

Høstår	Handlingsplaner gennemført	Dyrket areal	Kvælstofudvaskning	
		1000 ha	1000 tons N	kg N/ha
1984	Ingen regulering	2.834	311	110
1989	NPo planen	2.774	274	99
1998	VMPI og Handlingsplan f. Bæredygtig Landbrug	2.672	207	78
2002	VMP II, delvis implementeret ¹⁾	2.665	168	63

1) yderligere implementering i 2003 af arealtiltag, forbedret foderudnyttelse og 5 % øget krav til udnyttelse af husdyrgødning.

Den vurderede reduktion i kvælstofudvaskning siden midt 1980'erne er en effekt af vandmiljøplanerne, udviklingen i landbrugets arealanvendelse og husdyrproduktion og den teknologiske udvikling i øvrigt. I SKEP/DAISY beregningen er der taget højde for teknologieffekten ved at kalibrere udbytte til de faktiske udbytter, mens der i N-LES beregningen indgår en særskilt parameter for teknologieffekt. En opgørelse af teknologieffekten i N-LES viser en reduktion i udvaskningen på ca. 4.000 tons N pr år i VMP II perioden.

Tiltagene i VMP II er fuldt implementeret i 2003. Der foreligger imidlertid kun data til og med 2002, hvorfor det ikke er muligt at fremskrive modelberegningen til den fulde implementering af vandmiljøplanerne. Til dette formål er der opstillet en prognose for hvert af de enkelte virkemidler i VMP II (Blicher-Mathiesen et al., 2003).

6. Referencer

- Blicher-Mathiesen, G., Grant, R., Jørgensen, U. & Poulsen, H.D. 2003. Baggrundsnotat til VMP II – slutevaluering. Vandmiljøplan II – slutevaluering af de enkelte virkemidler. Status 2002 og prognose 2003. Internt notat, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks JordbrugsForskning. www.dmu.dk - publikationer – øvrige publikationer og www.agrsci.dk – vandmiljø.
- Blicher-Mathiesen, G. 2003. Personlig medd.
- Bøgestrand, J. (red), 2002. Vandløb 2001. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 422.
- Børgesen, C.D. & Heidmann, T. 2002. Landsberegning af kvælstofudvaskning fra landbruget med SKEP/Daisy og SIM IIIB modellerne. DJF rapport nr.62 Markbrug. Danmarks Jordbrugsforskning.
- Danmarks Statistik. Landbrugsstatistikken. 1985, 1989, 1995-2002.
- Grant, R. 2002. Kornudbytter og høstet kvælstof – udvikling i perioden 1985-2000. Internt notat, Danmarks Miljøundersøgelser. www.dmu.dk – publikationer – øvrige publikationer.
- Grant, R., Blicher-Mathiesen G, Pedersen M.L, Pedersen, M., Jensen, P.G., & Rasmussen, P. (2003): Landovervågningsoplande 2002. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 468.
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. & Svendsen, H. 1991. Simulating of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. Fertilizer Research 27, 245-259.

- Heidmann, T. & Søegaard, K. 2002. Ændring i jordens kvælstofindhold. Internt notat, Danmarks JordbrugsForskning. www.agrsci.dk – vandmiljø.
- Henriksen, H.J. & Sonnenborg, A. (red), 2003. Ferskvandets kredsløb. NOVA 2003 Temarapport. Særudgivelse fra Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. www.geus.dk
- Høgh-Jensen, H., Loges, R., Jensen, E.S., Jørgensen, F.V., Vinther, F.P. 2003: Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. Agricultural Systems <http://www.orgprints.org/>,1-31
- Illerup, J.B., Lyck, E., Nielsen, M., Winther, M. & Mikkelsen, M.H. 2003. Annual Danish Emissions Inventory Report to UNECE – Inventories from the base protocols to year 2001, NERI Research Notes No. 184. www.dmu.dk – publikationer – arbejdsrapporter.
- Kristensen, K., Jørgensen, U. og Grant, R. 2003. Baggrundsnotat til VMP II – slutevaluering. Notat om genberegning af N-LES. Internt notat, Danmarks JordbrugsForskning og Danmarks Miljøundersøgelser. www.agrsci.dk – vandmiljø og www.dmu.dk – publikationer – øvrige publikationer.
- Kyllingsbæk, A. 2003a. Baggrundsnotat til VMP II – slutevaluering. Totale kvælstofbalancer på landsplan. Internt notat, Danmarks JordbrugsForskning. www.agrsci.dk – vandmiljø.
- Kyllingsbæk, A. 2003b. Totale kvælstofbalancer på landsplan. Mark- og Staldbalancer Internt notat, Danmarks JordbrugsForskning. www.agrsci.dk – vandmiljø.
- Kyllingsbæk, A. 2003c. Personlig medd.
- Kyllingsbæk, A., Børgesen, C.D., Andersen, J.M., Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Vinther, F.P., Heidmann, T., Jørgensen V., Simmelsgaard, S.E., Nielsen, J., Christensen, B.T., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G. 2000. Kvælstofbalancer i dansk landbrug – Mark og staldbalancer. Fælles rapport fra DJF og DMU. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser.
- Vinther, F.P. 2002. Kvælstoftab ved denitrifikation i rodzonen i perioden 1985 til 2000. Internt notat. Danmarks JordbrugsForskning. www.agrsci.dk – vandmiljø.
- Vinther, F.P. 2003. Personlig medd.

Bilag 1. Modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan ved SKEP/DAISY og N-LES

1. Indledning

Til modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan er der anvendt to modeller:

- SKEP/DAISY
- N-LES3

Beregningen med SKEP/DAISY tager udgangspunkt i en lang række grundlæggende beregninger af kvælstofudvaskning med den dynamiske model DAISY (Hansen et al., 1991) og en detaljeret opskaleringsmodel SKEP (Børgesen og Heidmann, 2000). Beregningen med N-LES sker ved at modelberegne kvælstofudvaskningen med den rekalibrerede empiriske model N-LES3 (Kristensen et al., 2003) på sædskifter opstillet i SKEP hvorefter der foretages en opskalering til landsplan efter samme procedure som i SKEP/DAISY.

Der er gennemført modelberegninger for i alt 10 scenarier der repræsenterer høståret 1984, 1989 og hvert af årene 1995-2002. Scenarierne for det enkelte år er beregnet med den for året gældende arealanvendelse, tilført kvælstof med handelsgødning og husdyrgødning, udbringningspraksis for husdyrgødning samt for SKEP/DAISY beregningerne ammoniakfordampning ved udbringning af husdyrgødning. Resultaterne for de enkelte år er normaliseret i forhold til et gennemsnitsklima (tabel 1a-c).

2. Grundlæggende DAISY beregninger af kvælstofudvaskning

Metoden bygger på at der er gennemført et stort antal grundlæggende modelberegninger med DAISY-modellen. Modelberegningerne er gennemført for en række kombinationer af bedriftstype, sædskifte, jordtype, klima år, klima zone og N-gødskning som beskrevet nedenfor og vist i skema 1.

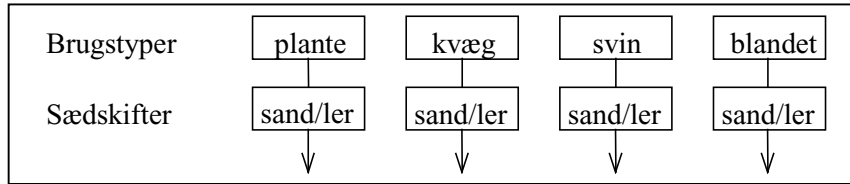
De grundlæggende modelberegninger er gennemført med klimadata fra 6 forskellige meteorologiske klimastationer fordelt over landet. Beregningen er foretaget for fire år, henholdsvis 1996/97, 1997/98, 1998/99 og 2000/01. For hver klimastation er der opstillet sædskifter med tilhørende gødningsplaner for bedriftstyperne kvægbrug, svinebrug, planteavlsbrug og blandede brug. Der er opstillet i alt 30 gødningsplaner til hver sædskifte kombination. I gødningsplanerne for de forskellige sædskifte kombinationer forekommer enten forårs- eller efterårsudbringning af husdyrgødning. Gødningsplanerne er tilpasset forskellige dyretætheder og forskellige kvælstof gødningsniveauer.

Alle kombinationer af sædskifte, kvælstofgødskning og klimabetingelser er modelberegnet for fire jordtyper (Jb1, Jb3, Jb4, Jb6) hvoraf jordtyperne Jb1 og JB3 indgår både med og uden vanding. Der er gennemført modelberegninger af ca. 38.000 kombinationer af afgrøde, kvælstofgødskning, jordtype og klimaregioner for hvert klima år. Resultaterne af modelberegningerne er lagret i en database.

Til brug for klimanormalisering af udvaskningsdata i forbindelse med opskalering til landsplan er der endvidere foretaget modelberegninger for udvalgte standard sædskifter i hver af klimaregionerne for hvert af årene i perioden 1989-2001 (se nedenfor).

Skema 1. Modelberegning af kvælstofudvaskning på landsplan ved SKEP/DAISY og N-LES

Grundlæggende DAISY beregninger af N-udvaskning



Hvert sædskifte beregnes for:

6 klimaregioner

30 gødningsplaner

4 jordtyper (heraf 2 m/u vanding)

} 38.000 kombinationer

Database

Beregning for alle kombinationer for hvert af 4 klimaår

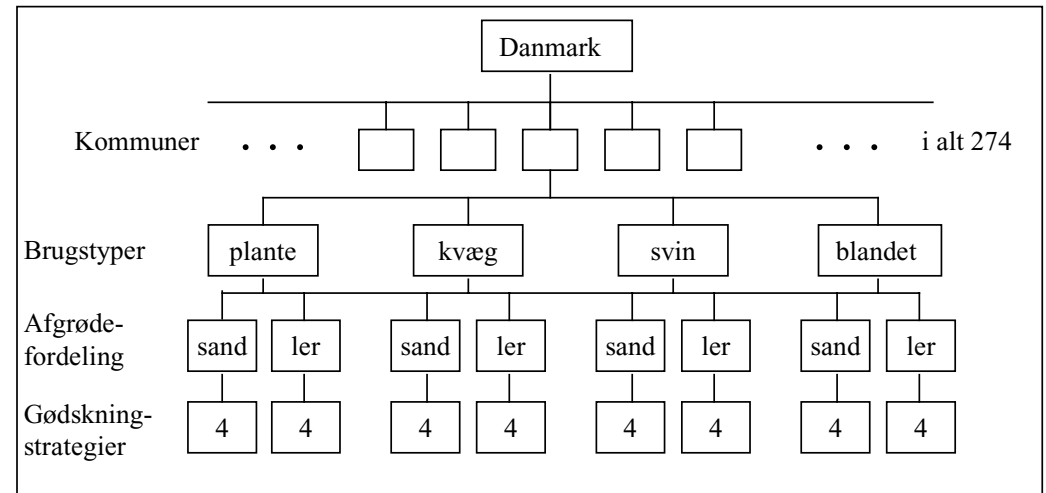
Beregning for 12 kombinationer for hvert år i en 11 års periode (1989-2001).

N-LES beregninger

Modelberegninger på opstillede sædskifter og gødningsplaner i SKEP samt tilhørende perkolationer fra Daisyberegninger. Modelberegning for hvert af 11 år i perioden 1989-2001, gennemsnit af 11 år opskales til landsplan vha. SKEP

Opskalering ved SKEP modellen

Ved opskalering af DAISY beregninger foretages klimanormalisering og udbyttekorrektion



3. Opskalering ved SKEP modelsystemet

Sædskifter og gødningsplaner

Til opskalering af udvaskningen til landsplan er anvendt følgende procedure: I hver af landets kommuner henføres landbrugsarealet (det dyrkede areal) til fire bedriftstyper: planteavls, kvægbrug, svinebrug og blandede brug. For hver bedriftstype opstilles et sandjords- og et lerjordssædskifte der baseres på fordelingen af jordtyper (andelen af sand- og lerjord) i kommunen. For hver af de otte sædskifter opstilles tilhørende gødningsplaner (skema 1).

Sædskifterne i scenarierne for 1984 og 1989 er baseret på arealanvendelsen opgjort på amtsniveau for årene 1985 og 1989 (Danmarks Statistik, 1985 og 1989), mens sædskifterne i scenarierne 1995-2000 er baseret på kommunedata fra det Generelle Landbrugs Register (GLR) opgjort februar 1999. Sædskifterne i hvert af disse scenarier er opstillet ved at fremskrive arealet af det dyrkede areal proportionalt med ændringen i det dyrkede areal opgjort i Landbrugsstatistikken (Danmarks Statistik, 1996-2000). For årene 2000-2002 er anvendt GLR indhentet de enkelte år.

Dyretætheden på bedriftstyperne inden for kommunen er for scenarierne 1984 og 1989 baseret på kommunetællingerne i årene 1985 og 1989 (Danmarks Statistik, 1985 og 1989) og for scenarierne 1995-2000 på CHR registreret opgjort i 1999. Den udbragte husdyrgødning på bedriftstyperne i kommunerne for årene 1984 og 1989-1999 er således beregnet ud fra antallet af dyreenheder og dyreart på bedriftstypen og en normproduktion af husdyrgødning pr. dyreenhed og herefter proportional fremskrevet således at summen af udbragt husdyrgødning i opskaleringen stemmer med opgørelser på landsplan. For årene 2000-2002 er den udbragte husdyrgødningsmængde på bedriftstyperne baseret på indberetninger til Plantedirektoratet, og der er foretaget en kalibrering ved proportional fremskrivning til husdyrgødningsmængden af lager opgjort af Poulsen i Blicher-Mathiesen et al. (2003).

Gødningsplanerne tilpasses sædskiftet således at den udbragte husdyrgødning på bedriftstypen i kommunen anvendes i det tilhørende sædskifte. Den summerede over- / undergødsning med kvælstof er kalibreret til den aktuelt opgjorte gødskningspraksis i landovervågningsoplandene under det Nationale Overvågningsprogram efter Blicher-Mathiesen (pers medd. 2003).

Handelsgødningsforbruget i de opstillede sædskifter er afstemt med amtsoplysninger over kvælstofforbrug (Plantedirektoratet, 1984, 1989, 1995-2002).

Hver kommune i landet er tilknyttet en klimastation. I opskaleringen anvendes nu de grundlæggende modelberegninger med DAISY som input i beregningen af udbyttet, vandbalance og kvælstofbalance-komponenterne (kvælstofudvaskningen, kvælstof høst, ændring i organisk kvælstof i jorden, m.fl.). Beregningerne gennemføres på afgrødeniveau, ved at interpolere mellem de resultater af de grundlæggende modelberegninger der mht. forfrugt, efterafgrøde, jordtype, klima zone og N-gødsning ligger tættest på den N-gødsning og jordtype som er opstillet for en mark.

Udbyttekorrektio

Afgrødevæksten i DAISY-modellen er kun begrænset af vand og kvælstof, hvilket betyder at der som gennemsnit opnås større udbytter og større høstede kvælstofmængder i DAISY modelberegningerne end under praktiske forhold. Herved undervurderes kvælstofudvaskningen.

Generelt er de høstede udbytter i opskaleringen tilpasset det aktuelle kvælstofudbyttens niveau ved at antage at markerne består af to afgrøder. En primær afgrøde der høstes og en afgrøde (rajgræs) der ikke høstes. De to afgrøder opgøres med samme forfrugt, efterafgrøde og gødskning. Andelen af marken, der antages som ikke produktiv, beregnes ved at afstemme det samlede beregnede kvælstof udbytte på amtsniveau med aktuelle opnåede kvælstofudbytter i amterne de aktuelle dyrkningsår.

Klima normalisering

Ved opskaleringen er der korrigeret for årlige klimavariationer. Korrektionen er foretaget på baggrund af resultater af DAISY modelberegninger for udvalgte standard sædskifter i hver af klima regionerne. Standard sædskifterne består af tre 4-årige sædskifter, et kvægbrugs-, et svinebrugs- og et planteavlssædskifte, dyrket på en sandjord Jb1 og en lerjord Jb4. I modelberegningerne er anvendt en konstant N-gødskningsstrategi og landbrugspraksis som i 1996. Modelberegningerne er gennemført med klimadata for årene 1989 til 2001, i alt 11 klima år. Året 1992/93 er ikke medtaget grundet urealistiske lave Daisy beregnede udbytter på grund af tørke i vækstsæsonen.

På baggrund af Daisy beregningerne for hvert af årene 1989-2001 er der beregnet en gennemsnitlig kvælstofbalance for hver kombination af jordtype og klima zone. I alt er der opgjort gennemsnitlige resultater for 12 kombinationer (2 jordtyper X 6 klimastationer).

I opskaleringen med SKEP er der foretaget en summering af resultaterne for kvælstofbalancen og kvælstofudvaskning for henholdsvis alle sandjorde og alle lerjorde på kommuneniveau. Herefter er der foretaget en klimanormalisering ved en proportional 'klimakorrektion' i forhold til de 12 Daisy kombinationer. Herved vil udvaskningsniveauet i opskaleringen ligge på et gennemsnitsniveau for perioden 1990-2001.

Efter klimanormaliseringen er resultaterne i SKEP summeret til sædskifte-, bedriftstype-, kommune- og landsniveau. Det skal bemærkes at usikkerheden på de klima korrigerede resultater er større end på de oprindelige resultater, da korrektionen er gennemført ud fra modelberegninger for færre sædskifter, jordtyper og gødsknings planer.

Korrektion for mobilt kvælstof og denitrifikation

Resultaterne af beregningerne omfatter bl.a. kvælstofmængden der fjernes med afgrøderne, udvaskningen og ændringer i jordens organiske puljer, herunder en ændring i mobilt kvælstof. Mobilt kvælstof består af en forskel i kvælstofindholdet i voksende afgrøder samt mineralsk kvælstof i jorden mellem opgørelsesperiodens start og slut. Positiv mobilt N udtrykker, at afgrøderne/jorden er i en bedre gødningstilstand ved slutningen af beregningsperioden sammenlignet med ved starten. I modelberegningerne hvor det høstede kvælstof med afgrøden tilpasses det faktiske kvælstof udbyttens niveau, vil positiv/negativ mobilt N, under i øvrigt samme gødskningspraksis og samme arealanvendelse, i gennemsnit over tid føre til en tilsvarende

stigning/fald i udvaskningen. Derfor er den SKEP/DAISY modelberegnete udvaskning inklusiv mobilt kvælstof.

Den modelberegnete denitrifikation udgør i DAISY-beregningerne en urealistisk lille størrelse. Dette skyldes både at der i de grundlæggende modelberegninger er anvendt et begrænset antal jorde, og der er antaget fri vandafstrømning ud af rodzonen for alle jordene. Den frie afstrømning betyder, at jorden kun er vandmættet i korte perioder, hvorfor der kun i meget begrænset omfang opstår vandmættede forhold, hvor kvælstof denitrifiseres. Denitrifikationen antages at være af samme størrelse som beregnet med en modificeret metode af Vinther (2002) (Vinther, pers. medd., 2003). Den korrigerede udvaskning er derfor beregnet ved at trække den opgjorte denitrifikation fra den beregnede SKEP/DAISY udvaskning.

Ændringer i modelinput i forhold til tidligere beregninger

I forhold til beregningerne i Børgesen og Heidmann (2000) er der i SKEP/DAISY beregningerne indarbejdet følgende ændringer:

- Udbyttet i græs i omdrift er reduceret med 10 % således at udbyttet stemmer overens med udbyttet antaget i Kyllingsbæk et al (2000).
- Udbyttet i græs uden for omdrift er reduceret med 15 % således at udbyttet stemmer overens med udbyttet antaget i Kyllingsbæk et al (2000).
- Kvælstofindholdet i de høstede udbytter er afstemt med de faktiske kvælstofudbytter.
- Denitrifikationen beregnes med modificeret metode af Vinther (2002) (Vinther, pers. medd., 2003).
- N-fikseringen på marker med græs i omdrift og græs uden for omdrift beregnes efter Høgh-Jensen et al., (2003).
- I øvrige marker er N-fikseringen sat til 2 kg N/ha.
- Der antages for firser-scenarierne at 60 % af markerne med græs i omdrift er kløvergræsmarker og 90 % af markerne i årene 1996-2002. Tidligere antages at kløvergræsmarkerne udgjorde 100 % af græs i omdrift

4. Modelberegninger med N-LES3

Der er udført modelberegning med N-LES3 (Kristensen, et al., 2003) for samtlige kombinationer af sædskifte- og gødningsplaner på kommuneniveau i SKEP opskaleringsmodellen. Beregningerne for hvert års sædskifte- og gødningsplaner er gennemført med 11 års klima for perioden 1990-2000, hvorefter der er beregnet et årsgennemsnit. Til slut opskales resultaterne til et landstal.

I forhold til tidligere beregninger med N-LES (Børgesen og Heidmann, 2000) er der indarbejdet følgende ændringer:

- kvælstoffikseringen for græs i omdrift og græs uden for omdrift samt ærter til modenhed beregnes efter Høgh-Jensen et al., (2003).
- Der antages for 1980'er-scenarierne at 60 % af markerne med græs i omdrift er kløvergræsmarker og 90 % af markerne i årene 1996-2002. Tidligere antages at kløvergræsmarkerne udgjorde 100 % af græs i omdrift
- Der er antaget et indhold af organisk stof for henholdsvis JB1, JB2, JB3, JB4, JB5, JB6, JB7 og JB8 på 2.0, 3.0, 2.4, 2.4, 2.0, 2.4, 2.4 og 2.4 %. Tidligere var anvendt 2.0 % for alle jordtyper. De valgte indhold af organisk stof er de beregnede medianværdi-

er af de transformerede indhold af organisk stof i de markobservationer der indgår i kalibreringsdataene for N-LES3 modellen.

Tabel 1a Klima normaliseret landsdækkende mark N balance (1000 t N) beregnet med SKEP og udvaskningsberegninger med N-LES3 for scenariet 1983-85, med og uden gårdbidrag og scenariet 1988-90.

Scenarier	SKEP modelberegnet N balance					
	1985		1985		1989	
	Heterogent		Heterogent		Heterogent	
Tilført N:	Med Gårdbidrag		Uden Gårdbidrag			
	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha
Handelsgødning	406	143	406	143	371	133
Husdyrgødning	268	94	238	84	252	91
Fiksering.	42	15	40	14	43	15
Atmosfære	61	21	61	21	60	21
Total tilført	776	273	745	262	726	261
Fjernet N						
Fordampning.	46	16	44	15	37	13
Udvaskning	357	125	310	109	311	112
Denitrifikation	1	1	1	1	1	0
Høstet kerner	283	100	287	101	302	108
Høstet halm	64	22	65	23	67	24
Total fjernet	751	264	708	248	719	258
Mobilt N	28	10	49	17	10	4
Δ -org N i jord	-2	-1	-11	-4	-3	-1
Korrigeret SKEP/DAISY N-udvaskning ¹⁾	334	117	312	110	275	99
N-LES3	283	100	266	93	251	90
N-denitrifikation	51	18	48	17	47	17
N-fiksering	48	17	48	17	50	18

¹⁾ Korrigeret SKEP/DAISY udvaskning er fremkommet som beregnet udvaskning plus mobilt N minus denitrifikation beregnet efter Vinter (2003, pers. medd.).

Tabel 1b Klima normaliseret landsdækkende mark N balance (1000 t N) beregnet med SKEP og udvaskningsberegninger med N-LES3 for scenarierne 1997-99, 1998-00 og 1999-01. Anvendt arealanvendelsesdata fra 1999 i alle scenarierne.

SKEP modelberegnet N balance												
Scenarier	1995		1996		1997		1998		1999		2000	
N-gødskning	Heterogent		Homogent		Heterogent		Heterogent		Heterogent		Heterogent	
Tilført N	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha
Handelsgødning	313	115	283	106	283	106	278	105	258	98	247	94
Husdyrgødning	241	88	240	90	240	90	240	91	237	89	239	90
Fiksering	34	12	34	13	33	12	32	12	34	13	34	13
Atmosfære	42	15	41	15	41	15	41	15	41	15	41	15
Total tilført	630	231	599	224	596	223	591	224	569	215	562	212
Fjernet N												
Fordampning	23	8	23	9	23	9	21	8	21	8	20	8
Udvaskning	268	98	248	93	249	93	247	94	237	90	233	88
Denitrifikation	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Høstet kerner	268	98	261	98	260	97	257	97	256	97	255	96
Høstet halm	66	24	65	24	65	24	64	24	64	24	64	24
Total fjernet	626	229	598	224	597	223	591	224	579	219	573	217
Mobilt N	27	10	24	9	17	7	17	6	7	3	6	2
Δ -org N i jord	-23	-8	-23	-8	-18	-7	-17	-6	-17	-7	-17	-7
Korrigeret SKEP/DAISY N-udvaskning ¹⁾	252	93	231	86	225	84	224	85	205	77	199	75
N-LES3	229	84	216	81	202	76	199	75	183	69	180	68
N-denitrifikation	43	16	42	16	42	16	42	16	41	16	41	16
N-fiksering	44	16	44	17	43	16	43	16	44	17	45	17

¹⁾ Korrigeret SKEP/DAISY udvaskning er fremkommet som beregnet udvaskning plus mobilt N minus denitrifikation beregnet efter Vinter (2003, pers. medd.).

Tabel 1c Klima normaliseret landsdækkende mark N balance (1000 t N) beregnet med SKEP og udvasknings beregninger med N-LES3 for scenarierne, 1999-01, 2000-02, 2001-02. Baseret på årlig arealanvendelse og data for gødningsanvendelse fra landbrugets indberetning af gødningsregnskaber til Plantedirektoratet.

Scenarier	SKEP modelberegnet N balance							
	2000		2001		2002		Ændring 1985 - 2002	
N-gødsning	Heterogent		Heterogent		Heterogent			
Tilført N:	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha	1000t N	Kg N/ha
Handelsgødning	247	92	229	87	206	77	200	66
Husdyrgødning	239	89	243	92	241	90	27	4
Fiksering.	32	12	30	11	34	13	8	2
Atmosfære	41	15	41	15	41	15	20	6
Total tilført	560	209	543	205	522	195	254	78
Fjernet N								
Fordampning.	21	8	20	8	20	7	27	9
Udvaskning	224	83	216	82	195	73	162	53
Denitrifikation	1	1	1	1	1	0	0	0
Høstet kerner	257	96	250	94	242	90	42	9
Høstet halm	67	25	66	25	63	23	1	-1
Total fjernet	570	212	553	209	520	194	231	70
Mobilt N	11	4	11	4	31	11	-3	-2
Δ -org N i jord	-20	-8	-21	-8	-28	-11	26	10
Korrigeret SKEP/DAISY udvaskning ¹⁾	195	73	189	71	187	70	147	48
N-LES3	171	64	166	63	156	58	127	41
N-denitrifikation	40	15	40	15	39	15	12	3
N-fiksering	45	17	44	17	45	17	3	0

¹⁾ Korrigeret SKEP/DAISY udvaskning er fremkommet som beregnet udvaskning plus mobilt N minus denitrifikation beregnet efter Vinter (2003, pers. medd.).

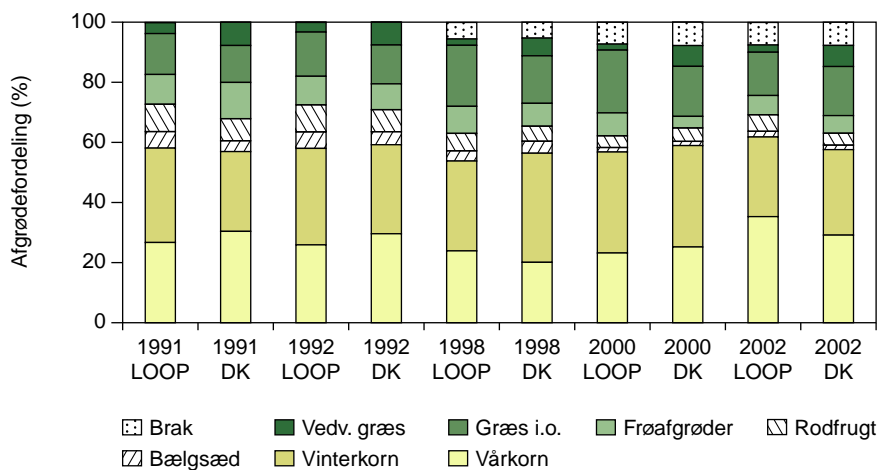
Bilag 2. Modelberegning af kvælstofudvaskning i landovervågningsoplandene: Opskalering til Landsplan

Landovervågningen er en del af det Nationale Overvågningsprogram for vandmiljøet. Programmet blev etableret i 1989 med det formål at indsamle data til dokumentation af udviklingen i landbrugspraksis samt til beregning af kvælstofudvaskningen. Landovervågningen udføres i 5 små landbrugsdominerede oplande, fordelt med to oplande på sandjord i Sønderjylland og Nordjylland, samt tre oplande på lerjorde i Østjylland og på Øerne. Der foretages en årlig interviewundersøgelse blandt landmændene i oplandene om afgrøder og gødskning på markniveau. 110-120 landmænd deltager i interviewundersøgelsen, og arealet omfatter ca. 5.500 ha (Grant et al., 2003).

1. Oplandenes repræsentativitet

Sandjordsoplandene er fortrinsvis klassificeret som grovsandsjorde, mens lerjordsoplandene fortrinsvis er sandblandede lerjorde. Jordtypefordelingen på landsplan er givet ved 24 % grovsandede jorde (JB 1-2), 38 % lerblandede sandjorde (JB 3-4) og 38 % lerjorde (JB 5-7). Sandjordsoplandene i landovervågningsoplandene repræsenterer JB 1-2 arealet i Danmark, og lerjordsoplandene repræsenterer JB 5-8 arealet. Det antages at et gennemsnit af sand- og lerjordsoplandene repræsenterer JB 3-4 arealet. For at få et repræsentativt landsdækkende datamateriale mht. jordtyper skal sandjordsoplandene vægtes med ca. 40 % og lerjordsoplandene med ca. 60 %. Denne vægtning er foretaget i de følgende sammenstillinger. Det kan dog give en mindre skævvridning, idet der ikke er en lineær sammenhæng mellem jordtype og kvælstofudvaskning.

Afgrødefordelingen i oplandene er omtrent lig fordelingen for hele landet. Dog er der nogen udsving i forholdet mellem vårkorn og vinterkorn (figur 1). Dette kan give en mindre skævhed i gødningsforbruget og udvaskningen.



Figur 1. Afgrødefordeling i Landovervågningsoplandene og for hele landet i udvalgte år (henholdsvis 1991, 1992, 1998, 2000 og 2002).

Den totale tilførsel af kvælstof med handelsgødning, husdyrgødning og kvælstoffiksering i landovervågningsoplandene har ligget på omtrent samme niveau som for hele landet i perioden 1990-94, mens tilførslen i 1995-2000 har ligget 4-13 kg N/ha lavere end i hele landet. I 2001 og 2002 var tilførslen igen på niveau med tilførslen for hele landet (tabel 1). Der er i oplandene endvidere gennem hele perioden lidt højere tilførsel af kvælstof med husdyrgødning end for hele landet og en tilsvarende lavere tilførsel med handelsgødning.

Tabel 1 Oversigt over kvælstoftilførsel i landovervågningsoplandene og for hele landet 1985-2002.

	Landovervågningen (kg N/ha)				Hele landet (kg N/ha)				
	Han+slam	Hus	Fix	Total N	Han	Slam mv.	Hus	Fix	Total N
1985					138	1	93	15	249
1990	123	97	22	242	141	2	89	16	242
1995	103	102	17	222	114	3	85	15	218
1996	96	98	12	206	105	3	86	16	211
1997	97	88	14	200	105	3	86	18	213
1998	96	89	14	199	104	3	87	17	212
1999	88	93	15	196	97	3	87	16	203
2000	88	95	12	194	93	3	88	15	199
2001	84	96	13	193	85	3	88	14	191
2002	75	91	15	182	77	3	88	14	183

2. Anvendelse af N-LES3 modellen til beregning af kvælstofudvaskning

N-LES3 modellen (Kristensen et al., 2003) anvendes til beregning af kvælstofudvaskning i landovervågningsoplandene. Til opsætning af modellen er anvendt data fra landovervågningsoplandene hvor der siden 1990 er foretaget måling af kvælstofudvaskningen på udvalgte marker (32 marker). Disse udvaskningsmålinger udgør ca. en fjerdedel af de data, der ligger til grund for N-LES3 modellen. De øvrige data, der indgår i modelopsætningen, er drænvandsmålinger på almindelig landbrugsjord og en lang række data fra forsøgsarealer, disse dataserier er fra Danmarks Jordbrugsforskning. Data fra såvel Landovervågningen som drænvandsmålingerne repræsenterer almindelig landbrugspraksis, og information om landbrugspraksis er baseret på landmændenes oplysning.

Det vurderes, at den nuværende version af N-LES3 er anvendelig til at beskrive kvælstofudvaskningen for et større sæt af landbrugsdata, der ligger indenfor rammerne af de data, modellen er sat op på.

N-LES3 er anvendt til beregning af kvælstofudvaskningen fra samtlige marker i landovervågningsoplandene.

3. Modelberegnet udvaskning – opskalering til landsplan

Den beregnede kvælstofudvaskning for landovervågningsoplandene er vist i tabel 2 ved et gennemsnitsklima (nedbørsdata for 1990-2000). For perioden 1995-2000 er der foretaget en korrektion for mindre kvælstoftilførsel i oplandene end for landet som helhed, ud fra den antagelse at kvælstofudvaskningen ændres med ca. 1/3 af ændringen i gødningsforbruget. Der er i Landovervågningen, som nævnt ovenfor, lidt større forbrug af husdyrgødning og tilsvarende lavere forbrug af handelsgødning i oplandene end på landsplan. Den organiske del i denne mertilførsel af husgødning antages at have givet anledning til en øget udvaskning. Der er korrigeret herfor ved at antage, at 45 % af mertilførslen af den organiske andel udvaskes. På denne baggrund vurderes kvælstofudvaskningen at have udgjort ca. 295.000 tons N per år i 1990 og 160.000 tons N pr år i 2002.

Landovervågningen kan ikke give svar på, hvor stor udvaskningen var midt i 1980'erne. Hvis det imidlertid antages, at der er samme forhold mellem udvaskning og gødskning midt i 1980'erne som i 1990, og der samtidig tages hensyn til teknologieffekten som beregnes med N-LES3, kan det skønnes at udvaskningen har været omkring 316.000 tons N midt i 1980'erne. Endvidere foreligger der ikke fyldestgørende data for landovervågningen fra 1989. I sammenligningen med SKEP/DAISY udvaskningsberegningerne for 1989, anvendes data fra landovervågningen for 1990.

Opskaleringen er foretaget ud fra simplificerede principper, og de beregnede kvælstofudvaskninger må kun tages for niveaustørrelser.

Table 2 Modelberegnet kvælstofudvaskning for Landovervågningen og opskalering til hele landet fra midt i 1980'erne til 2001-03.

Høstår	Modelberegnet udvaskning i LOOP kg N/ha	Dyrket areal 1000 ha	Udvaskning for hele landet tons N
1985		2834	(310.000)*
1990	106	2788	295.000
1995	82	2726	224.000
1996	77	2716	211.100
1997	78	2688	211.000
1998	74	2672	198.000
1999	72	2644	189.000
2000	65	2647	171.000
2001	62	2675	167.000
2002	60	2665	160.000

* skønnet værdi – antaget at der er samme forhold mellem udvaskning og gødsning i 1985 som i 1990, og med indregning af den for 1984 gældende teknologieffekt.

Bilag 3. Datagrundlag for modelberegning af kvælstofudvaskning med hensyn til husdyrgødning og høstudbytter

I modelberegning af kvælstofudvaskning indgår data for husdyrgødning af lager og aktuelle høstudbytter. Husdyrgødningsmængden er opgjort af Poulsen (2002) på baggrund af normtal for næringsstof i husdyrgødning og husdyrholdet omregnet fra Danmarks Statistik. Høstudbytterne er fra Danmarks Statistik, men reduceret med 10% for græs i omdrift og 15% for græs udenfor omdrift (Kyllingsbæk et al 2000).

I notatet Totale kvælstofbalancer på landsplan, mark- og staldbalancer (Kyllingsbæk, 2003b) er den totale kvælstofbalance søgt delt på en mark- og en staldbalance. Nøgletal for staldbalancen er vist i tabel 1. Hvis der fokuseres på tilført foder, fodersvind, fraførsel med animalske produkter og mængder af husdyrgødning af dyr, bemærkes at der er en positiv rest på op til 15% af tilført kvælstof der altså ikke kan gøres rede for. I denne balance er fraført kvælstof med animalske produkter ret sikkert bestemt, mens fodersvind er en lille størrelse. Derfor kan problemet med en rest i staldbalancen ret sikkert placeres på fraførsel med husdyrgødning og/eller tilførsel med foder.

Tabel 1 indikerer derfor ret kraftigt, at det er meget sandsynligt, at de skøn, der er til rådighed over produktion af dansk avlet foder, er for høje, og/eller at produktionen af husdyrgødning af dyr er for lav. Tabel 1 viser også, at problemet er særligt stort i perioden fra 1993 til 2000.

Da mængden af husdyrgødning indgår i beregningen af såvel N-udvaskning som NH₃-fordampning og denitrifikation, og da høstens størrelse indgår i udvaskningsberegningerne, må konklusionen være, at usikkerheden på en eller begge af disse poster, medfører at tabsposterne undervurderes, specielt i perioden fra 1993 til 2000.

Tabel 1. Nøgletal for staldbalancen i opgørelsen af totalbalancer i dansk landbrug, mark- og staldbalancer (Kyllingsbæk, 2003c).

År	Tilførsel af N i foder	Fraførsel af N i 1.000 tons			Rest 1.000 tons N
		med animalske produkter	med husdyrgødning af dyr	Fodersvind	
1983	415	86	311	8	10
1984	434	85	311	10	28
1985	432	88	311	9	24
1986	433	88	310	9	26
1987	425	88	299	7	31
1988	422	87	296	8	31
1989	431	89	294	8	39
1990	428	92	288	7	41
1991	435	96	288	7	44
1992	442	102	289	6	45
1993	460	104	289	6	60
1994	447	105	278	6	59
1995	438	103	270	6	59
1996	431	105	270	6	50
1997	440	108	269	6	57
1998	461	111	274	6	71
1999	439	110	265	5	58
2000	438	111	267	6	55
2001	430	114	276	6	34
2002	422	113	275	6	28