

Miljøministeriet



Danmarks
Miljøundersøgelser

Beregning af kvælstof- udvaskning på regionalt niveau

Calculation of Nitrogen
leaching on a regional
scale

Faglig rapport fra DMU, nr. 65
1993

Eli Skop
Afdeling for Systemanalyse

Miljøministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
Januar 1993

Danmarks Miljøundersøgelser - BIBLIOTEKET
Grenåvej 12, Kalsø, DK-8410 Rønde



3506870568



Beregning af kvælstof- udvaskning på regionalt niveau

Calculation of Nitrogen
leaching on a regional
scale

Faglig rapport fra DMU, nr. 65
1993

Datablad

Titel:	Beregning af kvælstofudvaskning på regionalt niveau
Forfatter:	Eli Skop
Afdelingsnavn:	Afdeling for Systemanalyse
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU, nr. 65
Udgiver:	Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser©
Udgivelsesår:	Januar 1993
Layout:	Else Snitker
Tegninger:	Eli Skop
Bedes citeret:	Skop, E. (1993): Beregning af kvælstofudvaskning på regionalt niveau. Danmarks Miljøundersøgelser. 54 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 65. Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Emneord:	Kvælstofudvaskning, landbrug, empiriske ligninger, aggregering
ISBN:	87-7772-083-0
ISSN:	0905-815X
Papirkvalitet:	Multicopy, 90 g
Tryk:	Grafisk Service, RISØ
Oplag:	200
Sideantal:	54
Pris:	75 Dkr. (incl. 25% moms, excl. forsendelse)
Købes hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Afdeling for Systemanalyse Frederiksborgvej 399 Postbox 358 4000 Roskilde Tlf. 46 30 12 00 - Fax 46 30 11 14

	Indhold	3
	Forord	5
	Sammendrag	7
	Summary	8
1	Indledning	9
2	Modeller til estimering af kvælstofudvaskning	10
	2.1 Komplekse simuleringsmodeller	10
	2.2 Simple ligninger	11
	2.3 Fordele og ulemper ved forskellige modeltyper	11
3	Datakrav til komplekse modeller og simple ligninger	13
	3.1 Fremtidens tilgængelige data	15
	3.2 Beregninger på markniveau og regionalt niveau	15
4	Simple eksponentialfunktioner	16
	4.1 Diskussion af eksponentialfunktioner	21
5	Datagrundlag for regionale udvaskningsberegninger	23
	5.1 Jordtyper	23
	5.2 Miljøstyrelsens gødningsdatabase	24
	5.2.1 Arealanvendelse, brugstyper og gødningsforbrug	24
	5.2.2 Regional fordeling af brugstyper, handels- og husdyrgødningsforbrug	27
6	Beregninger med eksponentialfunktionerne	28
	6.1 Fraktiler	29
	6.2 Værdital og udvaskningsgrader	29
	6.3 Brugstype-, kommune-, amts- og landsniveau	30
	6.4 Brugstyper, amter, jordbundstyper og afgrøder	30
	6.5 Kommuner	33
	6.6 Perioden 1987-1990	34
7	Sammenligning med øvrige opgørelser	35
	7.1 Sammenligning med Daisy	35
	7.2 Sammenligning med massebalancer	36
	7.3 Sammenligning med kvadratnetsundersøgelser	37
8	Konklusion	38
	Kilder	39

Bilag I	Kurveforløb af udvaskningsfunktioner	41
Bilag II	Danmarkskort	42
Bilag III	Terminologi i udvaskningsfunktioner	51
Danmarks Miljøundersøgelser		54

Forord

Denne rapport indeholder de foreløbige resultater og konklusioner fra et delstudie om modelberegninger af kvælstofudvaskning fra landbrugsjorder på regionalt niveau.

Undersøgelsens resultater skal anvendes i to større projekter, som DMU's Afdeling for Systemanalyse udfører i årene 1992-94. Det ene projekt, "Bæredygtige strategier for kvælstofanvendelsen i landbruget", har til formål at belyse samspillet mellem landbrugets erhvervsøkonomiske vilkår, landbrugets strukturudvikling og kvælstoftabet. Projektet udføres som et PhD-studium og finansieres af Nordisk Ministerråd.

Det andet projekt, "Samfundsøkonomisk konsekvensvurdering af indgreb i næringssaltkredsløbene", er et projekt, der har til formål at sammenholde de samfundsøkonomiske omkostninger med de miljømæssige gevinster ved alternative indgreb overfor de menneskeskabte udledninger af næringssalte til vandmiljøet. Dette projekt udføres i samarbejde med Miljøstyrelsen og finansieres af Miljøstyrelsen og DMU.

Vilkårene for dansk landbrug er under hastig forandring i disse år med en ændret produktionsstruktur til følge. Disse forandringer kan betyde væsentlige ændringer i landbrugets miljøpåvirkninger, herunder udvaskningen fra landbrugsjorder. Der er i naturlig forlængelse heraf en betydelig interesse for værktøjer og modeller, der kan simulere kvælstofudvaskningen. DMU har derfor fundet det relevant i en selvstændig rapport at diskutere forskellige metoder til beregning af regional kvælstofudvaskning, deres anvendelighed og berettigelse i lyset af beregningsformål og data-tilgængelighed.

Rapporten har i udkastform været drøftet med fageksperter på området, som alle har bidraget konstruktivt med kritik og ændringsforslag og som hermed takkes for denne indsats:

Svend Erik Simmelsgaard, Statens Planteavlsvforsøg; Carl Åge Pedersen, Landbrugets Rådgivningscenter; Søren Rude, Statens Jordbrugsøkonomiske Institut; Birgitte Stougaard, Statens Planteavlsvforsøg; Torben Bonde, Miljøstyrelsen; Niels Erik Nielsen, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole; Johnny Andersen, Danmarks Statistik; Gitte Blicher-Mathiesen og Peter Berg, Danmarks Miljøundersøgelser.

Fageksperternes kritik har repræsenteret forskellige holdninger, og DMU's Afdeling for Systemanalyse er naturligvis alene ansvarlig for rapportens resultater og konklusioner, som bør anvendes med de forbehold, der er anført i rapporten.

Sammendrag

To principielt forskellige modeltyper til beregning af kvælstofudvaskningen hhv. komplekse simuleringsmodeller og simple ligninger bliver diskuteret.

Valg af model afhænger af formålet med beregningerne, samt af mængden af tilgængelige inddata.

Komplekse simuleringsmodeller kræver oftest en stor mængde af detaljerede inddata, mens simple ligninger kun kræver kendskab til nogle få overordnede parametre.

I denne rapport benyttes simple empiriske eksponentialfunktioner til beregning af kvælstofudvaskning.

Funktionerne, der er opstillet af *Simmelsgaard (1991)*, kræver kun kendskab til afgrøde, jordbundstype (sand eller ler) og tilførte mængder kvælstof med hhv. handels- og husdyrgødning.

Regionale beregninger af kvælstofudvaskningen i Danmark er gennemført for 1989 ved hjælp af simple eksponentialfunktioner og landsdækkende datamateriale fra Danmarks Statistik.

Resultaterne omfatter mængden af udvasket kvælstof fordelt på regioner, brugstyper og afgrøder.

En sammenligning med resultater fra andre beregninger er foretaget.

Summary

Two different concepts of nitrogen leaching models namely complex simulation models and simple empiric functions are being discussed.

The choice of model depends on the aim of the calculations and the amount of available input data.

Complex simulation models usually require a great amount of detailed information about the system, while simple empiric functions only require knowledge of a few superior parameters.

In this report simple empiric exponential functions are used for the calculation of nitrogen leaching.

The functions are made by *Simmelsgaard (1991)* and require knowledge of crop type, soil type and amount of applied nitrogen in inorganic and organic fertilizers, only.

The calculation of nitrogen leaching on a regional basis is carried out for the year 1989 by means of simple empiric functions and nation-wide data from the Danmarks Statistik.

The results include the amount of leached nitrogen distributed on regions, crops and farming types.

A comparison with results from various calculations is carried out.

1 Indledning

I de senere år har der været en stigende interesse rettet mod udvaskning af kvælstof fra landbruget. I mange lande skyldes den stigende interesse primært problemer med nitrat i grundvandet. I Danmark er det især eutrofiering af ferske og marine områder, der har sat fokus på kvælstofproblematikken. Som følge heraf er der i Danmark i forbindelse med Vandmiljøhandlingsplanen iværksat et overvågningsprogram, som bl.a. skal tilvejebringe information om kvælstofudvaskningen fra landbruget til vandmiljøet samt om tilstanden i vore vandmiljøer.

I forbindelse med overvågningsprogrammet er der etableret 40 jordvandsstationer. På disse stationer bliver jordvand løbende udtaget og kvælstofkoncentrationen deri bliver målt. Ved multiplikation af nitratkoncentrationerne med modelberegninger af afstrømningsmængder for de pågældende marker fås et udtryk for kvælstofudvaskningen.

Ovennævnte metode til bestemmelse af kvælstofudvaskningen er ofte blevet benyttet og er altså en metode, hvor det eksperimentelle bliver kombineret med modelberegninger.

Alternativerne til denne metode er de rent eksperimentelle metoder (hvor også vandbalancen bliver målt) og rene modelberegninger, hvor både vandbalance og kvælstoftransport og -omsætning bliver modelleret.

Generelt kan man sige, at jo mere eksperimentelt, der indgår i undersøgelsen, jo mere tidskrævende og kostbar er den at gennemføre.

Af økonomiske årsager vil det derfor kun være muligt at gennemføre eksperimentelle og delvist eksperimentelle undersøgelser for nogle få udvalgte arealer. Hvis der ønskes information om udvaskningen på regionalt niveau, er det derfor nødvendigt at anvende kvælstofmodeller.

Regionale beregninger af kvælstofudvaskningen er bl.a. relevante for at kunne tilvejebringe information om kvælstofbelastningen af specifikke vandområder.

I denne rapport vil fordele og ulemper ved anvendelsen af forskellige typer af modeller blive diskuteret, og der vil endvidere blive præsenteret resultater, som er fremkommet ved hjælp af simple empiriske ligninger til beregning af kvælstofudvaskningen, og landbrugsdata på kommuneniveau.

2 Modeller til estimering af kvælstofudvaskning

I de følgende afsnit præsenteres og diskuteres to forskellige typer af udvaskningsmodeller hhv. komplekse simuleringsmodeller og simple ligninger.

2.1 Komplekse simuleringsmodeller

Der er i de senere år udviklet en række komplekse simuleringsmodeller, hvoraf nogle af dem kan klassificeres som mekanistiske og deterministiske, mens andre kan klassificeres som funktionelle og deterministiske.

Deterministiske modeller er kendetegnet ved, at et givet input datasæt fører til ét bestemt output datasæt. Denne modeltype skal ses i modsætning til stokastiske modeller, som bl.a. bygger på den kendsgerning, at der er stor rumlig variation i jords fysiske og kemiske parametre. I stokastiske modeller genereres derfor en statistisk begrænsning af mulige output datasæt på grundlag af tilfældigt fordelte inputdata.

Mekanistiske modeller er modeller, som forsøger at inddrage de mest fundamentale mekanismer i de processer, som er kendte. Mekanistiske modeller indeholder et stort antal af tilstandsvariable og er bl.a. blevet benyttet til at forbedre forståelsen af kvælstofkredsløbet.

Funktionelle modeller er modeller, som indeholder en simplificeret behandling af vand og stoftransport og derfor kræver en noget mindre mængde inddata end de mekanistiske modeller.

Komplekse modeller kræver imidlertid generelt et relativt detaljeret kendskab til jordfysiske og kemiske parametre. Måling af disse parametre er besværlig og forbundet med store omkostninger og parametrene er derfor kun i meget få tilfælde bestemt. Det er blevet forsøgt at anvende såkaldte "pedotransfer funktioner" (*Jury og Roth., 1990*), som estimerer disse parametre ud fra kendskab til nogle let målelige overordnede jordbundskaraktéristika, men der foreligger ikke nogle undersøgelser af, hvorledes dette påvirker usikkerheden på udvaskningsberegningerne.

I Danmark er modellen Daisy (*Hansen et al., 1990*) blevet udviklet. Modellen, der bygger på et solidt teoretisk grundlag, er en deterministisk mekanistisk model. Modellen er bl.a. blevet anvendt i forbindelse med Vandmiljøhandlingsplanens overvågningsprogram, og i denne forbindelse blev der foretaget en sammenligning af modelberegninger og udvaskningen estimeret ved hjælp af

målinger. Resultatet af denne sammenligning viste en generelt dårlig overensstemmelse (*Grant et al., 1991*). En lignende sammenligning er foretaget af *Hansen et al. (1990)* og viste en god overensstemmelse mellem målinger og Daisy-simuleringer.

Årsagen til, at Daisy i nogle tilfælde ikke stemmer overens med målinger, kan på nuværende tidspunkt ikke afgøres med sikkerhed. En mulighed er, at manglende eller upræcise inddata kan være en væsentlig del af forklaringen.

2.2 Simple empiriske ligninger

Beregning af kvælstofudvaskning ved hjælp af simple empiriske ligninger har der traditionelt ikke været stor interesse for. *Simmelsgaard (1991)* har foreslået nogle simple eksponentialfunktioner til beregning af kvælstofudvaskningen. Ligningerne beregner udvaskningen som funktion af afgrøde, jordbundstype, og kvælstofgødskning.

Udvaskningen af kvælstof afhænger imidlertid af et komplekst samspil mellem jord, planter, atmosfære og dyrkningspraksis. Ved brug af simple ligninger ses der herved bort fra en lang række betydende faktorer, hvorfor disse ligninger ikke er egnede til at beregne udvaskningen fra enkeltmarker et givet år, men snarere egner sig til at beregne effekten af en ændret gødningspraksis eller en ændret afgrødefordeling over en længere årrække og for et større område.

Ved beregning af udvaskning for et givet år er det dog muligt for lerjorde at korrigere de beregnede udvaskningsmængder for afstrømningsmængder, der afviger fra "normalafstrømning" jvf. *Simmelsgaard (1991)*. Årsagen til, at der korrigeres for lerjorde og ikke for sandjorde er, at nedbørsmængden ofte kan være en begrænsende faktor for udvaskningen på lerjorde, mens dette kun sjældent er tilfældet på sandjorde.

2.3 Fordele og ulemper ved forskellige modeltyper

Valg af model afhænger af formålet med beregningerne samt hvilke data, der er stillet til rådighed. De to modeltyper opererer i forskellig skala med hensyn til tid og rum. Generelt kan man sige, at en kompleks simuleringsmodel, som er blevet videnskabeligt dokumenteret og valideret, er at foretrække. Det forudsætter dog, at nødvendige inddata er tilgængelige, og at det ikke bliver tidsmæssigt og dermed økonomisk uoverkommeligt at gennemføre modelberegningerne. Det skal dog bemærkes, at selvom komplekse modeller åbner muligheden for at tolke sammenhængen mellem

virkning og årsag, er sammenhængene imidlertid ofte så komplekse, at det kan være problematisk at identificere de enkelte faktoreres indflydelse på kvælstofudvaskningen. Dette gælder især for regionale beregninger.

Man kan sige, at komplekse modeller forsøger at beskrive det "virkelige system", og deres force er derfor, at de indeholder samspillet mellem mange forskellige faktorer, der influerer på udvaskningen. Deres svaghed er, at de ofte kræver en stor mængde inddata, at de er tidskrævende at arbejde med, og at det kan være besværligt at fortolke resultatet af modelberegningerne med henblik på betydningen af de enkelte faktorer for udvaskningen.

Simple empiriske ligninger, der beregner kvælstofudvaskningen som funktion af ganske få variable, kan naturligvis ikke beskrive den komplicerede virkelighed. De er derfor ikke velegnede til at beregne udvaskningen for en given mark et givet år. Det, som de beskriver, er forskelle i udvaskningen som følge af en ændring i en eller flere af variablene. De forudsætter dermed, at alt andet er "lige", og resultatet af beregninger med disse ligninger udtrykker dermed ikke den variation, der naturligt forekommer afhængigt af tid, sted m.m. Beregninger med disse ligninger repræsenterer med andre ord en slags gennemsnit af de parametre, der ikke indgår i modellen og er naturligvis ikke i stand til at beskrive betydningen af ændringer i disse parametre.

Ligningerne er empiriske og gælder derfor i virkeligheden kun for de forhold, der har været gældende i de forsøg, som ligningerne er fremkommet på baggrund af. Ligningerne kan som nævnt beskrive betydningen for udvaskningen af f.eks. en ændret afgrødefordeling, men en væsentlig ændring i afgrødefordelingen vil resultere i sædskifter, der adskiller sig fra sædskifterne i de forsøg, som ligningerne er estimeret ud fra. Landbrugspraksis vil derfor ikke være den samme, som den der var gældende for forsøgene. Dette er således et helt fundamentalt problem ved anvendelsen af empiriske ligninger, og man bør derfor i fortolkningen af resultaterne medtage overvejelser om hvorvidt, landbrugspraksis adskiller sig væsentligt fra landbrugspraksis i de forsøg, som ligningerne er estimeret ud fra.

Ligningernes force er, at de kun kræver et minimum af inddata, at de er lette at arbejde med, samt at resultatet af beregningerne er nemt at fortolke med hensyn til de variable, som de indeholder.

3 Datakrav til komplekse modeller og simple ligninger

Som tidligere nævnt adskiller de simple ligninger og de komplekse simuleringmodeller sig markant fra hinanden bl.a. ved, at de kræver forskellige mængder af inddata. Der kan imidlertid også være stor forskel på, hvilke inddata der kræves i komplekse simuleringmodeller (*Thomasson, 1991*). For at sammenligne de to modeltypers krav til inddata er der derfor blevet udvalgt to modeller: En kompleks simuleringmodel, Daisy (*Hansen et al., 1990*) og en simpel eksponentiel funktion (*Simmelsgaard, 1991*).

Daisy kræver som input kendskab til en lang række variable og parametre. Disse variable og parametre kan inddeles i følgende grupper:

Klima, jordfysik, jordkemi, afgrøde og dyrkningsteknik.

For en nærmere redegørelse af alle variable og parametre henvises til *Hansen et al. (1990)*, men her skal dog nævnes nogle af de overordnede variable og parametre:

Klima	: Nedbør, temperatur og stråling
Jordfysik	: Vandretentionsevne, hydraulisk ledningsevne og lerindhold
Jordkemi	: Kulstof- og kvælstofindhold
Afgrøde	: Udvikling, fotosyntese, respiration, kvælstofparametre
Dyrkningsteknik	: Jordbehandling, kvælstofgødskning og vanding.

Den simple eksponentialfunktion beregner udvaskningen ud fra kendskab til afgrødetype, kvælstofgødskning og jordbundstype. Der er således kun tre parametre, der indgår i modellen.

Der er altså stor forskel i mængden af inddata, som de to ovennævnte modeller kræver, og det er derfor af interesse at undersøge, hvorledes de to modellers datakrav harmonerer med eksisterende data.

Der vil her først blive diskuteret inddata til Daisy.

Angående klimadata, så bliver nedbør og temperatur målt på alle klimastationer rundt omkring i landet. Globalstråling bliver målt på langt færre stationer. Nedbøren er den klimavariabel, som har langt den største stedlige variation, og det kan derfor være et problem, hvis der ikke findes en nedbørsstation i umiddelbar

nærhed af det område, som man ønsker at gennemføre beregningerne for. Det er imidlertid blevet foreslået, at man kan benytte en afstandsvægtet middelværdi for nedbørsstationerne inden for en bestemt radius. Med det eksisterende klimastationsnet er landet dækket ind i en sådan grad, at klimadata ikke udgør et væsentligt problem.

Jordfysiske og kemiske parametre er kun i tilstrækkeligt omfang målt på nogle få forsøgsmarker. For disse marker er målingerne som regel ikke tilstrækkeligt udførlige til, at måleresultaterne uden videre kan anvendes som inddata til Daisy, hvorfor man er nødt til at estimere de nødvendige parametre ud fra kendskab til nogle mere overordnede jordbundskaraktistika. Dette udgør således en væsentlig usikkerhed ved beregninger med Daisy.

Afgrødeparametrene kan opfattes som inputparametre til modellen, eller de kan opfattes som konstanter, der er lagt ind i modellen. Da der normalt ikke haves oplysninger, der giver anledning til at ændre afgrødeparametrene, kan man derfor vælge at opfatte dem som konstanter, der er lagt ind i modellen. Det er derfor tilstrækkeligt at have kendskab til, hvilken afgrøde der dyrkes. Oplysninger om afgrødefordelingen i Danmark findes i Danmarks Statistiks Landbrugsstatistik. Daisy indeholder imidlertid ikke afgrødeparametre for alle afgrøder der dyrkes i Danmark, men der arbejdes pt. med at udbygge Daisy til at omfatte flere afgrøder.

Dyrkningstekniske parametre omfatter gødskning, herunder type af gødning og kvælstofmængden i gødningen samt tidspunkt for gødningstildelingen, og for husdyrgødnings vedkommende også udbringningsmåden. Af andre dyrkningstekniske parametre kan bl.a. nævnes vanding, herunder mængde og tidspunkt, pløjning, harvning, stubkultivering, såbedstilberedning og såning.

Dyrkningstekniske parametre kendes normalt ikke, medmindre det drejer sig om forsøgsmarker eller marker, hvor landmændene er blevet interviewet.

Med hensyn til de simple eksponentialfunktioner så kræver de som tidligere nævnt oplysninger om afgrødetyper. Disse data er opgivet af Danmarks Statistik på kommune- eller amtsniveau afhængigt af, om det er et lige eller ulige år. Med hensyn til handelsgødningsforbruget er det opgjort af Danmarks Statistik på amtsniveau. Husdyrgødningsforbruget er opgjort på kommune- eller amtsniveau afhængigt af, hvilket år det drejer sig om. Danmarks Statistik har imidlertid ikke oplysninger om, hvilke gødningsmængder de forskellige afgrøder modtager. Disse oplysninger haves kun fra stikprøveundersøgelser (*Frederiksen, 1990*). Ud fra ADK's jordbundsklassificeringskortlægning er jordbundstypfordelingen på kommuneniveau opgjort.

3.1 Fremtidens tilgængelige data

I forbindelse med Plantedirektoratets fremtidige registrering af landbrugspraksis kan det forventes, at der vil blive indsamlet gødningsplaner for hele landet.

Det vil således i fremtiden være muligt at have et meget solidt datagrundlag med henblik på regionale beregninger med de simple eksponentialfunktioner. Med hensyn til datagrundlaget for beregninger med Daisy kan det ikke forventes, at der vil ske en markant forbedring på kort sigt.

3.2 Beregninger på markniveau og regionalt niveau.

Valg af model afhænger som tidligere nævnt af formålet med beregningerne samt hvilke data, der er tilgængelige. Man kan skelne mellem beregninger for enkeltmarker og beregninger for større regioner f.eks. kommuner, amter eller landsdele.

De simple ligninger kan ikke anvendes på enkeltmarker, og er bedst egnede til at foretage beregninger på regionalt niveau. Komplekse modeller er velegnede til at foretage beregninger på markniveau, hvis de nødvendige inddata er tilgængelige. Beregninger på regionalt niveau med komplekse modeller kan være meget tidskrævende, og resultatet af beregningerne er ikke nødvendigvis mere pålideligt end ved anvendelsen af simple ligninger, da inddata oftest vil være behæftet med en betydelig usikkerhed.

Hvis beregningerne har til formål at undersøge effekten af en ændring i dyrkningspraksis, f.eks. halmnedmuldning, vanding eller andre parametre, der ikke er indeholdt i de simple ligninger, er det naturligvis nødvendigt at benytte en kompleks model, som indeholder disse parametre.

4 Simple eksponentialfunktioner

Som tidligere nævnt har der ikke været stor interesse for at beregne kvælstofudvaskningen ved anvendelse af simple funktionsudtryk.

Simmelsgaard (1991) har imidlertid opstillet empiriske eksponentialfunktioner, der beregner kvælstofudvaskningen som funktion af afgrøde, jordbund og N-gødsning.

Simmelsgaard (1991) anvender en terminologi, der adskiller sig fra den terminologi, der er valgt at anvende her. Simmelsgaards ligninger er derfor gengivet ordret i bilag 3.

Funktionsudtrykket for handelsgødede marker er

$$y_{\text{hag}} = y_{\text{nhag}} e^{0.7(N_{\text{hag}}/N_{\text{norm}})-1}, \text{ kg/ha} \quad (1)$$

hvor

N_{hag} = N-gødsning med handelsgødning, kg/ha

N_{norm} = Normalgødsning med handelsgødning til den pågældende afgrøde, kg/ha

y_{hag} = N-udvaskning, når der er gødet med handelsgødning, kg/ha

y_{nhag} = N-udvaskning ved normalgødsning med handelsgødning ($N_{\text{hag}}=N_{\text{norm}}$), kg/ha

Kvælstof i husdyrgødning findes på organisk og uorganisk form. Det uorganiske kvælstof kan optages i planterne direkte, mens det organiske først kan optages efter, at der har fundet en mineralisering sted.

Kvælstofindholdet i husdyrgødning afhænger af, hvilke dyr husdyrgødningen stammer fra, samt hvorledes dyrene er fodret.

Tab af kvælstof fra husdyrgødning kan ske under opbevaringen samt i forbindelse med udbringningen. Kvælstoftab i forbindelse med opbevaring er dog ikke relevant i disse ligninger, da der regnes med ab lager mængder (incl. dyr på græs).

Værditallet (også kaldet udnyttelsesgraden eller nyttevirkningen) er defineret som det antal kg handelsgødningskvælstof, som 100 kg husdyrgødningskvælstof (ab lager) kan erstatte (*Landskontoret for Planteavl, 1992*). Værditallet er dermed defineret som en fysisk størrelse, og værditallet afhænger af typen af husdyrgødning,

udbringningstidspunkt, udbringningsmåde samt til hvilken afgrøde husdyrgødningen er tilført.

Ved effektivt kvælstof forstås kvælstofmængden i husdyrgødningen · værditallet/100.

Med hensyn til handelsgødning er den effektive kvælstofmængde = N-mængden i handelsgødningsmængden.

Funktionsudtrykket til beregning af kvælstofudvaskningen fra husdyrgødede marker kan skrives som

$$y_{hug} = y_{nhug} \left(4.6 e^{0.7 \left(\frac{40}{100} \frac{N_{hug}}{N_{norm}} - 1 \right)} - 1.8 \right), \text{ kg/ha} \quad (2)$$

hvor

N_{hug} = N-gødskning med husdyrgødningskvælstof, kg/ha

N_{norm} = Normalgødskning med handelsgødning til den pågældende afgrøde, kg/ha

y_{hug} = N-udvaskning når der er gødet med husdyrgødning, kg/ha

y_{nhug} = N-udvaskning ved normalgødskning med handelsgødning ($N_{hug} = N_{norm}$), kg/ha

I funktionsudtrykket er det antaget, at værditallet (VT) er = 40.

Ligning (2) gælder derfor kun for VT = 40.

Årsagen hertil er, at ligningen er fremkommet på baggrund af forsøg, hvor det blev antaget at VT = 40. Hvis man havde antaget, at VT var forskellig fra 40, så ville parametrene 4.6 og -1,8 ændre sig.

Ved hjælp af (1) og (2) kan udvaskningen beregnes, såfremt al gødningen er tilført som enten handelsgødning eller husdyrgødning. I praksis gødes der dog ofte med både handels- og husdyrgødningskvælstof, og i de tilfælde regnes der med, at hver gødningstype bidrager til kvælstofudvaskningen med samme andel, som den givne gødningstype bidrager til den effektive kvælstofgødskning ved et værdital på 40 for husdyrgødning.

Den samlede udvaskning kan herefter beregnes som

$$y = \frac{N_{hag}}{N_{hag} + (\frac{40}{100} * N_{hug})} * y_{hag} + \frac{\frac{40}{100} * N_{hug}}{N_{hag} + (\frac{40}{100} * N_{hug})} * y_{hug} \text{ kg/ha} \quad (3)$$

hvor

y = N-udvaskning, når der er gødet med både handels- og husdyrgødning, kg/ha

y_{hag} er udvaskningen beregnet vha. (1), men hvor der regnes med, at hele den effektive kvælstofgødningsmængde er givet som handelsgødning. y_{hug} er udvaskningen beregnet vha. (2), men hvor der regnes med, at hele den effektive kvælstofgødningsmængde er givet som husdyrgødning.

I Simmelsgaards ligning til beregning af kvælstofudvaskning fra husdyrgødede marker er det antaget, at værditallet for husdyrgødningen er 40. Imidlertid afhænger værditallet af gødningstype, afgrødetype og udbringningsteknik og -tidspunkt. For at kunne arbejde med værdital, der er enten større eller mindre end 40, kan (3) modificeres ved at addere et ekstra led. Ligningen til beregning af den samlede kvælstofudvaskning kommer herefter til at se således ud:

$$y = \frac{N_{hag}}{N_{hag} + (\frac{40}{100} * N_{hug})} * y_{hag} + \frac{\frac{40}{100} * N_{hug}}{N_{hag} + (\frac{40}{100} * N_{hug})} * y_{hug} + \text{UDVG}(\frac{40-VT}{100})N_{hug} \text{ kg/ha} \quad (4)$$

UDVG er udvaskningsgraden dvs. den del af det husdyrgødningskvælstof, som ikke optages i planterne, som udvaskes. Årsagen til, at udvaskningsgraden ikke er 1, skyldes ammoniakfordampning og denitrifikation. Udvaskningsgraden afhænger bl.a. af fugtighedsforholdene i jorden, mængden af tildelt husdyrgødning samt jordbundstypen. Det er dog her antaget, at udvaskningsgraden er en konstant, som er = 0.75.

Det sidste led (led 3) i (4) er en korrektion, der omfatter den del af husdyrgødningskvælstoffet, som normalt ($VT = 40$) vil optages i

planterne, men som ved et værdital lavere end 40 ikke vil optages i planterne, og derfor udgør et potentiale for udvaskning.

I virkeligheden bør der foretages endnu en korrektion, idet man må antage, at planteproduktionen falder med faldende værdital. Når planteproduktionen falder, bliver der optaget mindre kvælstof i planterne, og der vil derfor være basis for en større udvaskning. Man kan således forestille sig en teknisk korrektion, der korrigerer for den del af udbyttenedgangen, der udvaskes.

Rude (1991) har konstrueret en adfærdsmæssig korrektion. Denne korrektion bygger på, at det er nødvendigt at supplere med yderligere gødningsmængder for at opretholde den samme planteproduktion som ved et værdital på 40. Dette supplement vil influere på udvaskningen.

Korrektioner kan være nødvendige for at kunne generalisere ligningerne, således at de f.eks. kan arbejde med værdital der adskiller sig fra 40. Adfærdsmæssige korrektioner antager en given adfærd hos bønderne og kan derfor kun estimere udvaskningen givet, at bønderne har en bestemt adfærd, mens de tekniske i større grad er alment gyldige. Tekniske korrektioner bør derfor foretrækkes fremfor adfærdsmæssige.

Da der formentlig er tale om en størrelse af meget lille betydning, samt at usikkerheden på ligningen til beregning af kvælstofudvaskningen fra husdyrgødede marker er stor, er der her valgt at se bort fra korrektion vedr. størrelsen af planteproduktionen.

Funktionsudtrykkene forudsætter et kendskab til afgrødernes normalgødsning. Afgrødernes normalgødsning skal her forstås som de vejledende normer for N-tilførsel. Disse vejledende normer er beregnet som den økonomisk optimale N-mængde ved udbytteforsøg i landbo- og husmandsforeningerne.

I tabel 1 vises de vejledende normer for N-tilførsel til de afgrødetyper, der opereres med i udvaskningsmodellen.

Tabel 1. Vejledende normer for N-tilførsel.

Afgrødetype	kg N/ha
Vårsæd	110
Vintersæd	165
Bælgsæd	0
Rodfrugter	160
Græs i omdrift	300
Græs uden for omdrift	250
Vinterraps	230
Vårraps	170
Andet	120

Modifieret efter *Hansen E. (1990)*:
 Overgødsning med kvælstof i dansk landbrug.
 Ugeskrift for Jordbrug nr. 35/36.

Funktionsudtrykkene er baseret på kendskab til normaludvaskningen for en given afgrøde, og disse normaludvaskningsværdier er helt centrale parametre i udvaskningsmodellen. *Simmelsgaard (1991)* har estimeret normaludvaskningen for 13 forskellige afgrøder på hhv. sandjord og lerjord. Datagrundlaget for denne estimering omfatter ifølge *Simmelsgaard (1991)* data fra alle tilgængelige danske forsøg fra årene 1971-1990, hvor N-udvaskning er målt under kontrollerede betingelser. Disse N-udvaskningsmålinger stammer primært fra Statens Planteavlsvforsøg, men også resultater fra NPO-forskningsprogrammet er inddraget.

I tabel 2 ses normaludvaskningen for de afgrøder, der opereres med i udvaskningsmodellen.

Tabel 2. Kg N udvasket fra rodzonen ved normalgødskning.

Afgrødetype	Sandjord	Lerjord
	Udvaskning kg N/ha	Udvaskning kg N/ha
Vårsæd	65	55
Vintersæd	45	35
Bælgsæd	75	60
Rodfrugter	45	30
Græs i omdrift	40	25
Græs uden for omdrift	25	15
Vinterraps	50	40
Vårraps	70	55
Andet	40	30

Modificeret efter *Simmelsgaard S. E. (1991)*: Estimering af funktioner for kvælstofudvaskning: Kvælstofgødning i landbruget - behov og udvaskning nu og i fremtiden. Statens jordbrugsøkonomiske institut.

Kurveforløbet af eksponentialfunktionerne er afbildet i figur 1 og 2. Udvaskningen er beregnet for en sandjord med vårbyg. Kurveforløbet for de øvrige afgrøder samt for lerjord svarer til de afbildede kurver, men værdierne på akserne vil være forskellige afhængigt af "normalgødningsniveauet" og "normaludvaskningsniveauet".

4.1 Diskussion af eksponentialfunktioner

Det er ikke præcist defineret, om Simmelsgaards funktioner beskriver 1. års- eller langtidseffekten af et ændret gødningsniveau, da forsøgene, som ligger til grund for funktionerne, indeholder både 1. års-, 2. års- og langtidseffekten. Men da forsøgene indeholder flest værdier for langtidseffekten, kan det antages, at funktionerne tilnærmelsesvis beskriver langtidseffekten.

Der er naturligvis en ikke ubetydelig usikkerhed på resultaterne, beregnet med en så simpel funktion. *Simmelsgaard (1991)* anslår, at usikkerheden er i størrelsesordenen 20% for det absolutte udvaskningsniveau på handelsgødede marker, mens usikkerheden på husdyrgødede marker er noget større.

Usikkerheden er dog noget mindre, når det gælder procentuelle ændringer i udvaskningen.

Ifølge *Simmelsgaard (1991)* gælder flg. restriktioner for anvendelsen af eksponentialfunktionerne:

1. Funktionerne er kun gældende for intervallet $0.5 \leq N_{\text{hag}}/N_{\text{norm}} \leq 1.5$
2. Funktionerne gælder ikke for kvælstoffikserende afgrøder.

I de efterfølgende beregninger er der imidlertid ikke taget hensyn til restriktionerne i gødningsniveauet, da der ikke haves et bedre alternativ end udvaskningsfunktionerne. I de tilfælde, hvor den beregnede udvaskning overstiger gødningstildelingen, er udvaskningen sat lig med gødningstildelingen. Det skal dog bemærkes, at det drejer sig om ganske få tilfælde, og at det ikke har nogen reel betydning for beregningerne. Årsagen, til at det kun drejer sig om ganske få tilfælde, er, at beregningerne er foretaget på kommuneniveau, og ekstreme gødningstildelinger på markniveau derfor bliver lagt sammen med øvrige gødningstildelinger. Hvis ligningerne ønskes anvendt på data med et lavere aggregeringsniveau, er det nødvendigt at generalisere ligningerne, således at de kan beregne udvaskningen ved tildelinger, der ligger udenfor det ovennævnte interval.

Udvaskningen for kvælstoffikserende afgrøder (bælgsæd) er sat = normaludvaskningen, da disse afgrøder ikke modtager handelsgødning og kun meget lidt husdyrgødning. Der haves ikke oplysninger om kløvergræsmarker i det datamateriale, der efterfølgende vil blive benyttet, hvorfor kløvergræs er inkluderet i de almindelige græsmarker.

Normaludvaskningen for de forskellige afgrøder er af central betydning for resultatet ved anvendelse af eksponentialfunktionerne. Gyldigheden af normaludvaskningstallene forudsætter bl.a., at sædskiftepraksis svarer til den sædskiftepraksis, der gjorde sig gældende i de forsøg, som normaludvaskningstallene er estimeret ud fra.

I forsøgene, der ligger til grund for ligningerne, er udvaskningen beregnet ved at multiplicere målte nitratkoncentrationer med modelberegninger af afstrømningsmængder for de pågældende marker. Ved denne metode antages det, at nitratkoncentrationen i det jordvand, der udtages, svarer til nitratkoncentrationen i det jordvand, der forlader rodzonen. Denne antagelse er imidlertid ikke altid i overensstemmelse med virkeligheden, og flere undersøgelser indikerer, at næringsstofkoncentrationen i jordvandet afhænger af hvilken metode jordvandet er udtaget med (*Hansen et al., 1991*) (*Christensen et al. 1991*).

5. Datagrundlag for regionale udvaskningsberegninger

Formålet med beregningerne, som efterfølgende vil blive præsenteret, er at beregne udvaskningen på kommuneniveau ved hjælp af simple empiriske ligninger ud fra oplysninger om jordbund, afgrødefordeling og gødningstildeling.

Datagrundlaget, der benyttes som udgangspunkt i udvaskningsberegningerne, stammer fra Miljøstyrelsens gødningsdatabase, Plantedirektoratets stikprøveanalyser samt Arealdatakontorets jordbundskortlægning.

Der er taget udgangspunkt i året 1989, som er det seneste år, hvorfra der haves tilstrækkeligt detaljerede oplysninger om landbrugspraksis på kommuneniveau.

5.1 Jordtyper

Opdeling af landbrugsarealet på jordtyper sker på baggrund af data fra Arealdatakontoret.

Landbrugsarealet opdeles på to jordtyper hhv. sandjorde og lerjorde.

Sandjordene indeholder jorde af typerne farvekode 1, 2 og 3 (grovsandet jord, finsandet jord, grov lerblandet sandjord og fin lerblandet sandjord).

Lerjordene indeholder jorde af typerne farvekode 4, 5, 6, 7 og 8 (grov sandblandet lerjord, fin sandblandet lerjord, lerjord, svær lerjord, meget svær lerjord, siltjord, humusjord og specielle jordtyper. Siltjorde, humusjorde og specielle jordtyper, er naturligvis ikke lerjorde, men deres egenskaber (f.eks. vandholdende evne) vil dog have mere tilfælles med lerjordene end med sandjordene.

De to jordtyper (sand- og lerjordene) dækker over en betydelig variation, og det havde derfor være fordelagtigt, at arbejde med flere jordtyper end blot sand og ler. Årsagen til, at der er foretaget en aggregering af jordtyperne, er imidlertid, at de benyttede udvaskningsfunktioner kun indeholder disse to jordtyper.

I Figur 3 ses et Danmarkskort, som viser lerjordenes udbredelse på kommuneniveau.

Figuren viser, hvor stor en del af kommunernes landbrugsareal, der udgøres af lerjorde. Den resterende del udgøres af sandjorde.

5.2 Miljøstyrelsens gødningsdatabase

Miljøstyrelsens gødningsdatabase er oprettet i 1989 og indeholder oplysninger fra Danmarks Statistiks landbrugs- og gartneritællinger. Danmarks Statistik har leveret data fra 1985-1990. I 1986, 1988 og 1990 er dataene baseret på stikprøvetællinger, hvorfor opgørelserne udelukkende foreligger på amtsniveau. I 1985, 1987 og 1989 er der foretaget totaltællinger, og data foreligger derfor på kommuneniveau.

Da det i udvaskningsmodellen ønskes at operere på kommuneniveau, er der benyttet data fra 1989, som er det seneste år, hvorfra der foreligger data på kommuneniveau.

Oplysninger om handelsgødningsforbruget foreligger for alle år, dog kun på amtsniveau.

5.2.1 Arealanvendelse, brugstyper og gødningsforbrug

I det følgende gennemgås de relevante tabeller fra Miljøstyrelsens gødningsdatabase, samt hvorledes de kan kobles med data fra Plantedirektoratets stikprøveanalyser.

I de efterfølgende beregninger opereres der med følgende afgrøder:

Vintersæd, vårsæd, bælgæd, rodfrugter, græs i omdrift, græs uden for omdrift, vinterraps, vårraps, andre afgrøder.

For at kunne benytte afgrødedata fra gødningsdatabasen som inddata til de simple eksponentialfunktioner, er der foretaget en sammenlægning af følgende afgrøder: Ærter til konserves og bælgæd til modenhed slås sammen til "bælgæd". Andet frø til industribrug og frø til udsæd og gartneriafgrøder slås sammen til "andre afgrøder".

I gødningsdatabasens tabeller er landbrugsarealet opdelt på 5 brugstyper:

- svinebrug
- kvægbrug
- andre husdyrbrug
- planteavlere
- anonyme brug

Ved svinebrug forstås brug, hvor svinene udgør mindst 2/3 af brugets dyreenheder. Ved kvægbrug forstås brug, hvor kvæget udgør mindst 2/3 af brugets dyreenheder. Ved andre husdyrbrug

forstås de resterende brug. Uanset ovenstående definitioner, karakteriseres planteavlere dog som brug med færre end 0.5 dyreenheder/ha. Anonyme brug er brug, hvor brugstypen er maskeret af hensyn til landmændenes anonymitet.

Afgrødevalget for et brug må formodes at afhænge af brugstypen, og det er derfor nødvendigt at fremskaffe oplysninger om hvilke afgrøder, der dyrkes på de forskellige brugstyper. Disse oplysninger er ikke indeholdt i gødningsdatabasen.

Fra Danmarks Statistik er der imidlertid modtaget oplysninger om arealanvendelsesdata på brugstypeniveau. Heri figurerer ikke anonyme brug, men af fortrolighedshensyn er afgrødesammensætningen i nogle få kommuner for de forskellige brugstyper bestemt af den procentuelle sammensætning, som gælder for amtet for den tilsvarende brugstype.

I gødningsdatabasen er handelsgødningsforbruget opgjort på amtsniveau. For at estimere handelsgødningsforbruget på kommuneniveau kobles data for handelsgødningsforbruget på amtsniveau fordelt på brugstyper med arealdata for brugstyper på kommuneniveau. Det antages herved, at tildelingen af handelsgødning pr. ha for en given brugstype er ens for alle kommuner inden for et amt. Der ses herved bort fra, at mindre forskelle i afgrødefordelingen for en given brugstype mellem kommunerne inden for et amt, kan influere på handelsgødningsforbruget.

En sammenligning af handelsgødningsforbruget, som er fremkommet ved en stikprøveundersøgelse hos landmændene (gødningsdatabasen) og oplysninger, der er indsamlet af Plantedirektoratet og baseret på oplysninger fra danske importører og producenter (*Danmarks Statistik 1991*) viser, at forbruget opgjort via producenter og importører i perioden 1987-1990 generelt ligger ca. 16% over forbruget opgjort via landmænd. Lagerforskydninger hos mellemhandlere og forbrugere kan ikke forklare denne forskel, da tendensen er den samme for hele perioden 1987-1990.

Forbruget af handelsgødning i skovbrug, små landbrugsbedrifter, kommunale og amtslige anlæg, private golfbaner, private haver, -sommerhuse og kolonihaver er skønnet til at udgøre 8700 kg N (*Andersen 1991*), og kan forklare ca. 3 af de 16%.

Det vurderes, at det totale handelsgødningsforbrug opgjort via producenter og importører er det mest pålidelige.

Handelsgødningsforbruget skal derfor korrigeres således, at det totale handelsgødningsforbrug kommer til at stemme overens med det, der er opgivet af importører og producenter minus forbruget

til skovbrug, haver m.m. Dette gøres ved at multiplicere handelsgødningsforbruget fra gødningsdatabasen med en faktor 1,13.

Det skal dog understreges, at ovennævnte korrektion af handelsgødningsforbruget er behæftet med en usikkerhed. Usikkerheden skyldes bl.a., at landbrugsarealet, der indgår i Danmarks Statistiks landstællinger, muligvis ikke omfatter hele landbrugsarealet. Det skønnes dog, at det areal, som evt. mangler i Danmarks Statistiks landstællinger, er så lille, at det ikke har nogen afgørende betydning.

Husdyrgødningsproduktionen (ab lager) er i gødningsdatabasen opgjort på kommuneniveau for de 5 forskellige brugstyper. De anonyme brug udgør dog kun ca. 1% af den samlede husdyrgødningsproduktion, hvorfor der ses bort fra dem. I opgørelsen over husdyrgødningsproduktionen er der korrigeret for naboaftaler, der hvor det er oplyst, således at opgørelsen altså viser forbruget snarere end produktionen for den enkelte brugstype inden for en kommune.

Da husdyrgødningsforbruget for de forskellige brugstyper inden for en kommune kendes, og handelsgødningsforbruget kan estimeres, refterer der blot at fordele gødningen ud på de forskellige afgrøder.

Følgende metode er anvendt til at beregne handelsgødningsforbruget og husdyrgødningsforbruget på kommuneniveau for de forskellige afgrøder opdelt på brugstypeniveau.

Ved at anvende detaljerede oplysninger fra Plantedirektoratets (PD's) stikprøveanalyse om landbrugsrets aktuelle gødningspraksis på markniveau opdelt på brugstyper (*Frederiksen 1990*) kan afgrødernes gødningstildeling for hhv. handelsgødning og husdyrgødning for hver af brugstyperne beregnes.

Årsagen til, at afgrødernes gødningstildeling pr. ha fra PD ikke kan anvendes direkte, er at afgrødernes samlede gødningstildeling inden for en kommune ikke kommer til at svare til gødningstildelingen fra Miljøstyrelsens gødningsdatabase (MG). Dette skyldes dels, at afgrødefordelingen er forskellig og dels forskelle i gødningsniveauet mellem data fra PD og MG.

For at tage hensyn til dette foregår beregningen for hver kommune ved, at afgrødernes gødningstildeling pr. ha ifølge PD for hhv. handelsgødning og husdyrgødning for hver af brugstyperne multipliceres med en korrektionsfaktor, således at gødningstildelingen for hver af brugstyperne inden for en kommune kommer til at stemme overens med gødningstildelingen fra MG.

Beregningen foretages ved brug af følgende formel:

$$GF_{ij} \text{ pr. ha} = \frac{GF_{ij}(\text{PD}) \text{ pr. ha} \cdot GF_i(\text{MG})}{\sum_j GF_{ij}(\text{PD}) \cdot A_{ij}(\text{MG})}$$

$$i = 1..4 \quad j = 1..9$$

i = brugstyper j = afgrøder.

5.2.2 Regional fordeling af brugstyper, handels- og husdyrgødningsforbrug

I tabel 3 ses gødningsforbruget pr. ha for de forskellige brugstyper.

Tabel 3. Gødningsforbruget pr. ha i 1989.

Brugstype	Areal i ha	Handelsgødning kg N pr. ha	Husdyrgødning kg N pr. ha
Svinebrug	517130	124	160
Kvægbrug	851655	138	138
Blandede brug	123885	130	195
Plantebrug	1281970	135	10

I figur 4 og 5 vises, hvor stor en del af det samlede landbrugsareal, der udgøres af hhv. kvægbrug og svinebrug. I figur 6 vises, hvor stor en del af det samlede landbrugsareal, der udgøres af husdyrbrug ialt, dvs. kvægbrug, svinebrug og blandede brug. Det ses, at husdyrbrugene generelt udgør over 50% af arealet i Jylland og under 50% af arealet på Sjælland.

Den største koncentration af kvægbrug findes ligeledes i Jylland. I Østjylland er tendensen dog mindre udpræget. Ved sammenligning af figur 4 og figur 3 ses det, at der er en tendens til en negativ sammenhæng mellem det procentvise areal, der udgøres af kvægbrug og det procentvise areal, der udgøres af lerjorde.

Det er ikke muligt at identificere nogle generelle tendenser i svinebrugenes regionale fordeling.

I figur 7 ses forbruget af husdyrgødning i Danmark. Den regionale fordeling af husdyrgødningsforbruget følger i vid udstrækning den regionale fordeling af husdyrbrug.

Forbruget af handelsgødning (figur 8) udviser kun meget små regionale variationer og er mindst for Fyn og Østsjælland.

Forbruget af effektivt kvælstof (figur 9) dvs. handelsgødningsforbruget + husdyrgødningsforbruget \cdot værditallet udviser i store træk samme regionale variation som husdyrgødningsforbruget. Forbruget af effektivt kvælstof er beregnet for værditallet 33.

Baggrunden for at benytte et værdital på 33 er en stikprøveundersøgelse foretaget af DMU (*Grant et al., 1991*). Der er en vis usikkerhed forbundet med denne undersøgelse, da det kun er en stikprøveundersøgelse, men der foreligger pt. ikke andre undersøgelser, som bygger på et større datagrundlag. Værditallet vil som tidligere nævnt afhænge af en række forskellige faktorer, og det er altså en tilnærmelse at antage, at værditallet er konstant.

Det relative gødskningsniveau for kommunerne beregnet for et værdital på 33 er afbildet i figur 10. Ved det relative gødskningsniveau forstås den effektive gødningsmængde/normalgødskning. Det fremgår, at det relative gødskningsniveau generelt er størst i Jylland, og at det relative gødskningsniveau i høj grad er relateret til husdyrgødningsforbruget (figur 7).

6 Beregninger med eksponentialfunktionerne

I det følgende præsenteres nogle resultater, som er fremkommet ved at benytte de empiriske eksponentialfunktioner på datamateriale fra Danmarks Statistik og Plantedirektoratet.

Det antages, at værditallet = 33 og udvaskningsgraden er 0.75.

Baggrunden for at benytte en udvaskningsgrad på 0.75 er *Simmelsgaard (1991)*.

Beregningerne er som udgangspunkt foretaget på kommune- og brugstypeniveau, som er det mest detaljerede niveau, hvorpå beregningerne kan gennemføres. Resultaterne fra beregningerne skal generelt ikke opfattes som aktuelle udvaskmængder, da klimaets betydning ikke er medtaget, men snarere som et udtryk for de antropogene faktorerers betydning for udvaskningen.

Kvælstofudvaskningen summeret over hele landet er beregnet til at udgøre 214.000 t svarende til 77 kg N/ha.

6.1 Fraktiler

Beregning af kvælstofudvaskningen for en given kommune, brugstype, afgrøde og jordbund, kan foretages ved hjælp af kendskab til gødskningsniveauet fordelt på 10% fraktiler for arealet.

Formålet med at opdele arealet i fraktiler efter gødningniveauet er, at der herved tages hensyn til en ujævn gødningsfordeling. En "ujævn" gødningsfordeling vil forårsage en større udvaskning end en "jævn" gødningsfordeling. Dette skyldes, at udvaskningsfunktionerne er eksponentielle. Fraktilerne er genereret ved at sortere datamaterialet efter brugstyper og mængden af tildelt gødning. Datamaterialet kan derefter inddeles i grupper, der for hver brugstype indeholder 10% af arealet i den pågældende brugstype, således at gruppe 1 har det laveste gennemsnitlige gødningsforbrug, gruppe 2 det næstlaveste, osv.

Hvis arealet opdeles i fraktiler udgør den beregnede udvaskning 220.000 t. Betydningen af at medtage fraktilerne er altså kun 6.000 t eller ca. 3% af udvaskningen beregnet uden brug af fraktiler. Årsagen til, at fraktilerne ikke spiller en større rolle er, at udvaskningsfunktionerne er næsten lineære i det interval, hvor der normalt gødes, jvf. figur 1 og 2.

Da udvaskningen beregnet uden hjælp af fraktiler ikke afviger betydeligt fra udvaskningen beregnet vha. fraktiler, er de følgende beregninger foretaget uden hensyntagen til fraktiler.

6.2 Værdital og udvaskningsgrader

Der er, som tidligere nævnt, benyttet et værdital på 33 og en udvaskningsgrad på 0.75. Det er imidlertid meningsfuldt at undersøge, hvilken betydning værditallet og udvaskningsgraden har på udvaskningen. Udvasningsgraden kan i henhold til definitionen ikke overstige 1.0, og det er næppe sandsynligt, at den kan blive mindre end 0.5. Værditallet varierer afhængigt af landbrugspraksis, og et værdital på 40 svarer til en god udnyttelse, mens et værdital på 20 svarer til en ringe udnyttelse.

Tabel 4. Udvasningen i 1989 beregnet ved forskellige værdital og udnyttelsesgrader (tons N).

Udvg \ VT	20	33	40
0.50	218.000 t.	212.000 t.	209.000 t.
0.75	222.000 t.	214.000 t.	209.000 t.
1.0	226.000 t.	215.000 t.	209.000 t.

Af tabel 4 ses det, at udvaskningen varierer fra 209.000 t til 226.000 t afhængig af værdital og udvaskningsgrad. Det skal bemærkes, at udvaskningsmængderne i tabel 4 er beregnet på baggrund af aktuelle gødningsmængder, og gødningsmængderne er altså ikke justeret i forhold til værditallet. Tabel 4 viser således de simple ligningers følsomhed overfor variationer i værditallet, og ikke effekten på udvaskningsmængden af ændringer i værditallet.

6.3 Brugstype-, kommune-, amts- og landsniveau

Beregninger kan gennemføres med en grovere regional opdeling end kommuneniveau. F.eks. amtsniveau eller landsniveau. Beregningerne kan ligeledes gennemføres med eller uden underopdeling af regionerne i brugstyper. En grov opdeling af arealet vil resultere i, at en evt. spredning på gødskningsniveauet til de forskellige afgrøder vil blive skjult, og det vil dermed resultere i en underestimering af udvaskningen. Årsagen til at udvaskningen vil blive underestimeret er, at den benyttede udvaskningsfunktion er eksponentiel. I tabel 5 ses udvaskningen beregnet ved forskellige regionaliseringsniveauer samt med og uden hensyntagen til brugstyper.

Tabel 5. Udvasningen i 1989 beregnet ved forskellige aggregeringsniveauer (tons N).

Brugstype-niveau	Kommune-niveau	Amts-niveau	Lands-niveau
m/opdeling	214.000 t.	213.000 t.	212.000 t.
u/opdeling	208.000 t.	207.000 t.	204.000 t.

Af tabel 5 ses det, at den beregnede udvaskning varierer fra 204.000 t til 214.000 t afhængigt af aggregeringsniveau.

6.4 Brugstyper, amter, jordbundstyper og afgrøder

I tabel 6, 7, 8 og 9 ses udvaskningen opdelt på brugstyper, amter jordbundstyper og afgrøder.

Tabel 6. Beregnet udvaskning i 1989 fordelt på brugstyper.

Brugstype	Areal i ha	Udvaskning	
		t N	kg N/ha
Svinebrug	517130	59549	115
Kvægbrug	851655	70420	83
Blandede brug	123885	15593	126
Plantebrug	1281970	61844	53

Udvaskningen pr. ha fra husdyrbrugene er betydeligt større end fra plantebrugene. Svinebrugene og de blandede brug har den største udvaskning. Dette er imidlertid ikke helt i overstemmelse med resultatet af de undersøgelser, der er foretaget i forbindelse med landovervågningsprogrammet (*Grant et al., 1991*). Resultatet fra disse undersøgelser viste ganske vist også, at udvaskningen fra plantebrugene var mindst, men den største gennemsnitlige udvaskning blev fundet for kvægbrugene. Resultaterne viste endvidere en tydelig sammenhæng mellem dyretætheden og udvaskningen, således at udvaskningen steg med stigende dyretæthed.

I de ejendomme, som indgik i undersøgelsen var dyretætheden på kvægbrugene større end på svinebrugene, og dette i modsætning til datamaterialet, der er anvendt i denne rapport, hvor svinebrugene har en større dyretæthed end kvægbrugene. Denne forskel skyldes dels, at definitionerne for de forskellige brugstyper ikke er de samme i de to undersøgelser, og dels, at ejendommene, der indgår i landovervågningsprogrammet, ikke er fuldstændigt repræsentative for hele landet.

Tabel 7. Beregnet udvaskning i 1989 fordelt på amter.

Amt	Areal i ha	Udvaskning	
		t N	kg N/ha
Kbh/Frdb/Rosk	121966	6979	56
Vestsjælland	199499	12364	62
Storstrøms	241580	13319	55
Bornholm	34678	2349	68
Fyn	236002	16307	69
Sønderjylland	284207	21754	77
Ribe	203095	16496	81
Vejle	194131	16227	84
Ringkøbing	312649	29498	94
Århus	280912	20876	74
Viborg	266797	23901	90
Nordjylland	399124	33738	85

Den beregnede udvaskning for amterne varierer fra 55 kg N/ha for Storstrøms Amt til 94 kg N/ha for Ringkøbing Amt.

Tabel 8. Beregnet udvaskning i 1989 fordelt på jordbundstyper.

	Areal i ha	Udvaskning	
		t N	Kg N/ha
Sandjord	1674037	144463	86
Lerjord	1100603	69236	63

Den beregnede gennemsnitlige udvaskning for lerjordene er 63 kg N/ha, mens den for sandjordene er 86 kg N/ha.

Tabel 9. Beregnet udvaskning i 1989 fordelt på afgrødetyper.

Afgrødetype	Areal i ha	Udvaskning	
		t N	kg N/ha
Bælgsæd	131974	9129	69
Græs i omdrift	328044	11777	36
Græs udenfor omdrift	218734	5780	26
Rodfrugter	205102	29709	145
Vårraps	152941	18166	119
Vårsæd	948934	94430	100
Vinterraps	78962	4337	55
Vintersæd	613762	36904	60
Øvrige afgr.	96187	3475	36

Den beregnede udvaskning fra de forskellige afgrødetyper varierer fra 26 kg N/ha for græs uden for omdrift til 145 kg N/ha for rodfrugter. Ved sammenligning af den beregnede gennemsnitlige udvaskning for de forskellige afgrødetyper og normaludvaskningstallene fra tabel 2 ses det, at udvaskningen fra mange af afgrødetyperne langt overstiger normaludvaskningstallene. Udvasningen fra rodfrugter er beregnet til at være mere end en faktor tre større end normaludvaskningstallet. Udvasningen fra marker med vårraps og vårsæd er også beregnet til at være betydeligt større end normaludvaskningstallet.

Tabel 9 bør fortolkes med forsigtighed, da udvaskningen fra en given afgrøde i virkeligheden ikke blot afhænger af den aktuelle afgrøde men også afhænger af, hvilken forfrugt der har været dyrket.

6.5 Kommuner

Den beregnede udvaskning for kommunerne varierer fra 37 kg N/ha til 113 kg N/ha. I figur 11 er udvaskningen for kommunerne afbildet på et Danmarkskort.

Af figur 11 ses det, at udvaskningen pr. ha generelt er større for Jylland end for resten af landet. Det ses endvidere, at udvaskningen for Vestjylland er særligt stor.

6.6 Perioden 1987-1990

I tabel 10 ses kvælstofudvaskningen beregnet for årene 1987-1990. Udvasningen er beregnet på amtsniveau uden hensyntagen til brugstyper, da der ikke haves kommunedata for alle årene og ikke haves oplysninger om afgrødefordelingen på brugstyper. Koblingen af data mellem Danmarks Statistik og Plantedirektoratet er således foretaget uden hensyntagen til brugstyperne. Tabellen viser udviklingen i udvaskningen som funktion af afgrødefordeling og gødningsforbrug, og klimaets betydning er ikke medregnet.

Tabel 10. Beregnet udvaskning for årene 1987-1990.

År	Areal i ha	Udvaskning	
		t N	kg N/ha
1987	2797777	208586	75
1988	2786608	210016	75
1989	2774190	201554	73
1990	2788272	194538	70

Det skal bemærkes, at der er en uoverensstemmelse mellem udvaskningen for 1989 beregnet som ovenfor skitseret (tabel 10) og udvaskningen for 1989 beregnet på amtsniveau uden hensyntagen til brugstyper, som udgør 207.000 t (tabel 5).

Dette skyldes, at der kun for 1989 haves oplysninger, som sammenkæder afgrødevalg med brugstyper. Koblingen af data fra Danmarks Statistik og Plantedirektoratet er derfor i tabel 5 foretaget på brugstypeniveau, mens den for perioden 1987-1990 (tabel 10) på grund af manglende oplysninger ikke er foretaget på brugstypeniveau.

Udvaskningen var størst i 1987 og 1988 (75 kg N/ha) og mindst i 1990 (70 kg N/ha). En analyse af hvilke faktorer der har forårsaget dette fald i udvaskningen er naturligvis af interesse, men man skal være varsom i fortolkningen af resultatet. Man kan umiddelbart foranlediges til at tro at årsagen til nedgangen i udvaskningen skyldes en stigning i arealet, der er dyrket med vintersæd, som har et relativt lavt normaludvaskningsniveau. Arealet af vintersæd er steget fra 583.000 ha i 1987 til 770.000 ha i 1990.

Denne fortolkning er imidlertid usikker, hvilket skyldes, at normaludvaskningstallene og parametrene i de benyttede udvaskningsfunktioner kun gælder for en sædskiftepraksis, der svarer til den, hvorunder tallene er estimeret. En stigning i arealet med vintersæd, som jo er en ændring af sædskiftepraksis, vil resultere i et forøget gødningsforbrug, og dette vil muligvis påvirke udvask-

ningen af de efterfølgende afgrøder i sædskiftet, således at udvaskningen bliver større. Omvendt optager vintersæd mere kvælstof end vårsæd, hvilket vil have den modsatte effekt.

Disse spekulative overvejelser er nævnt for at understrege den forsimplede virkelighed, som udvaskningsfunktionerne repræsenterer, således at man ikke foranlediges til at overfortolke resultaterne.

7 Sammenligning med øvrige opgørelser

Udvaskningen for Danmark er ikke målt, og det er derfor problematisk at give en vurdering af, hvor godt udvaskningsberegningerne stemmer overens med virkeligheden. Der er reelt kun tre muligheder for at foretage en vurdering af pålideligheden af udvaskningsberegningerne. De tre muligheder er hhv. at sammenligne med modelberegninger foretaget vha. af Daisy, at sammenligne med kvælstofbalancer for dansk landbrug og at sammenligne med beregninger baseret på kvadratnetsundersøgelser.

7.1 Sammenligning med Daisy

I tabel 11 ses en sammenligning mellem resultater fra året 1989 beregnet med hhv. Daisy (*Nielsen et al., 1992*) og de simple eksponentialfunktioner. Eksponentialfunktionerne er for lerjordene korrigeret mht. til afstrømning fra rodzonen efter et beregningsprincip foreslået af *Simmelsgaard (1991)*. Dette gøres for at estimere betydningen af afstrømningsmængder der afviger fra normalafstrømningen.

Daisy-beregningerne er endvidere korrigeret, da det formodes, at Daisy underestimerer udvaskningen med ca. 10% pga. en overestimering af planteproduktionen (*Miljøstyrelsen, 1990*).

Tabel 11. Sammenligning af udvaskningen for regioner i Danmark i 1989 beregnet vha. af Daisy og simple eksponentialfunktioner (1000 tons N).

	V-Jyl.	N-jyl.	Ø-jyl.	Fyn	Sjæll.	DK.
Daisy	68	24	21	11	12	136
Korrektion	7	2	2	1	1	14
Daisy korrigeret	75	26	23	12	13	150
Eksponentialfunk.	92	34	37	16	35	214
Korrektion	-1	-2	-6	-3	-15	-27
Eksp. korrigeret	91	32	31	13	20	187
Afvigelse fra Daisy	22%	21%	34%	7%	52%	25%

Det ses, at der i forhold til de usikkerheder, der normalt anses for at være på udvaskningsberegninger, er en rimelig overensstemmelse mellem udvaskningen beregnet med de to metoder. Specielt er der store usikkerheder forbundet med de korrektioner, der er foretaget. Der er en generel tendens til, at udvaskningen er mindst beregnet ved hjælp af Daisy. Denne forskel kommer tydeligst til udtryk for Sjælland og Østjylland.

Ved Sjælland forstås her alle øerne bortset fra Fyn.

Nielsen *et al.* (1992) har ved hjælp af Daisy beregnet den årlige udvaskning i perioden 1986-1990. Den gennemsnitlige årlige udvaskning blev beregnet til 169.000 tons N. Korrigeres dette tal pga. af overestimering af planteproduktion udgør den gennemsnitlige årlige udvaskning i denne periode 186.000 tons N. De herved fremkomne 186.000 tons N kan sammenlignes med udvaskningen beregnet vha. de simple eksponentialfunktioner som udgør 214.000 tons N. Afvigelsen i forhold til Daisy udgør herved 15%. Denne sammenligning bygger på antagelser om, at gennemsnitsklimaet i den pågældende periode tilnærmelsesvis svarer til et "normalklima", og at afgrødefordeling og gødningsforbrug ikke adskiller sig markant fra datagrundlaget, der er benyttet i beregningerne med de simple eksponentialfunktioner.

7.2 Sammenligning med massebalancer

Totalbalancer for kvælstofudvaskningen i dansk landbrug for perioden 1980-1988 er opstillet af Nielsen (1990). Kvælstoftabet varierer fra 421.000 t til 479.000 t og er mindst for året 84/85 og størst for året 80/81. Det seneste år, hvor der er opstillet kvælstofbalancer er 87/88, og tabet udgjorde det pågældende år 431.000 t. Kvælstoftabet opgjort i disse balancer er imidlertid ikke kun kvælstofudvaskningen, men består af det samlede kvælstoftab fra landbruget. Det samlede kvælstoftab kan opdeles i flg. tab:

- Ammoniakfordampning
- Ammoniakkludning af halm
- Denitrifikation
- Halmafabrænding
- Opbygning i humuspulje
- Udvaskning af organisk N
- Udvaskning af uorganisk N

For at kunne foretage en sammenligning mellem udvaskningsberegninger med de simple eksponentialfunktioner, som er udvaskning af uorganisk N og totalbalanceopgørelser, er det derfor nødvendigt at estimere de øvrige tab.

Ammoniakfordampningen for Danmark (herunder fordampning fra husdyr- og handelsgødning og ammoniakkludning af halm er opgjort af *Miljøstyrelsen (1992)* til at udgøre ca. 110.000 t N/år. Kvælstof tabt ved denitrifikation kan anslås til at udgøre ca. 60.000 t N/år (*Miljøstyrelsen, 1990*).

Kvælstof tabt ved halmafabrænding udgør ca. 5.000 t N/år (*Nielsen, 1990; Miljøstyrelsen, 1990*).

Kvælstof til opbygning i humuspulje er anslået til 25.000 t N/år (*Miljøstyrelsen, 1990*).

Udvaskning af organisk N kan anslås til at udgøre 20.000 t N/år (*Miljøstyrelsen, 1990*).

Ved at fratække de ovennævnte tab fra totaltabet på 431.000 t fås et udtryk for udvaskningen af uorganisk N beregnet ved hjælp af balanceopgørelser.

Udvaskningen beregnet efter ovenstående princip udgør 211.000 t N/år.

Det skal dog bemærkes, at de fleste af de estimerede kvælstoftabsposter, (ammoniakfordampning, denitrifikation, opbygning af humuspulje og udvaskning af organisk N) er behæftet med store usikkerheder.

Det fremgår, at der er god sammenhæng mellem den beregnede udvaskning for de to metoder, men man bør ikke opfatte resultatet af denne sammenligning som en egentlig validering af udvaskningsfunktionerne, da opgørelser foretaget ved hjælp af massebalancer, som før nævnt, er behæftet med store usikkerheder.

7.3 Sammenligning med kvadratnetsundersøgelser

Den gennemsnitlige årlige N-udvaskning for Danmark i perioden 1986-1990 er beregnet ved hjælp af målinger fra kvadratnettet (*Breuning-Madsen et al., 1991*). Beregningerne er foretaget ved hjælp

af målinger af nitratkoncentrationer i jorden og oplysninger om nettonedbøren. Beregningerne er behæftet med en betydelig usikkerhed, da nitratkoncentrationen kun er målt to gange årligt. Den gennemsnitlige årlige udvaskning blev beregnet til 57 kg N/ha. Sammenlignes beregninger med de simple ligninger (77 kg N/ha) med ovennævnte tal, fås en afvigelse på 35%.

8 Konklusion

Regionale beregninger kan foretages ved hjælp af de simple ligninger, ved hjælp af komplekse simuleringsmodeller, ved hjælp af massebalancer og ved hjælp af et omfattende måleprogram.

Anvendelse af komplekse simuleringsmodeller til regionale beregninger er tidskrævende, og der er behov for at udvikle metoder til at opskalere resultater fra markniveau til regionalt niveau. Endvidere er datagrundlaget for anvendelsen af de komplekse modeller på regionalt niveau mangelfuldt.

Massebalancemetoden er en usikker metode til beregning af kvælstofudvaskning, da kvælstofudvaskningen beregnes som en differens, og flere af posterne i en sådan kvælstofbalance er behæftet med store usikkerheder.

Resultater fra målinger kan anvendes til at beregne udvaskning i de samme år, som målingerne er foretaget, men kan ikke anvendes til scenarieberegninger, uden at der opstilles nogle funktionelle sammenhænge.

De simple empiriske ligninger tager udgangspunkt i normaludvaskningsniveauet på ler- og sandjorde for forskellige afgrøder. De beskriver ændringer i udvaskningen som følge af ændringer i de variable, der indgår i ligningerne (jordbund, gødsning og afgrøde).

De simple ligninger kan ikke anvendes til at beregne effekter af ændringer i parametre, der ikke indgår i ligningerne. Til dette formål bør komplekse simuleringsmodeller anvendes.

De simple ligninger er velegnede til scenarieberegninger, som omhandler menneskeskabte faktorerers betydning for udvaskningen. Datagrundlaget med hensyn til de parametre, der indgår i ligningerne, er forholdsvis godt, og en sammenligning med de øvrige metoder viser en rimelig overensstemmelse.

Kilder:

Andersen, J.M. (1991): Sammenligning mellem Plantedirektoratets og Danmarks Statistiks handelsgødningsopgørelse. Arbejdsgruppen omkring handelsgødningsstatistik. Danmarks Statistik (1991).

Asman, W.A.H. (1990): Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen A18.

Breuning-Madsen, H., Østergaard, H.S., Mikkelsen, H., Andreassen, G.K. og Jensen, N.H.(1991): Kvadratnettet anvendt i regionale udvaskningsberegninger. Vand og Miljø 8(4): 164-165.

Christensen, N., Ernstsén, V., Jørgensen, F. og Vinter, F.P. (1991): Ændringer i næringsstofomsætning på marginaliseret landbrugsjord. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen A13.

Danmarks Statistik (1991): Landbrugsstatistik 1990.

Frederiksen H. (1990): Rapport om Overvågning af Sædskifte og Gødningsplaner samt grønne marker i jordbruget i 1989. Plantedirektoratet (1990).

Grant, R., Bak, J., Berg, P. & Skop, E. (1991): Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1990. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr. 39.

Hansen, B., Djurhuus, J., Christensen, N., Jacobsen, O.J. og Hoffmann, C.C. (1991): Analyse af jordvands sammensætning - metodesammenligning. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen A17.

Hansen, E. (1990): Overgødsning med kvælstof i dansk landbrug. Ugeskrift for Jordbrug nr. 35/36.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. og Svendsen, H. (1990): Daisy. A Soil Plant System Model. Danish Simulation Model for Transformation and Transport of Energy and Matter in the Soil Plant Atmosphere System. NPO-Research Report A10. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen.

Jury, W.A. og Roth, K. (1990): Transfer functions and solute movement through soil. Theory and applications. Birkhauser Verlag Basel.

Landskontoret for Planteavl (1992): Optimal udnyttelse af husdyrgødning. Landbrugets informationskontor (1992).

Miljøstyrelsen (1990): Vandmiljø 90. Samlet status over vandmiljøet i Danmark. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 1, 1990.

Miljøstyrelsen (1992): Redegørelse om ammoniakfordampning fra stald og lager.

Nielsen, H. (1990): Kvælstofstrømme i dansk landbrug 1980-1988. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr. 3.

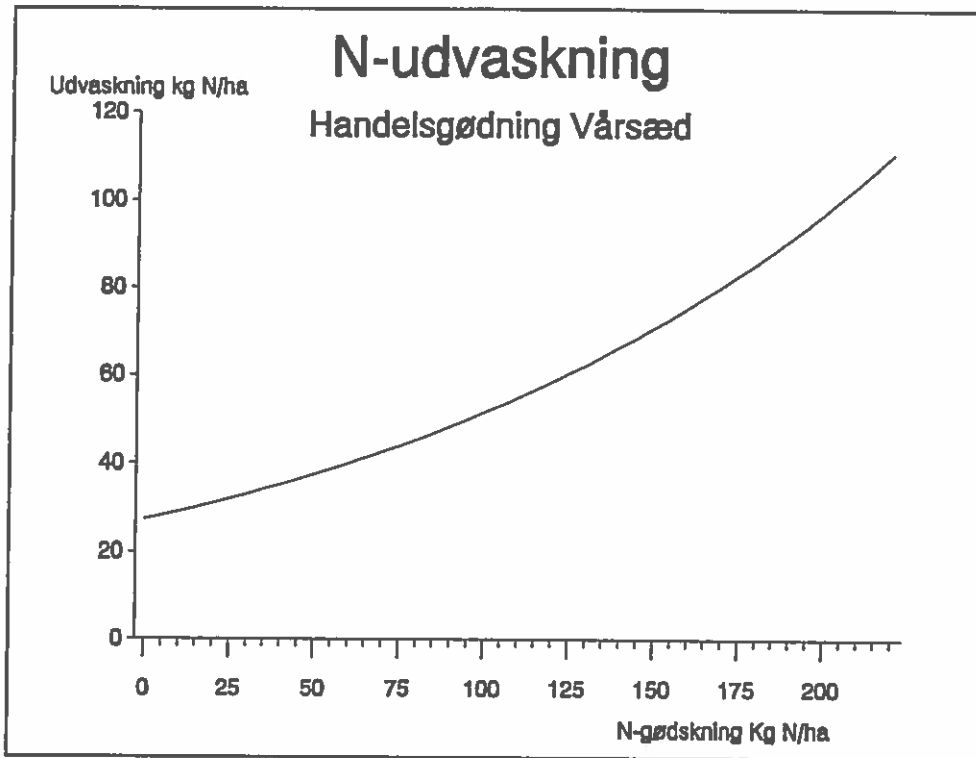
Nielsen, H., Blicher-Mathiesen, G., Jensen, C. og Erlandsen, M. (1992): Modelberegning af den regionale kvælstofudvaskning. Danmarks Miljøundersøgelser. 105 s. Faglig rapport fra DMU nr. 16.

Rude, S. (1991): Kvælstofgødning i landbruget - behov og udvaskning nu og i fremtiden. Statens jordbrugsøkonomiske Institut (1991).

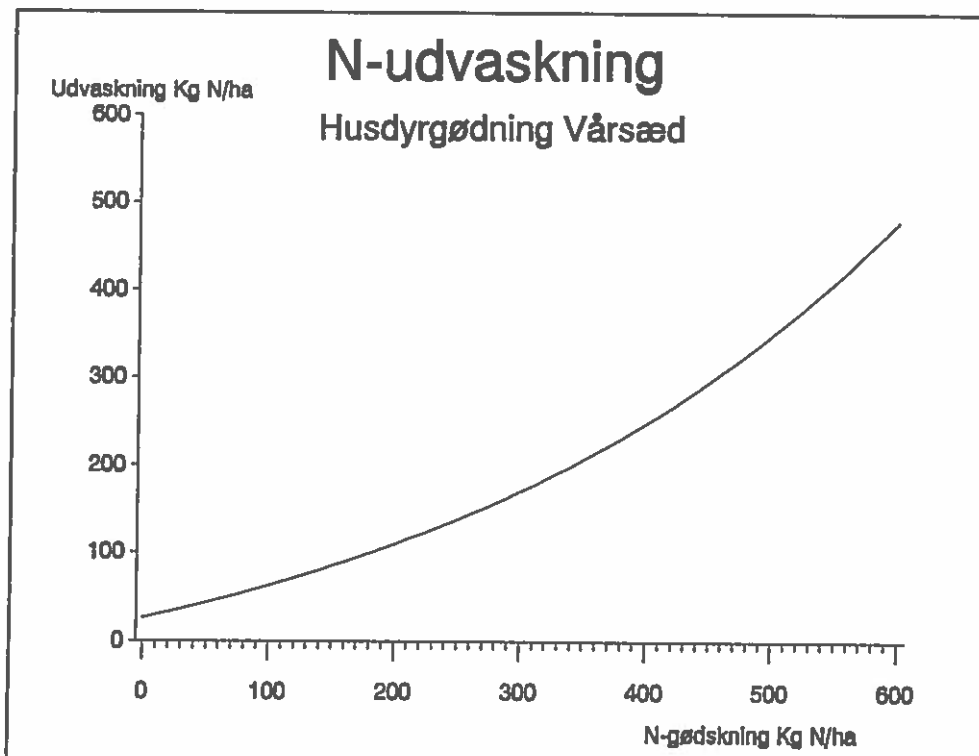
Simmelsgaard, S.E. (1991): Estimering af funktioner for kvælstofudvaskning: Kvælstofgødning i landbruget - behov og udvaskning nu og i fremtiden. Statens jordbrugsøkonomiske Institut (1991).

Thomasson, A.J. (1991): Soil and groundwater research report II. Nitrate in soils. Commission of the European Communities.

Bilag I: Kurveforløb af udvaskningsfunktioner



Figur 1. N-udvaskningen for vårsæd på lerjord som funktion af handelsgødningsforbruget.



Figur 2. N-udvaskningen for vårsæd på lerjord som funktion af husdyrgødningsforbruget.



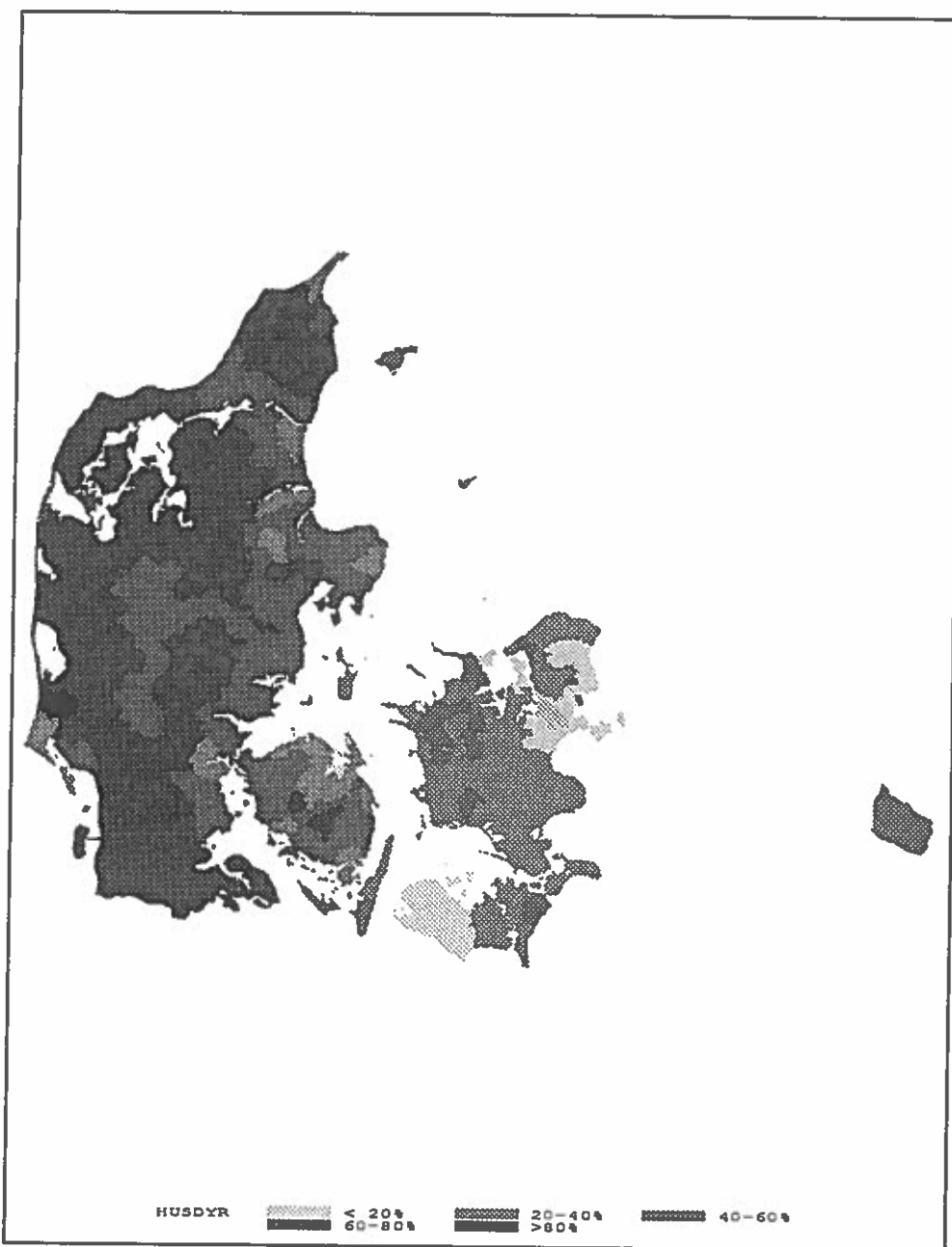
Figur 3. Landbrugsareal med lerjord i % af det totale landbrugsareal.



Figur 4. Landbrugsareal med kvægbrug i % af det totale landbrugsareal i 1989.



Figur 5. Landbrugsareal med svinebrug i % af det totale landbrugsareal i 1989.



Figur 6. Landbrugsareal med husdyrbrug i % af det totale landbrugsareal i 1989.



Figur 7. Forbrug af kg N i husdyrgødning pr. ha landbrugsareal i 1989.



Figur 8. Forbrug af kg N i handelsgødning pr. ha landbrugsareal i 1989.



Figur 9. Forbrug af kg effektivt N pr. ha landbrugsareal i 1989.



Figur 10. Relativt gødningsforbrug for kommunerne i 1989.



Figur 11. Kg N udvasket pr. ha landbrugsareal i 1989.

Bilag III: Terminologi i udvaskningsfunktioner

Funktionsudtrykket, som er opstillet af *Simmelsgaard (1990)* for handelsgødede marker, er

$$y = y_n e^{0.7(N-1)}, \text{ kg/ha} \quad (5)$$

hvor

- N = Relativ N-gødskning i andele af normalgødskning (1N), til den pågældende afgrøde
- y = N-udvaskning, kg/ha
- y_n = N-udvaskning ved normalgødskning (1N), kg/ha

Da ligningen kun gælder for marker, der er gødet med handelsgødning, kan den relative N-gødskning (N) i (5) omskrives til $N_{\text{hag}}/N_{\text{norm}}$,

hvor

- N_{hag} = N-gødskning med handelsgødning, kg/ha
- N_{norm} = Normalgødskning med handelsgødning til den pågældende afgrøde, kg/ha.

Ligeledes kan N-udvaskningen (y) omskrives til y_{hag} ,

hvor

- y_{hag} = N-udvaskning, når der gødet med handelsgødning, kg/ha.

Ved N-udvaskningen ved normalgødskning (y_n), er det underforstået, at der udelukkende er gødet med handelsgødning.

y_n kan derfor omskrives til y_{nhag} ,

hvor

- y_{nhag} er N-udvaskningen ved normalgødskning med handelsgødning ($N_{\text{hag}}/N_{\text{norm}} = 1$), kg/ha.

Efter ovennævnte omskrivninger fås følgende ligning til beregning af N-udvaskningen fra handelsgødede marker:

$$y_{hag} = y_{nhag} e^{0.7((N_{hag}/N_{norm})-1)}, \text{ kg/ha} \quad (6)$$

hvor

N_{hag} = N-gødskning med handelsgødning, kg/ha

N_{norm} = Normalgødskning med handelsgødning til den pågældende afgrøde, kg/ha

y_{hag} = N-udvaskning, når der er gødet med handelsgødning, kg/ha

y_{nhag} = N-udvaskning ved normalgødskning med handelsgødning ($N_{hag}/N_{norm}=1$), kg/ha.

Funktionsudtrykket, som er opstillet af *Simmelsgaard* (1990) for husdyrgødede marker, er

$$y = y_n (4.6 e^{0.7(N-1)} - 1.8), \text{ kg/ha} \quad (7)$$

hvor

N = Relativ N-gødskning med effektivt kvælstof i andele af normalgødskning (1N) til den pågældende afgrøde

y = N-udvaskning, kg/ha

y_n = N-udvaskning ved normalgødskning (1N), kg/ha.

Ligningen er fremkommet under forudsætning af, at værditallet = 40.

Da ligningen kun gælder for marker, der er gødet med husdyrgødning, samt at den effektive kvælstofmængde = kvælstofmængden i husdyrgødningen · værditallet/100, kan den relative N-gødskning med effektivt kvælstof (N) i (7) omskrives til

$$(N_{hug} \cdot (40/100)) / N_{norm}$$

hvor

N_{hug} = N-gødskning med husdyrgødning, kg/ha

N_{norm} = Normalgødskning til den pågældende afgrøde, kg/ha.

N-udvaskningen (y) kan omskrives til y_{hug} ,

hvor

y_{hug} = N-udvaskning, når der gødet med husdyrgødning, kg/ha.

Ved N-udvaskningen ved normalgødskning (y_n), er det en forudsætning, at der udelukkende er gødet med handelsgødning.

y_n kan derfor omskrives til y_{nhag} ,

hvor

y_{nhag} er N-udvaskningen ved normalgødskning med handelsgødning
($N_{hag}/N_{norm} = 1$), kg/ha.

Efter ovennævnte omskrivninger fås følgende ligning til beregning af N-udvaskningen fra husdyrgødede marker:

$$y_{hug} = y_{nhag} (4.6 e^{0.7 \left(\frac{40 \cdot N_{hug}}{N_{norm}} \right) - 1} - 1.8), \text{ kg/ha} \quad (8)$$

hvor

N_{hug} = N-gødskning med husdyrgødningskvælstof, kg/ha

N_{norm} = Normalgødskning til den pågældende afgrøde, kg/ha

y_{hug} = N-udvaskning, når der er gødet med husdyrgødning, kg/ha

y_{nhag} = N-udvaskning ved normalgødskning med handelsgødning

$N_{hag} = N_{norm}$ kg/ha.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser *Direktion og Sekretariat*
Postboks 358 *Forsknings- og Udviklingssekretariat*
Frederiksborgvej 399 *Afd. for Forureningskilder og*
4000 Roskilde *Luftforurening*
 Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi
 Afd. for Miljøkemi
 Afd. for Systemanalyse

Tlf. 46 30 12 00
Fax 46 30 11 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Ferskvandsøkologi*
Postboks 314 *Afd. for Terrestrisk Økologi*
Vejløvej 25
8600 Silkeborg

Tlf. 89 20 14 00.
Fax 89 20 14 14.

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Flora- og Faunaøkologi*
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde

Tlf. 89 20 14 00.
Fax 89 20 15 14.

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, Danish Review of Game Biology samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.

