

Samfund og Miljø

Tema: Integrerede miljøinformations-systemer - IMIS

Titel: Estimering af emission af metan og lattergas fra landbruget

(baseret på IPCC's estimationsmetode)

DANMARKS
MILJØUNDERSØGELSE
BIBLIOTEKET
Vejsøvej 25, Postboks 314
8600 Silkeborg

Arbejdsrapport fra DMU nr.: 116

Samfund og Miljø - Integrerede
miljøinformationssystemer (IMIS)

**Estimering af emission af metan og
lattergas fra landbruget**

(baseret på IPCC's estimationsmetode)

Johnny M. Andersen
Afdeling for Systemanalyse

DANMARKS
MILJØUNDERSØGELSER
BIBLIOTEKET
Vejsøvej 25, Postboks 314
8600 Silkeborg

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
1999

Datablad

Titel:	Estimering af emission af metan og lattergas fra landbruget (baseret på IPCC's estimationsmetode)
Undertitel:	Samfund og Miljø - Integreerede Miljøinformationssystemer (IMIS)
Forfatter:	Johnny M. Andersen
Afdeling:	Afdeling for Systemanalyse
Serietitel og nummer:	Arbejdsrapport fra DMU nr. 116
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©
Udgivelsestidspunkt:	December 1999
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
Bedes citeret:	Andersen, J. M. (1999): Estimering af emission af metan og lattergas fra landbruget (baseret på IPCC's estimationsmetode). Samfund og Miljø. Integreerede Miljøinformationssystemer. Danmarks Miljøundersøgelser. 47 s. Arbejdsrapport fra DMU nr. 116.

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Abstract: Der har været en stigende interesse for tilvejebringelse af et integreret modelværktøj til at belyse såvel økonomiske som miljømæssige konsekvenser af landbrugs- og miljøpolitiske tiltag. Intentionen hermed er at kunne afdække effekterne af alternative udviklingsforløb for landbruget på konsistent vis. Nærværende arbejdsrapport er et led i denne bestræbelse. Konkret er der tilvejebragt en model til at belyse emissionen af metan og lattergas fra landbruget som følge af forskydninger i landbrugsproduktionen. Modellen er primært baseret på IPCC's estimationsmetode. Parametriseringen af modellen er imidlertid baseret på danske landbrugsforhold, og desuden er modellens operationelle udtryk tilpasset det øvrige landbrugsmodelkompleks.

ISSN:	1395-5675
Papirkvalitet:	Genbrugspapir
Tryk:	Grafisk Service, RISØ
Sideantal:	47
Oplag:	100
Pris:	kr. 50,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postbox 358
4000 Roskilde
Tlf. 46 30 12 00
Fax 46 30 11 14

Miljøbutikken
Information og Bøger
Læderstræde 1
1201 København K
Tlf.: 33 37 92 92
Fax: 33 92 76 90
e-mail: butik@mem.dk
URL: www.mem.dk/butik

Indholdsfortegnelse

Forord 5

1 Sammenfatning 6

2. Indledning 9

- 2.1 NP-modellen og drivhusgasmodulerne 9
- 2.2 Indhold, disposition og afgrænsning 12

3. Koefficienter for emissionen af methan 13

- 3.1 Korrektion for udeladte dyr og svingninger i husdyrbestanden 14
- 3.2 Reestimation af emissionskoefficienterne fra fordøjelsesprocessen 15
- 3.3 Reestimation af emissionskoefficienterne fra gødningsomsætningen 19
- 3.4 Emissionen af methan i relation til NP-modellen 21

4. Koefficienter for emissionen af lattergas 23

- 4.1 Emissionen af lattergas fra gødningshåndteringen 23
- 4.2 Emissionen af lattergas fra mark (excl. organogene jorde) 25
 - 4.2.1 Bidrag fra handelsgødning 26
 - 4.2.2 Bidrag fra udbragt husdyrgødning 27
 - 4.2.3 Bidrag fra biologisk kvælstoffiksering 29
 - 4.2.4 Bidrag fra planteresidualer 32
 - 4.2.5 Bidrag fra husdyrgødning afsat under udbinding 34
 - 4.2.6 Bidrag fra kvælstofdeposition (ammoniakemission) 36
 - 4.2.7 Emissionen af lattergas fra mark i relation til NP-modellen 38
- 4.3 Emissionen af lattergas fra kvælstofudvaskning 40
- 4.4 Emissionen af lattergas fra organogene jorde 41
- 4.5 Den samlede emission af lattergas i relation til NP-modellen 42

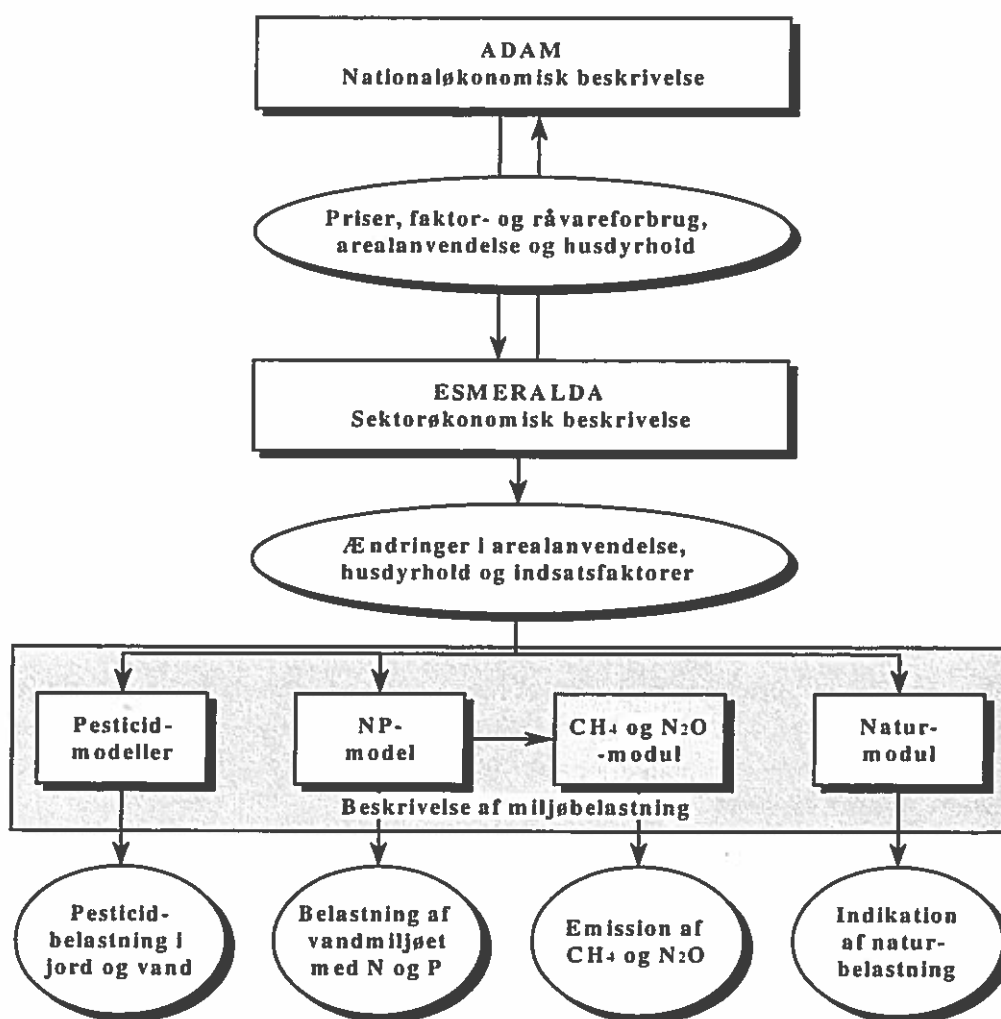
5. Emissionen af methan og lattergas i året 1995 44

6. Referencer 46



Forord

I 1996 påbegyndtes et projekt under Miljø- og Energiministeriets aktiviteter vedr. integrerede miljø-informationssystemer (IMIS). I den forbindelse indgik Danmarks Miljøundersøgelser og Miljø- og Energiministeriets departement i 1995 en kontrakt vedr. projektet "Integrerede modeller som prognose- og prioriteringsværktøj". Et af delprojekterne omhandlede udvikling af fremskrivningsværktøj for landbrugssektoren og dens miljøbelastning. Formålet med projektet var at tilvejebringe et samlet modelsystem, der kan belyse såvel økonomiske som miljømæssige konsekvenser af landbrugs- og miljøpolitiske indgreb. Intentionerne var at udvikle et integreret system på basis af eksisterende modeller, jf. nedenstående skitse, der kunne analysere effekterne af alternative scenarier på konsistent vis.



Skitse af det fuldt udbyggede landbrugsmodelkompleks (Andersen et al., 1998)

Nærværende notat, som ligeledes er udført i IMIS-regi, udgør den formaliserede beskrivelse af emissionen af methan og lattergas fra landbruget og er således et bidrag til beskrivelsen af det samlede modelkompleks. *NP-modellen* spiller i den sammenhæng en særlig rolle i landbrugsmodelkomplekset på grund af dens indhold af data om landbrugsaktiviteter, som er den primære datakilde til drivhusgasmodul.

1 Sammenfatning

Det er intentionen at tilvejebringe et samlet modelkompleks, der kan belyse såvel økonomiske som miljømæssige konsekvenser af landbrugs- og miljøpolitiske indgreb. Intentionerne er at udvikle et integreret system på basis af eksisterende modeller, der kan analysere effekterne af alternative scenarier på konsistent vis. Dette med henblik på at dække behovet for viden i miljøforvaltningen om hvorledes alternative udviklingsforløb påvirker såvel landbruget selv som det omgivende miljø.

Nærværende notat bidrager til modelkomplekset ved en formaliseret beskrivelse af emissionen af lattergas og methan fra landbruget. Som sådan er papiret et rent teknisk notat, der blot har til formål at redegøre for estimeringen af emissionen af methan og lattergas som et særskilt modul i landbrugsmodelkomplekset.

Bindeledet til modelkomplekset er Danmarks Miljøundersøgelses NP-model, der blandt andet estimerer kvælstofudvaskning fra rodzonen og emissionen af ammoniak. Begrundelsen for ophængen er dels at udnytte datafællesskabet og dels at sikre konsistente estimater med det øvrige modelkompleks.

Ved estimeringen af emissionen for methan og lattergas er der taget udgangspunkt i IPCC's beregningsrutiner og default-koefficienter. Sidstnævnte er i bedste fald genereret på baggrund af gennemsnitlige landbrugsforhold i Vesteuropa, som ikke nødvendigvis er sammenfaldende med danske landbrugsforhold. Ved beskrivelsen af emissionen er default-koefficienterne derfor i vid omfang reestimeret til at modsvare danske landbrugsforhold. Samtidig er opløsningsgraden i estimationen øget med henblik på en mere præcis bestemmelse af emissionen. Eksempelvis er IPCC's estimater baseret på 6 husdyrkatogrier, hvorimod nærværende model opererer med 18 husdyrkatogrier.

Methan

Emissionen af methan, som genereres som et biprodukt under husdyrholdets fordøjelsesproces og under omsætningen af det organiske stof i husdyrgødningen, er under danske forhold formuleret som produktet af antallet af dyr og emissionen af methan pr. husdyrkatogri, jf. nedenstående ligning og tabel:

$$CH_4\text{-total} = \sum Antal_dyr_{kat} \cdot CH_4\text{-koef}_{kat}$$

Emissionskoefficienterne er estimeret for danske landbrugsforhold svarende til 1995-situationen, som er NP-modellens nuværende basis. Ved ændring i udskillelsen af kvælstof pr. husdyrkatogri, gødningshåndteringen, energifordøjeligheden mv. vil emissionsfaktorerne ligeledes forandres, og dette forhold er ikke reflekteret i ovenstående beskrivelse. Følgelig har den anvendte formulering en begrænset udsagnskraft. Intentionen har imidlertid udelukkende været at tilpasse IPCC's default-koefficienter til danske forhold, og som sådan må reestimeringen betragtes som værende en grundlæggende og væsentlig forbedring, idet IPCC's default-koefficienter ligeledes er konstante over tid.

Tabel 1.1. Koefficienter for methanemissionen for husdyrkategorier i NP-modellen. 1995

Husdyrkategori		Emission af CH ₄	Husdyrkategori		Emission af CH ₄
		kg CH ₄ /dyr/år			kg CH ₄ /dyr/år
DYR01	Malkekøer, st. race.....	126,01	DYR10	Slagtesvin.....	4,03
DYR02	Malkekøer, jersey.....	126,01	DYR11	Høner (100 stk.).....	6,42
DYR03	Tyre, stor race.....	41,80	DYR12	Høniker (100 stk.).....	7,01
DYR04	Tyre, jersey.....	41,80	DYR13	Slagtekyllinger (100 stk.).....	2,35
DYR05	Opdræt, stor race.....	35,52	DYR14	Kalkuner (100 stk.).....	7,74
DYR06	Opdræt, jersey.....	35,52	DYR15	Ænder (100 stk.).....	3,92
DYR07	Ammekøer.....	49,73	DYR16	Gæs (100 stk.).....	4,31
DYR08	Søer.....	7,77	DYR17	Moderfår.....	14,46
DYR09	Smågrise.....	2,55	DYR18	Heste.....	19,10

Anm. Methanemissionen fra væddere, gimmeropdræt, lam, avlsøer, sopolte, udsætersøer og -øer og haner er indeholdt under henholdsvis moderfår, søer og høner.

Lattergas

Emissionen af lattergas fra landbruget, som fremkommer ved den mikrobielle omsætning af organisk stof ved denitrifikations- og nitrifikationsprocesserne, er under danske forhold formuleret som vist i nedenstående ligning og tabeller:

$$N_2O_{total} = \frac{44}{28} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left(\sum Antal_dyr_{kat} \cdot Emisfaktor8_{kat} \right) \\ + \left(\sum Areal_{afgr} \cdot Emisfaktor7_{afgr} \right) \\ + 0,0122 \cdot N-han_{total} + 0,01 \cdot NH_3-N_{total} \\ + 0,03375 \cdot N-udvaskning + 55.200 \end{array} \right\}$$

hvor N_2O_{total} er den totale emission af lattergas fra landbruget pr. år (kg N₂O/år)

$Antal_dyr_{kat}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

$Emisfaktor8_{kat}$ er emissionen af lattergas pr. dyr for gødningshåndteringen samt udbragt og afsat gødning på mark fra en given husdyrkategori, jf. tabel 1.2 (kg N₂O-N/dyr/år)

$Areal_{afgr}$ er arealet med en given afgrøde (ha)

$Emisfaktor7_{afgr}$ er emission af lattergas pr. ha fra planteresidualer og N-fiksering fra en given afgrøde, jf. tabel 1.3 (kg N₂O-N/ha/år)

$N-han_{total}$ er det totale forbrug af handelsgødning i landbruget i NP-modellen (kg N/år)

NH_3-N_{total} er emissionen af ammoniakkvælstof (kg N/år)

$N-udvaskning$ er udvaskningen af kvælstof fra landbruget i NP-modellen (kg N/år).

Tabel 1.2. Bidraget til emissionen af lattergas fra husdyrholdet pr. husdyrkategori i NP-modellen (bestandsenhed). 1995

Husdyrkategori		Emission af N ₂ O	Husdyrkategori		Emission af N ₂ O
		kg N/dyr/år			kg N/dyr/år
DYR1	Malkekøer, st. race.....	2,217	DYR10	Slagtesvin, 30-98,3 kg....	0,167
DYR2	Malkekøer, jersey.....	2,217	DYR11	Høner (100 stk.).....	2,341
DYR3	Tyre, stor race.....	0,864	DYR12	Høniker (100 stk.).....	0,597
DYR4	Tyre, jersey.....	0,864	DYR13	Slagtekyll. (100 stk.).....	1,336
DYR5	Opdræt, stor race.....	0,771	DYR14	Kalkuner (100 stk.).....	4,958
DYR6	Opdræt, jersey.....	0,771	DYR15	Ænder (100 stk.).....	2,651
DYR7	Ammekøer.....	1,364	DYR16	Gæs (100 stk.).....	2,087
DYR8	Årssøer.....	0,374	DYR17	Moderfår inkl. lam.....	0,488
DYR9	Smågrise, 7,5-30 kg.....	0,053	DYR18	Heste.....	1,113

Estimeringen af lattergasemissionen er i lighed med methanemissionen baseret på danske landbrugsforhold svarende til 1995-situationen. Ændringer i N-udskillelsen pr. husdyrkategori, gødningshåndteringen, høstudbytter i N-fikserende afgrøder mv. vil således påvirke parametriseringen. Følgelig vil den anvendte formulering ligeledes have en begrænset udsagnskraft. Igen skal det imidlertid bemærkes, at bestemmelsen af emissionen på grundlag af danske landbrugsforhold er at foretrække frem for IPCC's default-koefficienter.

Tabel 1.3. Bidraget til emissionen af lattergas pr. ha fra N-fikseringen og planteresidualer. 1995

Afgrøde	Emission af N ₂ O kg N/ha/år	Afgrøde	Emission af N ₂ O kg N/ha/år
Ærter til modenhed.....	4,031	Bægsædshelsæd.....	5,364
Konservesærter.....	4,024	Græs i omdrift.....	2,511
Lucerne.....	7,959	Græs uden for omdrift.....	1,726
Helsæd.....	1,895	Øvrige afgrøder.....	1,560

Anm. Emissionsfaktorerne afspejler omfanget af N-fikserende planter i afgrøden.

Emissionen fra landbruget i 1995

Emissionen fra landbruget for 1995 er opgjort til 187.000 tons methan og 31.000 tons lattergas, jf. tabel 1.4. Resultatet er markant mindre end resultatet givet ved IPCC's default-metode. Methan- og lattergasemissionen er således hhv. 11 og 14 pct. højere ved IPCC's metode i forhold til ovenstående model. På de enkelte poster er afvigelserne endnu større; afvigelserne kan således svinge +/- 50 pct.

Tabel 1.4. Den samlede emission af methan og lattergas baseret på hhv. IPCC's default-koefficienter og nærværende model. 1995

Stof/Emissionskilde	IPCC's default-metode (mængde) tons CH ₄ /år	Nærværende model		
		Mængde tons CH ₄ /år	CO ₂ -ækvivalenter	
			Mængde mio. tons CO ₂ /år	Andel pct.
Methan				
Fordøjelsesprocessen.....	154 300	141 900	2,98	22
Gødningshåndteringen.....	52 400	44 800	0,94	7
I alt	206 600	186 700	3,92	29
Lattergas				
Gødningshåndteringen.....	2 700	3 200	0,99	7
Mark.....	24 000	19 200	5,96	44
Organogene jorde.....	100	100	0,03	0
Kvælstofudvaskning.....	8 400	8 400	2,61	19
I alt	35 200	30 900	9,59	71
I alt	13,51	100

Anm. Omregningen til CO₂-ækvivalenter fra methan og lattergas sker ved multiplikation med hhv. 21 og 310.

Afvigelserne skyldes først og fremmest IPCC's default-faktorer baseret på Vesteuropæiske landbrugsforhold, som ikke umiddelbart kan overføres til dansk landbrug. Især N-indholdet i husdyrgødningen samt gødningshåndteringen er markant forskellige. Hertil kommer, at IPCC's metodiske tilgang er meget grovkornet. Fx inddrages gødningshåndteringen ikke på estimeringen af ammoniaktabet skønt IPCC tager hensyn til håndteringen ved bestemmelsen af både methan- og lattergasemissionen. På tilsvarende vis estimerer IPCC N-udvaskningen via bl.a. N-udskillelsen fra husdyrene uden fradrag for ammoniaktabet skønt tabet ikke bidrager til N-udvaskningen. Disse inkonsistente estimeringsmetoder forårsager ligeledes afvigelser.

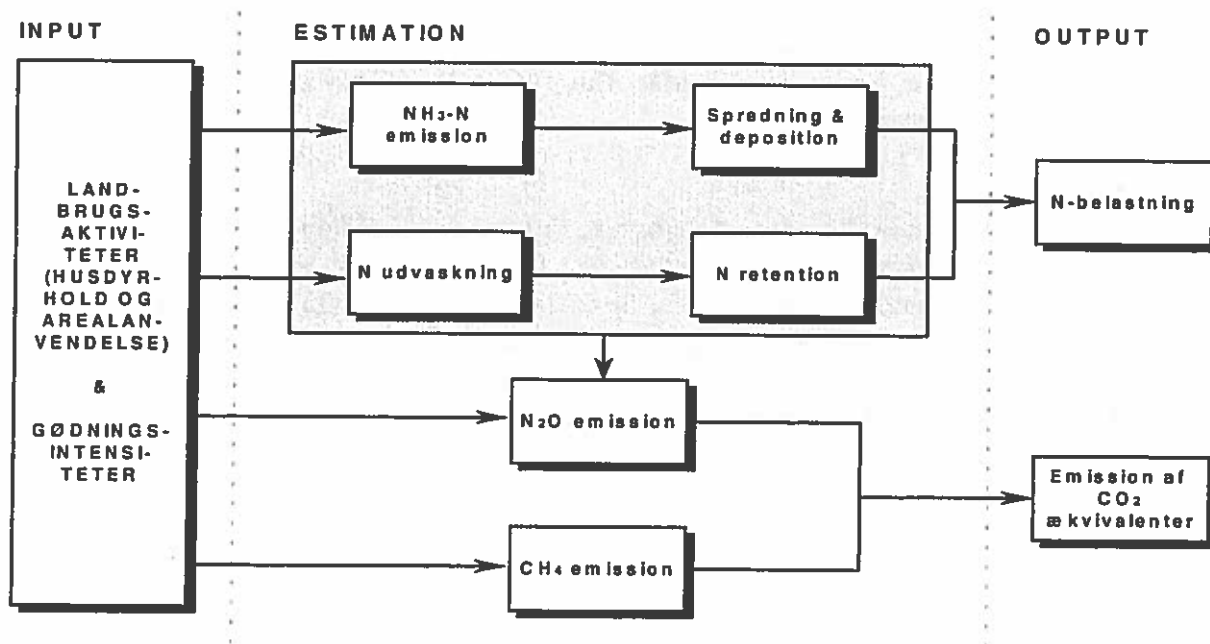
2 Indledning

Nærværende arbejdsrapport redegør for estimeringen af emissionen af methan og lattergas fra landbruget samt koblingen af estimationsrutinerne til Danmarks Miljøundersøgelses NP-model. Som sådan er papiret et rent teknisk notat. Tilpasningen til NP-modellen, som for nylig er opdateret til 1995-situationen, fordrer imidlertid kalibreringer, hvilket gør det opportunt at estimere emissionen for året 1995. Koblingen af estimationsrutinerne til NP-modellen har til formål at sikre, at lattergasemissionen er konsistent med den øvrige modellering af kvælstofomsætning.

Estimationsmetoden baseres på Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* anno 1996. Udgangspunktet er IPCC's default-koefficienter, som generelt er baseret på Vesteuropæiske forhold. I det omfang der foreligger specifikke danske koefficienter eller hvor IPCC's estimationsmetode umiddelbart gør det hensigtsmæssigt at generere danske koefficienter, vil disse blive anvendt. I det nedenstående beskrives kortfattet den relevante del af NP-modellen samt koblingen til beregningsmodulerne for henholdsvis methan og lattergas. Dette med henblik på at afklare bindingerne til NP-modellen.

2.1 NP-modellen og drivhusgasmodulerne

Den miljømæssige del af NP-modellen estimerer landbrugets bidrag til kvælstofbelastningen af farvandsområder på grundlag af ammoniaktabet og kvælstofudvaskningen, jf. Paaby *et al.* (1996). Ved estimeringen af kvælstofbelastningen tages der hensyn til spredningen og depositionen af den emitterede ammoniak. På tilsvarende vis tages der hensyn til, at dele af den udvaskede kvælstof omsættes eller tilbageholdes inden kvælstoffet når kystområderne via det ferske vandmiljø. Princippet i modellen er skitseret i figur 2.1.



Figur 2.1. Oversigt over det samlede relevante modelsystem

Herudover estimerer NP-modellen fosfortabet. Fosfortabet vil dog ikke blive inddraget i denne sammenhæng, idet fosfortabet ikke påvirker emissionen af metan og lattergas.

For at sikre en virkelighedstro estimering af kvælstofbelastningen, er landbrugsaktiviteterne distribueret på 49 afstrømningsområder og yderligere på 4 brugstyper¹ og 2 jordtyper².

Landbrugsaktiviteterne er inddelt på 18 husdyrkategorier og 13 afgrødetyper og måles i henholdsvis antal dyr (husdyrbestand) og hektar. De pågældende aktiviteter fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1. Oversigt over landbrugsaktiviteter i NP-modellen

Husdyrproduktion (husdyrbestand)			Planteproduktion (areal)		
Kvæg	DYR01	Malkekøer, stor race	Salgs- afgrøder	AFGR01	Vinterkorn
	DYR02	Malkekøer, jersey		AFGR02	Vårkorn
	DYR03	Tyre, tyrekalve og stude, stor race		AFGR03	Vinterraps incl. non food
	DYR04	Tyre, tyrekalve og stude, jersey		AFGR04	Vårraps incl. non food
	DYR05	Kvier og kviekalve, stor race		AFGR05	Bælgsæd incl. konservesærter
	DYR06	Kvier og kviekalve, jersey		AFGR06	Fabriksrøer
	DYR07	Ammekøer,		AFGR07	Kartofler
Svin	DYR08	Søer	Foder- afgrøder	AFGR08	Anden afgrøde
	DYR09	Smågrise under 20 kg		AFGR09	Foderroer
	DYR10	Slagtesvin, 20 - 50 kg og > 50 kg		AFGR10	Græs- og grøntfoder i omdrift
Fjerkræ	DYR11	Høns	Andet	AFGR11	Græs uden for omdrift
	DYR12	Hønniker		AFGR12	Brak i omdrift
	DYR13	Slagtekyllinger		AFGR13	Brak uden for omdrift
	DYR14	Kalkuner			
	DYR15	Ænder			
	DYR16	Gæs			
Andre	DYR17	Modefår			
	DYR18	Heste			

Summeres arealet for de respektive afgrødetyper fremkommer det samlede dyrkede areal incl. græsarealer uden for omdrift. Dvs. afgrødetyperne omfatter det samlede landbrugsareal. Summeres over husdyrkategorierne fås derimod ikke landbrugets samlede husdyrbestand. Avlsorner, sopolte, udsættersøer og -orner, haner samt væddere, gimmeropdræt og lam er således ikke medtaget, idet gødningsproduktionen fra disse husdyrkategorier er indeholdt under henholdsvis søer, høner og moderfår. Desuden er bestanden af pelsdyr og husdyr fra marginale produktioner udeladt.

Kvælstofudvaskning

For hver afgrødetype med den givne geografiske opløsning, er gødningsintensiteten opdelt på henholdsvis handelsgødning og husdyrgødning. Disse parametre anvendes som input til estimeringen af kvælstofudvaskningen via Simmelsgaards empiriske udvaskningsfunktioner (Simmelsgaard, 1991). De bagved liggende estimater for husdyrgødningsintensiteten er udskillelsen af næringsstoffer for de respektive husdyrkategorier. Disse estimater er baseret på normal for husdyrgødning (Poulsen & Kristensen, 1997).

¹ De 4 brugstyper omfatter planteavlsbrug, kvægbrug, svinebrug og blandede husdyrbrug. Planteavlsbrugene defineres som brug med en husdyrtæthed på under ½ dyreenhed (DE) pr. ha. Husdyrbrugene, som mindst har en husdyrtæthed på ½ DE pr. ha, gradueres efter husdyrholdets sammensætning. Et husdyrbrug, hvor mindst 2/3 af dyreenhederne stammer fra enten kvæg eller svin, betegnes som henholdsvis kvægbrug og svinebrug. Øvrige husdyrbrug, som udgør en residual, betegnes som blandede husdyrbrug.

² Der skelnes mellem sandjorde og lerjorde. Jorde med farvekode 1 - 3 i henhold til Landbrugsministeriets landsdækkende jordklassificering, betegnes som sandjorde, og jorde med farvekode 4 - 8 betegnes som lerjorde.

Kvælstofretention

Retentionen af kvælstof er bestemt via en massebalance på grundlag af målte eller estimerede stoftransport-data fra overvågningsprogrammet fra de 49 afstrømningsoplande. I den sammenhæng er bidraget fra landbruget opgjort som en residual for de respektive oplande under antagelsen af, at den atmosfæriske deposition udgør 20 kg kvælstof pr. ha og belastningen fra naturarealer udgør 2 kg kvælstof pr. ha (Paaby *et al.*, 1996).

Ammoniakemission og -deposition

Emissionen af ammoniak er baseret på en emissionskoefficient for de respektive husdyrkategorier. Disse emissionskoefficienter er også baseret på normtal for husdyrgødning samt på en landsgennemsnitlig fordeling af husdyrene på staldtyper, som implicit også giver fordelingen af gødningen på gødningstype og dermed gødningslagre. Desuden er emissionskoefficienterne baseret på en vægtet gennemsnitlig praksis med hensyn til udbringningen af gødningen, herunder udbringningstidspunkt og gødningens henliggetid. Desuden medregnes emissionen fra handelsgødningen, tilført spildevand, halmludning og afgrøderne.

Spredningen og depositionen af ammoniak og dens reaktionsprodukt er baseret på en transportmatrice frembragt af KONSEKVENNS 2.0 (Asman, 1990).

Methanemission

Emissionen af metan fra dansk landbrug stammer fra husdyrenes fordøjelsesproces, fra omsætningen af husdyrgødningen og fra markafbrænding. Siden 1989 har der i Danmark været forbud mod markafbrænding³, og der ses derfor bort fra sidste led. For de to første led kan emissionen af metan i følge IPCC bestemmes via det årlige gennemsnitlige antal dyr fordelt på 6 husdyrgrupper (malkekøer, andet kvæg, svin, fjerkræ, heste og får) og de tilhørende emissionskoefficienter. Estimationsmetoden uddybes i afsnit 2.1.

I NP-modellen udgør husdyrbestanden ikke nødvendigvis det årlige gennemsnitlige antal dyr. Desuden er nogle husdyrgrupper udeladt, idet gødningsproduktionen fra disse er indeholdt under andre husdyrgrupper. Begge problemstillinger løses ved hjælp af korrektionsfaktorer, jf. afsnit 2.1, hvorefter estimationsrutinerne for metan umiddelbart kan kobles til NP-modellen.

Lattergasemission

Emissionen af lattergas fra dansk landbrug stammer fra mikrobiel omsætning af organisk stof ved såvel nitrifikations- som denitrifikationsprocesser. Disse processer forekommer ved omsætningen af husdyrgødningen i gødningslagre, ved omsætningen af organisk stof i jorden og endelig omdannes en del af den udvaskede kvælstof til lattergas. Desuden fremkommer lattergas ved ufuldstændig forbrænding af planterester, hvilket der ses bort fra på grund af halmafbrændingsforbudet.

I følge IPCC kan emissionen af lattergas fra omsætningen af husdyrgødning i gødningslagre bestemmes via gødningsproduktionen, fordelingen på gødningslagersystemer og en tilhørende emissionskoefficient. I forhold til NP-modellens datagrundlag volder dette ingen problemer. Emissionen af lattergas fra omsætningen af organisk stof i jorden estimeres via mængden af tilført kvælstof samt omfanget af såkaldte organogene jorde. Estimeringen forudsætter kendskab til tilførslen af handelsgødningskvælstof, husdyrgødningskvælstof, biologisk kvælstofbinding, kvælstofdeposition, kvælstofindholdet i planterester og arealet med organogene jorde. Kvæstoffiksering, kvælstofindholdet i planterester og arealet med

³ Markafbrændingsforbudet gælder ikke marker med frøgræsser, men da det samlede areal af frø til udsæd udgør mindre end 2 pct. af det samlede landbrugsareal, ses der bort fra dette bidrag.

organogene jorde eksisterer ikke i NP-modellens datagrundlag og forudsætter derfor en nærmere afklaring, jf. afsnit 4.2 og 4.3. Emissionen af lattergas fra det udvaskede kvælstof kan derimod umiddelbart estimeres på grundlag af NP-modellens output.

2.2 Indhold, disposition og afgrænsning

I de følgende kapitler redegøres eksplicit for de anvendte estimationsrutiner for henholdsvis metan (kapitel 3) og lattergas (kapitel 5). Overalt vil de respektive bidrag til emissionen blive diskuteret på landsniveau, idet miljøproblemets globale karakter gør det irrelevant at specificere emissionen på et givet geografisk niveau. Af sammen grund refereres ikke til NP-modellens opløsningsgrad på oplande, brugs- og jordtyper med mindre det er påkrævet af beregningsprocedurerne.

Udgangspunktet for estimeringen af emissionen vil være IPCC's default-koefficienter, som er generelle koefficienter gældende for Vesteuropa. I det omfang det skønnes relevant og det fornødne datagrundlag er til stede, reestimeres koefficienterne efter IPCC's retningslinier, men på baggrund af produktionsforhold gældende for dansk landbrug. Resultatet vil være emissionskoefficienter efter IPCC's beregningsmetode, men tilpasset dansk landbrugspraksis.

Ved reestimationen af IPCC's koefficienter vil det ikke altid være muligt af frembringe alle de fornødne bagvedliggende parametre. I de tilfælde foretages kun en delvis reestimation, hvor dele af IPCC's baggrundsvariable anvendes som default-parametre. Der tages imidlertid fornødent hensyn til, at de delvise reestimationer ikke vil foranledige disproportionale emissionskoefficienter.

Opgørelsen af emissionen for 1995, jf. kapitel 5, vil udelukkende omfatte dansk landbrug. Anvendelse af halm til halmfyring tages således ikke i betragtning. Ej heller hvis halmfyringsanlægget er lokaliseret på de enkelte brug, idet det sædvanligvis vil vedrøre husholdningen og ikke produktionen.

Der tages ligeledes ikke hensyn til, at den danske animalske produktion i vid omfang er baseret på import af foderstoffer, som i forbindelse med produktionen bevirker, at der emitteres lattergas i oprindelseslandene. Den resulterende emission kan derfor ikke anvendes som et udtryk for produktionens samlede forvoldte emission. Omvendt tages der heller ikke hensyn til, at en stor del af produktionen eksporteres til udlandet. Den anvendte betragtningsmåde er i øvrigt i overensstemmelse med IPCC's opgørelsesprincipper.

3. Koefficienter for emissionen af methan

Emissionen af methan genereres som et biprodukt under fordøjelsesprocessen, hvor komplekse kulhydrater af mikroorganismer nedbrydes til simple molekyler, som kan optages i blodkredsløbet. Emissionen af methan gælder alle husdyr, men drøvtyggere tegner sig for det største bidrag på grund af deres evne til at nedbryde cellulose. Methan genereres også under den mikrobielle nedbrydning af husdyrgødning i iltfattige miljøer. Endelig fremkommer methan ved ufuldstændig forbrænding af planteresidualer. Da der i Danmark har været forbud mod halmafbrænding siden 1989, ses der imidlertid bort fra dette led.

Emissionen af methan fra henholdsvis fordøjelsesprocesserne og fra omsætningen af husdyrgødningen kan i følge IPCC bestemmes via antallet af dyr og en tilhørende emissionskoefficient. Emissionskoefficienterne er givet pr. husdyrkategori, og den samlede emission kan derfor beskrives som

$$\begin{aligned} CH_4\text{-total} &= CH_4\text{-fordøj} + CH_4\text{-gød} \\ &= \sum Antal_dyr_{kat} \cdot (Emis\text{-fordøj}_{kat} + Emis\text{-gød}_{kat}) \\ &= \sum Antal_dyr_{kat} \cdot Emis_{kat} \end{aligned} \quad (1)$$

hvor $CH_4\text{-total}$ er den samlede emitterede mængde methan pr. år fra landbruget (kg CH_4 /år)

$CH_4\text{-fordøj}$ er emissionen af methan pr. år fra fordøjelsesprocessen (kg CH_4 /år)

$CH_4\text{-gød}$ er emissionen af methan pr. år fra gødningsomsætningen i lagre (kg CH_4 /år)

$Antal_dyr_{kat}$ er det gennemsnitlige antal dyr pr. år af en specifik husdyrkategori (stk.)

$Emis\text{-fordøj}_{kat}$ er methanemissionskoefficienten fra fordøjelsesprocessen pr. dyr for en given husdyrkategori, jf. tabel 3.1 (kg CH_4 /dyr/år)

$Emis\text{-gød}_{kat}$ er methanemissionskoefficienten fra gødningsomsætningen i lager pr. dyr for en given husdyrkategori, jf. tabel 3.1 (kg CH_4 /dyr/år)

$Emis_{kat}$ er methanemissionskoefficienten fra fordøjelsesprocessen og gødningsomsætningen i lagre pr. dyr af en given husdyrkategori, jf. tabel 3.1 (kg CH_4 /dyr/år).

Tabel 3.1. Emissionskoefficienter for CH_4 for husdyrategorier fordelt på emissionen fra fordøjelsesprocessen og gødningshåndteringen (default-værdier)

	CH ₄ -emissionen fra ..		I alt
	fordøjelsesprocessen	gødningshåndteringen	
	----- kg CH ₄ /dyr/år -----		
Malkekøer	100,00	14,00	114,00
Andet kvæg	48,00	6,00	54,00
Heste	18,00	1,39	19,39
Svin	1,50	3,00	4,50
Får	8,00	0,19	8,19
Fjerkræ (100 stk.)	*	7,80	7,80

Anm. Default-værdier for vesteuropæiske forhold i kolde klimaregioner (årlig gennemsnitstemperatur mindre en 15° Celsius).

Kilde: IPCC (1997a).

I IPCC's default-værdier for gødningshåndteringen skelnes der mellem kolde klimaregioner (under 15°C), tempererede klimaregioner (15-25°C) og varme klimaregioner (over 25°C). Temperaturniveauerne refererer til den årlige gennemsnitstemperatur. Da den årlige gennemsnitstemperatur i Danmark i perioden 1961-90 udgjorde 7,7°C (Danmarks Statistik, 1997a), baseres estimaterne på koefficienter for kolde klimaregioner.

Som nævnt i kapitel 2 svarer husdyrbestanden i NP-modellen ikke nødvendigvis til det årlige gennemsnitlige antal dyr, og desuden er nogle husdyrgrupper udeladt. Dette forhold korrigeres der for (afsnit 3.1). Desuden afspejler emissionskoefficienterne ikke dansk landbrugspraksis, hvilket gør det hensigtsmæssigt at reestimere koefficienterne for henholdsvis fordøjelsesprocesserne (afsnit 3.2) og gødningsomsætningen (afsnit 3.3). Herefter kan ligning (1) reformuleres således, at estimationsrutinen matcher NP-modellen (afsnit 3.4).

3.1 Korrektion for udeladte dyr og svingninger i husdyrbestanden

Korrektionen for de udeladte dyr omfatter avlsorner, sopolte, udsættersøer og -orner, haner samt væddere, gimmeropdræt og lam. For søer og høner benyttes en korrektionsfaktor på henholdsvis 1,204 og 1,016, som foranlediger, at de udeladte svin og haner inddrages under henholdsvis søer og høner⁴. De genererede korrektionsfaktorer er baseret på 1995-situationen, idet NP-modellen har 1995 som basisår. For de udeladte væddere, gimmeropdræt og lam anvendes en særskilt metode, jf. senere, idet der også skal korrigeres for svingninger i den årlige gennemsnitlige bestand af lam.

Afvigelse mellem husdyrbestanden i NP-modellen, som baseres på Danmarks Statistiks opgørelse primo juni, og den gennemsnitlige årlige bestand, kan forekomme for husdyr med kort produktionsperiode. De pågældende husdyrkategorier omfatter smågrise, slagtesvin, slagtekyllinger, kalkuner, ænder, gæs og lam. For øvrige husdyrkategorier svarer husdyrbestanden primo juni nogenlunde til det årlige gennemsnitlige antal dyr pr. år. For svin og fjerkræ bestemmes den årlige gennemsnitlige bestand via produktionen og produktionstiden pr. producerede enhed. Den beregnede gennemsnitlige bestand relateres efterfølgende til Danmarks Statistiks husdyrbestand primo juni med henblik på at frembringe en korrektionsfaktor. Resultatet fremgår af tabel 3.2.

Tabel 3.2. Korrektionsfaktor for afvigende bestand i forhold til årgennemsnit. 1995

	Smågrise, under 20 kg	Slagtesvin, over 20 kg	Slagte- kyllinger	Kalkuner	Ænder	Gæs
Produktion, stk.....	21 038 000	20 200 000	122 584 000	1 226 000	49 400	2 288 000
Produktionstid, dage.....	61	109	39	133	52	91
Gns. årlige bestand, stk.	3 515 900	6 018 900	13 098 000	446 700	7 000	570 400
Bestand primo juni, stk.	3 447 032	6 414 871	12 584 873	449 444	24 699	472 021
Korrektionsfaktor.....	1,020	0,938	1,041	0,994	0,285	1,208

Anm. Ved opgørelsen af produktionen af smågrise og slagtesvin er der taget hensyn til overførsler til avlshold, døde under produktion, afvigende slagtevægt mv.

Kilde: *Produktion*: Andersen (1997); *Produktionstid*: Skøn baseret på diverse kilder. *Husdyrbestand*: Danmarks Statistik (1996).

For lam er det ikke muligt at anvende en tilsvarende metode. Dels opgøres besætningsforskydninger ikke, og dels foregår en stor del af fåreproduktionen på enheder, som ligger under bagatelgrænsen på Danmarks Statistiks opgørelse over husdyrbestanden primo juni. I stedet beregnes det gennemsnitlige antal lam på grundlag af antallet af moderfår, og desuden inddrages de manglende væddere og gimmeropdræt. Korrektionsfaktoren baseres på antagelsen om, at der medgår 1 vædder pr. 25 moderfår, at der produceres 1,55 slagtelam og

⁴ Bestanden af avlsorner, sopolte, udsættersøer og -orner udgjorde 206.930 stk. primo juni i 1995, og bestanden af søer udgjorde 1.015.077 stk. (Danmarks Statistik, 1996). Korrektionsfaktoren for søer kan derfor bestemmes til 1,204 $((206.930 + 1.015.077) / 1.015.077)$.

Bestanden af haner udgjorde 68.839 stk. primo juni i 1995, og bestanden af høner udgjorde 4.297.002 stk. (Danmarks Statistik, 1996). Korrektionsfaktoren for høner kan derfor bestemmes til 1,016 $((68.839 + 4.297.002) / 4.297.002)$.

0,2 gimmeropdræt pr. moderfår⁵ og at levetiden for slagtelam udgør 120 dage (svarende til 45 kg). På det grundlag kan det gennemsnitlige antal lam, væddere og gimmeropdræt om året opgøres til 0,75 ($1 / 25 + 1,55 \cdot 120 / 365 + 0,2$) pr. moderfår. Dvs. at korrektionsfaktoren for moderfår udgør 1,75.

3.2 Reestimation af emissionskoefficienterne fra fordøjelsesprocessen

Methanemissionen fra fordøjelsesprocessen tiltager ved stigende foderinput. Og da mængden af foder bl.a. er bestemt af husdyrets vægt, fodringsstrategi, tilvækst, mælkeydelse og drægtighedshyppighed⁶, er IPCC's emissionsfaktorer for fordøjelighedsprocessen bestemt som en funktion af disse parametre. Konkret estimeres nettoenergiforbruget, som efterfølgende omregnes til bruttoenergiforbrug via energi-fordøjeligheden og forholdet mellem nettoenergiforbruget og den fordøjelige mængde energi. Fra bruttoenergiforbruget konverteres en given andel til methan, og denne energiandel udtrykkes i mængden af methan på grundlag af forholdet 1 kg CH₄ til 55,65 MJ.

De pågældende parametre er generelt gældende for Vesteuropa og dækker således over store forskelle. Fx er mælkeydelsen pr. malkeko angivet til 4.200 kg mælk med 4 pct. fedtindhold (IPCC, 1997a). Til sammenligning udgjorde mælkeydelsen pr. malkeko i Danmark 6.970 kg mælk med 4 pct. fedtindhold⁷. På tilsvarende vis er det antaget, at tilvæksten for det øvrige kvæg udgør 0,3 - 0,4 kg pr. dag (IPCC, 1997a), hvorimod der i de danske normtal for husdyrgødning opereres med tilvækster på 1,0-1,1 kg pr. dag for ungtyre og 0,6 kg pr. dag for kvier (Poulsen & Kristensen, 1997). Forskellene understreger behovet for reestimation.

Reestimationen kan foretages umiddelbart for kvæg ved at erstatte IPCC's baggrundsparemetre med parametre gældende for Danmark. Samtidig kan der gradueres efter de kvægkategorier der anvendes i NP-modellen. Den konkrete estimationsmetode, IPCC's baggrundsparemetre for Vesteuropa, de anvendte danske parametre og de resulterende emissionskoefficienter er vist nedenfor for kvæg. For de øvrige husdyrkategorier oplyser IPCC ikke de benyttede baggrundsparemetre, og åbner derfor ikke op for tilsvarende reestimeringer. Derfor bibeholdes emissionskoefficienterne for de øvrige husdyrkategorier. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at kvægholdet tegner sig for det største bidrag til methanemissionen.

Nettoenergiforbruget til kvægholdet kan i følge IPCC (1997a) opdeles i energiforbrug til vækst, som er formuleret som følger:

$$NE_g = 4,18 \cdot [(0,035 \cdot VÆGT^{0,75} \cdot TILVÆKST^{1,119}) + TILVÆKST] \quad (2)$$

og til vedligeholdelse, mælkeproduktion og fosterproduktion, som er formuleret som følger:

⁵ I det årlige foderforbrug pr. moderfår inkluderes 1/25 vædder, 1,55 slagtelam og 0,2 gimmeropdræt i Håndbog for driftsplanlægning, jf. Landbrugets Rådgivningscenter (1993). På tilsvarende vis indgår 1,5 lam samt vædderhold og gimmeropdræt i enheden 1 moderfår i Normtal for husdyrgødning (Poulsen & Kristensen, 1997).

⁶ IPCC tager også hensyn til husdyrets evt. anvendelse som trækraft, som forudsætter større forbrug af foder (IPCC, 1997a), men dette aspekt er ikke aktuelt i Danmark.

⁷ Mælkeydelsen pr. malkeko i 1994/95 og 1995/96 udgjorde henholdsvis 6.584 kg med 4,37 pct. fedtindhold og 6.650 kg med 4,34 pct. fedtindhold (Danmarks Statistik, 1997). Anvendes et simpelt gennemsnit for årene kan mælkeydelsen pr. malkeko i 1995 omregnes til 6.970 kg mælk med 4 pct. fedtindhold.

$$NE_i = \left[K \cdot VÆGT^{0.75} \cdot (STALD\% \cdot 1,00 + GRÆS\% \cdot 1,17) \right] + \\ \left[MÆLK \cdot (1,47 + 0,40 \cdot FEDT\%) \right] + \\ \left[0,335 \cdot VÆGT^{0.75} \cdot 0,075 \cdot DRÆG\% \right] \quad (3)$$

- hvor NE_g er nettoenergiforbruget til tilvæksten pr. dyr pr. dag (MJ/dyr/dag)
 NE_i er nettoenergiforbruget til vedligeholdelse, mælkeproduktion og fosterproduktion (MJ/dyr/dag)
 K er en konstant, som udgør 0,335 for malkekekøer og 0,322 for andet kvæg.
 $VÆGT$ er husdyrkategoriens vægt (kg)
 $TILVÆKST$ er tilvæksten (kg/dag)
 $STALD\%$ er andelen af udfodringen i stald (decimalprocent (dec. pct.))
 $GRÆS\%$ er andelen af udfodringen på græs (dec. pct.)
 $MÆLK$ er mælkeproduktionen (kg/dag)
 $FEDT\%$ er mælkens fedtprocent (dec. pct.)
 $DRÆG\%$ er sandsynligheden for at der produceres en kalv pr. ko pr. år (dec. pct.)

Ved opgørelse af nettoenergiforbruget til vedligeholdelse (1. led i ligning 3) tages der hensyn til fodringsstrategien. Nettoenergiforbruget øges således med 17 pct. ved sommerafgræsning svarende til det øgede energiforbrug, der er forbundet med opretholdelse af livsfunktionerne. Ved opgørelse af det øgede nettoenergiforbrug til fosterproduktion (3. led i ligning 3) bestemmes energiforbruget som 7,5 pct. af energiforbruget til vedligeholdelsesfoder. Desuden tages der hensyn til drægtighedshyppigheden.

Efter estimeringen af nettoenergiforbruget bestemmes bruttoenergiforbruget (GE) ved hjælp af energi-fordøjeligheden (DE) og ratioer, som udtrykker forholdet mellem nettoenergiforbrug og mængden af fordøjelig energi. Bruttoenergiforbruget beregnes separat for henholdsvis vedligeholdelse, mælke- og fosterproduktion og for tilvæksten:

$$GE = \frac{NE_i \cdot 100/DE\%}{NE_i\text{-ratio}} + \frac{NE_g \cdot 100/DE\%}{NE_g\text{-ratio}} \quad (4)$$

- hvor GE er det totale bruttoenergiforbrug (MJ/dag)
 NE_i er nettoenergiforbruget til vedligeholdelse, mælkeproduktion og fosterproduktion, jf. ligning (3) (MJ/dag)
 $DE\%$ er energi-fordøjeligheden (fordøjelig energi i pct. af bruttoenergi)
 $NE_i\text{-ratio}$ er forholdet mellem nettoenergiforbruget til vedligeholdelse, mælke- og fosterproduktion og mængden af fordøjelig energi (-)
 NE_g er nettoenergiforbruget til vækst, jf. ligning (2) (MJ/dag)
 $NE_g\text{-ratio}$ er forholdet mellem nettoenergiforbruget til vækst og mængden af fordøjelig energi (-).

De to ratioer estimeres ligeledes ved empiriske funktioner:

$$NE_l\text{-ratio} = + 0,298 + (0,00335 \cdot DE\%) \quad \text{for } DE\% \leq 65 \quad (5)$$

$$NE_l\text{-ratio} = + 1,123 + (4,092 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + (1,126 \cdot 10^{-5} \cdot DE\%^2) \div \frac{25,4}{DE\%} \quad \text{for } DE\% \geq 65$$

$$NE_r\text{-ratio} = + 0,036 + (0,00535 \cdot DE\%) \quad \text{for } DE\% \leq 65 \quad (5)$$

$$NE_r\text{-ratio} = + 1,164 + (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + (1,308 \cdot 10^{-5} \cdot DE\%^2) \div \frac{37,4}{DE\%} \quad \text{for } DE\% \geq 65$$

hvor $NE_l\text{-ratio}$ er ratioen mellem nettoenergiforbruget til vedligeholdelse, mælke- og fosterproduktion og mængden af fordøjelig energi (-)

$NE_r\text{-ratio}$ er ratioen mellem nettoenergiforbruget til vækst og mængden af fordøjelig energi (-)

$DE\%$ er energi-fordøjeligheden (fordøjelig energi i pct. af bruttoenergi).

Efter at bruttoenergiforbruget pr. dag er beregnet kan de årlige emissionskoefficienter fra fordøjelsesprocessen bestemmes via en methankonverteringsfaktor og det forhold, at der medgår 55,65 MJ pr. kg methan:

$$Emis\text{-fordøj} = GE \cdot 365 \cdot CH_4\text{-kon} / 55,65 \quad (6)$$

hvor $Emis\text{-fordøj}$ er emissionen fra fordøjelsesprocessen (kg CH_4 /dyr/år)

GE er det estimerede bruttoenergiforbrug pr. dag, jf. ligning (4) (MJ/dag)

$CH_4\text{-kon}$ er methankonverteringsfaktoren (dec. pct.)

I ovenstående fremstilling er emissionsfaktoren for fordøjelsesprocessen formuleret generelt, men det er indlysende, at der er markante forskelle mellem de respektive husdyrkategorier. Følgelig estimeres der emissionsfaktorer for de respektive husdyrkategorier.

IPCC angiver methankonverteringsfaktoren for Vesteuropa til 6 pct., men denne er betinget af fodersammensætning. IPCC angiver således methankonverteringsfaktorer fra 0 til 7,5 pct., hvor de 0 pct. optræder ved fodring af kalve med mælk (IPCC,1997a). De øvrige baggrundsparemetre og resulterende emissionskoefficienter fremgår af tabel 3.3:

Tabel 3.3. Baggrundsparemetre for kvæghold i Vesteuropa samt emissionskoefficienter

Husdyrkategori	Vægt Tilvækst		Fodringsstrategi		Mælke- ydelse kg/dyr/dag	Drægtigh.- hyppighed pct.	Energi-for- døjelighed pct.	Emissions- koefficient pct. kg CH_4 /dyr/år
	kg/dyr	kg/dyr/dag	Stald pct.	Græs pct.				
Malkekøer	550	0,0	100	0	11,5	90	60	100
Tyre	600	0,0	0	100	0	0	60	60
Kvier/kødprod.	400	0,4	0	100	0	0	60	59
Kalve, mælkefodret.....	230	0,3	0	100	0	0	65	0
Kalve, øvrige.....	230	0,3	0	100	0	0	65	33

Anm. Methankonverteringsfaktoren udgør 6 pct. med undtagelse for mælkefodrede kalve, hvor den er 0 pct.

Kilde: IPCC (1997a).

IPCC skelner mellem *malkekøer* og *andet kvæg*, hvor emissionskoefficienten for malkekøer udgør de angivne 100 kg methan pr. dyr pr. år. For *andet kvæg* er de sidste 4 kvægkategorier i ovennævnte tabel aggregeret under antagelsen af, at det øvrige kvæg er fordelt på 22 pct. tyre,

54 pct. kvier/kødproduktion, 15 pct. mælkefodrede kalve og 8 pct. andre kalve. Resultatet er en aggregeret emissionskoefficient på 48 kg metan pr. dyr pr. år (IPCC, 1997a).

Ovenstående baggrundsparemetre er delvist erstattet med parametre gældende for Danmark, jf. tabel 3.4. Samtidig er husdyrkategorierne opdelt efter de kategorier, der anvendes i NP-modellen. Dog er der ikke skelnet mellem kvæg af stor race og jersey. Emissionskoefficienterne er estimeret på baggrund af ligningerne (2)-(6).

Med hensyn til energi-fordøjelighedskoefficienten skal det bemærkes, at denne er nogenlunde sammenfaldende med fordøjelighedskoefficienten for fodertørstof (Kristensen, pers. medd.). Der er derfor anvendt samme koefficienter, som er benyttet i normtal for husdyrgødning (Poulsen & Kristensen, 1997).

Tabel 3.4. Baggrundsparemetre for kvæghold i Danmark samt emissionskoefficienter

Husdyrkategori	Antal dyr, juni 1995		Vægt Tilvækst kg/dyr/dag	Fodringsstrategi		Mælke- ydelse kg/dyr/dag	Drægtigh.- hyppighed pct.	Energi-for- døjelighed pct.	Emissions- koefficient kg CH ₄ /dyr/år
	stk.	kg/dyr		Stald	Græs				
Malkekøer	702 473	550	0,0	90	10	19,10	90	71	104
Tyrekalve, -½ år.....	190 042	135	1,0	100	0	0,00	0	79	25
Tyrekalve, ½-1 år.....	152 210	324	1,1	100	0	0,00	0	75	49
Tyre, 1-2 år.....	52 096	475	1,0	100	0	0,00	0	75	60
Tyre, 2- år.....	8 870	575	0,0	100	0	0,00	0	75	37
Tyre og -kalve i alt...	403 218	260	1,0	100	0	0,00	0	76	40
Kviekalve, ½ år.....	215 475	94	0,6	100	0	0,00	0	78	16
Kviekalve, ½-1 år.....	198 265	202	0,6	46	54	0,00	0	74	29
Kvier, 1-2 år.....	352 973	364	0,6	46	54	0,00	0	74	43
Kvier, 2- år.....	95 523	544	0,0	46	54	0,00	0	74	39
Kvier og -kalve i alt.	862 236	279	0,5	60	40	0,00	0	74	34
Ammekøer	122 446	550	0,0	39	61	0,00	90	67	48

Kilde: Antal dyr og Mælkeydelse: Danmarks Statistik (1997); Vægt, Tilvækst og Fodringsstrategi: Kristensen & Poulsen (1997); Kælvingshyppighed: IPCC (1997a); Energi-fordøjelighed: Skønnet, jf. teksten.

Resultatet af reestimationen er en mindre stigning i emissionskoefficienten på 4 pct. for malkekøer og et fald på 21 pct. for andet kvæg. Sidstnævnte kategori kan gradueres til et fald på 16 pct. for handyr, et fald på 29 pct. for hundyr og uændret for ammekøer. Resultatet dækker over to modsat rettede forhold: I forhold til IPCC's baggrundsparemetre er nettoenergiforbruget i Danmark meget stort, hvilket - alt andet lige - resulterer i en stor methanemission. Foderforbruget i Danmark er imidlertid af en sådan sammensætning, at en større del af energiindholdet kommer husdyrene til gode (høj energi-fordøjelighed i forhold til IPCC's default-koefficienter), hvorved bruttoenergiforbruget i Danmark bliver af samme størrelsesorden som for Vesteuropa.

Til den anvendte metode kan det anføres, at sikkerheden ville øges betragtelig, hvis mængden af fordøjelig energi blev opgjort på baggrund af energiindholdet i de anvendte foderstoffer. Forbruget af foder i Danmark opgøres imidlertid traditionelt i foderenheder, hvilket ikke afslører energiindholdet. Det er imidlertid muligt at estimere mængden af fordøjelig energi ud fra Danmarks Statistiks årlige opgørelser over det samlede foderforbrug, men af hensyn til scenarier er det imidlertid ønskeligt at kende emissionen pr. husdyrkategori.

3.3 Reestimation af emissionskoefficienterne fra gødningsomsætningen

IPCC's default-koefficienter for emission af metan i forbindelse med omsætningen af husdyrgødningen i gødningslager er baseret på gødningsproduktionen, den maksimale metan

produktionskapacitet og typen af gødningslager. Methanproduktionspotentialet angiver den maksimale methan produktionskapacitet pr. kg tørstofindhold i gødningen, og typen af gødningslager er bestemmende for hvor stor en andel af den maksimale methanproduktion, der emitteres.

Konkret formuleres emissionsfaktoren for omsætningen af husdyrgødningen for de respektive husdyrkategorier som vist i ligning (7). Som det ses af ligningen er andelen af den maksimale methan produktionskapacitet bestemt som en vægtet sum af fordelingen af gødningen på gødningslagertype.

$$Emis-gød_{kat} = TS-gød_{kat} \cdot CH_4-max_{kat} \cdot \sum_{kat} Lager\%_{kat,type} \cdot CH_4-reel\%_{type} \quad (7)$$

hvor $Emis-gød_{kat}$ er emissionen af methan for en given husdyrkategori (kg CH₄/dyr/år)
 $TS-gød_{kat}$ er tørstofindholdet i den udskilte gødning for en given husdyrkategori (kg tørstof i gødningen/dyr/år)
 CH_4-max_{kat} er den maksimale methan produktionskapacitet for en given husdyrkategori (kg CH₄/kg tørstof i gødningen)
 $Lager\%_{kat,type}$ er andelen af gødningstørstof i et givet gødningslagersystem for en given husdyrkategori (dec. pct.)
 $CH_4-reel\%_{type}$ er andelen af den maksimale methan produktionskapacitet, som emitteres fra et given gødningslagersystem (dec. pct.)

I følge IPCC udgør den maksimale methan produktionskapacitet for malkekøer i udviklede lande 0,1608 kg methan pr. kg tørstof i den udskilte gødning. For det øvrige kvæghold og svin er de tilsvarende satser angivet til henholdsvis 0,1139 og 0,3015 kg methan pr. kg tørstof i gødningen (IPCC, 1997a).

Andelen af emitteret methan fra gødning afsat på mark er skønnet til 1 pct. af den maksimale methan produktionskapacitet pr. kg tørstof i gødningen i kolde klimaområder (gennemsnitstemperatur under 15°C). De tilsvarende andele for den faste og flydende gødning afsat i stald er angivet til henholdsvis 1 pct. og 10 pct. (IPCC, 1997a). Fordelingen af gødningen på de respektive gødningslagre er skønnet for Vesteuropa.

Tørstofindholdet i gødningen for et udsnit af husdyrkategorier er bestemt på grundlag af energiindholdet i foderinput, energi-fordøjeligheden og indholdet af aske i gødningen. Parametrene gælder for Vesteuropa (IPCC, 1997a).

Det er naturligvis problematisk at anvende vesteuropæiske skøn over såvel tørstofindholdet i gødningen og fordelingen af gødningen på gødningslagre. Desuden vil det være hensigtsmæssigt at tilpasse IPCC's husdyrkategorier til de anvendte i NP-modellen. Følgelig er IPCC's default-koefficienter reestimeret for danske forhold med hensyn til gødningsproduktion og fordeling på gødningslagre, jf. tabel 3.5.

Den totale gødningsproduktion og fordelingen af gødningen på gødningslagre for de enkelte husdyrkategorier er estimeret på grundlag af normtal (Poulsen & Kristensen, 1997) og internt materiale i normtalgruppen, hvor omfanget af sommergræsning og husdyrholdets fordeling på staldtyper er skønnet. I lighed med emissionskoefficienterne for fordøjelsesprocessen er der ikke skelnet mellem kvæg af stor race og jersey. Ved den efterfølgende omregning til gødningsproduktionen pr. dyr er NP-modellens husdyrbestand benyttet, hvilket indebærer, at emissionskoefficienterne også afspejler udeladte husdyrkategorier og svingende husdyrbestand.

IPCC angiver ikke den maksimale metan produktionskapacitet for heste, får og fjerkræ pr. kg tørstof i gødningen. Det er derfor antaget, at faktoren for det øvrige kvæghold også gælder heste og får og at faktoren for svin også gælder fjerkræ.

Tabel 3.5. Emissionskoefficienter for gødningsomsætningen fordelt på husdyrkategorier samt de tilhørende parametre. 1995

Husdyrkategori	Gødning ab dyr pr. år		Gødningshåndtering					Emissionskoefficient
	I alt	Pr. dyr	Fast gødn.	Ajle	Gylle	Dyb- Afsat på strøelse mark		
	tons TS	kg TS	pct.					
Malkekøer	1 485 618	2 115	23	3	57	7	10	21,84
Tyre og tyrekalve.....	193 309	479	3	0	22	74	0	1,66
Kvier og kviekalve	509 878	591	2	0	15	38	45	1,58
Ammekøer.....	141 529	1 156	2	0	0	40	57	1,35
Moderfår	26 902	400	0	0	0	31	69	0,46
Heste.....	17 136	967	0	0	0	50	50	1,10
Søer.....	260 696	257	9	2	73	14	2	5,96
Smågrise.....	135 624	39	13	2	82	2	0	1,02
Slagtesvin	795 090	124	32	3	64	2	0	2,63
Høner (100 stk.)	58 046	1 351	62	0	6	30	1	6,42
Hønniker (100 stk.)	7 698	447	0	0	47	53	0	7,01
Slagtekyl. (100 stk.)	98 285	781	0	0	0	100	0	2,35
Kalkuner (100 stk.)	11 388	2 534	0	0	0	100	0	7,64
Ænder (100 stk.)	6 135	1 300	0	0	0	100	0	3,92
Gæs (100 stk.)	353	1 429	0	0	0	0	100	4,31

Anm. Gødningsproduktion for væddere, gimmeropdræt, lam, avlsomer, sopolte, udsættersøer og -øner og haner er indeholdt under henholdsvis moderfår, søer og høner. Gødningsproduktionen pr. dyr fremkommer ved division med NP-modellens husdyrbestand.

Den maksimale metan produktionskapacitet pr. kg tørstofindhold i gødningen for øvrigt kvæghold er antaget også at gælde for heste og får, og på tilsvarende vis er det antaget, at den maksimale metan produktionskapacitet pr. kg tørstof for svin også gælder fjerkræ.

Fordelingen af gødningen på gødningslagre er opgjort som den procentuelle fordeling af tørstofindholdet i gødningen ab stald.

Kilde: Gødningsproduktionen og fordelingen af gødningen på gødningslagre er estimeret på grundlag af internt materiale i normalgruppen, jf. Poulsen & Kristensen (1997).

Sammenholdes de reestimerede emissionskoefficienter med IPCC's default-koefficienter kan der konstateres store forskelle. En del af forskellene skyldes naturligvis forskellig opgørelsesmetode, hvor ovenstående emissionsfaktorer pr. dyr er incl. udeladte husdyrgrupper. En anden del af forskellene skyldes afvigende fodring, hvilket resulterer i afvigende gødningsproduktion. Endelig skyldes en del af forskellene afvigende fordeling af gødningen på gødningslagre i forhold til IPCC's vesteuropæiske parametre. De lave emissionskoefficienter for det øvrige kvæghold i forhold til IPCC's default-koefficienter skyldes netop at størsteparten af gødningen afsættes på mark eller lagres som dybstrøelse, hvorimod IPCC har angivet, at 50 pct. af gødningen lagres som gylle (IPCC, 1997a).

3.4 Emissionen af metan i relation til NP-modellen

Efter at have reestimeret koefficienterne for henholdsvis fordøjelsesprocessen og gødningsomsætningen i lagre samt tilvejebragt korrektionsfaktorer for afvigende husdyrbestand i forhold til den årlige gennemsnitlige bestand, kan IPCC's oprindelige ligning (1) reformuleres med behørig hensyntagen til NP-modellens datagrundlag, jf. nedenstående:

$$\begin{aligned}
 CH_4\text{-total} &= CH_4\text{-fordøj} + CH_4\text{-gød} \\
 &= \sum \text{Antal_dyr}_{kat} \cdot (\text{Emis-fordøj}_{kat} \cdot \text{Kor1}_{kat} \cdot \text{Kor2}_{kat} + \text{Emis-gød}_{kat}) \quad (8) \\
 &= \sum \text{Antal_dyr}_{kat} \cdot CH_4\text{-koef}_{kat}
 \end{aligned}$$

hvor CH_4 -total er den samlede emitterede mængde methan fra landbruget (kg CH_4 /år)
 CH_4 -fordøj er emissionen af methan fra husdyrenes fordøjelsesproces (kg CH_4 /år)
 CH_4 -gød er emissionen af methan fra omsætningen i gødningslagrene (kg CH_4 /år)
 $Antal_dyr_{kat}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)
 $Kor1_{kat}$ er korrektionen for afvigende husdyrbestand i NP-modellen, jf. tabel 3.6 (-)
 $Kor2_{kat}$ er korrektionen for udeladte husdyr i NP-modellen, jf. tabel 3.6 (-)
 $Emis$ -fordøj $_{kat}$ er emissionskoefficienten fra fordøjelsesprocessen for en given husdyr-
 kategori (kg CH_4 /dyr/år)
 $Emis$ -gød $_{kat}$ er emissionskoefficienten fra gødningsomsætningen i lagre pr. dyr i NP-
 modellen for en given husdyrkategori (kg CH_4 /dyr/år)
 CH_4 -koef $_{kat}$ er den reestimerede og aggregerede methanemissionskoefficient pr. dyr i
 NP-modellen for en given husdyrkategori, jf. tabel 3.6 (kg CH_4 /dyr/år).

Tabel 3.6. Koefficienter mv. for emissionen af methan pr. dyr i NP-modellen. 1995

Husdyrkategori	Emissionen fra fordøjel- sesprocessen $Emis$ -fordøj $_{kat}$	Korrektion for afvigelser fra gns. bestand $Kor1_{kat}$	Korrektion for udeladte hus- dyrategorier $Kor2_{kat}$	Emissionen fra gødningsomsæt- ningen i lagre $Emis$ -gød $_{kat}$	Den samlede emission af methan CH_4 -koef $_{kat}$
	kg CH_4 /dyr/år	-	-	kg CH_4 /dyr/år	kg CH_4 /dyr/år
Malkekøer	104,17	1,000	1,000	21,84	126,01
Tyre og tyrekalve	40,14	1,000	1,000	1,66	41,80
Kvier og kviekalve	33,94	1,000	1,000	1,58	35,52
Ammekøer	48,38	1,000	1,000	1,35	49,73
Moderfår	8,00	1,000	1,750	0,46	14,46
Heste	18,00	1,000	1,000	1,10	19,10
Søer	1,50	1,000	1,204	5,96	7,77
Smågrise indtil 20 kg	1,50	1,020	1,000	1,02	2,55
Slagtesvin over 20 kg	1,50	0,938	1,000	2,63	4,03
Høner (100 stk.)	0,00	1,000	1,016	6,42	6,42
Hønniker (100 stk.)	0,00	1,000	1,000	7,01	7,01
Slagtekyl. (100 stk.)	0,00	1,041	1,000	2,35	2,35
Kalkuner (100 stk.)	0,00	0,994	1,000	7,64	7,64
Ænder (100 stk.)	0,00	0,285	1,000	3,92	3,92
Gæs (100 stk.)	0,00	1,208	1,000	4,31	4,31

Anm. For fjerkræ er der ikke angivet emissionskoefficienter for fordøjelsesprocessen, hvilket betyder, at korrektionsfaktorerne er irrelevante.

Tørstofindholdet i gødningen og fordelingen af husdyrholdet på staldd typer indgår ikke i NP-modellen og disse variable kan derfor ikke anvendes som procesparametre. Der er derfor ingen grund til at opretholde to selvstændige emissionskoefficienter for henholdsvis fordøjelsesprocessen og omsætningen af gødningen. Følgelig udtrykkes emissionen af methan alene som produktet af antallet af dyr og én aggregeret emissionskoefficient pr. husdyrkategori.

Kalibreringen af emissionskoefficienterne til 1995-forhold indebærer, at emissionskoefficienterne er specifikt gældende for 1995. Ændring i udskillelsen af kvælstof pr. husdyrkategori, gødningshåndtering, energifordøjelighed mv. medfører, at emissionskoefficienterne ligeledes forandres, og dette forhold er ikke reflekteret i ovenstående ligning (8). Følgelig vil den anvendte formulering have en begrænset udsagnskraft. Udgangspunktet var imidlertid IPCC's default-koefficienter, som ligeledes er konstante over tid, og følgelig må reestimeringen i forhold til danske landbrugsforhold betragtes som værende en væsentlig forbedring.

Opgørelsen af emissionen af methan er ikke et mål i sig selv, men udgør blot et bidrag til drivhuseffekten. Sædvanligvis ækvivaleres de respektive drivhusgasser til hinanden ud fra

emissionens effekt på temperaturstigningen, hvor CO_2 benyttes som basisenhed. Denne varierer alt afhængig af drivhusgassens levetid i atmosfæren og det tidsperspektiv, som bliver lagt til grund for vurederingen. På 100 års sigt vil metan have et Global Warming Potential på ca. 21 i forhold til CO_2 (Holten-Andersen *et al.*, 1998). Dvs. at ovenstående ligning (8) kan omregnes til CO_2 -ækvivalenter ved at multiplicere methanemissionen med 21:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{-ækvivalenter}_{\text{methan}} &= 21 \cdot \text{CH}_4\text{-total} \\ &= 21 \cdot \sum \text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot \text{CH}_4\text{-koef}_{\text{kat}} \end{aligned} \quad (8a)$$

hvor der ved $\text{CO}_2\text{-ækvivalenter}_{\text{methan}}$ forstås den aggregerede klimapåvirkning fra methanemissionen over en 100 års periode udtrykt i CO_2 emissioner.

4. Koefficienter for emissionen af lattergas

Landbrugets bidrag til emissionen af lattergas stammer fra den mikrobielle omsætning af organisk stof ved såvel denitrifikations- som nitrifikationsprocesserne⁸. Processerne forekommer ved omsætning af organisk stof under håndteringen af husdyrgødningen, ved omsætningen af organisk stof på marken og ved reduktionen af nitrat under rodzonen. Der er en række forhold som indvirker på omfanget af lattergasemissionen, men den helt afgørende forudsætning er tilstedeværelsen af kvælstof. IPCC opgør derfor emissionen af lattergas som en funktion af kvælstofindholdet i henholdsvis husdyrgødningen afsat i stald, tilførslen af kvælstof til mark og omfanget af udvasket kvælstof. Hertil kommer bidraget fra de såkaldte organogene jorde, som er kendetegnet ved et højt humusindhold.

IPCC beskriver derfor den samlede emission af lattergas som summen af de 4 bidrag:

$$N_2O_{total} = \frac{44}{28} \cdot [N_2O-N_{g\ddot{a}rd} + N_2O-N_{mark} + N_2O-N_{udvask} + N_2O-N_{organ}] \quad (9)$$

hvor N_2O_{total} er den totale emission af lattergas fra landbruget pr. år (kg N_2O /år)
 $N_2O-N_{g\ddot{a}rd}$ er emissionen af lattergaskvælstof fra gødningshåndteringen (kg N_2O-N /år)
 N_2O-N_{mark} er emissionen af lattergaskvælstof fra marken (kg N_2O-N /år)
 N_2O-N_{udvask} er emissionen af lattergaskvælstof fra kvælstofudvaskningen (kg N_2O-N /år)
 N_2O-N_{organ} er emissionen af lattergaskvælstof fra organogene jorde (kg N_2O-N /år).

Foruden de anførte bidrag emitteres lattergas ved forbrænding af planteresidualer. Bidraget er imidlertid forsvindende, som følge af halmafbrændingsforbudet, og tages derfor ikke i betragtning. De medtagede 4 bidrag behandles særskilt i det følgende med henblik på dels at afdekke metoden og dels at tilpasse parametriseringen til danske landbrugsforhold.

4.1 Emissionen af lattergas fra gødningshåndteringen

I følge IPCC kan emissionen af lattergas fra gødningshåndteringen opgøres som en andel af kvælstofindholdet i den udskilte husdyrgødning. Andelen er betinget af gødningshåndteringen. Emissionen fra husdyrgødningen afsat på mark tages ikke i betragtning, men medregnes under emissionen fra marken. Bidraget kan beskrives som

$$N_2O-N_{g\ddot{a}rd} = \sum_{kat} Dyr_{kat} \cdot N_{kat} \cdot \sum_{kat, type} Lager\%_{kat, type} \cdot EmisI_{kat, type} \quad (10)$$

hvor $N_2O-N_{g\ddot{a}rd}$ er den emitterede mængde lattergas fra gødningshåndteringen (kg N_2O-N /år)
 Dyr_{kat} er det årsgennemsnitlige antal dyr af en given husdyrkategori (stk.)
 N_{kat} er mængden af udskilt N pr. dyr for en given husdyrkategori, jf. tabel 4.1 (kg N/dyr/år)

⁸ Denitrifikation er betegnelsen for den mikrobielle proces, hvor nitrat reduceres først til nitrit, dernæst til nitrogenoxid og videre til lattergas for endeligt at omdannes til molekylært kvælstof. Processen sker under iltfrie eller iltfattige forhold, hvor oxygenet i kvælstofforbindelserne anvendes som iltningmiddel. I hvilket omfang reaktionskæden fuldbyrdes er afhængig af en række fysiske og kemiske forhold (Lind *et al.*, 1995). Nitrifikation er betegnelsen for den mikrobielle proces, hvor ammonium omdannes til nitrit og videre til nitrat med atmosfærisk ilt som oxidationsmiddel. Under iltfattige forhold har man imidlertid observeret, at nitrit er blevet anvendt som oxidationsmiddel i den mikrobielle omdannelsesproces, hvorunder der udvikles lattergas (Lind *et al.*, 1995).

$Lager\%_{kat,type}$ er andelen af N i et givet gødningslagersystem for en given husdyrkategori, jf. tabel 4.1 (dec. pct.)

$EmisI_{kat,type}$ er emissionsfaktoren fra et given gødningshåndteringssystem, jf. tabel 4.1 (kg N₂O-N/kg N).

Tabel 4.1. IPCC's default parametre gældende for Vesteuropa for lattergasemissionen ved håndteringen af husdyrgødningen samt lattergasemissionen

Husdyrkategori	N ab dyr	Gødningshåndtering				
		Fast gødning	Flydende gødning	Spredt dagligt	Andre systemer	Afsat under udbinding
	kg N/dyr/år	pct.				
Malkekøer	100	21	46	24	1	8
Andet kvæg	70	2	55	0	9	33
Fjerkræ (100 stk.)	60	1	13	0	84	2
Får	20	2	0	0	11	87
Svin	20	23	77	0	0	0
Andre husdyr	25	0	0	0	4	96
		kg N ₂ O-N/kg N				
Lattergasemission		0,020	0,001	0,000	0,005	0,020

Anm. Emissionen fra gødning afsat under udbinding indgår under tabet fra mark.

Kilde: IPCC (1997).

Ved opgørelse af emissionen fra gødningshåndteringen benyttes de i tabel 4.1 viste default parametre, som er gældende for Vesteuropa. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at emissionen for gødningen afsat på græs medregnes under tabet fra mark.

Såvel kvælstofudskillelsen som gradueringen af gødningshåndteringen er afvigende for dansk landbrug. Følgelig erstattes de vesteuropæiske parametre med parametre gældende for dansk landbrug i 1995. Samtidig gradueres husdyrkattegrupperne i overensstemmelse med NP-modellen. Ved opgørelsen af kvælstofudskillelsen pr. husdyrkategori, som er baseret på normaltal for husdyrgødning, afstemmes kvælstofproduktionen med de medtagne dyr i NP-modellen. Dvs. at der implicit tages højde for udeladte dyr samt afvigende husdyrbestand i forhold til årsgennemsnittet.

Med udgangspunkt i ligning (10), parametrene i omstående tabel 4.2 og NP-modellens datagrundlag kan ligning (11) opstilles, jf. nedenstående. Da gødningens fordeling på staldd typer (og dermed gødningslagre) ikke indgår i NP-modellens datagrundlag, kan de respektive variable aggregeres til en konstant (*Emis-gård*), således at emissionen af lattergas fra gødningshåndteringen alene udtrykkes via antallet af dyr af de respektive kategorier i NP-modellen.

$$\begin{aligned}
 N_2O-N_{g\ddot{a}rd} &= \sum \left[Antal_dyr_{kat} \cdot N\ ab\ dyr_{kat} \cdot \sum_{kat} Lager\%_{kat,type} \cdot EmisI_{kat,type} \right] \\
 &= \sum Antal_dyr_{kat} \cdot Emis-g\ddot{a}rd_{kat}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

hvor $N_2O-N_{g\ddot{a}rd}$ er den emitterede mængde lattergas fra gødningshåndteringen (kg N₂O-N/år)

$Antal_dyr_{kat}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

$N\ ab\ dyr_{kat}$ er den udskilte mængde kvælstof i stald pr. dyr pr. år for en given husdyrkategori i NP-modellen, jf. tabel 4.2 (kg N/dyr/år)

$Lager\%_{kat,type}$ er andelen af kvælstof i et givet gødningsssystem for en given husdyrkategori, jf. tabel 4.2 (dec. pct.)

$EmisI_{kat,type}$ er emissionsfaktoren fra et given gødningshåndteringssystem, jf. tabel 4.1 (kg N₂O-N/kg N)

$Emis-gård_{kat}$ er mængden af emitteret lattergaskvælstof pr. enhed pr. år fra stald og lager for en given husdyrkategori i NP-modellen (kg N₂O-N/dyr/år).

Tabel 4.2. Emissionen af lattergaskvælstof mv. pr. dyr i NP-modellen. 1995

Husdyrkategori	N ab dyr i NP-modellen kg N/dyr/år	Gødning fordelt efter N-indhold			N afsat under udbinding	Emissions- koefficient kg N ₂ O-N/dyr/år
		Fast gødning + Dybstrøelse	Ajle	Gylle		
Malkekøer	125,22	30	3	57	10	0,826
Tyre og tyrekalve.....	33,66	77	0	22	0	0,526
Kvier og kviekalve	35,12	40	0	15	45	0,286
Ammekøer.....	57,07	42	0	0	57	0,479
Moderfår.....	21,90	31	0	0	69	0,136
Heste.....	45,90	50	0	0	50	0,459
Søer.....	25,70	23	2	73	2	0,137
Smågrise.....	4,11	15	2	82	0	0,016
Slagtesvin	10,31	34	3	64	0	0,077
Høner (100 stk.)	90,33	92	0	6	1	1,667
Hønniker (100 stk.)	30,69	53	0	47	0	0,340
Slagtekyl. (100 stk.)	49,95	100	0	0	0	0,999
Kalkuner (100 stk.)	185,69	100	0	0	0	3,714
Ænder (100 stk.)	97,87	100	0	0	0	1,957
Gæs (100 stk.)	112,20	0	0	0	100	0,000

Anm. Kvælstofproduktion for væddere, gimmeropdræt, lam, avlsorner, sopolte, udsættersøer og -orner og haner er indeholdt under henholdsvis moderfår, søer og høner.

Fordelelsen af gødningen på gødningslager er opgjort som den procentuelle fordeling af kvælstofindholdet i gødningen ab stald.

Kilde: Gødningsproduktionen og fordelingen af gødningen på gødningslagre er estimeret på grundlag af internt materiale i normalsgruppen, jf. Poulsen & Kristensen (1997).

Effekten af at anvende de reestimerede emissionskoefficienter frem for IPCC's default værdier er betydelig. Med det husdyrhold, som gjorde sig gældende i 1995, indebærer anvendelsen af IPCC's emissionskoefficienter, at emissionen underestimeres med 16 pct. Divergenserne omfatter dels afvigende estimater for udskillelse af kvælstof og dels afvigelser mht. gødningshåndteringen. En del af forklaringen skyldes dog også, at kvælstofudskillelsen fra avlsorner, sopolte, udsættersøer og -orner er indeholdt under søer, haner er indeholdt under høner og væddere, gimmeropdræt og lam er indeholdt under moderfår. Dette aspekt er der imidlertid taget højde for i ovennævnte 16 pct.'s afvigelse.

4.2 Emissionen af lattergas fra mark (excl. organogene jorde)

I følge IPCC kan emissionen af lattergas fra mark opgøres som en andel af den tilførte mængde kvælstof. Tilførslen af kvælstof udgør i den sammenhæng handelsgødning, udbragt husdyrgødning, biologisk kvælstoffiksering, nedmuldede planteresidualer, husdyrgødning afsat på mark og kvælstofdepositionen. Ved opgørelsen af den tilførte mængde handelsgødning og husdyrgødning tages der højde for, at dele af N-indholdet emitteres som ammoniak og kvælstofoxider. Sidstnævnte er imidlertid forsvindende, og lades derfor ude af betragtning.

Formaliseret kan emissionen fra mark (excl. organogene jorde) beskrives som

$$N_2O-N_{mark} = \left[\begin{array}{l} \left(\Delta N-han_{total} + \Delta N-hus-udbragt_{total} \right) \cdot Emis2 \\ + N-fix_{total} + \Delta N-veg_{total} \\ + \Delta N-hus-udbinding_{total} \cdot Emis3 \\ + N-dep_{total} \cdot Emis4 \end{array} \right] \quad (12)$$

hvor N_2O-N_{mark} er den emitterede mængde lattergaskvælstof fra marken pr. år (kg N_2O-N /år)

$\Delta N-han_{total}$ er den tilførte mængde handelsgødning-N excl. tab af NH_3 (kg N/år)

$\Delta N-hus-udbragt_{total}$ er den udbragte husdyrgødning-N excl. tab af NH_3 (kg N/år)

$N-fix_{total}$ er den biologiske kvælstoffiksering (kg N/år)

$\Delta N-veg_{total}$ er tilførslen af kvælstof i form af planteresidualer (kg N/år)

$Emis2$ er mængden af tilført kvælstof i form af handelsgødning, husdyrgødning, biologisk N-fiksering og planteresidualer, som emitteres som lattergas (kg N_2O-N /kg N)

$\Delta N-hus-udbinding_{total}$ er den afsatte mængde husdyrgødning på mark excl. tab af NH_3 (kg N/år)

$Emis3$ er mængden af tilført kvælstof i form af afsat husdyrgødning på mark, som emitteres som lattergas (kg N_2O-N /kg N)

$N-dep_{total}$ er kvælstofdepositionen (kg N/år)

$Emis4$ er mængden af tilført kvælstof i form af N-deposition, som emitteres som lattergas (kg N_2O-N /kg N).

IPCC har skønnet, at mængden af emitteret lattergas udgør 0,0125 kg N_2O-N pr. kg tilført N i form af handelsgødning, udbragt husdyrgødning, biologisk kvælstoffiksering og planteresidualer. Tilførslen af handels- og husdyrgødning regnes i den henseende netto; dvs. excl. tab af kvælstof i form af ammoniak og kvælstofoxider. For gødning afsat på mark skønnes det, at 0,02 kg N_2O-N pr. kg N emitteres som lattergaskvælstof, og fra kvælstofdepositionen skønnes det, at 0,01 kg N_2O-N pr. kg N emitteres som lattergaskvælstof (IPCC, 1997).

I det nedenstående gøres der nærmere rede for estimeringen af bidraget fra de respektive kvælstofelementer (handelsgødning, udbragt husdyrgødning, kvælstoffiksering, kvælstofindhold i planteresidualer, gødning afsat på mark og kvælstofdeposition). I den sammenhæng inddrages fradraget for ammoniaktabet. Emissionen af kvælstofoxider tages derimod ikke i betragtning, idet bidraget er yderst begrænset. I fremstillingen beskrives først IPCC's metode, som herefter tilpasses til de danske landbrugsforhold og datagrundlaget i NP-modellen. I sidste del af afsnittet formuleres den endelige beregningsprocedure for emissionstabet fra mark.

4.2.1 Bidrag fra handelsgødning

IPCC anslår, at 10 pct. af den tilførte handelsgødningskvælstof emitteres som ammoniak eller kvælstofoxider (IPCC, 1997). Niveauet er betinget af typen af handelsgødning. Sven G. Sommer (1994) angiver således et ammoniaktab på 2 pct. for NPK-gødninger og ammoniumnitrat, 1 pct. for flydende ammoniak, 15 pct. for urea og 5 pct. for øvrige gødningstyper. Med den gødningssammensætning, der gjorde sig gældende i gødningsåret 1994/95, kan ammoniaktabet derfor opgøres til 2,4 pct. af handelsgødningskvælstoffet (Andersen, 1997).

En mindre del af det danske forbrug af handelsgødning anvendes uden for landbruget. Dette aspekt elimineres ved at estimere forbruget af handelsgødningskvælstof via NP-modellen, som kun omfatter landbruget, hvor der samtidig tages højde for ammoniaktabet på 2,4 pct.

$$\begin{aligned}\Delta N-han_{total} &= (1 \div 0,024) \cdot \sum Areal_{opl\ddot{a}nd,type,jb,afgr} \cdot N-han_{opl\ddot{a}nd,type,jb,afgr} \\ &= (1 \div 0,024) \cdot N-han_{total}\end{aligned}\quad (13)$$

hvor $\Delta N-han_{total}$ er den tilførte mængde handelsgødning excl. tab af NH_3 (kg N/år)
 $Areal_{opl\ddot{a}nd,type,jb,afgr}$ er arealet med en given afgrøde på en given brugs- og jordtype i et givet opland (ha)
 $N-han_{opl\ddot{a}nd,type,jb,afgr}$ er forbruget af handelsgødning pr. ha for en given afgrøde på en given brugs- og jordtype i et givet opland, jf. NP-modellens datagrundlag (kg N/ha/år)
 $N-han_{total}$ er det totale forbrug af handelsgødning i landbruget i NP-modellen (kg N/år).

Da det totale forbrug af handelsgødning estimeres via NP-modellen på konsistent vis med behørig hensyntagen til ændringer i gødningsintensitet, arealer og afgrødesammensætning, er det tilstrækkeligt at anvende $N-han_{total}$ i den videre formulering.

Ved at inddrage emissionen af lattergas på 0,0125 kg N_2O-N pr. kg afgasset handelsgødning-N, kan ligning (13) formuleres som

$$\begin{aligned}N_2O-N_{mark(\Delta N-han)} &= Emis2 \cdot [(1 \div 0,024) \cdot N-han_{total}] \\ &= 0,0122 \cdot N-han_{total}\end{aligned}\quad (14)$$

hvor $N_2O-N_{mark(\Delta N-han)}$ er emissionen af lattergas fra handelsgødning (kg N_2O-N /år)
 $Emis2$ er emissionen af lattergas fra tilført handelsgødning (kg N_2O-N /kg N)
 $N-han_{total}$ er det totale forbrug af handelsgødning i landbruget i NP-modellen (kg N/år).

Da IPCC overvurderer ammoniakemissionen, vil der selvsagt være en mindre mængde handelsgødning-N som grundlag for emissionen af lattergas. Forskellen indebærer, at IPCC undervurderer emissionen af lattergas fra handelsgødningen med 8 pct.

4.2.2 Bidrag fra udbragt husdyrgødning

Mængden af udbragt husdyrgødning excl. ammoniaktab estimerer IPCC som andelen af husdyrgødning afsat i stald fradraget et 20 pct. ammoniaktab (incl. kvælstofoxider) (IPCC, 1997). Der tages således ikke hensyn til, at der under gødningshåndteringen tilsættes kvælstof i form af strøelse. Desuden foretages der ikke et fradrag for emissionen af lattergas fra stald og lager, jf. afsnit 4.1. Desuden skal det bemærkes, at ammoniaktabet fra stald og lager er underestimeret i forhold til den seneste ammoniakrederegørelse, hvor emissionen fra stald og lager i gennemsnit er opgjort til 28 pct. af den udskilte mængde kvælstof i stald (Andersen *et al.*, 1999).

I NP-modellen anvendes N ab lager som en væsentlig parameter til bestemmelse af mængden af husdyrgødning tilført mark. Denne kvælstofmængde er incl. N i strøelse og excl. tab af N i form af ammoniak og lattergas. Dvs. en kvalitativ og kvantitativ anderledes gødning end den udskilte husdyrgødning. Følgelig gøres der ikke noget forsøg på at bestemme den udbragte mængde husdyrgødning på grundlag af den udskilte kvælstof med et fradrag for ammoniaktabet og et fradrag for den del af gødningen, der afsættes under udbinding. Ved at tage udgangspunkt i N ab lager er der således på forhånd taget højde for omfanget af

sommergræsning, og der er ligeledes taget hensyn til kvælstoftab i stald og lager samt tilførslen af kvælstof i form af strøelse. Dvs. at der blot skal foretages et fradrag for ammoniaktabet under og efter udbringningen, hvilket er givet for de enkelte husdyrkategorier ved den givne udbringningspraksis, som blev anvendt i 1995. Formaliseret kan det beskrives som følger:

$$\begin{aligned} \Delta N\text{-hus-udbragt}_{total} &= \sum \left[\text{Antal_dyr}_{kat} \cdot N \text{ ab lager}_{kat} \right. \\ &\quad \left. \cdot (1 \div NH_3\text{-}N\text{-udbringning}_{kat}) \right] \\ &= \sum \text{Antal_dyr}_{kat} \cdot \Delta N\text{-hus-udbragt}_{kat} \end{aligned} \quad (15)$$

hvor $\Delta N\text{-hus-udbragt}_{total}$ er den udbragte mængde husdyrgødning fradraget tabet af ammoniak under og efter udbringningen (kg N/år)

Antal_dyr_{kat} er bestanden af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

$N \text{ ab lager}_{kat}$ er mængden af kvælstof ab lager pr. dyr pr. år for en given husdyrkategori i NP-modellen, jf. tabel 4.3 (kg N/dyr/år)

$NH_3\text{-}N\text{-udbringning}_{kat}$ er andelen af N ab lager, som emitteres som ammoniak under og efter udbringningen for en given husdyrkategori, jf. tabel 4.3 (dec.pct.)

$\Delta N\text{-hus-udbragt}_{kat}$ er den udbragte mængde husdyrgødning for en given husdyrkategori excl. tab af ammoniak, jf. tabel 4.3 (kg N/dyr/ha).

Tabel 4.3. Emissionen af lattergaskvælstof pr. dyr i NP-modellen fra udbragt husdyrgødning samt estimationsparametre. 1995

Husdyrkategori	N ab lager i NP-modellen kg N/dyr/år	Udbring- ningstab pct.	N til jord i NP-modellen kg N/dyr/år	Emission af N ₂ O	
				Andel af N kg N ₂ O-N/kg N	Mængde kg N ₂ O-N/dyr/år
Malkekøer	104,25	11,1	92,64	0,0125	1,158
Tyre og tyrekalve	30,67	11,7	27,10	0,0125	0,339
Kvier og kviekalve	18,05	11,7	15,94	0,0125	0,199
Ammekøer	21,17	12,1	18,62	0,0125	0,233
Moderfår	5,16	12,1	4,54	0,0125	0,057
Heste	20,64	12,1	18,14	0,0125	0,227
Søer	20,40	11,0	18,15	0,0125	0,227
Smågrise	3,39	11,0	3,02	0,0125	0,038
Slagtesvin	8,06	11,1	7,17	0,0125	0,090
Høner (100 stk.)	59,53	12,0	52,36	0,0125	0,655
Hønniker (100 stk.)	23,18	11,4	20,54	0,0125	0,257
Slagtekyll. (100 stk.)	30,64	12,1	26,92	0,0125	0,337
Kalkuner (100 stk.)	113,29	12,1	99,55	0,0125	1,244
Ænder (100 stk.)	63,14	12,1	55,48	0,0125	0,693
Gæs (100 stk.)	0,00	-	0,00	0,0125	0,000

Anm. Kvælstofproduktion for væddere, gimmeropdræt, lam, avlsomer, sopolte, udsættersøer og -omer og haner er indeholdt under henholdsvis moderfår, søer og høner.

N ab lager afspejler mængden af husdyrgødning afsat i stald.

Kilde: Gødningsproduktionen er baseret på Poulsen & Kristensen (1997), ammoniaktabet under og efter udbringningen er baseret på Andersen *et al.* (1999a) og emissionen af lattergas pr. kg udbragt husdyrgødning-N er givet af IPCC (1997).

De pågældende parametre er vist i tabel 4.3. I tabellen er desuden estimeret lattergasemissionen pr. dyr, som er en mere hensigtsmæssig parameter i forhold til NP-modellen. Herved er det også implicit givet, at emissionen fra den udbragte mængde husdyrgødning-N kan beskrives som et multiplum af antallet af dyr og en emissionsfaktor, jf. nedenstående ligning.

$$\begin{aligned}
N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbragt})} &= \text{Emis2} \cdot \Delta N\text{-hus-udbragt}_{\text{total}} \\
&= \text{Emis2} \cdot \sum \text{Antal_dyr}_{\text{kut}} \cdot \Delta N\text{-hus-udbragt}_{\text{kut}} \\
&= \sum \text{Antal_dyr}_{\text{kut}} \cdot \text{Emisfaktor}I_{\text{kut}}
\end{aligned} \tag{16}$$

hvor $N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbragt})}$ er emissionen af lattergas fra den udbragte husdyrgødning (kg $N_2O-N/\text{år}$)

Emis2 er emissionen af lattergas fra tilført husdyrgødning (kg $N_2O-N/\text{kg N}$)

$\text{Antal_dyr}_{\text{kut}}$ er bestanden af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

$\Delta N\text{-hus-udbragt}_{\text{kut}}$ er den udbragte mængde husdyrgødning for en given husdyrkategori excl. tab af ammoniak under og efter udbringningen, jf. tabel 4.3 (kg N/dyr/år)

$\text{Emisfaktor}I_{\text{kut}}$ er emissionen af lattergas pr. dyr af en given husdyrkategori for udbragt husdyrgødning, jf. tabel 4.3 (kg $N_2O-N/\text{dyr/år}$).

Effekten af de reestimerede emissionskoefficienter frem for IPCC's koefficienter for vesteuropæiske forhold er betydelig. Med det husdyrhold og gødningshåndteringssystem der gjorde sig gældende i 1995, indebærer anvendelsen af IPCC's default emissionskoefficienter en overestimering på knap 60 pct. Divergenserne omfatter dels opgørelsen af mængden af kvælstof i husdyrgødningen efter ammoniaktabet og dels afvigelser mht. gødningshåndtering. En del af forklaringen skyldes dog også NP-modellens aggregering af kvælstofindhold for husdyrkatogrier, jf. anmærkningen i tabel 4.3. Dette forhold er imidlertid reflekteret i ovenstående 60 pct.'s afvigelse.

4.2.3 Bidrag fra biologisk kvælstoffiksering

IPCC opgør kun kvælstoffikseringen fra bælgæd (og sojabønner, som ikke produceres i Danmark). N-indholdet opgøres som 0,03 kg N pr. kg tørstof i biomassen, hvor sidstnævnte estimeres som det dobbelte af den høstede mængde. Tilsyneladende anslås det, at N-indholdet i afgrøden er af samme størrelsesorden som N-fikseringen (IPCC, 1997).

N-fikseringen har været underkastet flere overvejelser i Danmark i forbindelse med opstilling af kvælstofbalancer for dansk landbrug (se fx Kyllingsbæk, 1995; Andersen, 1996; Grant, 1999 og Kyllingsbæk, 1999). I den forbindelse er der efterhånden etableret konsensus på estimationsproceduren for N-fikseringen, jf. nedenstående formaliserede beskrivelse:

$$\begin{aligned}
N\text{-fix}_{\text{total}} &= \left(\sum \text{Udbytte}_{\text{afgr}} \cdot (\text{TS}\% \cdot \text{fr}\phi_{\text{afgr}} \cdot \text{N-fr}\phi_{\text{afgr}} + \text{Halm}\%_{\text{afgr}}) \right. \\
&\quad \left. \cdot \text{TS}\% \cdot \text{Halm}_{\text{afgr}} \cdot \text{N-Halm}_{\text{afgr}} \right) \cdot (1 + \text{Rod\&Stub}\%_{\text{afgr}}) \cdot \text{N-fix}\%_{\text{afgr}} \\
&\quad + \text{Landbrugsareal} \cdot \text{N-fix/ha} \\
&= \left(\sum \text{Areal}_{\text{afgr}} \cdot \text{Udbytte/ha}_{\text{afgr}} \cdot (\text{TS}\% \cdot \text{fr}\phi_{\text{afgr}} \cdot \text{N-fr}\phi_{\text{afgr}} + \text{Halm}\%_{\text{afgr}}) \right. \\
&\quad \left. \cdot \text{TS}\% \cdot \text{Halm}_{\text{afgr}} \cdot \text{N-Halm}_{\text{afgr}} \right) \cdot (1 + \text{Rod\&Stub}\%_{\text{afgr}}) \cdot \text{N-fix}\%_{\text{afgr}} \\
&\quad + \text{Landbrugsareal} \cdot \text{N-fix/ha} \\
&= \left(\sum \text{Areal}_{\text{afgr}} \cdot \text{Udbytte/ha}_{\text{afgr}} \cdot \text{Konstant}_{\text{afgr}} \right) \\
&\quad + \text{Landbrugsareal} \cdot \text{N-fix/ha}
\end{aligned} \tag{17}$$

hvor $N\text{-fix}_{\text{total}}$ er den biologiske kvælstoffiksering (kg N/år)

$\text{Udbytte}_{\text{afgr}}$ er det høstede udbytte af en given N-fikserende afgrøde (kg udbytte/år)

$\text{TS}\% \cdot \text{fr}\phi_{\text{afgr}}$ er andelen af tørstof for en given N-fikserende afgrøde (dec.pct.)

N-frø_{afgr} er andelen af kvælstof i tørstofindholdet i en høstet afgrøde (kg N/kg TS)
Halm%_{afgr} er halmudbyttet i pct. af udbyttet (dec.pct.)
TS%-Halm_{afgr} er andelen af tørstof i halmen (dec.pct.)
N-Halm%_{afgr} er andelen af kvælstof i tørstofindholdet i halm (kg N/kg TS)
Rod&Stub%_{afgr} er mængden af kvælstof i rod og stub i forhold til den høstede afgrøde (dec.pct.)
N-fix%_{afgr} er andelen af fikseret kvælstof i frø, halm, rod og stub (dec.pct.)
Landbrugsareal er det samlede dyrkede areal (ha)
N-fix/ha er kvælstoffikseringen fra fritlevende mikroorganismer (kg N/ha)
Areal_{afgr} er arealet med en given afgrøde (ha)
Udbytte/ha_{afgr} er det gennemsnitlige høstudbytte af en given N-fikserende afgrøde (kg udbytte/ha)
Konstant_{afgr} er den aggregerede N-fiksering for en given afgrøde (kg N/kg udbytte).

Det fremgår af ovenstående ligning (17) at N-fikseringen for de respektive afgrøder beregnes ud fra procentuelle andele af det høstede udbytte. Følgelig kan N-fikseringen bestemmes som en konstant multipliceret med udbyttet, jf. tabel 4.4. Ved høstudbyttet forstås i den sammenhæng den delmængde af udbyttet, som stammer fra de kvælstoffikserende afgrøder. Fx er det ved dyrkning af helsæd med ærter, bælgshelsæd og kløvergræs kun den andel af udbyttet, som hidrører fra hhv. ærter og kløver.

Tabel 4.4. Fikseringen af kvælstof i N-fikserende afgrøder samt estimationsparametre

Afgrøde	Tørstof-	N-indhold	N i halm	Tørstof-	N-indhold	N i rod og	Andel af	Fikseret N
	indhold i	i tørstof	pr. N i	indhold	i tørstof	stub pr. N	N fikseret	pr. udbytte
	<i>TS%-frø</i>	<i>N-frø</i>	<i>Halm%</i>	<i>TS%-Halm</i>	<i>N-Halm</i>	<i>Rod&Stub%</i>	<i>N-fix%</i>	<i>Konstant</i>
	pct.	kg N/kg TS	pct.	pct.	kg N/kg TS	pct.	pct.	kg N/tons udbytte
Ærter til modenhed	85	3,80	42	87	1,15	25	75	34,22
Hestebønner	85	5,00	42	87	1,15	25	75	43,78
Konservesærter	85	3,80	42	87	1,15	25	60	27,38
Lucerne	20	3,00	-	-	-	50	75	6,75
Helsæd med ærter	23	2,64	-	-	-	25	80	6,07
Bælgshelsæd	23	2,64	-	-	-	25	80	6,07
Kløvergræs (rødkløver).....	13	4,00	-	-	-	60	90	7,49
<i>Græsmarksbælgplantefrø</i>								kg N/ha
Hvidkløver.....								180
Rødkløver.....								200
Humlesneglebælg								180

Anm. Kvælstoffikseringen for konservesærter er anslået til 80 pct. af kvælstoffikseringen fra bælgshelsæd til modenhed som følge af den kortere produktionstid.

Parametrene for helsæd, bælgshelsæd og kløvergræs gælder kun for den del af udbyttet, som hidrører fra de N-fikserende afgrøder.

Kilde: Kyllingsbæk, pers. medd.

I princippet kan kvælstoffikseringen fra græsmarksbælgplantefrø beregnes efter samme koncept, med da de fornødne informationer er utilstrækkelige og da bidraget er ubetydeligt, vælges det at se bort fra bidraget. Konkret udgør kvælstoffikseringen i 180-200 kg N ha⁻¹, jf. tabel 4.4, og da arealet med græsmarksbælgplantefrø i 1995 udgør godt 3.100 ha, jf. Danmarks Statistik (1996), kan N-fikseringen herfra opgøres til 700 tons N. Da bidraget er forsvindende (mindre end 1 promille af den samlede N-fiksering), vælges der i det følgende at se bort fra N-fikseringen fra græsmarksbælgplantefrø.

Foruden kvælstoffikseringen fra bælgplanter er der også taget hensyn til den asymbiotiske kvælstoffiksering fra de fritlevende mikroorganismer. Dette aspekt er afspejlet i det sidste led i ligning (17), hvor det totale landbrugsareal er multipliceret med en skønnet kvælstoffiksering på 2 kg N ha⁻¹ (Kyllingsbæk, 1999).

Da NP-modellen ikke indeholder høstudbytter, er det hensigtsmæssigt at relatere høstudbyttet til arealet. I beskrivelsen er det totale udbytte for en given kvælstoffikserende afgrøde derfor erstattet af arealet multipliceret med det gennemsnitlige høstudbytte. NP-modellen er kalibreret til 1995-situationen, og følgelig er der indsat gennemsnitlige udbytter for 1995 i ligning (17). Herved kan N-fikseringen beskrives som funktion af arealet. Samtidig er emissionen af lattergas inddraget mhp. at frembringe en aggregeret emissionsfaktor.

$$\begin{aligned}
 N_2O-N_{mark(N-fix)} &= Emis2 \cdot N-fix_{total} \\
 &= Emis2 \cdot \left[\left(\sum Areal_{afgr} \cdot Udbytte/ha_{afgr} \cdot Konstant_{afgr} \right) \right. \\
 &\quad \left. + Landbrugsareal \cdot N-fix/ha \right] \\
 &= \left(\sum Areal_{afgr} \cdot Udbytte/ha_{afgr} \cdot Konstant_{afgr} \cdot Emis2 \right) \\
 &\quad + Landbrugsareal \cdot N-fix/ha \cdot Emis2 \\
 &= \left(\sum Areal_{afgr} \cdot Emisfaktor2_{afgr} \right) + Landbrugsareal \cdot Emisfaktor3 \\
 &= \sum Areal_{afgr} \cdot \left(Emisfaktor2_{afgr} + Emisfaktor3 \right)
 \end{aligned} \tag{18}$$

- hvor $N_2O-N_{mark(N-fix)}$ er den emitterede lattergas fra N-fikseringen (kg N_2O-N /år)
 $Emis2$ er emissionen af lattergas fra N-fikseringen (kg N_2O-N /kg N)
 $N-fix_{total}$ er den biologiske N-fiksering (kg N/år)
 $Areal_{afgr}$ er arealet med en given afgrøde (ha)
 $Udbytte/ha_{afgr}$ er det gennemsnitlige høstudbytte af en given N-fikserende afgrøde (kg udbytte/ha)
 $Konstant_{afgr}$ er den aggregerede N-fiksering for en given afgrøde (kg N/kg udbytte)
 $Landbrugsareal$ er det samlede dyrkede areal (ha)
 $N-fix/ha$ er kvælstoffikseringen fra fritlevende mikroorganismer (kg N/ha)
 $Emisfaktor2_{afgr}$ er emissionen af lattergas fra symbiotisk N-fiksering fra en given afgrøde, jf. tabel 4.5 (kg N_2O-N /ha/år)
 $Emisfaktor3$ er emissionen af lattergas fra asymbiotiske N-fiksering (kg N_2O-N /ha/ha).

Emissionen af lattergas fra den asymbiotiske N-fiksering er opgjort til 0,04 kg N_2O-N /ha, idet N-fikseringen er anslået til 2 kg N/ha, hvoraf 0,02 kg N_2O-N pr. kg N emitteres som lattergas.

Tabel 4.5. Symbiotisk og asymbiotisk N-fiksering samt emissionen af lattergas-N. 1995

Afgrøde	Fikseret N pr. udbytte	Udbytte i 1995	Symbiotisk N-fiksering	Asymbiotisk N-fiksering	Emissionen af N_2O-N fra	
					Symbiotisk N-fiksering	Asymbiotisk N-fiksering
	kg N/tons udbytte	tons/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N_2O-N /ha	
Ærter til modenhed.....	34,22	3,61	123,54	2,00	2,471	0,040
Hestebønner.....	43,78	-	0,00	2,00	0,000	0,040
Konservesærter.....	27,38	4,50	122,19	2,00	2,464	0,040
Lucerne.....	6,75	47,4	319,95	2,00	6,399	0,040
Helsæd.....	6,07	2,76 ¹	16,76	2,00	0,335	0,040
Bælgsædshelsæd.....	6,07	31,32 ²	192,18	2,00	3,804	0,040
Græs i omdrift.....	7,49	6,35 ³	47,55	2,00	0,951	0,040
Græs uden for omdrift.....	7,49	1,11 ⁴	8,31	2,00	0,166	0,040
Øvrige afgrøder.....	0,00	-	0,00	2,00	0,000	0,040

1) Det skønnes, at 30 pct. af arealet med helsæd er ærtehelsæd, hvoraf ærteandelen udgør 40 pct. af høstudbyttet.

2) Det skønnes, at alt bælgsædshelsæd er med ærter, hvoraf ærteandelen udgør 60 pct. af høstudbyttet.

3) Det skønnes, at kløvergræsmarker i græs i omdrift udgør 80 pct. af arealet, hvoraf kløverindholdet andrager 20 pct. af høstudbyttet.

4) Kløverindholdet i græs uden for omdrift er anslået til 5 pct.

Kilde: Udbytteerne er baseret på Danmarks Statistik (1996).

Effekten af de reestimerede koefficienter fremfor IPCC's default koefficienter indebærer, at emissionen af lattergaskvælstof fra N-fikseringen stiger med en faktor 2,4. Forholdet skyldes dels den ændrede parametrisering og dels at der i nærværende opgørelse også tages hensyn til kvælstoffikseringen fra lucerne, helsæd, kløvergræsmarker og fritlevende mikroorganismer, hvilket ikke er indeholdt i IPCC's opgørelse.

4.2.4 Bidrag fra planteresidualer

IPCC opgør produktionen af biomasse (tørstof) som det dobbelte af den høstede mængde. Det anslås i den sammenhæng, at tørstofindholdet i de høstede afgrøder udgør 85 pct. Kvælstofmængden bestemmes efterfølgende på grundlag af indholdet af kvælstof i tørstoffet, som er anslået til 0,03 kg N pr. kg tørstof for N-fikserende afgrøder og til 0,015 kg N pr. kg tørstof for øvrige afgrøder. Efter at optaget af kvælstof i afgrøderne er bestemt, skønnes det besynderligt nok, at den høstede del af biomassen udgør 45 pct. af den totale masse. De resterende 55 pct. af biomassen betragtes som planteresidualer, hvorfra 1,25 kg N₂O-N pr. kg N skønnes emitteret som lattergaskvælstof (IPCC, 1997).

Formaliseret kan kvælstofindholdet i planteresidualerne i følge IPCC (1997) beskrives som følger:

$$\Delta N\text{-}Veg_{total} = 2 \cdot \left(\sum Udbytte_{afgr} \cdot TS\% \cdot N_i_TS_{afgr} \right) \cdot (1 \div Fjernet\%) \quad (19)$$

hvor $\Delta N\text{-}veg_{total}$ er tilførslen af kvælstof i form af planteresidualer (kg N/år)
 $Udbytte_{afgr}$ er høstudbyttet af en given afgrøde fordelt på bælgæd til modenhed og andre afgrøder (kg høstet biomasse/år)
 $TS\%$ er tørstofindholdet i den høstede afgrøde (dec.pct.)
 $N_i_TS_{afgr}$ er kvælstofindholdet i tørstoffet for en given høstet afgrøde (kg N/kg TS)
 $Fjernet\%$ er den høstede andel af den totale planteproduktion (dec.pct.).

Den anvendte metode er selvsagt yderst forenklet og afspejler ikke variationen mellem de respektive afgrøder samt variationen inden for en afgrøde alt afhængig af jordbundsforhold. Desuden tager metoden ikke højde for variationen i udnyttelsen af de respektive afgrøder. På den anden side er det fornødne statistiske grundlag ikke til stede. Erfaringerne fra N-balancerne gør det imidlertid muligt at bestemme N-indholdet i de høstede afgrøder med en større akuratesse end IPCC's default koefficienter. Følgelig erstattes denne del af estimatet med danske koefficienter, jf. omstående tabel 4.6. Der vil imidlertid fortsat være betydelig usikkerhed mht. hvor stor en andel af det totale indhold af kvælstof, som fjernes med afgrøderne.

Den logiske brist i IPCC's argumentation kan der dog korrigeres for. Det kan således ikke samtidig hævdes, at den totale biomasse svarer til det dobbelte af den høstede biomasse, når det samtidig hævdes, at 45 pct. af den totale biomasse fjernes med afgrøden. I tabel 4.6 er det derfor antaget, at den totale biomasse svarer til det dobbelte af den høstede biomasse. Følgelig vil N-indholdet i planteresidualerne efter høst være af sammen størrelsesorden som den høstede biomasse.

Da der emitteres 0,0125 kg N₂O-N pr. kg N i planteresidualerne, kan emissionen af lattergas slet og ret bestemmes som produktet af N i planteresidualerne og emissionen af lattergas pr. kg N, jf. tabel 4.6.

Tabel 4.6. Emissionen af lattergaskvælstof fra planteresidualer (= høstet mængde). 1995

Afgrøde	Høstet biomasse	N-faktor	N i høst = N i planteresidualer	Emissionen af N ₂ O-N	
				Andel af N	Mængde
	tons	kg N/tons	tons N	kg N ₂ O-N/kg N	tons
Vinterhvede.....	4 428 476	19,70	87 241	0,0125	1 091
Vårhvede.....	32 075	19,70	632	0,0125	8
Rug.....	479 802	15,90	7 629	0,0125	95
Vinterbyg.....	1 096 622	18,20	19 959	0,0125	249
Vårbyg.....	2 684 855	18,20	48 864	0,0125	611
Havre og blandsæd.....	153 678	18,00	2 766	0,0125	35
Bælgsæd til modenhed.....	268 130	33,30	8 929	0,0125	112
Kartofler.....	1 440 735	3,53	5 086	0,0125	64
Sukkerroer til fabrik.....	3 129 647	2,08	6 510	0,0125	81
Fodersukkerroer mv.	3 190 801	2,13	6 796	0,0125	85
Lucerne.....	481 190	7,11	3 421	0,0125	43
Fodermajs.....	1 541 429	3,00	4 624	0,0125	58
Helsæd.....	2 025 441	3,50	7 089	0,0125	89
Andet grøntfoder.....	154 963	6,07	941	0,0125	12
Græs i omdrift.....	9 585 944	5,40	51 764	0,0125	647
Græs uden for omdrift.....	4 706 773	5,25	24 711	0,0125	309
Ital. rajgræs som efterafgrøder.....	829 664	5,30	4 397	0,0125	55
Anden efterslæt.....	1 881 970	5,30	9 974	0,0125	125
Vinterraps.....	237 510	33,90	8 052	0,0125	101
Vårraps.....	74 927	33,90	2 540	0,0125	32
Andet frø.....	2 212	33,90	75	0,0125	1
Frø til udsæd.....	78 206	30,00	2 346	0,0125	29
	ha	kg N/ha			
Frugt og bær, ha.....	8 367	70,00	586	0,0125	7
Grøntsager, ha.....	12 583	70,00	881	0,0125	11
Planteskole & fril.bl., ha.....	3 769	70,00	264	0,0125	3
Andre afgrøder, ha.....	1 308	70,00	92	0,0125	1
Brak i omdrift.....	26 014	70,00	1 821	0,0125	23
Brak uden for omdrift.....	190 479	70,00	13 334	0,0125	167
I alt.....			331 322	0,0125	4 142

Anm. N-indholdet i gartneriafgrøder og fra brakarealer er anslået til 70 kg N pr. ha.

Kilde: Udbytte er baseret på Danmarks Statistik (1996), N-indholdet i de høstede afgrøder er baseret på Andersen (1996) og andelen af kvælstof som emitteres som lattergaskvælstof er baseret på IPCC (1997).

De 4.100 tons lattergaskvælstof skal ses i sammenhæng med et samlet landbrugsareal på 2.726.000 ha, hvilket i gennemsnit svarer til 1,52 kg N₂O-N pr. ha. På grund af usikkerheden bestemmes emissionen af lattergas fra planteresidualerne alene som emissionen pr. ha multipliceret med arealet, jf. ligning (20). I udtrykket tages der dog højde for, at det evt. på et senere tidspunkt bliver muligt at tilvejebringes mere disaggregerede estimater. Derfor gøres N-indholdet i planteresidualerne betinget af afgrøden, jf. nedenstående.

$$N_2O-N_{mark(\Delta N-Veg)} = \sum Areal_{afgr} \cdot Emisfaktor_{afgr} \quad (20)$$

hvor $N_2O-N_{mark(\Delta N-Veg)}$ er emissionen af lattergas fra planteresidualerne (kg N₂O-N/år)

$Areal_{afgr}$ er arealet med en given afgrøde (ha)

$Emisfaktor_{afgr}$ er emission af lattergas pr. ha fra planteresidualer for en given afgrøde (kg N₂O-N/ha/år).

Den anvendte metode indebærer, at emissionen kun udgør $\frac{2}{3}$ af emissionen genereret ved IPCC's metode. Forskellen skyldes dels en undervurdering af N-indholdet i bælgssæd på omkring 25 pct. og dels en overvurdering af N-indholdet i de øvrige afgrøder på 60 pct. Da bælgssæds andel af den totale høstede masse er lille, resulterer de modsatrettede tendenser til, at IPCC overvurderer emissionen af lattergaskvælstof. I disse betragtninger er det forudsat, at planteresidualerne er af samme størrelsesorden som den høstede biomasse.

Til det fremkomne resultat skal det understreges, at der er knyttet en anseelig usikkerhed til forholdet mellem den totale biomasse og den høstede biomasse. Forholdet varierer betydeligt mellem afgrøderne og også inden for afgrøderne alt afhængig af produktionsbetingelserne⁹. Der gøres derfor ikke noget forsøg på at opstille et alternativ mål for forholdet mellem den totale biomasse og den høstede biomasse.

4.2.5 Bidrag fra husdyrgødning afsat under udbinding

IPCC bestemmer emissionen af lattergaskvælstof fra husdyrgødningen afsat under udbinding som 0,02 kg N₂O-N pr. kg udskilt kvælstof (IPCC, 1997).

I udtrykket tages der ikke hensyn til den del af kvælstoffet, som emitteres som ammoniak. Der synes imidlertid ikke at være nogen logisk grund til, at N-indholdet i den afsatte husdyrgødning ikke skal reduceres for ammoniakemissionen forinden, idet den del af kvælstoffet, som emitteres som ammoniak, ikke også kan emitteres som lattergas. Der anvendes derfor den samme beregningsprocedure som blev anvendt for udbragt husdyrgødning. Udgangspunktet er blot ikke længere N ab lager men N ab dyr, idet der i følge sagens natur ikke er tale om tilførsel af strøelse samt tab af kvælstof i stald og lager.

Formaliseret kan det beskrives som

$$\begin{aligned} \Delta N\text{-hus-udbinding}_{\text{total}} &= \sum \left[\text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot N \text{ ab dyr under udbinding}_{\text{kat}} \right. \\ &\quad \left. \cdot (1 \div NH_3\text{-N tab}_{\text{kat}}) \right] \quad (21) \\ &= \sum \text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot \Delta N \text{ ab dyr under udbinding}_{\text{kat}} \end{aligned}$$

hvor $\Delta N\text{-hus-udbinding}_{\text{total}}$ er den afsatte husdyrgødning på mark excl. tab af NH₃ (kg N/år)

$\text{Antal_dyr}_{\text{kat}}$ er bestanden af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

$N \text{ ab dyr under udbinding}_{\text{kat}}$ er mængden af N afsat på mark pr. dyr pr. år for en given husdyrkategori i NP-modellen, jf. tabel 4.7 (kg N/dyr/år)

$NH_3\text{-N tab}_{\text{kat}}$ er andelen af afsat gødning på mark, som emitteres som ammoniak, jf. tabel 4.7 (dec.pct.)

$\Delta N \text{ ab dyr under udbinding}_{\text{kat}}$ er mængden af N afsat på mark pr. dyr pr. år excl. tab af ammoniak for en given husdyrkategori i NP-modellen, jf. tabel 4.7 (kg N/dyr/år).

⁹ Forholdet mellem kvælstof i rod og top (halm + kerne) er analyseret af Andersen (1986) for bygafgrøder på sand- og lerjord på forskellige lokaliteter. Undersøgelsen viste, at rod/top-kvælstof-forholdet udgjorde mellem 0,41 og 0,66 pct. på sandjord, og på lerjord udgjorde forholdet mellem 0,18 og 0,21. Forholdet blev også analyseret for alm. rajgræs på sandjord, hvor rod/top-kvælstof-forholdet udgjorde mellem 0,35 og 0,36 (Andersen, 1986). Såfremt der høstes flere slæt, vil forholdet imidlertid blive mindre.

Tabel 4.7. Emissionen af lattergas fra husdyrgødning afsat på mark samt estimationsparametre for dyr i NP-modellen. 1995

Husdyrkategori	N afsat på mark i NP-modellen	NH ₃ -N tab v. udbinding	N til jord i NP-modellen	Emission af N ₂ O	
				Andel af N	Mængde
	kg N/dyr/år	pct.	kg N/dyr/år	kg N ₂ O-N/kg N	kg N ₂ O-N/dyr/år
Malkekøer	12,52	7,0	11,65	0,02	0,233
Tyre og tyrekalve	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Kvier og kviekalve	15,33	7,0	14,25	0,02	0,285
Ammekøer	35,02	7,0	32,57	0,02	0,651
Moderfår	15,90	7,0	14,79	0,02	0,296
Heste	22,95	7,0	21,34	0,02	0,427
Søer	0,51	7,0	0,48	0,02	0,010
Smågrise	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Slagtesvin	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Høner (100 stk.)	1,04	7,0	0,97	0,02	0,019
Hønniker (100 stk.)	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Slagtekyl. (100 stk.)	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Kalkuner (100 stk.)	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Ænder (100 stk.)	0,00	-	0,00	0,02	0,000
Gæs (100 stk.)	112,20	7,0	104,35	0,02	2,087

Anm. Kvælstofproduktion for væddere, gimmeropdræt, lam, avlsorner, sopolte, udsættersøer og -orner og haner er indeholdt under henholdsvis moderfår, søer og høner.

N ab dyr afspejler mængden af husdyrgødning afsat på mark.

Kilde: Gødningsproduktionen er baseret på Poulsen & Kristensen (1997), ammoniaktabet under og efter udbringningen er baseret på Andersen *et al.* (1999) og emissionen af lattergas pr. kg husdyrgødning-N afsat under udbinding er givet af IPCC (1997).

I tabel 4.7 er desuden estimeret emissionen af lattergas pr. dyr, som er en mere hensigtsmæssig parameter i forhold til NP-modellen. Herved er det også implicit givet, at emissionen fra gødningen afsat på mark kan beskrives som et multiplum af antallet af dyr og en emissionsfaktor, jf. nedenstående ligning.

$$N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbinding})} = Emis3 \cdot \sum \left[\frac{\text{Antal_dyr}_{kat} \cdot \Delta N \text{ ab dyr under udbinding}_{kat}}{\Delta N \text{ ab dyr under udbinding}_{kat}} \right] \quad (22)$$

$$= \sum \text{Antal_dyr}_{kat} \cdot Emisfaktor5_{kat}$$

hvor $N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbinding})}$ er emissionen af lattergaskvælstof fra den afsatte husdyrgødning-N (kg N₂O-N/år)

$Emis3$ er emissionen af lattergas fra afsat husdyrgødning på mark (kg N₂O-N/kg N)

Antal_dyr_{kat} er bestanden af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

$\Delta N \text{ ab dyr under udbinding}_{kat}$ er mængden af N afsat på mark pr. dyr pr. år excl. tab af ammoniak for en given husdyrkategori i NP-modellen, jf. tabel 4.7 (kg N/dyr/år)

$Emisfaktor5_{kat}$ er emissionen af lattergas pr. dyr af en given husdyrkategori for husdyrgødning afsat på mark, jf. tabel 4.7 (kg N₂O-N/dyr/år).

Effekten af de reestimerede emissionskoefficienter frem for IPCC's default koefficienter indebærer, at emissionen af lattergas reduceres med 35 pct. Divergenserne omfatter dels opgørelsen af mængden af kvælstof i husdyrgødningen og dels afvigelser mht. gødningshåndtering. En del af forklaringen skyldes dog også NP-modellens aggregering af kvælstofindhold for husdyrkatogier. Det forhold er imidlertid reflekteret i ovenstående procentsats.

4.2.6 Bidrag fra kvælstofdeposition (ammoniakemission)

Kvælstofdepositionen opgøres normalt som depositionen af ammoniak, kvælstofoxider og deres reaktionsprodukter. I IPCC's opgørelse fokuseres der imidlertid på den af landbruget forvoldte kvælstofdeposition. Følgelig svarer kvælstofdepositionen til emissionen af ammoniak og kvælstofoxider, hvoraf sidstnævnte er forsvindende og derfor udeladt. Konkret bestemmer IPCC kvælstofdepositionen som summen af ammoniakemissionen fra handelsgødning og udbragt husdyrgødning, hvor det er antaget, at emissionen udgør hhv. 10 og 20 pct. af N-indholdet.

De pågældende procentsatser er som tidligere nævnt for høje for handelsgødning og for lave for husdyrgødning. Hertil kommer, at bidraget er mangelfuldt; emissionen for husdyrgødning afsat på mark under udbinding er således ikke medregnet. Desuden mangler emissionen fra tilførslen af halm, fra afgrøderne og fra halmludningsprocessen. Da ammoniakemissionen i forvejen estimeres via NP-modellen, er det formålstjenligt at benytte denne beregningsprocedure, jf. ligning (23):

$$NH_3-N_{total} = \sum \left[\begin{array}{l} Antal_dyr_{kat} \cdot NH_3-N/Dyr_{kat} + NH_3-N_{pelsdyr} + NH_3-N_{halmlud} + \\ NH_3-N_{slam} + N-han_{total} \cdot 0,024 + \\ Areal_{afgr1-afgr9} \cdot 5,000 + Areal_{afgr10} \cdot 3,732 + Areal_{afgr11} \cdot 3,000 \end{array} \right] \quad (23)$$

hvor NH_3-N_{total} er emissionen af ammoniakkvælstof (kg N/år)

$Anstal_dyr_{kat}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

NH_3-N/Dyr_{kat} er emissionen af ammoniak pr. dyr, jf. tabel 4.8 (kg NH_3-N /dyr/år)

$NH_3-N_{pelsdyr}$ er bidraget af ammoniak fra pelsdyr (kg NH_3-N /år)

$NH_3-N_{halmlud}$ er bidraget af ammoniak fra halmludningen (kg NH_3-N /år)

NH_3-N_{slam} er bidraget af ammoniak fra udbragt spildevandsslam (kg NH_3-N /år)

$N-han_{total}$ er forbruget af handelsgødning-N (kg N/år)

$Areal_{afgr1-afgr9}$ er arealet med landbrugsafgrøder excl. arealer med brak, græs- og grøntfoder i omdrift og græs uden for omdrift (ha)

$Areal_{afgr10}$ er arealet med græs- og grøntfoder i omdrift (ha)

$Areal_{afgr11}$ er arealet med græs uden for omdrift (ha).

Tabel 4.8. Ammoniakemissionen pr. husdyrkategori (bestandsenhed). 1995

Husdyrkategori	Emission af NH_3	Husdyrkategori	Emission af NH_3
	kg N/dyr/år		kg N/dyr/år
DYR1 Malkekøer, st. race	24,67	DYR10 Slagtesvin, 30-98,3 kg....	3,21
DYR2 Malkekøer, jersey	20,74	DYR11 Høner	0,37
DYR3 Tyre, stor race	9,72	DYR12 Høniker.....	0,11
DYR4 Tyre, jersey	7,45	DYR13 Slagtekyllinger.....	0,23
DYR5 Opdræt, stor race.....	6,90	DYR14 Kalkuner.....	0,87
DYR6 Opdræt, jersey.....	5,18	DYR15 Ænder.....	0,47
DYR7 Ammekøer	10,07	DYR16 Gæs.....	0,08
DYR8 Årssøer.....	7,24	DYR17 Moderfår inkl. lam.....	3,21
DYR9 Smågrise, 7,5-30 kg	1,13	DYR18 Heste.....	9,85

Kilde: Efter Andersen *et al.* (1999a).

Ammoniakemissionen fra husdyr bestemmes som produktet af antallet af dyr og en emissionsfaktor for de respektive husdyrategorier, jf. tabel 4.8. Undtagelsen herfor er pelsdyr, som ikke er indeholdt i NP-modellen. Emissionen fra pelsdyr indgår derfor som en konstant (3.866 tons NH_3-N i 1995, jf. Andersen *et al.*, 1999a). Tilsvarende gør sig gældende for tilførslen af spildevandsslam (99 tons NH_3-N i 1995, jf. Andersen *et al.*, 1999a) og emissionen fra halmludningen (5.464 tons NH_3-N i 1995, jf. Andersen *et al.*, 1999a).

Emissionen fra afgrøderne er baseret på en skønnet emission på 5 kg NH₃-N ha⁻¹ for rækkeafgrøder og 3 kg NH₃-N ha⁻¹ for græsafgrøder (Andersen *et al.*, 1999).

Emissionen af lattergas er anslået til 0,01 kg N₂O-N pr. kg emitteret ammoniak (IPCC, 1997). Denne andel er indsat i ligning (23), hvorved emissionen af lattergas fra den emitterede ammoniak er givet ved ligning (24):

$$N_2O-N_{\text{mark}(N\text{-dep})} = Emis4 \cdot NH_3-N_{\text{total}}$$

$$= 0,01 \cdot \sum \left[\begin{array}{l} Antal_dyr_{kat} \cdot NH_3-N/Dyr_{kat} + NH_3-N_{\text{pelsdyr}} + \\ NH_3-N_{\text{halmlud}} + NH_3-N_{\text{slam}} + N\text{-han}_{\text{total}} \cdot 0,024 + \\ Areal_{\text{afgr1-afgr9}} \cdot 5,000 + Areal_{\text{afgr10}} \cdot 3,732 + \\ Areal_{\text{afgr11}} \cdot 3,000 \end{array} \right] \quad (24)$$

hvor $N_2O-N_{\text{mark}(N\text{-dep})}$ er emissionen af lattergas fra den emitterede ammoniak (kg N₂O-N/år)

$Emis4$ er emissionen af lattergas fra kvælstofdepositionen (kg N₂O-N/kg N)

NH_3-N_{total} er emissionen af ammoniakkvælstof (kg N/år)

$Antal_dyr_{kat}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)

NH_3-N/Dyr_{kat} er emissionen af ammoniak pr. dyr, jf. tabel 4.8 (kg NH₃-N/dyr/år)

NH_3-N_{pelsdyr} er bidraget af ammoniak fra pelsdyr (kg NH₃-N/år)

NH_3-N_{halmlud} er bidraget af ammoniak fra halmludningen (kg NH₃-N/år)

NH_3-N_{slam} er bidraget af ammoniak fra udbragt spildevandsslam (kg NH₃-N/år)

$N\text{-han}_{\text{total}}$ er forbruget af handelsgødning-N (kg N/år)

$Areal_{\text{afgr1-afgr9}}$ er arealet med landbrugsafgrøder excl. arealer med brak, græs- og grøntfoder i omdrift og græs uden for omdrift (ha)

$Areal_{\text{afgr10}}$ er arealet med græs- og grøntfoder i omdrift (ha)

$Areal_{\text{afgr11}}$ er arealet med græs uden for omdrift (ha).

Da drivhusgasmoduliet skal kobles til NP-modellen er der imidlertid ingen grund til at estimere ammoniakemissionen særskilt, og i den videre modellering indgår ammoniaktabet derfor blot med NH_3-N_{total} , hvor det er underforstået, at emissionen af ammoniak beregnes via NP-modellen.

Effekten af de reestimerede emissionskoefficienter frem for IPCC's default koefficienter indebærer, at emissionen af lattergas fra kvælstofdepositionen falder med 15 pct. Forskellen skyldes dels varierende emissionskoefficienter og varierende kvælstofudskillelse pr. husdyrkategori og dels nærværende estimats indeholdte ammoniakemission fra halmludning, afgrøder og tilført spildevandsslam.

4.2.7 Emissionen af lattergas fra mark i relation til NP-modellen

Den samlede emission fra marken kan herefter beskrives som summen af de enkelte bidrag. Dvs. bidraget fra handelsgødning, den udbragte husdyrgødning, kvælstoffikseringen, planteresidualer, husdyrgødning afsat på mark under udbinding og kvælstofdepositionen, jf. hhv. ligning (14), (16), (18), (20), (22) og (24). De respektive bidrag er summeret og aggregeret i nedenstående ligning (25).

$$\begin{aligned}
N_2O-N_{\text{mark}} &= N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-han})} + N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbragt})} + N_2O-N_{\text{mark}(N\text{-fix})} \\
&\quad + N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-Veg})} + N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbinding})} + N_2O-N_{\text{mark}(N\text{-dep})} \\
&= 0,0122 \cdot N\text{-han}_{\text{total}} + \left(\sum \text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot \text{Emisfaktor}1_{\text{kat}} \right) \\
&\quad + \left(\sum \text{Areal}_{\text{afgr}} \cdot (\text{Emisfaktor}2_{\text{afgr}} + \text{Emisfaktor}3) \right) \\
&\quad + \left(\sum \text{Areal}_{\text{afgr}} \cdot \text{Emisfaktor}4_{\text{afgr}} \right) + \left(\sum \text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot \text{Emisfaktor}5_{\text{kat}} \right) \\
&\quad + 0,01 \cdot NH_3-N_{\text{total}} \tag{25} \\
&= \left(\sum \text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot (\text{Emisfaktor}1_{\text{kat}} + \text{Emisfaktor}5_{\text{kat}}) \right) \\
&\quad + \left(\sum \text{Areal}_{\text{afgr}} \cdot (\text{Emisfaktor}2_{\text{afgr}} + \text{Emisfaktor}3 + \text{Emisfaktor}4_{\text{afgr}}) \right) \\
&\quad + 0,0122 \cdot N\text{-han}_{\text{total}} + 0,01 \cdot NH_3-N_{\text{total}} \\
&= \left(\sum \text{Antal_dyr}_{\text{kat}} \cdot \text{Emisfaktor}6_{\text{kat}} \right) + \left(\sum \text{Areal}_{\text{afgr}} \cdot \text{Emisfaktor}7_{\text{afgr}} \right) \\
&\quad + 0,0122 \cdot N\text{-han}_{\text{total}} + 0,01 \cdot NH_3-N_{\text{total}}
\end{aligned}$$

- hvor N_2O-N_{mark} er den emitterede lattergas fra marken pr. år (kg N_2O-N /år)
 $N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-han})}$ er den emitterede lattergas fra handelsgødning pr. år (kg N_2O-N /år)
 $N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbragt})}$ er den emitterede lattergas fra den udbragte husdyrgødning pr. år (kg N_2O-N /år)
 $N_2O-N_{\text{mark}(N\text{-fix})}$ er den emitterede lattergas fra N-fikseringen pr. år (kg N_2O-N /år)
 $N_2O-N_{\text{mark}(\Delta N\text{-hus-udbinding})}$ er den emitterede lattergas fra gødning afsat på mark pr. år (kg N_2O-N /år)
 $N_2O-N_{\text{mark}(N\text{-dep})}$ er den emitterede lattergas fra N-depositionen pr. år (kg N_2O-N /år)
 $N\text{-han}_{\text{total}}$ er det totale forbrug af handelsgødning i landbruget i NP-modellen (kg N/år)
 $\text{Antal_dyr}_{\text{kat}}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)
 $\text{Emisfaktor}1_{\text{kat}}$ er emissionen af lattergas for udbragt husdyrgødning pr. dyr af en given husdyrkategori (kg N_2O-N /dyr/år)
 $\text{Areal}_{\text{afgr}}$ er arealet med en given afgrøde (ha)
 $\text{Emisfaktor}2_{\text{afgr}}$ er emissionen af lattergas fra symbiotisk N-fiksering fra en given afgrøde (kg N_2O-N /ha/år)
 $\text{Emisfaktor}3$ er emission af lattergas fra asymbiotisk N-fiksering (kg N_2O-N /ha/år)
 $\text{Emisfaktor}4$ er emission af lattergas pr. ha for planteresidualer (kg N_2O-N /ha/år)
 $\text{Emisfaktor}5_{\text{kat}}$ er emissionen af lattergas pr. dyr af en given husdyrkategori for husdyrgødning afsat på mark, jf. tabel 4.7 (kg N_2O-N /dyr/år)
 $\text{Emis}4$ er emissionen af lattergas fra kvælstofdepositionen (kg N_2O-N /kg N)
 NH_3-N_{total} er emissionen af ammoniakkvælstof (kg N/år)
 $\text{Emisfaktor}6_{\text{kat}}$ er emissionen af lattergas pr. dyr af en given husdyrkategori for såvel udbragt husdyrgødning som gødning afsat på mark, jf. tabel 4.9 (kg N_2O-N /dyr/år)
 $\text{Emisfaktor}7_{\text{afgr}}$ er emissionen af lattergas fra N-fikseringen og planteresidualer fra en given afgrøde, jf. tabel 4.10 (kg N_2O-N /ha)

Som det ses af ligning (25) er det muligt at udtrykke lattergasemissionen for hhv. udbragt husdyrgødning og husdyrgødning afsat på mark til et samlet udtryk, jf. omstående tabel 4.9.

Tabel 4.9. Emissionen af lattergas fra udbragt husdyrgødningen og husdyrgødning afsat på mark pr. husdyrkategori i NP-modellen (bestandseenhed). 1995

Husdyrkategori		Emission af N ₂ O		Husdyrkategori		Emission af N ₂ O	
		kg N/dyr/år				kg N/dyr/år	
DYR1	Malkekøer, st. race	1,391		DYR10	Slagtesvin, 30-98,3 kg...	0,090	
DYR2	Malkekøer, jersey	1,391		DYR11	Høner	0,674	
DYR3	Tyre, stor race	0,339		DYR12	Høniker	0,257	
DYR4	Tyre, jersey	0,339		DYR13	Slagtekyllinger	0,337	
DYR5	Opdræt, stor race	0,484		DYR14	Kalkuner	1,244	
DYR6	Opdræt, jersey	0,484		DYR15	Ænder	0,693	
DYR7	Ammekøer	0,884		DYR16	Gæs	2,087	
DYR8	Årssøer	0,236		DYR17	Moderfår inkl. lam	0,352	
DYR9	Smågrise, 7,5-30 kg	0,038		DYR18	Heste	0,654	

På tilsvarende vis er det muligt at aggregere de arealbetingede emissionsfaktorer for hhv. symbiotisk og asymbiotiske N-fiksering og emissionen fra planteresidualer, jf. tabel 4.10.

Tabel 4.10. Emissionen af lattergas-N som følge af N-fiksering og planteresidualer. 1995

Afgroede	Emission af lattergas-N fra				Afgroede	Emission af lattergas-N fra			
	Sym. N-fix	Asym. N-fix	Plan-teres.	I alt		Sym. N-fix	Asym. N-fix	Plan-teres.	I alt
----- kg N ₂ O-N/ha -----									
Ærter til modenhed	2,471	0,04	1,52	4,031	Bælgsædshelsæd	3,804	0,04	1,52	5,364
Konservesærter	2,464	0,04	1,52	4,024	Græs i omdrift	0,951	0,04	1,52	2,511
Lucerne	6,399	0,04	1,52	7,959	Græs uden for omdrift...	0,166	0,04	1,52	1,726
Helsæd	0,335	0,04	1,52	1,895	Øvrige afgrøder	0,000	0,04	1,52	1,560

4.3 Emissionen af lattergas fra kvælstofudvaskning

Emissionen af lattergas fra N-udvaskningen sker ikke nødvendigvis i forbindelse med N-omsætningen i landbrugsjorden, men forekommer også i grundvand, søer og vandløb langt fra landbruget. I lighed med ammoniakemissionen fokuserer IPCC også her på den af landbruget forvoldte lattergasemission, og følgelig estimeres emissionen fra den totale N-udvaskning. IPCC skønner bidraget til lattergasemissionen fra N-udvaskningen til 0,025 kg N₂O-N pr. kg udvasket N.

Selve udvaskningen estimeres som 30 pct. af summen af handelsgødning-N og udskilt husdyrgødning-N (IPCC, 1997). Dvs. at der ikke tages højde for håndteringen af husdyrgødningen og følgelig tages der ikke hensyn til N-tilførslen i form af halm samt til N-omsætningen inden gødningen opblandes med jorden. På tilsvarende vis tages der heller ikke hensyn til den varierende udvaskning alt afhængig af gødningstype. Og endelig tages der ikke hensyn til afgrødetypen og jordtypen, som ligeledes influerer på N-udvaskningen.

Da estimeringen af N-udvaskningen er en subrutine i NP-modellen, er det formålstjenlig at benytte denne beregningsprocedure, jf. ligning 26. I denne funktion tages der hensyn til ovenstående udeladte forhold, hvilket giver en mere præcis bestemmelse af N-udvaskningen. Grant *et al.* (1998) har imidlertid påpeget, at den modelberegnete udvaskning er gennemsnitlig 26 pct. lavere end den målte udvaskning. Dvs. at udtrykket skal øges med faktoren 1,35 (= 100 / (100 - 26)) for at få et mere korrekt udtryk for udvaskningen:

$$N_2O-N_{udvask} = Emis5 \cdot 1,35 \cdot N\text{-udvaskning}$$

$$= 0,03375 \cdot \sum Areal_{opl\ddot{a}nd, type, j\ddot{o}b, afgr} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{(1+3,6 \cdot a) \cdot UDV\text{-std}_{afgr, j\ddot{o}b} \cdot e^{0,7 \cdot ((N\text{-eff}_{opl\ddot{a}nd, afgr, type, j\ddot{o}b} / N\text{-std}_{afgr}) - 1)}}{1,8 \cdot a \cdot UDV\text{-std}_{afgr, j\ddot{o}b}} \right] \\ + \left[\frac{1,875 \cdot (0,4 \div \frac{U_n}{100})}{a \cdot N\text{-eff}_{opl\ddot{a}nd, afgr, type, j\ddot{o}b}} \right] \end{array} \right\} \quad (26)$$

hvor N_2O-N_{udvask} er emissionen af lattergas fra kvælstofudvaskningen (kg $N_2O-N/\ddot{a}r$)

$Emis5$ er emissionen af lattergas fra det udvaskede kvælstof (kg $N_2O-N/kg N$)

$N\text{-udvaskning}$ er den samlede udvaskning af kvælstof fra landbruget (kg $N/\ddot{a}r$)

$Areal_{opl\ddot{a}nd, type, j\ddot{o}b, afgr}$ er arealet med en given afgrøde på en given brugs- og jordtype i et givet opland (ha)

$UDV\text{-std}_{afgr, j\ddot{o}b}$ er udvaskningen pr. ha ved standardgødskning for en given afgrøde på en given jordtype, jf. tabel 4.11 (kg N/ha)

$N\text{-eff}_{opl\ddot{a}nd, afgr, type, j\ddot{o}b}$ er den effektive tilførte kvælstofmængde pr. ha for en given afgrøde på en given brugs- og jordtype i et givet opland under antagelse af, at virkningsgraden for husdyrgødningskvælstoffet udgør 40% (kg N/ha)

$N\text{-std}_{afgr}$ er standardgødskning med kvælstof pr. ha til en given afgrøde, jf. tabel 4.11 (kg N/ha)

a udtrykker forholdet $0,4 \cdot \text{total-N}$ i husdyrgødningen / $N\text{-eff}$ (-)

U_n er virkningsgraden for husdyrgødningskvælstof (-).

Tabel 4.11. Parametre i udvaskningsfunktionen: Standardgødskning med kvælstof ($N\text{-std}$) samt udvaskningen af kvælstof fra rodzonen ved standardgødskning ($UDV\text{-std}$)

	Standardgødskning	Udvaskning ved standardgødskning	
		Sandjord	Lerjord
----- kg N/ha -----			
Vintersæd.....	165	45	35
Vårsæd.....	110	65	55
Vinterraps.....	230	50	40
Vårraps.....	170	70	55
Bælgsæd.....	0	75	60
Handelsroer.....	160	45	30
Kartofler.....	160	45	30
Anden afgrøde.....	120	40	30
Foderroer.....	160	45	30
Græs i omdrift.....	300	40	25
Græs uden for omdrift.....	0	15	10
Brak inden for omdrift.....	0	50	50
Brak uden for omdrift.....	0	12	12

Kilde: Interne parametre i NP-modellen.

Da drivhusgasmoduliet skal kobles til NP-modellen er der imidlertid ingen grund til at estimere $N\text{-udvaskning}$ særskilt, og i den videre formulering indgår $N\text{-udvaskning}$ derfor blot med udtrykket $N\text{-udvaskning}$, hvilket refererer til udvaskningen beregnet via NP-modellen.

Effekten af den anvendte metode indebærer, at emissionen af lattergas øges med blot 1 pct. i forhold til IPCC's default koefficienter. Den marginale forskel er dog tilfældig; ændres

forholdet mellem husdyrgødning og handelsgødning vil afvigelsen stige, idet N-udvaskningen fra jorde gødsket med husdyrgødning er større end N-udvaskningen fra jorde gødsket med handelsgødning.

4.4 Emissionen af lattergas fra organogene jorde

IPCC opgør emissionen fra de organogene jorde som produktet af arealet med organogene jorde og en skønnet emission af lattergas pr. ha (IPCC, 1997). I den sammenhæng anslås emissionen til 5 kg N₂O-N ha⁻¹ i tempererede områder (gennemsnitlig årstemperatur på mellem 15 og 25°C) og til 10 kg N₂O-N ha⁻¹ i tropiske områder (gennemsnitlig årstemperatur på over 25°C) (IPCC, 1997). Der er således ikke nogen angivelse af emissionen i kolde områder (gennemsnitlig årstemperatur på under 15°C), hvor Danmark er hjemmehørende. IPCC angivelse af emissionsintervallet for de medtagede temperaturzoner til 2-15 kg N₂O-N ha⁻¹ (IPCC, 1997) indikerer imidlertid, at emissionen aftager ved faldende temperaturer. Det anslås derfor, at emissionen i de kolde zoner er lavere, og i nærværende beregning er emissionen for de organogene jorde derfor anslået til 3 kg N₂O-N ha⁻¹.

Det totale areal i Danmark med humusholdige jorde udgør 237.700 ha i følge den danske jordklassificering (JB nr. 11) (Madsen *et al.*, 1992). I følge Dalgaard (1998) er der kun landbrugsdrift på de 184.400 ha, og heraf er kun 10 pct. af arealet i omdrift. Anvendes de humusholdige jorde i omdrift som et udtryk for organogene jorde, kan emissionen af lattergas opgøres til 55.200 kg N. Usikkerheden er betragtelig og emissionen vil derfor indgå i estimationsprocedurene som en konstant.

4.5 Den samlede emission af lattergas i relation til NP-modellen

Den samlede emission af lattergas fra landbruget kan herefter beskrives som summen af emissionerne fra håndteringen af husdyrgødningen, fra marken, fra de organogene jorde og fra kvælstofudvaskningen, jf. ligning (27). I formuleringen er mængden af lattergaskvælstof samtidig omregnet til lattergas ved at multiplicere med ⁴⁴/₂₈:

$$\begin{aligned}
 N_2O_{total} &= \frac{44}{28} \cdot [N_2O-N_{g\ddot{a}rd} + N_2O-N_{mark} + N_2O-N_{udvask} + N_2O-N_{organ}] \\
 &= \frac{44}{28} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \left(\sum Antal_d\ddot{y}r_{k\ddot{u}t} \cdot Emis-g\ddot{a}rd_{k\ddot{u}t} \right) \\ & + \left[\begin{aligned} & \left(\sum Antal_d\ddot{y}r_{k\ddot{u}t} \cdot Emisfaktor6_{k\ddot{u}t} \right) \\ & + \left(\sum Areal_{afgr} \cdot Emisfaktor7_{afgr} \right) \\ & + 0,0122 \cdot N-han_{total} + 0,01 \cdot NH_3-N_{total} \end{aligned} \right] \\ & + 0,03375 \cdot N-udvaskning \\ & + 55.200 \end{aligned} \right\} \quad (27)
 \end{aligned}$$

$$N_2O_{total} = \frac{44}{28} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left(\sum Antal_dyr_{kat} \cdot Emisfaktor8_{kat} \right) \\ + \left(\sum Areal_{afgr} \cdot Emisfaktor7_{afgr} \right) \\ + 0,0122 \cdot N-han_{total} + 0,01 \cdot NH_3-N_{total} \\ + 0,03375 \cdot N-udvaskning + 55.200 \end{array} \right\}$$

- hvor N_2O_{total} er den totale emission af lattergas fra landbruget pr. år (kg N_2O /år)
 $N_2O-N_{g\ddot{a}rd}$ er den emitterede lattergas fra g\ddot{o}dningsh\ddot{a}ndteringen pr. \ddot{a}r (kg N_2O-N /\ddot{a}r)
 N_2O-N_{mark} er den emitterede lattergas fra marken pr. \ddot{a}r (kg N_2O-N /\ddot{a}r)
 N_2O-N_{organ} er den emitterede lattergas fra organogene jorde pr. \ddot{a}r (kg N_2O-N /\ddot{a}r)
 N_2O-N_{udvask} er den emitterede lattergas fra N-udvaskningen pr. \ddot{a}r (kg N_2O-N /\ddot{a}r)
 $Antal_dyr_{kat}$ er antallet af dyr af en given husdyrkategori i NP-modellen (stk.)
 $Emis-g\ddot{a}rd_{kat}$ er m\dd{a}ngden af emitteret lattergaskv\dd{e}lstof pr. enhed pr. \ddot{a}r fra g\dd{e}dningsh\dd{a}ndteringen for en given husdyrkategori i NP-modellen (kg N_2O-N /dyr/\ddot{a}r)
 $Emisfaktor6_{kat}$ er emissionen af lattergas pr. dyr for udbragt og afsat husdyrg\dd{e}dning p\dd{a} mark fra en given husdyrkategori, jf. tabel 4.9 (kg N_2O-N /dyr/\ddot{a}r)
 $Areal_{afgr}$ er arealet med en given afgr\dd{o}de (ha)
 $Emisfaktor7$ er emission af lattergas pr. ha fra planteresidualer og N-fiksering fra en given afgr\dd{o}de, jf. tabel 4.10 (kg N_2O-N /ha/\ddot{a}r)
 $N-han_{total}$ er det totale forbrug af handelsg\dd{e}dning i landbruget i NP-modellen (kg N/\ddot{a}r)
 NH_3-N_{total} er emissionen af ammoniakkv\dd{e}lstof (kg N/\ddot{a}r)
 $N-udvaskning$ er udvaskningen af kv\dd{e}lstof fra landbruget i NP-modellen (kg N/\ddot{a}r)
 $Emisfaktor8_{kat}$ er emissionen af lattergas pr. dyr for g\dd{e}dningsh\dd{a}ndteringen samt udbragt og afsat g\dd{e}dning p\dd{a} mark fra en given husdyrkategori, jf. tabel 4.11 (kg N_2O-N /dyr/\ddot{a}r).

Det ses umiddelbart af (27), at emissionen af lattergas fra hhv. g\dd{e}dningsh\dd{a}ndteringen (tabel 4.2) og udbragt og afsat husdyrg\dd{e}dning p\dd{a} mark (tabel 4.9) kan aggregeres med det i tabel 4.11 viste resultat.

Tabel 4.11. Den samlede emission af lattergas fra husdyrg\dd{e}dningen pr. husdyrkategori i NP-modellen (bestandsenhed). 1995

Husdyrkategori		Emission af N_2O	Husdyrkategori		Emission af N_2O
		kg N/dyr/\ddot{a}r			kg N/dyr/\ddot{a}r
DYR1	Malkek\dd{o}er, st. race	2,217	DYR10	Slagtesvin, 30-98,3 kg....	0,167
DYR2	Malkek\dd{o}er, jersey	2,217	DYR11	H\dd{o}ner (100 stk.)	2,341
DYR3	Tyre, stor race	0,864	DYR12	H\dd{o}niker (100 stk.)	0,597
DYR4	Tyre, jersey	0,864	DYR13	Slagtekyl. (100 stk.)	1,336
DYR5	Opdr\dd{e}t, stor race	0,771	DYR14	Kalkuner (100 stk.)	4,958
DYR6	Opdr\dd{e}t, jersey	0,771	DYR15	\u00c6nder (100 stk.)	2,651
DYR7	Ammek\dd{o}er	1,364	DYR16	G\dd{a}s (100 stk.)	2,087
DYR8	\u00c5rss\dd{o}er	0,374	DYR17	Moderf\dd{a}r inkl. lam	0,488
DYR9	Sm\dd{a}grise, 7,5-30 kg	0,053	DYR18	Heste	1,113

Den formulerede lattergasemission er i lighed med emissionen af methan kalibreret til danske landbrugsforhold anno 1995, og f\dd{o}lgelig er parametriseringen specifikt g\dd{a}ldende for 1995. \u00c6ndringer i N-udskillelsen, g\dd{e}dningsh\dd{a}ndteringen, h\dd{o}studbytter i kv\dd{e}lstoffikserende afgr\dd{o}der vil s\dd{a}ledes ikke blive reflekteret, og formuleringens udsagnskraft er derfor begr\dd{a}nset. I forhold til IPCC's default-koefficienter, som ligeledes er konstante over tid, m\dd{a} reestimeringen imidlertid betragtes som v\dd{e}rende en forbedring.

Forbedringen g\dd{a}lder ogs\dd{a} estimeringen af lattergasemissionen fra oms\dd{a}tningen af planteresidualer. Ikke desto mindre er det den post, som er forbundet med st\dd{o}rst usikkerhed.

Usikkerheden er knyttet til antagelsen om, at N-indholdet i planteresidualer er af samme størrelsesorden som N-indholdet i høsten. Antagelsen er ikke alene grov, men den er også uverificeret. Der foreligger imidlertid ikke tilstrækkelige data til at verificere påstanden. Posten er samtidig betydelig, idet omsætningen af planteresidualer bidrager med 21 pct. af den samlede emission af lattergas, jf. efterfølgende kapitel.

Opgørelsen af emissionen af lattergas er ikke et mål i sig selv, men udgør blot et bidrag til drivhuseffekten. I lighed med methan ækvivaleres lattergas derfor til CO₂. Lattergas er på 100 års sigt ca. 310 gange så effektiv en drivhusgas som CO₂ målt i Global Warming Potential (Holten-Andersen *et al.*, 1998). Dvs. at ovenstående ligning (27) kan omregnes til CO₂ - ækvivalenter ved at multiplicere lattergasemissionen med 310:

$$\begin{aligned}
 CO_2\text{-}ækvivalenter_{lattergas} &= 310 \cdot N_2O_{total} \\
 &= 310 \cdot \frac{44}{28} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \left[\sum Antal_dyr_{kat} \cdot Emisfaktor8_{kat} \right] \\ & + \left(\sum Areal_{ofgr} \cdot Emisfaktor7_{ofgr} \right) \\ & + 0,0122 \cdot N\text{-}han_{total} + 0,01 \cdot NH_3\text{-}N_{total} \\ & + 0,03375 \cdot N\text{-}udvaskning + 55.200 \end{aligned} \right\} \quad (27a)
 \end{aligned}$$

hvor der ved $CO_2\text{-}ækvivalenter_{lattergas}$ forstås den samlede klimapåvirkning fra lattergasemissionen over en 100 års periode udtrykt i CO₂ emissioner.

5. Emissionen af methan og lattergas i året 1995

I det nedenstående er den estimerede emission af lattergas og methan for året 1995 opgjort med såvel nærværende model som IPCC's default-metode. Af hensyn til sammenligneligheden er emissionen opgjort på de enkelte poster og i hele tons, skønt usikkerheden på estimaterne tilskriver en afrunding. Af hensyn til vurderingen af emissionens miljømæssige effekt, er emissionen ligeledes omregnet til CO₂-ækvivalenter, og de respektive posters andel af den samlede emission er ligeledes vist.

Tabel 5.1. Den samlede emission af methan og lattergas baseret på hhv. IPCC's default-koefficienter og nærværende model fordelt på bidragsposter. 1995

Stof/Emissionskilde	IPCC's default-metode (mængde) tons CH ₄ /år	Nærværende model		
		Mængde tons CH ₄ /år	CO ₂ -ækvivalenter Mængde mio. kg CO ₂ /år	Andel pct.
Methan				
Fordøjelsesprocessen.....	154 260	141 937	2 981	22
Gødningshåndteringen.....	52 355	44 750	940	7
I alt	206 615	186 687	3 920	29
Lattergas				
	tons N ₂ O/år	tons N ₂ O/år	mio. kg CO ₂ /år	
Gødningshåndtering.....	2 693	3 193	990	7
Mark	24 023	19 228	5 961	44
- handelsgødning.....	5 455	5 915	1 834	14
- udbragt husdyrgødning.....	5 379	3 421	1 061	8
- biologisk N-fiksering.....	452	1 079	334	2
- planteresidualer.....	9 711	6 508	2 018	15
- gødning afsat på mark.....	1 284	829	257	2
- kvælstofdeposition.....	1 742	1 476	458	3
Organogene jorde.....	145	87	27	0
Kvælstofudvaskning.....	8 351	8 427	2 612	19
I alt	35 211	30 936	9 590	71
I alt			13 511	100

Den frembragte model i nærværende notat viser, at emissionen kan opgøres til hhv. 187.000 tons methan og 31.000 tons lattergas. Omregnet til CO₂-ækvivalenter tegner lattergas sig imidlertid for 71 pct. af emissionen, idet lattergas er næsten 15 gange mere effektiv som drivhusgas i forhold til methan. Emissionen af methan fra fordøjelsesprocessen udgør med sine 22 pct. imidlertid fortsat den største enkeltpost i regnskabet.

Sammenlignes emissionsopgørelserne frembragt ved hhv. nærværende model og IPCC's default-metode, kan der iagttages markante afvigelser. Emissionen af methan og lattergas efter IPCC's metode er således hhv. 11 og 14 pct. større end ved den frembragte model. Afvigelserne er endnu større når der ses på enkeltposter. Afvigelserne på de respektive markbidrag udgør således +/- 50 pct.

Årsagen til afvigelserne skal primært tilskrives, at de vesteuropæiske landbrugsforhold, som ligger til grund for IPCC's default-koefficienter, ikke er repræsentative for dansk landbrug. Afvigelserne gælder især udskillelsen af kvælstof fra husdyrene samt gødningshåndteringen, som er markant forskellig for dansk landbrug anno 1995. Men ikke alene er den totale N-udskillelse fra de respektive husdyrkategorier forskellige; der er også implicit betydelige kvalitative forskelle i kvælstoffets fordeling på organisk og uorganisk kvælstof, som bl.a.

resulterer i afvigende ammoniakemissioner. En logisk følge heraf er naturligvis afvigende estimater.

Sekundært bidrager metodiske brist i IPCC's metode også til afvigelser. Mest iøjnefaldende er den manglende logik i at påstå, at den totale biomasseproduktion svarer til det dobbelte af det høstede, og at den fjernede biomasse med høsten udgør 45 pct. af den totale biomasse. Der er imidlertid også andre uhensigtsmæssigheder. Eksempelvis bestemmes ammoniakemissionen fra husdyrgødningen slet og ret til 20 pct. af den udskilte kvælstof. Det er til trods for, at emissionen af ammoniak i lighed med metan og lattergas varierer markant med gødningshåndteringen. Denne afhængighed reflekteres når det gælder metan og lattergas, men ignoreres når det gælder ammoniak. På tilsvarende vis bestemmer IPCC udvaskningen af kvælstof som 30 pct. af summen af den udskilte kvælstof fra husdyrene og den tilførte handelsgødning-N. Der foretages således ikke forinden et fradrag for ammoniaktabet skønt dette tab ikke kan give anledning til N-udvaskning.

Til det ovenstående skal det bemærkes, at de metodiske uhensigtsmæssigheder, som kan være forårsaget af ønsket om forenklinger, kun bidrager sekundært til afvigelserne. Den overordnede konklusion må derfor være, at et rimeligt korrekt skøn over emissionen af metan og lattergas fra landbruget først og fremmest forudsætter, at emissionen afspejler danske landbrugsforhold. En ureflekteret anvendelse af IPCC's default-koefficienter vil uvægerlig føre til fejlbehæftede estimater. Det er derfor også IPCC's anbefaling, at default-koefficienterne substitueres med mere nationale koefficienter ved udarbejdelse af emissionsopgørelser.

6. Referencer

- Andersen, A. (1986): Rodvækst i forskellige jordtyper. Beretning nr. S 1827. Statens Planteavlsvforsøg. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie.
- Andersen, J.M. (1996): Foreløbig notat om statistik over kvælstofbalancer i landbruget I (input-output model). Danmarks Statistik, notat af 22. marts 1996.
- Andersen, J.M. (1997): Emissionen af ammoniak fra landbrugets husdyrhold samt effekten af iværksættelse af reducerende foranstaltninger. I: Miljøstyrelsen, Spredning og effekter af ammoniak (under trykning).
- Andersen, J.M., Wier, M., Hasler, B. og Bruun, H.G. (1998): Landbrugsscenarier - integreret miljøøkonomisk modelanvendelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Faglig rapport nr. 257.
- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. & Poulsen, H.D. (1999): Emission af ammoniak fra landbruget - status og kilder, Ammoniakfordampning - redegørelse nr. 1. DJF/DMU. Danmarks Jordbrugsforskning.
- Andersen, J.M., Münier, B., Bruun, H.G., Asman, W.A.H. og Hald, A.B. (1999a): Miljø- og naturmæssige konsekvenser af en ændret svineproduktion. Danmarks Miljøundersøgelser (upubliceret).
- Asman, W.A.H. (1990): Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark, NPo-forskning fra Miljøstyrelsen nr. A18.
- Dalgaard, T., Halberg, N. og Fenger, J. (1998): Forbrug af fossil energi og udledning af drivhusgasser, Delrapport A.3.2 til Økologiske scenarier for Danmark under Bichel-udvalget.
- Danmarks Statistik (1996): Landbrugsstatistik 1995.
- Danmarks Statistik (1997): Landbrugsstatistik 1996.
- Danmarks Statistik (1997a): Statistisk Årbog 1997.
- Grant, R. (1999): Scenarium om 100% økologisk jordbrug i Danmark. A3.1 Kvælstof og fosforbalancer og miljømæssige konsekvenser. Notat til rapporten: Miljøstyrelsen (1999): Økologiske scenarier for Danmark. Rapport fra den tværfaglige gruppe i pesticidudvalget. Sekretariatet for Pesticidudvalget. Miljøstyrelsen.
- Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Paulsen, I., Jensen, P.G. og Ramussen, P. (1998): Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 252.
- Holten-Andersen, J., Christensen, N., Kristiansen, L.W., Kristensen, P. og Emborg, E. (red.) (1998): Natur og Miljø 1997. Påvirkninger og tilstand. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr. 224.

- IPCC (1997): Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2.
- IPCC (1997a): Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3.
- Kristensen, V. F., Danmarks JordbrugsForskning, Pers. medd.
- Kyllingsbæk, A. (1995): Kvælstofoverskud i dansk landbrug 1950-1959 og 1979-1994. SP rapport nr. 23. Statens Planteavlsvforsøg.
- Kyllingsbæk, A. (1999): Kvælstofbalancer i landbruget. Danmarks Miljøundersøgelse / Danmarks Jordbrugsforskning.
- Kyllingsbæk, A., Danmarks JordbrugsForskning, Pers. medd.
- Landbrugets Rådgivningscenter (1993): Håndbog for driftsplanlægning 1993-94.
- Madsen, H.B., Nørr, A.H. og Holst, H.A. (1992): Atlas over Danmark, Serie I, bind 3., Den danske jordklassificering, Det Kongelige Danske Geografiske Selskab.
- Lind, A-M., Jørgensen, U. og Maag, M. (1995): N₂O -emission ved dyrkning af energiafgrøder, Statens Planteavlsvforsøg, SP rapport nr. 21.
- Paaby, H., Møller, F. Skop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Bruun, H.G. og Asman, W.A.H (1996): Omkostninger ved reduktion af næringsstofbelastningen af havområder, Faglig rapport fra DMU nr. 165.
- Poulsen, H.D. & Kristensen, V.F., red. (1997): Normtal for husdyrgødning. En revurdering af danske normtal for husdyrgødningens indhold af kvælstof, fosfor og kalium. Beretning nr. 736. Danmarks JordbrugsForskning.
- Simmelsgaard, S.E. (1991): Estimering af funktioner for kvælstofudvaskning. Kvælstofudvaskning som funktion af kvælstoftilførsel for forskellige afgrøder dyrket på sandjord og lerjord. I: Søren Rude, Kvælstofgødning i landbruget - behov og udvaskning nu og i fremtiden. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut. Rapport nr. 62.
- Sommer, S.G. (1994): Ammoniakfordampning i Danmark. Vand & Jord nr. 5: 210-214.

