



Forskningscenter for Økologisk Jordbrug

Simulering af fossilt energiforbrug og emission af drivhusgasser

**Tre scenarier for omlægning til
100% økologisk jordbrug i Danmark**

Tommy Dalgaard,
Niels Halberg og
Jes Fenger

FØJO

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)

Formålet med FØJO er at koordinere den økologiske jordbrugsforskning i Danmark med henblik på at sikre optimalt udbytte af de ressourcer, som afsættes til forskning. Centret skal bidrage til, at der bliver udført forskning af høj kvalitet og på et internationalt niveau med udgangspunkt i det økologiske jordbrugs idegrundlag og problemstillinger. Forskningen skal bidrage til en videreudvikling af det økologiske jordbrug for derved at forøge omstillingsmulighederne fra traditionel til økologisk jordbrugsproduktion med hensyn til økonomiske, økologiske og sociale aspekter.

FØJO er et "forskningscenter uden mure", hvor den forskningsfaglige kompetence udgøres af de forskere og institutioner, som deltager i centrets forskningsprogrammer. Forskerne bliver således i deres egne miljøer, men arbejder sammen på tværs af institutionerne. Samarbejdet omfatter ca. 100 forskere fra 15 forskellige forskningsinstitutioner.

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)
Foulum • Postboks 50 • 8830 Tjele

Tlf. 89 99 16 75 • Fax 89 99 12 00
E-mail: foejo@agrsci.dk
Hjemmeside: www.foejo.dk

Simulering af fossilt energiforbrug og emissioner af drivhusgasser

Tre scenarier for omlægning til
100% økologisk jordbrug i Danmark

FØJO-rapport nr. 5
Udskrevet fra www.foejo.dk

Tommy Dalgaard, Afd. for Jordbrugssystemer, DJF
Niels Halberg, Afd. for Jordbrugssystemer, DJF
Jes Fenger, Afd. for Atmosfærisk Miljø, DMU

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug 2000

FØJO-rapport nr. 5/2000

**Simulering af fossilt energiforbrug og emission af drivhusgasser
Tre scenarier for omlægning til 100% økologisk jordbrug i Danmark**

Forfattere

Tommy Dalgaard, Afdeling for Jordbrugssystemer, Danmarks JordbrugsForskning
Niels Halberg, Afdeling for Jordbrugssystemer, Danmarks JordbrugsForskning
Jes Fenger, Afdeling for Atmosfærisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser

Udgiver

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug

Udgivet

Marts 2000

Layout

Forside: Enggaardens Tegnestue
Indhold: Grethe Hansen, FØJO

Fotos på omslag

E. Keller Nielsen

Tryk: Repro og Tryk, Skive
Papir: 90 g Cyklus print
Sidetal: 70 pp.

ISSN: 1398-716X

Pris: 75,- kr. inkl. moms og forsendelse

Købes hos

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)
Foulum
Postboks 50
8830 Tjele
Tlf. 89 99 16 75, fax 89 99 12 00
E-mail: foejo@agrsci.dk

Forord

Interessen for at reducere forbruget af fossil energi og emissionen af drivhusgasser har i de senere år været stigende. Måske er omlægning til økologisk jordbrug en effektiv metode til at spare energi og nedbringe drivhusgasemissionen? Dette spørgsmål forsøges besvaret i nærværende rapport.

Rapporten er udarbejdet i forbindelse med, at Forskningscenter for Økologisk Jordbrug på foranledning af Miljø- og Energiministeren fik til opgave at belyse konsekvenserne af en omlægning til 100% økologisk jordbrug i Danmark. En af opgaverne var her at vurdere ændringen i landbrugets forbrug af fossil energi og emission af drivhusgasser.

Formålet med nærværende udgivelse er at dokumentere den metode, der blev anvendt ved simulering af fossilt energiforbrug og drivhusgasemission i de af Bichel-udvalget opstillede scenarier (Bichel-udvalget 1999). Det er hermed håbet, at denne reviderede version af baggrundsrapporterne bag dette arbejde (Dalgaard et al. 1998, Dalgaard 1998) kan anvendes af et bredere publikum og videreudvikles ved fremtidige opstillinger af scenarier for landbrugsproduktion. Ønskes et samlet overblik over arbejdet med de økologiske scenarier henvises til rapporten fra den tværfaglige økologigruppe (Bichel-udvalget 1999).

Ved revision af rapporten og opsummering af dens resultater har Hugo Fjelsted Alrøe (FØJO) været en stor hjælp. Endvidere har der været en grundig diskussion om rapportens resultater med Kjeld Vodder Nielsen og Carl Åge Pedersen (Landbrugets Rådgivningscenter) samt Bente Mortensen (Instituttet for Produktudvikling). Endelig har Erik Runge og Johnny M. Andersen (Danmarks Miljøundersøgelser) bidraget med input til beregningerne. Ansvar for resultaterne i nærværende rapport påhviler dog kun forfatterne.

Der skal til slut rettes en stor tak til Miljøstyrelsen for hovedfinansieringen af nærværende arbejde, der desuden har indgået i arbejdet med FØJO's forskningsprojekt I.8 "Samfunds- og miljømæssige konsekvenser af forskellige strategier for udvikling og udbredelse af økologiske jordbrugssystemer" og PhD-projektet for Tommy Dalgaard: "Scaling up from farm to landscape. Methods for simulation and regional generalisation of agricultural resource use".

Erik Steen Kristensen
Forskningscenter for Økologisk Jordbrug
Marts 2000

Indhold

Sammendrag	7
1 Indledning	9
1.1 Landbrugets forbrug af energi	10
1.2 Landbrugets emission af drivhusgasser	11
2 Materialer og metode	13
2.1 Scenario med 100% økologisk jordbrug i Danmark.....	13
2.2 IPCC's metodologi til opgørelse af drivhusgasemission	16
2.3 Modellering og simulering af energiforbrug	18
3 Resultater	23
3.1 Landbrugets nuværende situation (år 1996).....	23
3.1.1 Energiforbrug og emission af CO ₂	23
3.1.2 Emission af CH ₄	27
3.1.3 Emission af N ₂ O	28
3.1.4 Emission af øvrige drivhusgasser.....	30
3.2 Scenario A: 100% selvforsyning med foder.....	31
3.2.1 Energiforbrug og emission af CO ₂	31
3.2.2 Emission af CH ₄	33
3.2.3 Emission af N ₂ O	34
3.3 Scenario B: Maksimal tilladt foderimport.....	35
3.3.1 Energiforbrug og emission af CO ₂	35
3.3.2 Emission af CH ₄	38
3.3.3 Emission af N ₂ O	38
3.4 Scenario C: Fastholdelse af nuværende animalske produktion	39
3.4.1 Energiforbrug og emission af CO ₂	39
3.4.2 Emission af CH ₄	41
3.4.3 Emission af N ₂ O	43
3.5 Opsamling.....	44
4 Diskussion	51
4.1 Ændringer i landbrugets energiforbrug	51
4.2 Ændringer i landbrugets emission af drivhusgasser.....	52
4.3 Konsekvenser af ændringer i arealanvendelsen.....	53
4.3.1 Planteproduktion.....	53
4.3.2 CO ₂ omsætning i jorden	54
5 Konklusion	57
6 Referencer	59
7 Appendiks	63
7.1 Figurliste.....	63
7.2 Tabelliste	64
Abstract	69

Sammendrag

Formålet med nærværende rapport er at beskrive og anvende en metode til at vurdere ændringen i landbrugets forbrug af fossil energi og emission af drivhusgasser ved omlægning til 100% økologisk jordbrug i Danmark. Situationen for dansk landbrug i 1996 er sammenlignet med tre scenarier for 100% omlægning:

- A) Fuld selvforsyning med foder (0% import). Herved begrænses den mulige svineproduktion.
- B) 15% import af foder til drøvtyggere og 25% import til enmavede dyr (15/25% import). Også her begrænses svineproduktionen, men dog mindre end i scenario A.
- C) Fastholdelse af den samme animalske produktion som i 1996 (ubegrænset foderimport).

For hvert scenario er den vegetabiliske og animalske produktion sammenholdt med forbruget af fossil energi, som er simuleret for det nuværende udbyttensniveau i økologisk jordbrug og et forventet forbedret, fremtidigt udbyttensniveau:

		Dansk landbrug 1996	Økologiske scenarier					
			Nuværende udbyttensniveau			Forbedret udbyttensniveau		
			A	B	C	A	B	C
Afgrødeproduktion	10 ⁹ fe	15	12	12	12	13	13	13
Husdyrproduktion	10 ⁶ de	2,3	1,7	2,1	2,4	1,7	2,3	2,4
Energiforbrug:								
Afgrødeproduktion	PJ	38	18	18	18	18	18	18
Husdyrproduktion	PJ	39	13	28	40	14	31	34
I alt	PJ	77	31	45	57	32	50	53
Energiproduktion	PJ	14	0	0	0	0	0	0
Netto energiforbrug	PJ	63	31	45	57	32	50	53

Den totale energiproduktion i form af biobrændsel og metabolisk energi i afgrøder er større i dansk landbrug 1996 end i de økologiske scenarier. Modsat er såvel energiforbruget per foderenhed i afgrødeproduktionen som energiforbruget per dyreenhed i husdyrproduktionen lavere i de økologiske scenarier, idet A-scenariet med den laveste foderimport var mest energieffektivt og C-scenariet mindst energieffektivt. Den samlede produktion er imidlertid også lavere i de økologiske scenarier og er desuden af en anden sammensætning, hvorfor en direkte sammenligning er svær.

Endelig er energiforbruget ved hjælp af enkle forudsætninger omregnet til emission af drivhusgassen CO₂, og sammenlignet med emissionen af de to øvrige, mest betydningsfulde drivhusgasser CH₄ og N₂O:

		Dansk landbrug 1996	Økologiske scenarier					
			Nuværende udbyttensniveau			Forbedret udbyttensniveau		
			A	B	C	A	B	C
CO ₂	Tg CO ₂ -ækvivalenter	4,9	2,6	3,8	4,7	2,8	4,1	4,3
CH ₄	Tg CO ₂ -ækvivalenter	6,7	5,6	6,1	6,5	6,0	6,6	6,7
N ₂ O	Tg CO ₂ -ækvivalenter	4,1	1,3	1,9	2,3	1,4	2,1	2,2
I alt	Tg CO ₂ -ækvivalenter	15,6	9,6	11,8	13,5	10,2	12,8	13,2

1 Indledning

De miljømæssige konsekvenser af fossilt energiforbrug er, foruden "klassisk" forurening med bl.a. svovl og kvælstofforbindelser, et forøget udslip af kuldioxid. Dette udslip giver det største bidrag til den menneskeskabte forøgelse af den såkaldte drivhuseffekt.

Drivhuseffekten er det fænomen, at kortbølget solstråling går relativt let gennem atmosfæren og opvarmer Jorden. Da jorden er koldere end solen, returneres den absorberede energi ved en meget længere bølgelængde end det indkomne sollys. Vandmolekyler og andre såkaldte drivhusgasser absorberer energi ved disse lange bølgelængder og tilbagekaster en del af denne energi til Jorden, som herved opvarmes, indtil der opstår en strålingsligevægt. Herved hæves temperaturen ca. 35 °C over, hvad den ellers ville have været, hvilket er en af forudsætningerne for, at der overhovedet kan være liv på Jorden. Problemet er blot, at menneskelige aktiviteter har medført en så stor emission af drivhusgasser, at det har ændret energibalancen i jord-atmosfæresystemet og nu truer med globale klimaforandringer (IPCC 1995, 1997).

Drivhusgasserne kan inddeles i drivhusgasser, der virker direkte i atmosfæren (først og fremmest CO₂, CH₄, N₂O og halocarboner, hvoraf den vigtigste gruppe er chlor-flour-carbonerne; de såkaldte CFC-gasser) og gasser, der via kemiske reaktioner bevirker en dannelse af drivhusgasser, men ikke nødvendigvis i sig selv virker som sådanne (fx NO_x, CO, SO₂ og CH₄, der også selv virker som en drivhusgas). Desuden virker ozon (O₃) i troposfæren som en effektiv drivhusgas. O₃ udsendes dog ikke direkte, men dannes og nedbrydes ved komplekse fotokemiske reaktioner, der også påvirker koncentrationen af CH₄, CO og SO₂. Endelig kan partikler stammende fra fx svovlforurening eller vulkanudbrud påvirke skydannelsen og dermed drivhuseffekten, men effekten heraf, der generelt er negativ, er relativt lokal og ret usikker, og den behandles ikke nærmere her.

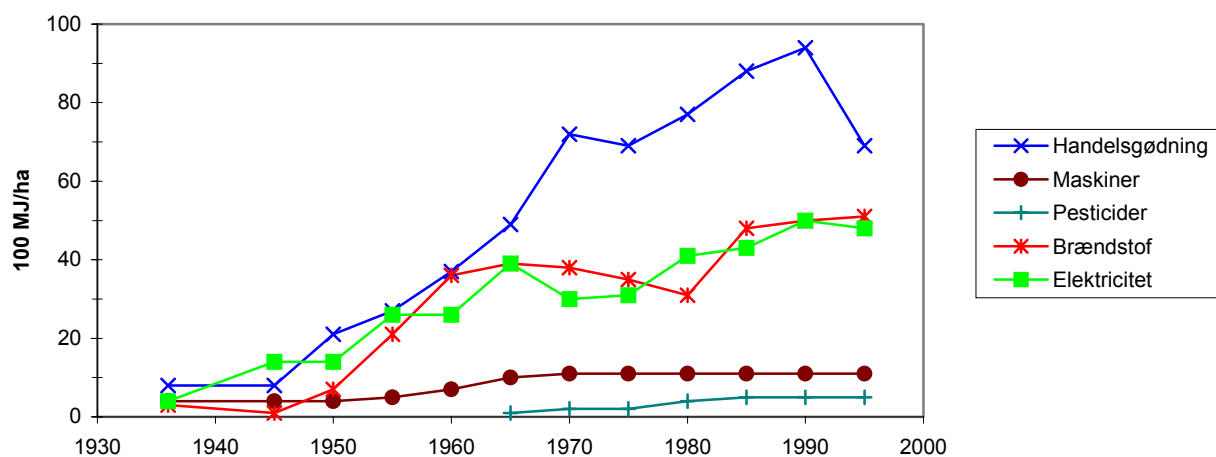
Drivhusgasser udsendes fra mange forskellige kilder og i forskellige mængdeforhold, men CO₂-udsendelsen skyldes som nævnt især energiproduktion, og udsendelsen af CH₄ og N₂O er stærkt knyttet til landbrugsproduktion og andre biologiske processer.

For at begrænse klimaforandringerne udfoldes der internationalt store bestræbelser på at stabilisere - og på længere sigt reducere - de globale udslip af drivhusgasser, og specielt af CO₂. Danmark har i klimakonventionen fra Rio-konferencen i 1992 forpligtet sig til status quo angående drivhusgasemission i år 2000. Derudover har Folketinget sat et mål om en yderligere reduktion på 20% i perioden 1988-2000 (Energiministeriet 1993). Dansk landbrug har i den forbindelse en særlig forpligtelse, idet energiforbruget i det primære landbrug udgør cirka dobbelt så stor en andel af det nationale energiforbrug som i andre europæiske lande (Slesser 1984). Således bidrager primærlandbruget med ca. 12% af Danmarks samlede bidrag til den menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten (Fenger et al. 1990).

Omlægning til økologisk produktion kan måske medvirke til at mindske drivhusgasemissionen fra dansk landbrug. Formålet med nærværende rapport er derfor at vurdere, hvordan en sådan omlægning kan påvirke energiforbruget og dermed emissionen af drivhusgasser - både hvad angår det direkte energiforbrug i danske landbrug og det indirekte i produktion af gødningsmidler mv. Mere kvalitativt diskuteres endvidere konsekvenser af ændringer i arealanvendelse, der ligeledes kan påvirke udsendelsen af drivhusgasser, specielt metan og lattergas.

1.1 Landbrugets forbrug af energi

Landbrugets forbrug af fossil energi er steget betydeligt siden 2. verdenskrig (Figur 1.1). Som det ses, er forbruget af handelsgødning den vigtigste kilde til fossil energiforbrug, idet fremstilling af specielt kvælstof er forbundet med et stort energiforbrug. Også landbrugets forbrug af direkte energikilder som brændstof og elektricitet er steget som et resultat af den stigende mekanisering og intensivering. Da produktionen ikke er steget i samme takt som energiforbruget, er landbruget siden 2. verdenskrig gået fra at være netto energileverandør til at være netto energiforbruger (Stanhill 1984b). Populært sagt lever vi således i dag indirekte af at spise fossile brændstoffer (Green 1978), hvilket ikke på langt sigt er bæredygtigt.



Figur 1.1 Fossilt energiforbrug i dansk landbrug 1936-1995 (mod.e. Schroll 1994).

Det direkte energiforbrug defineres som energi forbrukt i form af energibærere, der direkte kan omformes til energi - fx ved forbrænding. Det direkte energiforbrug dækker således over forbruget af energi i olie, benzin, gas, halm, elektricitet etc. Det direkte energiforbrug i det primære jordbrug udgjorde i 1992 40 PJ svarende til 5% af et samlet nationalt bruttoenergiforbrug på 800 PJ (Knudsen 1995, Miljø- og Energiministeriet 1995). Brændstof og elektricitet udgør størstedelen af det direkte energiforbrug. Ifølge IFIAS (1974) definition beregnes det direkte energiforbrug i fx 1 kg olie som "Energifrigjort ved forbrænding (enthalpi), plus den energi der medgår til udvinding/forarbejdning og transport til forbruger" (Hjortshøj og Rasmussen 1977).

Det indirekte energiforbrug defineres som den energi, der er medgået til produktion, forarbejdning og distribution af de energibærere, der ikke direkte omformes til fri energi - fx ved forbrænding. Det indirekte energiforbrug dækker således over energiværdien i gødninger, pesticider, maskiner, bygninger etc. (Hjortshøj og Rasmussen 1977, Dalgaard 1994). Det indirekte energiforbrug udgør ca. 1-2 gange det direkte energiforbrug (Dalgaard 1993, Parsby og Fog 1984, Hjortshøj og Rasmussen 1977). Siden 1990 er det indirekte energiforbrug faldet i takt med forbruget af energiomkostningstung handelsgødning.

I 1996 udgjorde landbrugsbedriftenes direkte energiforbrug kun ca. 3,8% af landets samlede forbrug (De Danske Landboforeninger 1997), men målt i forbrukt energi per omsat krone er landbruget næst efter transportsektoren det mest energiintensive erhverv (Danmarks Statistik 1993).

Energiomkostningen er den fossile energi, der netto forbruges til at producere en enhed af et produkt (Hulcher 1991). Fx defineres energiomkostningen for salgsafgrøden hvede som "Energiforbruget per enhed til og med produktet forlader bedriften og er solgt eller opfodret" (Dalgaard 1996). Det primære landbrugs samlede netto energiforbrug, som også kan benævnes landbrugets samlede energiomkostning, kan således beregnes som summen af energiomkostningerne til alle producerede landbrugsprodukter.

Enheden for den fossile energiomkostning til planteproduktion i landbruget er ofte MJ/fe, hvor 1 foderenhed (fe) både for drøvtyggere og enmavede dyr svarer til foderværdien i 99 kg byg. 100 foderenheder (fe) svarer til 1 arealenhed (ae). Enheden for den fossile energiomkostning til animalsk produktion er typisk MJ/de, hvor en dyreenhed (de) ifølge gældende definition svarer til 1 årsko, 3 stk. årso-pdræt, 3 årssøer eller 30 årsslægtesvin (dvs. 30 stipladser udfyldt med slagtesvin i et år).

1.2 Landbrugets emission af drivhusgasser

Landbrugets emission af drivhusgasser består hovedsageligt af kuldioxid (CO₂), Methan (CH₄) og lattersgas (N₂O) (Fenger og Kilde 1994). Desuden udledes mindre mængder af nitrogenoxider (NO_x), kulmonoxid (CO), Svovldioxid (SO₂) og CFC-gasser, men bidragene er så små, at de ikke vil blive diskuteret yderligere (tabel 1.2.1).

Tabel 1.2.1 De vigtigste drivhusgasser, deres globale opvarmnings potentiale (relativ effektivitet i forhold til CO₂) for en 100-årig periode (IPCC 1996) og det primære jordbrugs relative mængdemæssige andel af de danske emissioner (Anslået på baggrund af Runge 1998). Bidragene fra NO_x, CO, og CFC er under 1% og derfor ikke angivet.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Globalt opvarmnings-potentiale	1	21	310
Primær-jordbrugs andel	3%	76%	88%

Både mængdemæssigt og effektmæssigt er CO₂ den vigtigste drivhusgas. CO₂ er et slutprodukt ved enhver form for forbrænding af kulstofholdige stoffer. CO₂ frigives således såvel ved teknisk forbrænding af fossile brændstoffer (kul-, olie- og gasprodukter), som ved den biogene forbrænding i fx husdyrenes maver. Forbrændingen af fossile brændstoffer er specielt problematisk, idet der herved netto frigives CO₂ til atmosfæren. Det er den væsentligste årsag til, at CO₂-koncentrationen i atmosfæren er steget fra ca. 280 ppmv før industrialiseringen omkring år 1800 til 358 ppmv i 1994 (IPCC 1995). I dag er den omkring 370 ppmv. Den biogene forbrænding er derimod tillige med teknisk forbrænding af biobrændsler næsten CO₂-neutral, idet de forbrændte plantedele ved deres opvækst har bundet en CO₂-mængde svarende til den mængde, der frigives ved forbrændingen. Dog kan der ske et vist sideløbende energiforbrug til transport mv. og dermed et CO₂-udslip.

Landbruget er ansvarlig for størstedelen af det danske udslip af CH₄ og N₂O (tabel 1.2.1). Emissionen af CH₄ fra dansk landbrug stammer primært fra gylle og forgæringsprocesser i vommen på drøvtyggere (køer, får etc.). Enmavede dyr frigiver mindre mængder CH₄ fra fordøjelsessystemerne, men pga. det store antal svin i Danmark er også enmavede dyr årsag til en betydelig CH₄-emission (IPCC 1997). I troperne er overrislede rismarker desuden en vigtig kilde til CH₄-emission, mens der i Danmark udledes

CH₄ fra våde enge etc. CH₄ er en effektiv drivhusgas, men den har en relativ kort levetid i atmosfæren; kun ca. 12 år i forhold til CO₂, der effektivt holder i 50-200 år. Alligevel er middelkoncentrationen af CH₄ i atmosfæren steget fra 0,8 ppmv til 1,72 ppmv siden år 1800.

Den vigtigste kilde til N₂O-emission i Danmark er mikrobiel nitrifikation og denitrifikation i jorden. Generelt medfører en større tilførselse af kvælstof til landbrugsjord en større emission af N₂O, ligesom omdrift af specielt organiske jorde bevirker en forøget nedbrydning af organisk bundet N i form af N₂O. Desuden kan N₂O indirekte udledes ved at fx nitrat og ammoniak tages fra landbrugsjorden og senere nitrificeres eller denitrificeres i de indre danske farvande eller lignende. N₂O frigives også ved håndteringen af husdyrgødning og fra dyr på græs; også her kan der være tale om en indirekte emission via fx fordampning af ammoniak, der senere nitrificeres og denitrificeres med udslip af N₂O til følge.

Desuden giver forskellige forbrændingsprocesser, med det største bidrag fra transportsektoren, anledning til dannelse af N₂O.

N₂O nedbrydes langsomt ved fotolyse i atmosfæren. Middellevetiden er 120 år, og koncentrationen i atmosfæren er siden år 1800 steget fra 275 ppmv til i 1994 at være 312 ppmv (IPCC 1995).

De direkte landbrugsaktiviteters bidrag til drivhuseffekten ved udslip af CO₂, CH₄ og N₂O er betydelig, og det er estimeret, at disse tre gasser på verdensplan står for hhv. 61%, 15% og 4% af den totale menneskeskabte forøgelse af drivhuseffekten (Fenger et al. 1990). For de øvrige drivhusgasser (NO_x, CO, SO₂, CFC-gasser etc.) udgør landbrugets bidrag til drivhuseffekten kun en ubetydelig del. Nærværende rapport afgrænses derfor til en kvantificering af landbrugets fossile energiforbrug og bidrag til drivhuseffekten ved emission af CO₂, CH₄ og N₂O.

2 Materialer og metode

2.1 Scenario med 100% økologisk jordbrug i Danmark

Baggrunden for nærværende rapport's beregninger er teoretisk opstillede modeller for landbrugsproduktionen i Danmark ved omlægning til økologisk drift (Alrøe et al. 1998). Følgende tre scenarier med 100% økologisk jordbrug er opstillet:

- A) Fuld selvforsyning med foder (0% import. Herved begrænses den mulige svineproduktion.
- B) 15% import af foder til drøvtyggere og 25% import til enmavede dyr (15/25% import). Også her begrænses svineproduktionen, men dog mindre end i scenario A.
- C) Fastholdelse af den samme animalske produktion som i 1996 (ubegrænset import).

Med udgangspunkt heri beregnes energiforbruget og emissionen af CO₂, CH₄ og N₂O for hhv. 1996-situationen og for scenarierne A, B og C, idet der skelnes mellem national og udenlandsk energiforbrug og drivhusgasemission.

I de opstillede scenarier er det forudsat, at der produceres vegetabiliske fødevarer og æg til det nuværende forbrug, og at den nuværende danske mælkekvote opfyldes. Den danske landbrugsproduktion beskrives, af hensyn til en forenkling af beregningerne, ved en vegetabilisk produktion bestående af kløvergræs, korn til modenhed, rækkeafgrøder og vedvarende græs (tabel 2.1.1 og tabel 2.1.2); og en animalsk produktion bestående af kvæg, svin og høns (tabel 2.1.3). For yderligere detaljer henvises til Alrøe et al. (1998).

Hver af de tre scenarier er både gennemregnet for en vegetabilisk produktion svarende til afgrødeudbytter dyrket ved nuværende økologisk dyrkningspraksis og for en forbedret praksis, hvor udbytterne for kløvergræs og korn er forhøjet med 500 fe/ha (tabel 2.1.3). 1 foderenhed (fe) svarer til foderværdien i 1 kg byg, og en arealenhed (ae) svarer til 100 foderenheder.

Tabel 2.1.1 Anvendte udbytter for den nuværende situation år 1996 (efter Mikkelsen et al. 1998 og Kristensen pers. komm.) og for 100% økologiscenarierne (Alrøe et al. 1998).

	ae/ha			
	Kløvergræs	Korn (kerne)	Rækkeafgrøder	Vedvarende græs
1996-situationen	65	50	104	20
Scenario A, B og C:				
Nuværende praksis	52	34	97	18
Forbedret praksis	57	39	97	18

Tabel 2.1.2 Den vegetabilske produktions omfang i 1996-situationen og i de 3 økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis. Rækkeafgrøder omfatter roer, kartofler, grønsager, raps etc.

	10 ⁶ ha			
	Kløvergræs	Korn (kerne)	Rækkeafgrøder	Vedvarende græs
1996-situationen	0,3	1,6	0,4	0,4
Nuværende praksis:				
Scenario A	1,0	1,3	0,2	0,2
Scenario B	1,0	1,3	0,2	0,2
Scenario C	1,1	1,2	0,2	0,2
Forbedret praksis:				
Scenario A	1,0	1,3	0,2	0,2
Scenario B	1,0	1,3	0,2	0,2
Scenario C	1,0	1,3	0,2	0,2

Tabel 2.1.3 Den animalske produktions omfang i 1996-situationen og i de 3 økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis. I de økologiske scenarier er der ingen ammekøer, hvorfor antal kørmed opdræt er lavere end i 1996-situationen.

	10 ³ årsdyr			
	Køer m. opdræt	Stude, tyre etc.	Søer + 19 grise	100 høns
1996-situationen	825	580	1010	55
Nuværende praksis:				
Scenario A	793	793	347	52
Scenario B	765	765	796	52
Scenario C	745	745	1125	55
Forbedret praksis:				
Scenario A	812	812	514	52
Scenario B	779	779	1044	52
Scenario C	774	774	1125	55

For at opfylde foderbehovet til ovenstående animalske produktion er det nødvendigt med en forskellig foderimport i hver af de opstillede scenarier (tabel 2.1.4). I 1996-situationen er der både en import af foder og en eksport af vegetabilske produkter. Den nuværende eksport af vegetabilske produkter udgør ca. 2500 millioner foderenheder og modsvarer således omtrent importen. Danmark er derfor i dag stort set selvforsynende med foderstoffer. I de økologiske scenarier er der ikke nogen vegetabilsk eksport, hvorfor den viste foderimport er en nettoimport i foderenheder til landet.

Tabel 2.1.4 Foderimport tilsvarende til animalske og vegetabiliske produktion i 1996-situationen og i de tre økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis.

	Import af foder (10^6 fe)		
	Køer m. opdræt	Svin og høns	I alt
1996-situationen	1230	2283	3513
Nuværende praksis:			
Scenario A	0	0	0
Scenario B	933	1367	2300
Scenario C	916	3242	4158
Forbedret praksis:			
Scenario A	0	0	0
Scenario B	944	1771	2715
Scenario C	940	2237	3177

Anvendelse af halm til energiformål i 1996-scenariet er fundet i Danmarks Statistik (1997). Af den ikke bjærgede mængde vurderes det, at yderligere ca. $1,5 \cdot 10^9$ kg halm kunne anvendes til energiformål. Et sådant potentiale for yderligere halmafbrænding findes ikke i samme omfang i de økologiske scenarier. I de økologiske scenarier antages det således, at der ikke anvendes halm til energiformål, idet halmen i stedet recirkuleres som organisk stof til jorden.

Tabel 2.1.5 Halmproduktion og -forbrug i 1996-situationen (Danmarks Statistik 1997) og i de tre økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis (Alrøe et al. 1998).

	halm (10^9 kg)			
	Produceret	Foder og strøelse	Til energiformål	Ikke bjærget
1996-situationen	6,0	2,7	1,0	2,4
Nuværende praksis:				
Scenario A	2,5	1,3	0,0	1,2
Scenario B	3,0	1,9	0,0	1,1
Scenario C	3,2	2,3	0,0	0,9
Forbedret praksis:				
Scenario A	3,1	1,5	0,0	1,6
Scenario B	3,6	2,1	0,0	1,5
Scenario C	3,7	2,2	0,0	1,4

2.2 IPCCs metodologi til opgørelse af drivhusgasemission

Nærværende rapport tager udgangspunkt i den reviderede internationale vejledning til opgørelse af drivhusgasemission (IPCC 1997). Denne vejledning anvendes ved Danmarks årlige afrapportering af drivhusgasbidraget (Runge 1998) og er udarbejdet på foranledning af Det Mellestatslige Panel angående Klimaforandringer (IPCC), Organisationen for Økonomisk Samarbejde og Udvikling (OECD), Det Internationale Energi-Agentur (IEA) samt FNs Organisationer for Miljø (UNEP) og Meteorologi (WMO).

CO₂-emission kan for et givet brændstof estimeres efter følgende formel:

$$\text{CO}_2\text{- emission} = \frac{C \cdot M_{\text{CO}_2} \cdot 10}{B_t \cdot M_c} \quad (1)$$

Hvor CO₂-emission er emissionen af kuldioxid i kg/GJ, C er kulstofindholdet i brændstoffet i %, M_{CO₂} er kuldioxids molvægt = 44 g/mol, M_c er kulstofs molekylvægt = 12 g/mol og B_t er den nedre brændværdi for brændslet i GJ/t.

Tabel 2.2.1 Anvendte CO₂-emissionsfaktorer for de almindeligste brændsler (efter Andersen et al. 1991) og for fremstilling af de almindeligste hjælpestoffer i landbruget.

	CO ₂ -emissionsfaktor (kg CO ₂ /GJ)
Kul	95,0
Brændselsolie	78,0
Diesel	74,0
Benzin	73,0
Flaskegas (LPG)	65,0
Naturgas	56,9
Biogas	0,0
Halm	0,0
El	95,0
Maskiner	95,0
Gødning	56,9
Kraftfoder	74,0

CO₂-emissionsfaktoren for elproduktion er sat lig kuls, idet el i 1996 primært blev fremstillet af kul i Danmark (ELSAM 1995). Frem mod år 2025 forventes kul til produktion af el imidlertid at blive udfaset helt til fordel for naturgas og vedvarende energi (Illerup et al., 1989). Tilsvarende kan den største andel af energiværdien i maskiner tilskrives stålfremstilling (Stanhill 1984), der også i overvejende grad sker ved forbrænding af kul. CO₂-emissions-faktoren for gødning er sat lig med faktoren for naturgas, i overensstemmelse med European Commission DG VI Agriculture (1997), mens dyrkning og fremstilling af kraftfoder er antaget primært at foregå ved forbrænding af olie, hvorfor CO₂-emissionsfaktoren herfor er sat til faktoren for diesel.

Den gennemsnitlige CH₄-emission for en given husdyrtype kan ifølge IPCC (1997) estimeres med følgende formel:

$$\text{CH}_4\text{-emission} = \text{EF}_{\text{dyr}} + \text{EF}_{\text{gødning}} \quad (2)$$

hvor CH_4 -emission er emissionen af CH_4 i kg per årsdyr, EF_{dyr} er emission af CH_4 ved enterisk fermentation i dyrets tarm i kg per årsdyr og $\text{EF}_{\text{gødning}}$ er emissionen af CH_4 ved håndteringen af husdyrgødning i kg per årsdyr.

Tabel 2.2.2 Standard CH_4 -emissionsfaktorer for de almindeligste husdyr i Danmark (efter IPCC 1997). EKM= kg energi-korrigeret mælk per ko per år. Manglende værdier er markeret med "-".

	EF_{dyr} (kg CH_4 /årsdyr)	$\text{EF}_{\text{gødning}}$ (kg CH_4 /årsdyr)
Konventionel malkeko (7000 kg EKM)	120	53
Økologisk malkeko (6000 kg EKM)	113	50
Øvrige kvæg	48	20
Søer	1,5	10
Øvrige svin	1,5	10
Får	8	0,28
Slagtekyllinger	-	0,117
Øvrige kyllinger	-	0,117
Kalkuner, ænder og gæs	-	0,117
Heste	18	2,1
Pelsdyr	-	-

Den totale, årlige, direkte emission af N_2O fra landbrugsjorden i Danmark estimeres med følgende ligning (IPCC 1997):

$$\text{N}_2\text{O-emission} = \text{N}_2\text{O}_{\text{direct}} + \text{N}_2\text{O}_{\text{indirect}} \quad (3)$$

Hvor $\text{N}_2\text{O}_{\text{direct}}$ er direkte N_2O -emissioner fra danske landbrugsjorde og $\text{N}_2\text{O}_{\text{indirect}}$ er den indirekte emission fra landbruget, dvs. ikke N_2O -formig N tabt ved udvaskning, fordampning etc. som senere, fx i de indre danske farvande, omdannes til N_2O . $\text{N}_2\text{O}_{\text{direct}}$ beregnes i kg N/år efter følgende formel (IPCC 1997):

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{direct}} = [(F_{\text{SN}} + F_{\text{AW}} + F_{\text{BN}} + F_{\text{CR}}) \cdot \text{EF}_1] + F_{\text{OS}} \cdot \text{EF}_2 \quad (4)$$

EF_1 er emissionsfaktoren for direkte emission fra landbrugsjorden i kg N_2O -N/kg N-input, EF_2 er emissionsfaktoren for emission som produkt af mineraliseringen ved omdrift af landbrugsjorden i kg N_2O -N/ha/år, F_{OS} er ha organiske jorde (histosols), F_{AW} er husdyrgødnings-N forbrugt i landet korrigeret for ikke N_2O -formige emissioner såsom NH_3 og NO_x -emissioner og eksklusiv husdyrgødning produceret under græsning, F_{BN} er N fikseret med bælgeplanter (kg N/år), F_{CR} er afgrøderester tilbageført til jorden (kg N/år) og F_{SN} er handelsgødningskvælstof tilført (kg N/år). Standardværdierne for EF_1 og EF_2 er hhv. 0,0125 kg N_2O -N/kg N-input og 5 kg N_2O -N/ha/år gældende for tempereret klima (IPCC 1997). $\text{N}_2\text{O}_{\text{indirect}}$ estimeres med følgende ligning:

$$N_2O_{\text{indirect}} = N_{\text{GAS}} \cdot EF_4 + N_{\text{LEACH}} \cdot EF_5 \quad (5)$$

Den indirekte emission omfatter N_2O produceret fra atmosfærisk deposition af NO_x og NH_3 fordampet fra gødningsudbringning (N_{GAS}) samt N_2O produceret fra kvælstof, der er udvasket fra landbrugsjorden (N_{LEACH}). Desuden produceres der N_2O ved nedbrydningen af slam fra rensningsanlæg, men denne sidste post inkluderes ikke i nærværende opgørelse, idet det antages, at den samlede danske slamproduktion er uafhængig af en evt. omlægning til økologisk landbrug. $EF_4 = 0,01$ kg N_2O -N/kg gas-N og $EF_5 = 0,025$ kg N_2O -N/kg N-udvasket er standard emissionsfaktorer for hhv. andelen af N_{GAS} og N_{LEACH} , der tabes som N_2O (IPCC 1997).

2.3 Modellering og simulering af energiforbrug

Energiforbruget ved økologisk og konventionel landbrugsproduktion er simuleret med modellen ØKOBÆR (Dalgaard 1996). Udgangspunktet er simulering af energiforbrug ved dyrkning af typeafgrøderne kløvergræs, "korn modenhed", fodersukkerroer som repræsentant for rækkeafgrøderne, og vedvarende græs (tabel 2.3.1 – tabel 2.3.3).

De simulerede energiomkostninger er beregnet som vægtede gennemsnit af de simulerede energiomkostninger for afgrøder på lerjord, vandet sandjord og uvandet sandjord, idet fordelingen på de danske landbrugsjorde er 39% lerjord, 10% vandet sandjord og 51% uvandet sandjord (Alrøe et al. 1998). Typeafgrøden kløvergræs defineres i denne rapport som 50% afgræsningskløvergræs og 50% kløvergræsenilage. Typeafgrøden korn modenhed defineres som 50% vinterkorn og 50% vårkorn medfølgende halm. Typeafgrøden rækkeafgrøder defineres som fodersukkerroer, og vedvarende græs defineres som økologisk afgræsningskløvergræs på uvandet sand (tilført 0 kg N). Eneste forskel på standard og forbedret økologisk praksis er et forøget udbytte for kløvergræs og korn på 500 fe/ha.

Tabel 2.3.1 Gennemsnitlig energiomkostning ved dyrkning af konventionelle typeafgrøder (Modelleret med ØKOBÆR efter Dalgaard et al. 1999).

		Kløvergræs	Korn modenhed	Foderroer	Vedv. græs
Olie, smøreolie etc. ^a	MJ/ha	3134	4495	13176	823
Elektricitet ^b	MJ/ha	792	866	446	0
Hjælpestoffer ^c	MJ/ha	10243	5743	4003	698
Pesticider	MJ/ha	46	182	265	0
Maskiner	MJ/ha	952	1366	4003	250
I alt	MJ/ha	15166	12652	21894	1770

^a Inkl. raffinering, distribution etc., ^b Vanding og tørring, ^c Handelsgødning og kalk.

Tabel 2.3.2 Gennemsnitlig energiomkostning ved dyrkning af økologiske typeafgrøder - standard praksis (Modelleret med ØKOBÆR efter Dalgaard et al. 1999).

		Kløvergræs	Korn modenhed	Foderroer	Vedv. græs
Olie, smøreolie etc. ^a	MJ/ha	2417	4250	11261	823
Elektricitet ^b	MJ/ha	792	704	446	0
Hjælpestoffer ^c	MJ/ha	26	26	26	26
Pesticider	MJ/ha	0	0	0	0
Maskiner	MJ/ha	734	1292	3422	250
I alt	MJ/ha	3969	6273	15156	1098

^aInkl. raffinering, distribution etc., ^bVanding og tørring. ^cHandelsgødning og kalk.

Tabel 2.3.3 Gennemsnitlig energiomkostning ved dyrkning af økologiske typeafgrøder - forbedret praksis (Modelleret med ØKOBÆR efter Dalgaard et al. in prep).

		Kløvergræs	Korn modenhed	Foderroer	Vedv. græs
Olie, smøreolie etc. ^a	MJ/ha	2561	4318	11571	822
Elektricitet ^b	MJ/ha	792	761	446	0
Hjælpestoffer ^c	MJ/ha	26	26	26	26
Pesticider	MJ/ha	0	0	0	0
Maskiner	MJ/ha	778	1312	3516	250
I alt	MJ/ha	4156	6416	15559	1098

^aInkl. raffinering, distribution etc., ^bVanding og tørring. ^cHandelsgødning og kalk.

Anvendte energiomkostninger ved brug af indsatsfaktorer i landbrugsproduktionen er analoge til de anvendte energiomkostninger i ØKOBÆR-modellen (Dalgaard et al. 1999, tabel 2.3.4).

Tabel 2.3.4 Anvendte energiomkostninger for indsatsfaktorer i landbrugsproduktionen (efter Dalgaard et al. 1999).

Indsatsfaktor	energiomkostning	enhed
Diesel og fyringsolie ^a	35,9	MJ/L
Benzin ^a	32,9	MJ/L
Naturgas ^a	30,6	MJ/m ³
Flaskegas (LPG) ^a	0,04	MJ/t
Halm (med 14% vand) ^a	14,7	MJ/kg
El (inkl. distribution etc.)	9,5	MJ/kWh
Handelsgødning-N	45	MJ/kg N
Handelsgødning-P	17	MJ/kg P
Handelsgødning-K	6	MJ/kg K
Pesticider (AS=aktivt stof)	300	MJ/kg AS
Maskiner (beregnes ud fra olieforbruget)	12	MJ/L ^b
Smøreolie (beregnes ud fra olieforbruget)	3,6	MJ/L ^b
Distribution, raffinering etc. (brændstof og halm)	5	MJ/L ^b
Bygninger	2500	MJ/de
Konventionel stalddrift (el), køer	8000	MJ/de
Økologisk stalddrift (el), køer	8000	MJ/de
Stalddrift (el), opdræt og stude	1700	MJ/de
Konventionel stalddrift (el), søer	6100	MJ/de
Økologisk stalddrift (el), søer	3200	MJ/de
Konventionel stalddrift (el), slagtesvin/høns	900	MJ/de
Økologisk stalddrift (el), slagtesvin/høns	400	MJ/de
Opvarmning, klimastald (olie), søer	3100	MJ/de
Opvarmning, klimastald (olie), slagtesvin	610	MJ/de
Importeret foder	5,7	MJ/fe

^a) Ekskl. distribution, raffinering etc. ^b) Beregnes ved multiplicering med L olieækvivalenter brændstof og/eller halm forbrugt.

Ved udregningen af normer for elforbrug ved økologisk kontra konventionel stalddrift antages det, at der ved økologisk drift i modsætning til konventionel drift udelukkende benyttes naturlig ventilation i svinestaldene og ingen opvarmning til klimastalde (tabel 2.3.4 og tabel 2.3.5). Staldopvarmning antages at ske med olieenergi, idet normen er hentet fra Bygnings- og Maskinkontoret (1999). Desuden antages det, at energiforbruget per dyreenhed hønsehøhold svarer til energiforbruget per dyreenhed slagtesvin.

Tabel 2.3.5 Norm elforbrug ved stalddrift ved Ø=økologisk drift og K= konventionel drift (efter De Danske Elværkers Forening 1994).

	Malkekøer (kWh/årsko)		Opdræt og stude (kWh/de)		Søer (kWh/årsko)		Slagtesvin (kWh/årsdyr)	
	Ø	K	Ø	K	Ø	K	Ø	K
Belysning	93	93	31	31	36	36	0,4	0,4
Ventilation	121	121	0	0	-	107	-	6,3
Malkeanlæg	63	63	-	-	-	-	-	-
Mælkekøling	124	124	-	-	-	-	-	-
Foderfremstilling	-	-	-	-	12	12	2,0	2,0
Udfodring	407	407	136	136	111	111	2,7	2,7
Gødningshåndtering	30	30	10	10	22	16	0,3	0,3
I alt	838	838	177	177	181	282	5,4	11,7
I alt: MJ/de	7961	7961	1678	1678	5159	8037	428	926

Ved beregning af landbrugets energibalance modregnes netto energiproduktionen i energiforbruget. Landbrugets netto energiproduktion er opgjort i tabel 2.3.6. Som det ses, antages det, at der i de økologiske scenarier ikke er nogen netto energiproduktion.

Tabel 2.3.6 Landbrugets netto energiproduktion. Landbrugets netto energiproduktion i form af halm (beregnet på baggrund af Energistyrelsen 1998, gyllemængder ifølge Knudsen 1997 og biogasproduktion fra gylle ifølge Tafdrup 1998).

	Netto energiproduktion fra landbruget (PJ)		
	Halm	Gylle	I alt
1996-situationen	13,7	0,5	14,2
Økologiske scenarier	0,0	0,0	0,0

3 Resultater

På baggrund af de skitserede metoder estimeres landbrugets energiforbrug og emission af drivhusgasser. De følgende fire afsnit specificerer, hvordan energiforbruget og drivhusgas-emissionen er estimeret for hhv. 1996-situationen og for de tre økologiske scenarier defineret i kapitel 2.1; A (100% selvforsyning med foder), B (Maksimal tilladt foderimport) og C (Fastholdelse af nuværende animalske produktion). Resultaterne er til slut opsummeret i tabelform (afsnit 3.5).

3.1 Landbrugets nuværende situation (år 1996)

3.1.1 Energiforbrug og emission af CO₂

Landbrugets nuværende direkte og indirekte energiforbrug opgøres på baggrund af tilgængelige energistatistikker (tabel 3.1.1 og tabel 3.1.2).

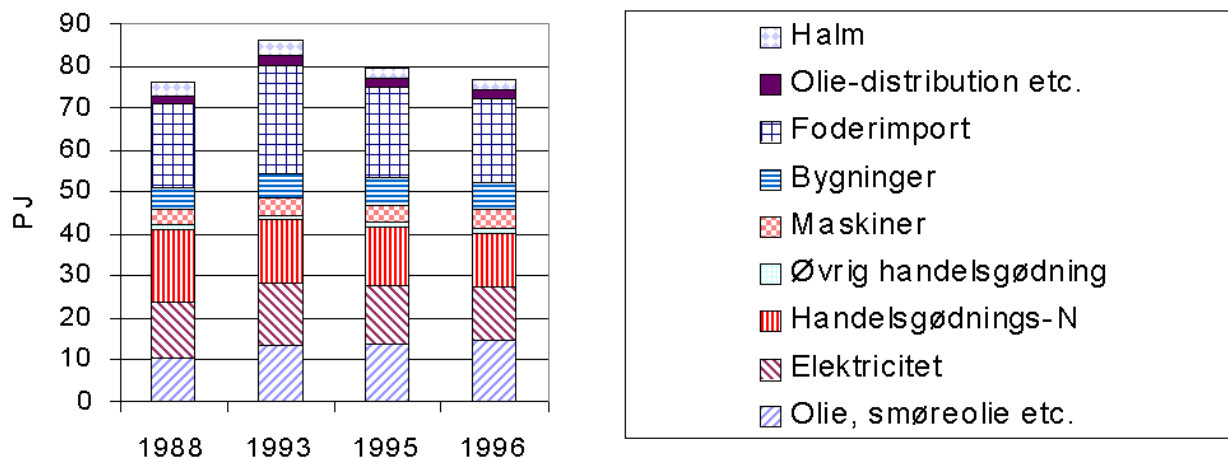
Tabel 3.1.1 Landbrugets direkte energiforbrug og fordelingen heraf i fysiske mængder. Energi styrelsen 1998 og De Danske Landboforeninger 1998. Omregning til PJ ifølge tabel 2.3.4.

	enhed	1988	1993	1995	1996
Diesel	10 ⁶ L	252	288	284	300
Benzin	10 ⁶ L	13	16	12	14
Fuelolie og fyringsgas	10 ⁶ kg	11	9	34	31
Naturgas	10 ⁶ m ³	14	21	24	26
Gas, petroleum mv.	10 ³ t olieækv.	8	36	26	39
Halm	10 ⁶ kg	237	246	172	168
El	10 ⁶ kWh	1388	1605	1480	1335
Samlet direkte energiforbrug	PJ	29	34	32	32

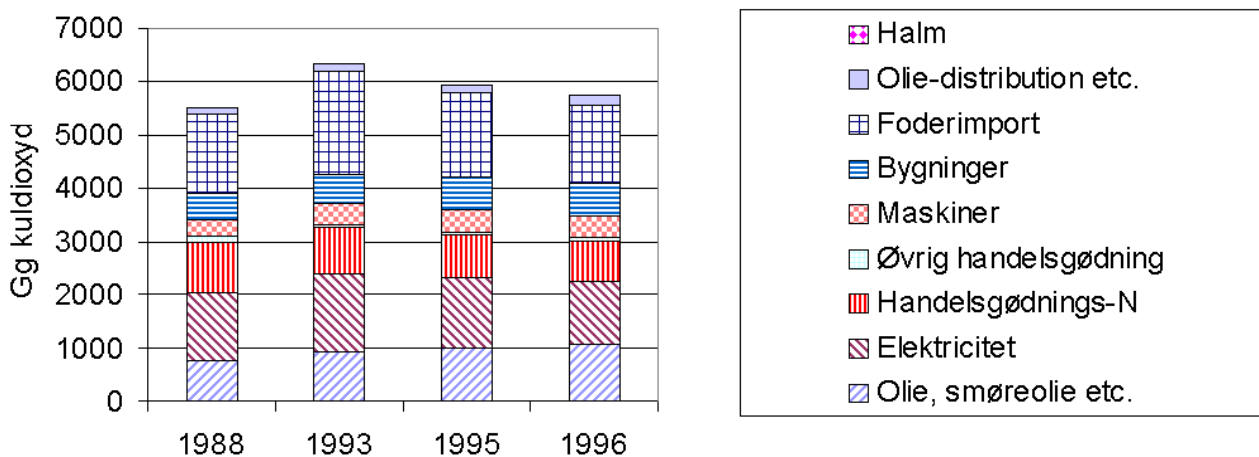
Tabel 3.1.2 Landbrugets indirekte energiforbrug og fordelingen heraf i fysiske mængder (Energi styrelsen 1998, Danmarks Statistik 1997 og De Danske Landboforeninger 1998. Omregning til PJ ifølge tabel 2.3.4). *) Beregnes ud fra l olie og benzin forbrugt.

	enhed	1988	1993	1995	1996
Handelsgødning-N	10 ³ t N	381	333	315	291
Handelsgødning-P	10 ³ t P	49	28	22	21
Handelsgødning-K	10 ³ t K	121	91	83	82
Maskiner	10 ⁶ L*	284	349	356	384
Bygninger, inventar etc.	10 ⁶ de	2,1	2,3	2,6	2,5
Import, korn og bælgssæd	10 ⁶ fe	266	606	225	296
Import, proteinfoder o.lign.	10 ⁶ fe	3217	3944	3543	3217
Samlet indirekte energiforbrug	PJ	49	54	49	47

På baggrund af disse tal kan landbrugets energiforbrug i perioden 1988-1996 illustreres (Figur 3.1) og CO₂-emissionsfaktorerne i tabel 2.2.1 kan anvendes til opgørelse af landbrugets emission af CO₂ (Figur 3.2).



Figur 3.1 Landbrugets direkte og indirekte energiforbrug i perioden 1980-1996.



Figur 3.2 Landbrugets emission af CO₂ fordelt på direkte og indirekte energikilder.

ØKOBÆR-modellen (Dalgaard et al. 1999) anvendes til fordeling af energiforbruget på de forskellige produktionsgrene i landbruget (tabel 3.1.3) og som reference til analoge simuleringer for de økologiske scenarier A, B og C (kapitel 3.2 – 3.4).

Tabel 3.1.3 Simuleret totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. Græs	I alt
Olie, smøreolie etc.	TJ	964	8246	6755	356	16321
Elektricitet	TJ	214	1394	201	0	1808
Hjælpestoffer	TJ	2778	9540	1921	265	14504
Maskiner	TJ	257	2199	1802	95	4352
I alt	TJ	4213	21378	10678	716	36985
Udbytte	10 ⁶ ae	18	81	47	8	152
Energiomkostning	MJ/fe	2,4	2,7	2,3	0,9	2,4

Tabel 3.1.4 Simuleret totalt energiforbrug ved husdyrproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrift (el)	TJ	7349	3326	10676
Klimastald (olie)	TJ	0	1655	1655
Bygninger etc.	TJ	3226	2517	5743
Foderimport	TJ	7008	13016	20024
Eget foder	TJ	16171	14749	30920
I alt	TJ	33755	35263	69019
Dyreenheder	10 ³ de	1291	1007	2297
Energiomkostning	GJ/de	26	35	30

Den simulerede fordeling af energiforbruget sammenlignes med det opgjorte energiforbrug ifølge energistatistikken. Forholdet mellem total simuleret og opgjort energiforbrug bruges som korrektionsfaktor på de enkelte energibærere, hvorved de simulerede produktionsgrene kan justeres til energiforbruget ifølge statistikken. Disse korrektionsfaktorer (tabel 3.1.5) anvendes ved den efterfølgende opgørelse af energiforbrug for de tre økologiske scenarier A, B og C.

Tabel 3.1.5 Sammenligning af simuleret energiforbrug med ØKOBÆR og opgørelser ifølge energi-statistikken (tabel 3.1.1 og tabel 3.1.2). Korrektionsfaktoren viser forholdet mellem simuleret energiforbrug og energiforbruget opgjort ifølge statistikken.

		ØKOBÆR	DK-statistik	korrektionsfaktor
Direkte energiforbrug				
Olie, smøreolie etc.	PJ	18,0	19,3	1,1
Elektricitet	PJ	12,5	12,7	1,0
Indirekte energiforbrug				
Hjælpestoffer	PJ	14,5	13,9	1,0
Maskiner	PJ	4,4	4,6	1,1
Bygninger	PJ	5,7	6,3	1,1
Foderimport	PJ	20,0	20,0	1,0
Energiforbrug i alt	PJ	75,1	76,8	
Netto energiproduktion	PJ	14,2	14,2	1,0
Balance	PJ	60,9	62,6	

Teoretisk set skulle ØKOBÆR overestimere forbruget af olie, smøreolie etc., idet der i beregningerne er medtaget energiforbrug til raffinering og distribution af olie, benzin etc., og at dette energiforbrug ikke figurerer i statistikken som et energiforbrug i landbrugssektoren. At det simulerede energiforbrug til olie, smøreolie etc. alligevel er lidt mindre end energiforbruget ifølge statistikken kan bl.a. forklares med, at modellen ikke som statistikken medtager forbrug af gas, petroleum, benzin til bilkørsel osv.

Det estimerede elektricitetsforbrug rammer tilsyneladende også tæt på elektricitetsforbruget ifølge statistikken, idet korrektionsfaktoren er $1,02 \cong 1,0$.

Forskellen på energi forbrugt til hjælpestoffer skyldes bl.a. at ØKOBÆR medtager energi til kalk og pesticider, hvilket ikke er medtaget i beregningerne ud fra statistikken. For en ordens skyld anvendes dog alligevel den udregnede korrektionsfaktor.

For energiforbrug til maskiner er korrektionsfaktoren den samme som for olie, smøreolie etc. idet energiforbrug til maskiner i begge tilfælde er beregnet ud fra et norm-maskinforbrug per MJ forbrugt olie-energi (tabel 2.3.4).

For bygninger er energiforbruget i begge tilfælde beregnet ud fra et norm-energiforbrug per dyreenhed, og forskellen i korrektionsfaktoren herfor skyldes således, at der i det simulerede 1996-scenarier regnes med 2,3 mio. de (tabel 3.1.4), hvorimod der ifølge Danmarks Statistik er 2,5 mio. de i Danmark 1996 (tabel 3.1.2).

For foderimport er benyttet samme norm (tabel 2.3.4), hvorfor der fås et ens resultat. Det samme gælder for netto energiproduktion, der er hentet fra Energistyrelsens (1998) statistik.

Anvendes ovenstående korrektionsfaktorer på resultaterne i tabel 3.1.3 og tabel 3.1.4 fås følgende korrigerede størrelser for energiforbrug til landbrugsproduktion i 1996-scenariet (Tabel 3.1.6, Tabel 3.1.7):

Tabel 3.1.6 Korrigeret totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis (korrektion ifølge tabel 3.1.5).

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. græs	I alt
Olie, smøreolie etc.	TJ	1037	8871	7267	383	17557
Elektricitet	TJ	217	1416	204	0	1837
Hjælpestoffer	TJ	2671	9172	1847	255	13944
Maskiner	TJ	272	2328	1907	100	4608
I alt	TJ	4197	21786	11225	738	37947
Udbytte	10 ⁶ ae	18	81	47	8	152
Energiomkostning	MJ/fe	2,4	2,7	2,4	1,0	2,5

Tabel 3.1.7 Korrigeret totalt energiforbrug ved husdyrproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis (korrektion ifølge tabel 3.1.5).

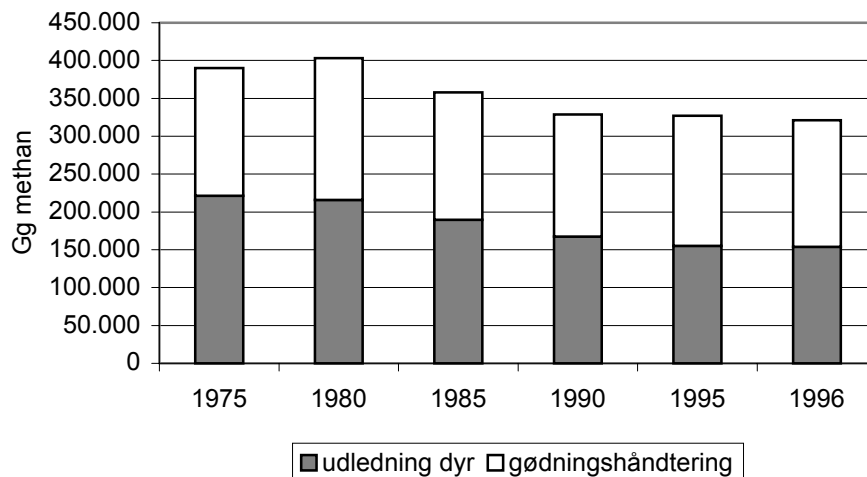
		Kvæg	Svin & fjerkræ	I alt
Stalldrift (el)	TJ	7466	3379	10845
Klimastald (olie)	TJ	0	1781	1781
Bygninger etc.	TJ	3511	2739	6250
Foderimport	TJ	7008	13016	20024
Eget foder	TJ	16171	14749	30920
I alt	TJ	34156	35664	69820
Dyreenheder	10 ³ de	1291	1007	2297
Energiomkostning	GJ/de	26	35	30

3.1.2 Emission af CH₄

Landbrugets nuværende emission af CH₄ estimeres på baggrund af antal årsdyr (tabel 3.1.8). Sammenlignes denne estimerede CH₄-emission med den til IPCC indrapporterede nationale emission (Figur 3.3) ses, at der er en ganske fin overensstemmelse (317 Gg mod 321 Gg methan), men det må dog pointeres, at der er stor usikkerhed på de beregnede værdier. Ved estimering af CH₄-emission i de følgende scenarier for økologisk drift A, B og C, anvendes metoden i tabel 3.1.8.

Tabel 3.1.8 Landbrugets nuværende emission af CH₄ fordelt på husdyrtyper og andel CH₄ udledt ved hhv. enterisk fermentation i dyrets tarm (fra dyr) og emission ved håndtering af husdyrgødning (fra husdyrgødning).

	10 ³ stk. årsdyr	Tg CH ₄ -emission		
		fra dyr	fra gødning	I alt
Malkekøer	825	99	44	143
Opdræt	908	44	18	62
Stude	580	28	12	39
Søer	1010	2	10	12
Øvrige svin	5277	8	53	61
Høns	5500	0	1	1
I alt		180	137	317



Figur 3.3 Udviklingen i landbrugets emission af CH₄ fordelt på emission fra dyr og gødningshåndtering 1975-1996 (efter Runge 1998).

3.1.3 Emission af N₂O

Landbrugets emission af N₂O beregnes som summen af den direkte og den indirekte N₂O-emission; N₂O_{direct} + N₂O_{indirect} (tabel 3.1.9).

Tabel 3.1.9 Landbrugets direkte (N_2O_{direct}) og indirekte (N_2O_{indirect}) N_2O -emission for nusituationen (år 1996) fordelt på kilder.

		Emission (10^6 kg N år ⁻¹)	Emissionsfaktor (kg N_2O -N/kg N)	I alt Gg N_2O
Direkte emission(N_2O_{direct}):				
Handelsgødningskvælstof	F_{SN}	292	0,0125	3,6
Husdyrgødningskvælstof	F_{AW}	131	0,0125	1,6
N fikseret i Danmark	F_{BN}	27	0,0125	0,3
N fikseret i udlandet (foderimport)	$F_{BN(\text{udland})}$	111	0,0125	1,4
Afgrøderester tilbageført jorden	F_{CR}	14	0,0125	0,2
Organiske jorde i omdrift	F_{OS}	18440 ha	5 kg N_2O -N/ha/år	0,1
Indirekte Emission (N_2O_{indirect}):				
Deposition af gas fra handelsgødning	N_{GAS}	58	0,01	0,6
Deposition af gas fra husdyrgødning	N_{GAS}	44	0,01	0,4
Udvaskning	N_{LEACH}	198	0,025	5,0
I alt				13,2

N_2O_{direct} beregnes ved hjælp af ligning (4) i afsnit 2.2. F_{SN} beregnes som udkørt handelsgødnings-N (tabel 3.1.2) minus et standard N-gastab på 10% (IPCC 1998). F_{AW} beregnes som produceret husdyrgødningskvælstof af dyr minus et standard gastab af NH_3 og NO_x på 20% (IPCC 1998) og minus andelen af husdyrgødning afsat på græs (tabel 3.1.11). F_{BN} beregnes som fikseret N fra kløvergræs og vedvarende græsmarker (tabel 3.1.12), idet N-fikseringen i kløvergræs sættes til gennemsnittet af fikseringen i 1.-3. års marker ifølge Kristensen og Kristensen (1992) og N-fikseringen for vedvarende græs sættes til N-fikseringen for 3. års økologisk kløvergræs ifølge Kristensen og Kristensen (1992), reduceret med 50% svarende til forholdet mellem udbyttet i kløvergræs i omdrift og vedvarende kløvergræs i tabel 2.1.1. N fikseret i udlandet ($F_{BN(\text{udland})}$) beregnes ud fra den importerede mængde foder, idet det antages, at 50% af denne stammer fra N-fikserende afgrøder med en fiksering på 6,3 kg N/ae (tabel 3.1.12). F_{CR} beregnes som kg N i nedmuldet halm, idet halmudbyttet antages at være 42% af kerneudbyttet, 30% af halmen nedmuldes og halm indeholder 5 kg N/t. Da der i scenarierne ikke er regnet med et braklagt areal, medregnes ikke den betydelige mængde N, der nedpløjes ved omdrift af brakmarker. F_{OS} estimeres som 10% af det samlede areal med organiske jorde, som i alt udgør 184.400 ha (JB 11). N-udvaskningen N_{LEACH} , er nok den parameter, der er størst usikkerhed på. I 1996-situationen sættes den ifølge Børgesen et al. (1997) til 198×10^6 kg N år⁻¹. I de økologiske scenarier reduceres den proportionalt med reduktionen i det totale N-overskud, N_{SOIL} , der ifølge Grant (1998) tilføres jorden.

Tabel 3.1.10 Estimering af N_{LEACH} . I de økologiske scenarier reduceres den proportionalt med reduktionen i det totale N-overskud, N_{SOIL} , der ifølge Grant (1998) tilføres jorden.

Scenario		1996	Økologi, nuværende praksis			Økologi forbedret praksis		
			A	B	C	A	B	C
N_{SOIL}	kg N ha ⁻¹	126	37	56	65	43	60	63
N_{LEACH}	kg N år ⁻¹	198	58	88	102	68	94	99

Tabel 3.1.11 F_{AW} beregnet for nu-situationen (1996) som produceret husdyrgødningskvælstof af dyr minus et standard gastab af NH_3 og NO_x på 20% og minus andelen af husdyrgødning afsat på græs. Kg N ab årsdyr er antaget ens for alle scenarier.

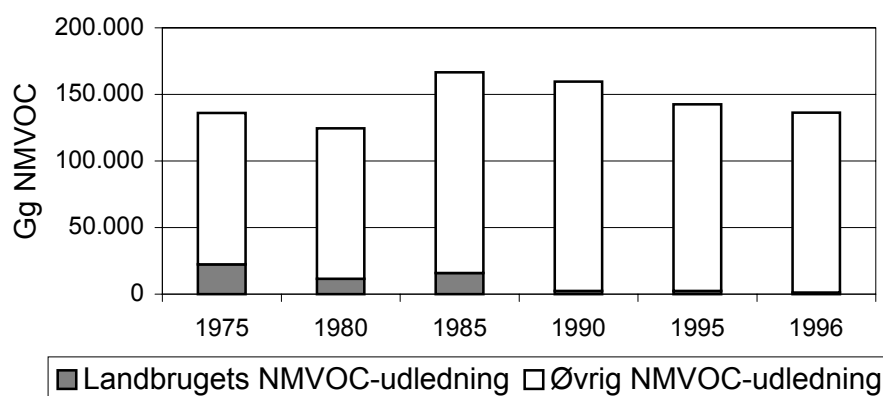
	10^3 årsdyr	kg N ab årsdyr	kg N gastab	% afsat på græs	F_{AW} (10^3 kg N)
Malkekøer	825	128	25,6	30	59,1
Opdræt	908	36	7,20	50	13,1
Stude	580	36	7,20	50	8,4
Søer	1010	26	5,20	0	21,0
Øvrige svin	5277	6,56	1,31	0	27,7
Høns	5500	0,43	0,09	0	1,9
F_{AW} i alt					131,0

Tabel 3.1.12 Beregning af fikseret kvælstof ved kløvergræsproduktion i Danmark og fikseret kvælstof ved produktion af importeret proteinfoder i udlandet.

	Produktionsomfang	Fikseringsrate	Fikseret i alt
Kløvergræs	270000 ha	72 kg N/ha	19300 t N
Vedvarende græs	380000 ha	20 kg N/ha	7520 t N
Importeret foder	2854 mio. fe	3,2 kg N/ae	89918 t N

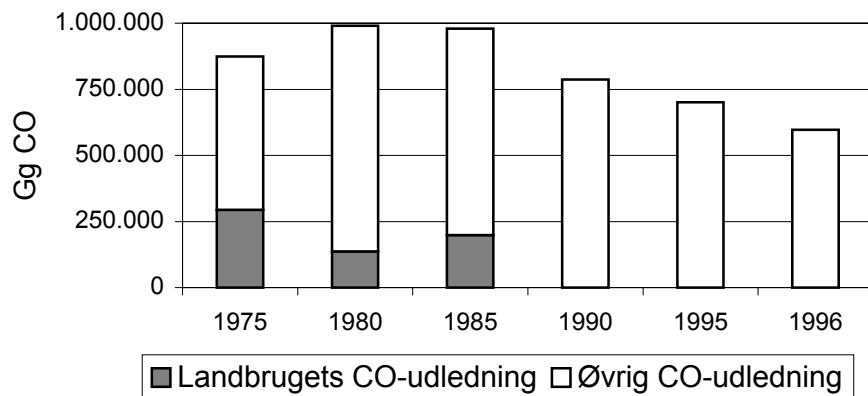
3.1.4 Emission af øvrige drivhusgasser

Af de nationale opgørelser (Runge 1998) fremgår det, at der også udledes andre drivhusgasser end kul-dioxid, metan og lattergas fra landbruget. Bl.a. er opgjort udslippet af de såkaldte "Non Methane Volatile Organic Compounds", NMVOC. NMVOC-emissionen er dog ubetydelig i forhold til den samlede emission fra Danmark (Figur 3.4), og medtages derfor ikke i nærværende rapport.



Figur 3.4 Landbrugets emission af NMVOC i forhold til Danmarks Samlede NMVOC-emission (Runge 1998).

Tidligere udledte landbruget betydelige mængder af drivhusgassen kulmonoxid (CO) (Figur 3.5). Denne emission stoppede dog stort set med forbudet mod afbrænding af halm på markerne, idet den udledte CO primært stammede fra ufuldstændige forbrændingsprocesser i forbindelse hermed. CO-emissionen medtages derfor heller ikke i nærværende rapport.



Figur 3.5 Landbrugets emission af CO i forhold til Danmarks Samlede CO-emission (Runge 1998). CO-emissionen ophører med forbudet mod halmafbrænding i 1990.

3.2 Scenario A: 100% selvforsyning med foder

3.2.1 Energiforbrug og emission af CO₂

Energiforbruget til produktion af afgrøder og husdyr simuleres for hhv. standard og forbedret praksis (tabel 3.2.1 – tabel 3.2.4). Dernæst fordeles de estimerede energiforbrugsposter på indirekte og direkte energiforbrug (tabel 3.2.5), idet simuleret energiforbrug i det økologiske scenario korrigeres med korrektionsfaktorerne fra tabel 3.1.5.

Tabel 3.2.1 Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario A.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. græs	I alt
Olie, smøreolie etc.	TJ	3051	6564	2760	202	12577
Elektricitet	TJ	828	901	91	0	1820
Hjælpestoffer	TJ	26	32	5	5	68
Maskiner	TJ	801	1723	725	53	3302
I alt	TJ	4706	9220	3581	259	17767
Udbytte	10 ⁶ æ	54	43	19	4	119
Energiomkostning	MJ/fe	0,9	2,2	1,8	0,7	1,5

Tabel 3.2.2 Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario A.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrifft (el)	TJ	7515	716	8231
Klimastald (olie)	TJ	0	0	0
Bygninger etc.	TJ	3588	1001	4590
Foderimport	TJ	0	0	0
Eget foder	TJ	11988	4684	16672
I alt	TJ	23092	6401	29492
Dyreenheder	10 ³ de	1319	368	1687
Energiomkostning	GJ/de	18	17	17

Tabel 3.2.3 Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for forbedret praksis i scenario A.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. græs	I alt
Olie, smørelolie etc.	TJ	3233	6668	2836	202	12938
Elektricitet	TJ	828	974	91	0	1893
Hjælpestoffer	TJ	25	31	5	5	66
Maskiner	TJ	849	1750	744	53	3396
I alt	TJ	4935	9423	3676	259	18294
Udbytte	10 ⁶ ae	59	50	18	4	131
Energiomkostning	MJ/fe	0,8	1,9	2,0	0,7	1,4

Tabel 3.2.4 Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret ved forbedret praksis i scenario A.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrifft (el)	TJ	7695	1053	8748
Klimastald (olie)	TJ	0	0	0
Bygninger etc.	TJ	3674	1438	5112
Foderimport	TJ	0	0	0
Eget foder	TJ	11091	6076	17167
I alt	TJ	22461	8566	31027
Dyreenheder	10 ³ de	1319	368	1687
Energiomkostning	GJ/de	17	23	18

Tabel 3.2.5 Direkte og indirekte energiforbrug ved standard og forbedret praksis i scenario A. Hhv. direkte simuleret med ØKOBÆR og korrigeret ifølge korrektionsfaktorerne i tabel 3.2.6.

		Standard praksis	Forbedret praksis
Direkte energiforbrug			
Olie, smøreolie etc.	PJ	12,6	12,9
Elektricitet	PJ	10,1	10,6
Indirekte energiforbrug			
Hjælpestoffer	PJ	0,1	0,1
Maskiner	PJ	3,3	3,4
Bygninger	PJ	4,6	5,1
Foderimport	PJ	0,0	0,0
Energiforbrug i alt	PJ	30,6	32,2
Netto energiproduktion	PJ	0,0	0,0
Balance	PJ	30,6	32,2

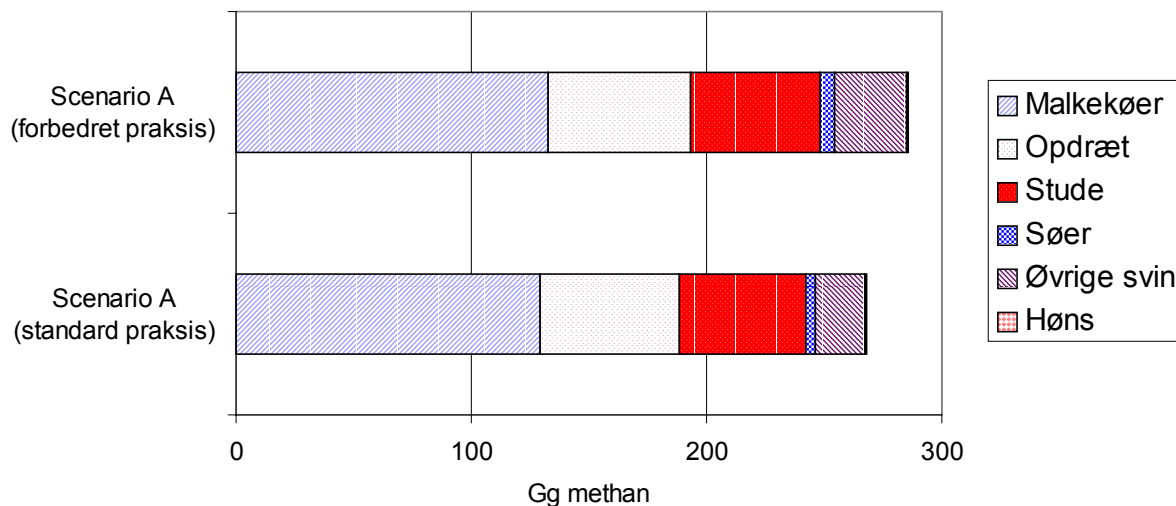
Omregnes de korrigerede energiforbrug for scenario A til CO₂-emission fås følgende fordeling (tabel 3.2.6).

Tabel 3.2.6 Simuleret emission af CO₂ for scenario A (100% selvforsyning med foder) ved hhv. standard og forbedret dyrkningspraksis.

	Standard praksis (Gg CO₂)	Forbedret praksis (Gg CO₂)
Olie, smøreolie etc.	931	957
Elektricitet	955	1011
Hjælpestoffer	4	4
Maskiner	314	323
Bygninger	436	486
Foderimport	0	0
Netto energiproduktion	0	0
Total CO₂-emission	2639	2780

3.2.2 Emission af CH₄

Emissionen af CH₄ for scenario a estimeres ud fra antal årstyr (tabel 3.2.7) og IPCCs Standard CH₄-emissionsfaktorer (tabel 2.2.2).



Figur 3.6 CH₄-emission fordelt på husdyrarter, estimeret for scenario A ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.

Tabel 3.2.7 Antal årsdyr og den tilsvarende CH₄-emission estimeret for scenario A ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.

	Standard praksis			Forbedret praksis		
	årsdyr (10 ³ stk)	fra dyr (Gg CH ₄)	fra gødning (Gg CH ₄)	årsdyr (10 ³ stk)	fra dyr (Gg CH ₄)	fra gødning (Gg CH ₄)
Malkekøer	793	90	40	812	92	41
Opdræt	872	42	17	893	43	18
Stude	793	38	16	812	39	16
Søer	347	1	3	514	1	5
Øvrige svin	1813	3	18	2686	4	27
Høns	5200	0	1	5200	0	1
I alt		173	95		178	107

3.2.3 Emission af N₂O

Emissionen af N₂O for det økologiske scenario A (100% selvforsyning med foder) estimeres efter samme metode som nu-situationen (afsnit 3.1.3).

Tabel 3.2.8 Landbrugets direkte (N_2O_{direct}) og indirekte (N_2O_{indirect}) N_2O -emission for scenario A, (100% foderselvforsyning) fordelt på kilder ved nuværende og forbedret dyrkningspraksis.

	Nuværende praksis		Forbedret praksis		
	Emission $10^6 \text{ kg N år}^{-1}$	I alt Gg N_2O	Emission $10^6 \text{ kg N år}^{-1}$	I alt Gg N_2O	
Direkte emission(N_2O_{direct}):					
Handelsgødningskvælstof	F_{SN}	0	0,0	0	0,0
Husdyrgødningskvælstof	F_{AW}	99	1,2	109	1,4
N fikseret i Danmark	F_{BN}	78	1,0	78	1,0
N fikseret i udlandet (foderimport)	F_{BN}	0	0,0	0	0,0
Afgrøderester tilbageført jorden	F_{CR}	11	0,1	11	0,1
Organiske jorde i omdrift (ha)	F_{OS}	18440	0,1	18440	0,1
Indirekte Emission (N_2O_{indirect}):					
Deposition af gas fra handelsgødning	N_{GAS}	0	0,0	0	0,0
Deposition af gas fra husdyrgødning	N_{GAS}	37	0,4	40	0,4
Udvaskning	N_{LEACH}	58	1,5	68	1,7
I alt			4,3		4,7

3.3 Scenario B: Maksimal tilladt foderimport

3.3.1 Energiforbrug og emission af CO_2

Energiforbruget til produktion af afgrøder og husdyr simuleres for hhv. standard og forbedret praksis (tabel 3.3.1 og tabel 3.3.4). Dernæst fordeles de estimerede energiforbrugsposter på indirekte og direkte energiforbrug (tabel 3.3.5), idet simuleret energiforbrug i det økologiske scenario korrigeres med korrektionsfaktorerne fra tabel 3.1.5.

Tabel 3.3.1 Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for nuværende praksis i senario B.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. Græs	I alt
Olie, smøreolie etc.	TJ	3051	6564	2760	202	12577
Elektricitet	TJ	828	901	91	0	1820
Hjælpestoffer	TJ	26	32	5	5	68
Maskiner	TJ	801	1723	725	53	3302
I alt	TJ	4706	9220	3581	259	17767
Udbytte	10^6 ae	54	43	19	4	120
Energiomkostning	MJ/fe	0,9	2,2	1,8	0,7	1,5

Tabel 3.3.2 Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario B.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrift (el)	TJ	7250	1622	8872
Klimastald (olie)	TJ	0	0	0
Bygninger etc.	TJ	3462	2174	5636
Foderimport	TJ	5323	7787	13110
Eget foder	TJ	9372	7300	16672
I alt	TJ	25406	18884	44290
Dyreenheder	10 ³ de	1272	799	2072
Energiomkostning	GJ/de	20	24	21

Tabel 3.3.3 Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for forbedret praksis i scenario B.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. Græs	I alt
Olie, smørelie etc.	TJ	3233	6668	2836	202	12938
Elektricitet	TJ	828	974	91	0	1893
Hjælpestoffer	TJ	25	31	5	5	66
Maskiner	TJ	849	1750	744	53	3396
I alt	TJ	4935	9423	3676	259	18294
Udbytte	10 ⁶ ae	59	50	18	4	131
Energiomkostning	MJ/fe	0,8	1,9	2,0	0,7	1,4

Tabel 3.3.4 Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret ved forbedret praksis i scenario B.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrift (el)	TJ	7382	2123	9505
Klimastald (olie)	TJ	0	0	0
Bygninger etc.	TJ	3525	2822	6347
Foderimport	TJ	5416	10059	15476
Eget foder	TJ	8608	8559	17167
I alt	TJ	24932	23564	48495
Dyreenheder	10 ³ de	1296	1037	2333
Energiomkostning	GJ/de	19	23	21

Tabel 3.3.5 Direkte og indirekte energiforbrug ved standard og forbedret praksis i scenario B. Hhv. direkte simuleret med ØKOBÆR og korrigeret ifølge korrektionsfaktorerne i tabel 3.1.5.

		Standard praksis	Forbedret praksis
Direkte energiforbrug			
Olie, smøreolie etc.	PJ	12,6	12,9
Elektricitet	PJ	10,7	11,4
Indirekte energiforbrug			
Hjælpestoffer	PJ	0,1	0,1
Maskiner	PJ	3,3	3,4
Bygninger	PJ	5,6	6,3
Foderimport	PJ	13,1	15,5
Energiforbrug i alt	PJ	45,4	49,6
Netto energiproduktion	PJ	0,0	0,0
Balance	PJ	45,4	49,6

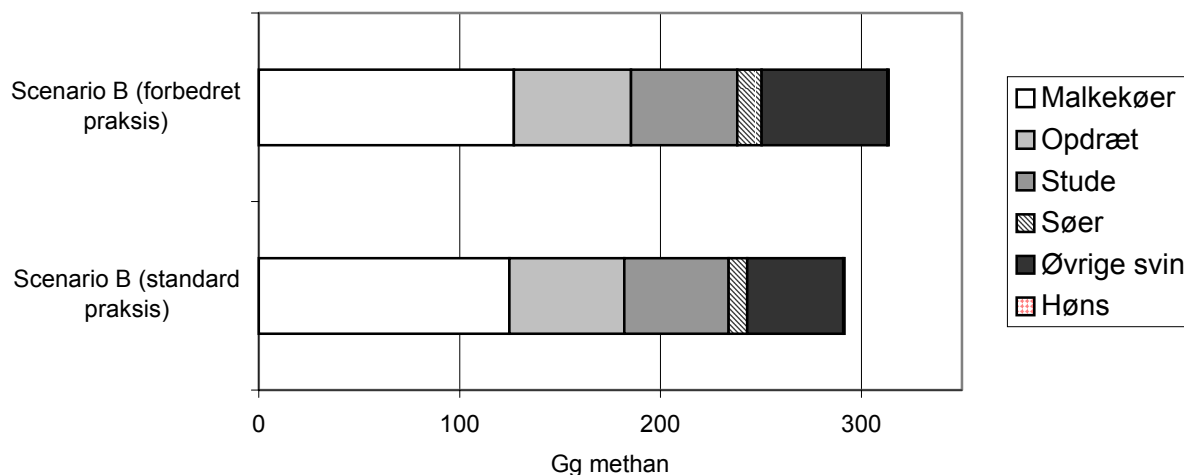
Omregnes de korrigerede energiforbrug for scenario B til CO₂-emission fås følgende fordeling (tabel 3.3.6).

Tabel 3.3.6 Simuleret emission af CO₂ for scenario B (Maksimal tilladt foderimport) ved hhv. standard og forbedret dyrkningspraksis.

	Standard praksis (Gg CO₂)	Forbedret praksis (Gg CO₂)
Olie, smøreolie etc.	931	957
Elektricitet	1016	1083
Hjælpestoffer	4	4
Maskiner	314	323
Bygninger	535	603
Foderimport	970	1145
Netto energiproduktion	0	0
Total CO₂-emission	3770	4115

3.3.2 Emission af CH₄

Emissionen af CH₄ for scenario B estimeres ud fra antal årsdyr (tabel 3.3.7) og IPCCs Standard CH₄-emissionsfaktorer (tabel 2.2.2):



Figur 3.7 CH₄-emission fordelt på husdyrarter, estimeret for scenario B ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.

Tabel 3.3.7 Antal årsdyr og den tilsvarende CH₄-emission estimeret for scenario B ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.

	Standard praksis			Forbedret praksis		
	årsdyr (10 ³ stk)	fra dyr (Gg CH ₄)	fra gødning (Gg CH ₄)	årsdyr (10 ³ stk)	fra dyr (Gg CH ₄)	fra gødning (Gg CH ₄)
Malkekøer	765	86	38	779	88	39
Opdræt	842	40	17	857	41	17
Stude	765	37	15	779	37	16
Søer	796	1	8	1044	2	10
Øvrige svin	4159	6	42	5455	8	55
Høns	5200	0	1	5200	0	1
I alt		171	121		176	137

3.3.3 Emission af N₂O

Emissionen af N₂O for det økologiske scenario B (maksimal tilladt foderimport) estimeres efter samme metode som nu-situationen (kapitel 3.1.3).

Tabel 3.3.8 Landbrugets direkte (N_2O_{direct}) og indirekte (N_2O_{indirect}) N_2O -emission for scenario B (maksimal tilladt foderimport) fordelt på kilder ved nuværende og forbedret dyrkningspraksis.

		Nuværende praksis		Forbedret praksis	
		Emission	I alt	Emission	I alt
		$10^6 \text{ kg N år}^{-1}$	Gg N_2O	$10^6 \text{ kg N år}^{-1}$	Gg N_2O
Direkte emission(N_2O_{direct}):					
Handelsgødningskvælstof	F_{SN}	0	0,0	0	0,0
Husdyrgødningskvælstof	F_{AW}	118	1,5	132	1,6
N fikseret i Danmark	F_{BN}	78	1,0	78	1,0
N fikseret i udlandet (foderimport)	F_{BN}	72	0,9	86	1,1
Afgrøderester tilbageført jorden	F_{CR}	11	0,1	11	0,1
Organiske jorde i omdrift (ha)	F_{OS}	18440	0,1	18440	0,1
Indirekte Emission (N_2O_{indirect}):					
Deposition af gas fra handelsgødning	N_{GAS}	0	0,0	0	0,0
Deposition af gas fra husdyrgødning	N_{GAS}	41	0,4	45	0,4
Udvaskning	N_{LEACH}	88	2,2	94	2,4
I alt			6,2		6,7

3.4 Scenario C: Fastholdelse af nuværende animalske produktion

3.4.1 Energiforbrug og emission af CO_2

Energiforbruget til produktion af afgrøder og husdyr simuleres for hhv. standard og forbedret praksis (tabel 3.4.1 – tabel 3.4.4). Dernæst fordeles de estimerede energiforbrugsposter på indirekte og direkte energiforbrug (tabel 3.4.5), idet simuleret energiforbrug i det økologiske scenario korrigeres med korrektionsfaktorerne fra tabel 3.1.5.

Tabel 3.4.1 Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario C.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. Græs	I alt
Olie, smøreolie etc.	TJ	3051	6564	2760	202	12577
Elektricitet	TJ	828	901	91	0	1820
Hjælpestoffer	TJ	26	32	5	5	68
Maskiner	TJ	801	1723	725	53	3302
I alt	TJ	4706	9220	3581	259	17767
Udbytte	10^6 ae	57	41	19	4	121
Energiomkostning	MJ/fe	0,8	2,3	1,8	0,7	1,5

Tabel 3.4.2 Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario C.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrifft (el)	TJ	7060	2288	9348
Klimastald (olie)	TJ	0	0	0
Bygninger etc.	TJ	3371	3039	6411
Foderimport	TJ	5214	18486	23701
Eget foder	TJ	8931	7741	16672
I alt	TJ	24576	31554	56131
Dyreenheder	10 ³ de	1239	1117	2356
Energiomkostning	GJ/de	20	28	24

Tabel 3.4.3 Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for forbedret praksis i scenario C.

		Kløvergræs	Korn	Rækkeafgr.	Vedv. Græs	I alt
Olie, smørelolie etc.	TJ	3233	6668	2836	202	12938
Elektricitet	TJ	828	974	91	0	1893
Hjælpestoffer	TJ	25	31	5	5	66
Maskiner	TJ	849	1750	744	53	3396
I alt	TJ	4935	9423	3676	259	18294
Udbytte	10 ⁶ ae	58	50	18	4	130
Energiomkostning	MJ/fe	0,9	1,9	2,0	0,7	1,4

Tabel 3.4.4 Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret ved forbedret praksis i scenario C.

		Kvæg	Svin & Fjerkræ	I alt
Stalldrifft (el)	TJ	7335	2288	9622
Klimastald (olie)	TJ	0	0	0
Bygninger etc.	TJ	3502	3039	6542
Foderimport	TJ	5360	12749	18109
Eget foder	TJ	8516	8651	17167
I alt	TJ	24714	26727	51440
Dyreenheder	10 ³ de	1287	1117	2405
Energiomkostning	GJ/de	19	24	21

Tabel 3.4.5 Direkte og indirekte energiforbrug ved standard og forbedret praksis i scenario C. Hhv. direkte simuleret med ØKOBÆR og korrigeret ifølge korrektionsfaktorerne i tabel 3.1.5.

		Standard praksis	Forbedret praksis
Direkte energiforbrug			
Olie, smøreolie etc.	PJ	12,6	12,9
Elektricitet	PJ	11,2	11,5
Indirekte energiforbrug			
Hjælpestoffer	PJ	0,1	0,1
Maskiner	PJ	3,3	3,4
Bygninger	PJ	6,4	6,5
Foderimport	PJ	23,7	18,1
Energiforbrug i alt	PJ	57,2	52,6
Netto energiproduktion	PJ	0,0	0,0
Balance	PJ	57,2	52,6

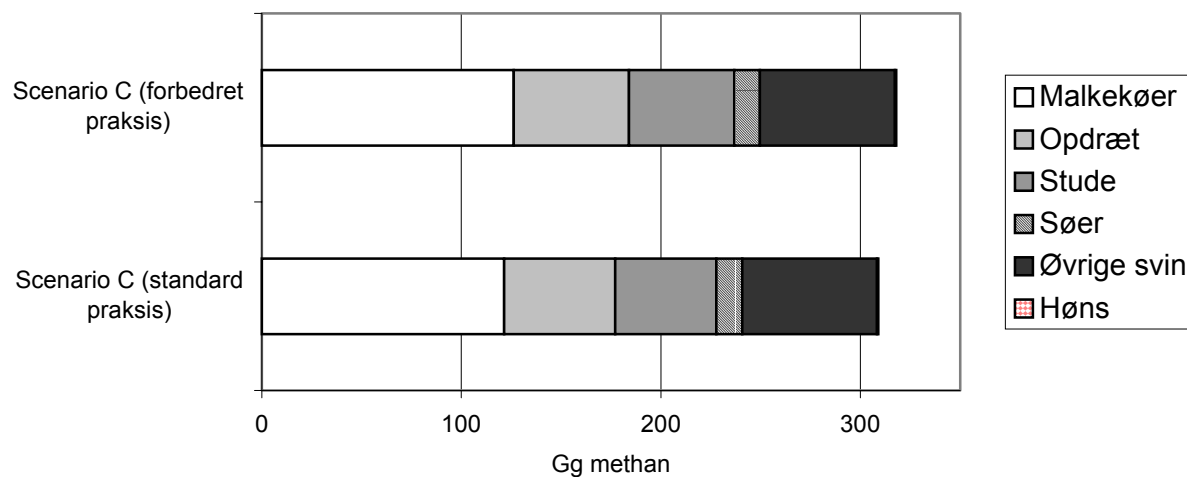
Omregnes de korrigerede energiforbrug for scenario C til CO₂-emission, fås følgende fordeling (tabel 3.4.6):

Tabel 3.4.6 Simuleret emission af CO₂ for scenario c (Fastholdelse af den nuværende animalske produktion) ved hhv. standard og forbedret dyrkningspraksis.

	Standard praksis (Gg CO₂)	Forbedret praksis (Gg CO₂)
Olie, smøreolie etc.	931	957
Elektricitet	1061	1094
Hjælpestoffer	4	4
Maskiner	314	323
Bygninger	609	621
Foderimport	1754	1340
Netto energiproduktion	0	0
Total CO₂-emission	4672	4339

3.4.2 Emission af CH₄

Emissionen af CH₄ for scenario C estimeres ud fra antal årsdyr (tabel 3.4.7) og IPCCs Standard CH₄-emissionsfaktorer (tabel 2.2.2) som vist i figur 3.8:



Figur 3.8 CH₄-emission fordelt på husdyrarter, estimeret for scenario C ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.

Tabel 3.4.7 Antal årsdyr og den tilsvarende CH₄-emission estimeret for scenario C ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.

	Standard praksis			Forbedret praksis		
	årsdyr (10 ³ stk)	fra dyr (Gg CH ₄)	fra gødning (Gg CH ₄)	årsdyr (10 ³ stk)	fra dyr (Gg CH ₄)	fra gødning (Gg CH ₄)
Malkekøer	745	84	37	774	87	39
Opdræt	820	39	16	851	41	17
Stude	745	36	15	774	37	15
Søer	1125	2	11	1125	2	11
Øvrige svin	5878	9	59	5878	9	59
Høns	5500	0	1	5500	0	1
I alt		170	139		176	142

3.4.3 Emission af N₂O

Emissionen af N₂O for det økologiske scenario C (100% selvforsyning med foder) estimeres efter samme metode som nu-situationen (kapitel **Fejl! Ukendt argument for parameter.**).

Tabel 3.4.8 Landbrugets direkte (N₂O_{direct}) og indirekte (N₂O_{indirect}) N₂O-emission for scenario C (fastholdelse af den nuværende animalske produktion) fordelt på kilder ved nuværende og forbedret dyrkningspraksis.

	Nuværende praksis		Forbedret praksis		
	Emission 10 ⁶ kg N år ⁻¹	I alt Gg N ₂ O	Emission 10 ⁶ kg N år ⁻¹	I alt Gg N ₂ O	
Direkte emission(N₂O_{direct}):					
Handelsgødningskvælstof	F _{SN}	0	0,0	0	0,0
Husdyrgødningskvælstof	F _{AW}	132	1,7	135	1,7
N fikseret i Danmark	F _{BN}	78	1,0	78	1,0
N fikseret i udlandet (foderimport)	F _{BN}	131	1,6	100	1,3
Afgrøderester tilbageført jorden	F _{CR}	11	0,1	11	0,1
Organiske jorde i omdrift (ha)	F _{OS}	18440	0,1	18440	0,1
Indirekte Emission (N₂O_{indirect}):					
Deposition af gas fra handelsgødning	N _{GAS}	0	0,0	0	0,0
Deposition af gas fra husdyrgødning	N _{GAS}	44	0,4	46	0,5
Udvaskning	N _{LEACH}	102	2,6	99	2,5
I alt			7,5		7,1

3.5 Opsamling

Den samlede balance for fossilt energiforbrug i 1996 kan nu sammenlignes med den estimerede energibalancel for de økologiske scenarier A (100% selvforsyning), B (maksimal foderimport) og C (fastholdt animalsk produktion) ved hhv. nuværende og forbedret økologisk dyrkningspraksis (tabel 3.5.1 og tabel 3.5.2).

Tabel 3.5.1 Balance for fossilt energiforbrug i dansk landbrug for nu-situationen (år 1996) og for de tre scenarier for økologisk landbrug A, B og C ved nuværende dyrkningspraksis. Fordeelingen af energiforbruget er modelleret med ØKOBÆR (Dalgaard et al. 1999) og korrigeret i forhold til det nuværende energiforbrug ifølge tabel 3.1.4.

	Nudrift 1996 PJ	Økologisk landbrug, nuværende dyrkningspraksis		
		A: 100% foder- selvforsyning PJ	B: Maks. tilladt foderimport PJ	C: Fastholdt hus- dyr produktion PJ
Afgørdeproduktion (A):				
Olie, smørelolie etc. ^a	17,6	12,6	12,6	12,6
Elektricitet	1,8	1,8	1,8	1,8
Hjælpestoffer	13,9	0,1	0,1	0,1
Maskiner	4,6	3,3	3,3	3,3
I alt	37,9	17,8	17,8	17,8
Husdyrproduktion (H):				
Elektricitet til stalddrift	10,8	8,2	8,9	9,3
Klimastalde (olie og halm) ^a	1,8	0,0	0,0	0,0
Bygninger, staldiventar etc.	6,3	4,6	5,6	6,4
Foderimport	20,0	0,0	13,1	23,7
I alt	38,9	12,8	27,6	39,5
Netto Energiproduktion (E):				
	14,2	0,0	0,0	0,0
Energibalancel (A+H-E)	62,6	30,6	45,4	57,2

^a) inkl. energiomkostning til distribution, raffinering etc.

Tabel 3.5.2 Balance for fossilt energiforbrug i dansk landbrug for nu-situationen (år 1996) og for de tre scenarier for økologisk landbrug A, B og C ved forbedret dyrkningspraksis. Forde-lingen af energiforbruget er modelleret med ØKOBÆR (Dalgaard et al. in prep.) og korrigeret i forhold til det nuværende energiforbrug ifølge tabel 3.1.4.

	Økologisk landbrug, forbedret dyrkningspraksis			
	Nudrift 1996	A: 100% foder- selvforsyning	B: Maks. tilladt foderimport	C: Fastholdt hus- dyr produktion
	PJ	PJ	PJ	PJ
Afgrødeproduktion (A):				
Olie, smøreolie etc. ^a	17,6	12,9	12,9	12,9
Elektricitet	1,8	1,9	1,9	1,9
Hjælpestoffer	13,9	0,1	0,1	0,1
Maskiner	4,6	3,4	3,4	3,4
I alt	37,9	18,3	18,3	18,3
Husdyrproduktion (H):				
Elektricitet til stalddrift	10,8	8,7	9,5	9,6
Klimastalde (olie og halm) ^a	1,8	0,0	0,0	0,0
Bygninger, stalddinventar etc.	6,3	5,1	6,3	6,5
Foderimport	20,0	0,0	15,5	18,1
I alt	38,9	13,9	31,3	34,3
Netto Energiproduktion (E):				
	14,2	0,0	0,0	0,0
Energibalance (A+H-E)	62,6	32,2	49,6	52,6

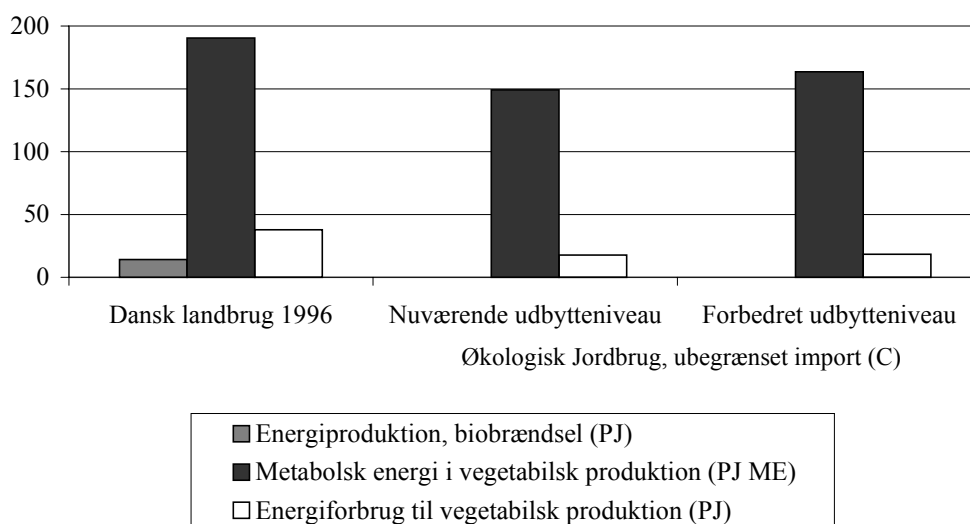
^{a)} inkl. energiomkostning til distribution, raffinering etc.

Ovenstående energibalancer viser det totale netto energiforbrug til den angivne produktion i det aktuelle scenario. Det er imidlertid vigtigt at sammenligne energibalancen med den samlede produktion i de tilhørende scenarier (tabel 3.5.3). For den vegetabiliske produktion sammenlignes det simulerede energiforbrug endvidere med den metaboliserbare energi (ME) i de producerede afgrøder, idet 1 fe = 12,5 MJ ME (Figur 3.9). Som det ses, produceres der netto mere energi i den konventionelle planteavl, hvor der desuden er et betydeligt potentiale for yderligere udnyttelse af biobrændsel til erstatning af forbrugt fossil energi.

Tabel 3.5.3 Simuleret forbrug af fossil energi sammenholdt med den vegetabiliske og animalske produktion

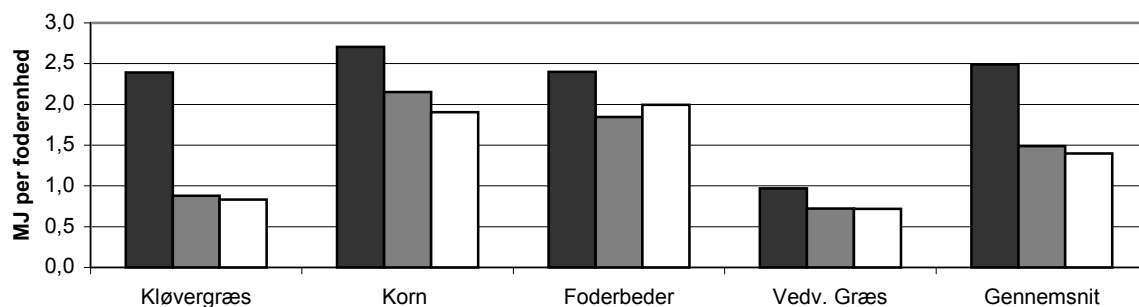
		Dansk landbrug 1996	Økologiske scenarier					
			Nuværende udbyttensniveau			Forbedret udbyttensniveau		
			A	B	C	A	B	C
Afgrødeproduktion	10 ⁹ fe	15	12	12	12	13	13	13
Husdyrproduktion	10 ⁶ de	2,3	1,7	2,1	2,4	1,7	2,3	2,4
Energiforbrug:								
Afgrødeproduktion	PJ	38	18	18	18	18	18	18
Husdyrproduktion	PJ	39	13	28	40	14	31	34
I alt	PJ	77	31	45	57	32	50	53
Energiproduktion	PJ	14	0	0	0	0	0	0
Netto energiforbrug	PJ	63	31	45	57	32	50	53

^aDer er et potentiale for yderligere energiproduktion i det nuværende landbrug svarende til afbrænding af det korn, der i 1996 blev eksporteret (2 mia. kg * 15 MJ/kg = 30 PJ).



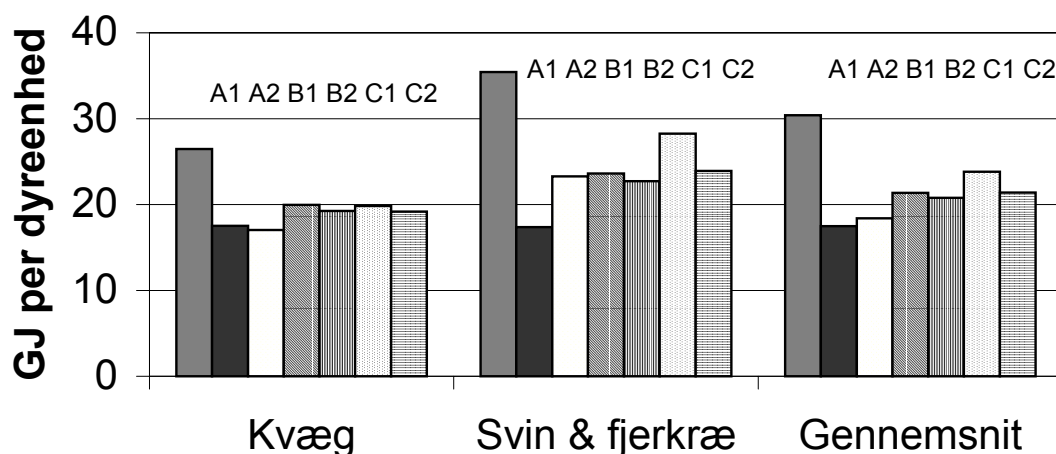
Figur 3.9 Sammenligning af energiproduktionen (PJ biobrændsel og PJ metabolisk energi) og fossil energiforbrug (PJ) i den vegetabiliske produktion i 1996 og i de to økologiske scenarier med samme animalske produktion (Scenario C: Ubegrænset import). (1 fe = 12,5 MJ ME).

Tilsvarende er energiomkostningen til afgrødeproduktion per foderenhed angivet (Figur 3.10) tillige med energiomkostningen til husdyrproduktion per dyreenhed (Figur 3.11).



■ 1996-situationen ■ Nuværende økologisk praksis □ Forbedret økologisk praksis

Figur 3.10 Gennemsnitlig energiomkostning til afgrødeproduktion i 1996-situationen og ved økologisk dyrkning ved hhv. nuværende og forbedret økologisk dyrkningspraksis (korrigeret).



■ 1996-situationen ■ A1 (nuværende økologisk praksis)
 □ A2 (forbedret økologisk praksis) ■ B1 (nuværende økologisk praksis)
 ■ B2 (forbedret økologisk praksis) □ C1 (nuværende økologisk praksis)
 ■ C2 (forbedret økologisk praksis)

Figur 3.11 Gennemsnitlig energiomkostning til husdyrproduktion i 1996-situationen og i de tre økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret økologisk praksis for dyrkning af afgrøder som anvendes i fodringen.

Med henblik på sammenligning af de forskellige økologiscenarier med 1996-situationen kan tallene bag ovenstående figurer sammenstilles (tabel 3.5.4).

Tabel 3.5.4 Energiproduktion per produceret foderenhed i afgrødeproduktionen og det totale energiforbrug (inkl. eget foder) per dyreenhed i husdyrproduktionen

		Dansk landbrug 1996	Økologiske scenarier					
			Nuværende udbytniveau			Forbedret udbytniveau		
		A	B	C	A	B	C	
Afgrødeproduktion	MJ/fe	2,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
Husdyrproduktion	GJ/de	30	18	21	24	18	21	21

Fordelingen på indenlandsk og udenlandsk energiforbrug foretages ud fra en antagelse om, at 75% af energien til hjælpestoffer og maskiner er forbrugt i udlandet. Dette er realistisk, idet meget handelsgødning fremstilles i Norge eller Østeuropa, og idet den største del af energiomkostningen til maskinfremstilling kan tilskrives udenlandsk stålproduktion. Endvidere antages det, at 100% af energien i importeret foder er forbrugt i udlandet. Energiforbruget til produktion af eksporteret korn i 1996-scenariet skal i henhold til Koyoto-aftalerne tilregnes indenlandsk energiforbrug, men der kan imidlertid også argumenteres for, at hele dette energiforbrug af hensyn til sammenligning mellem 1996-scenariet og de økologiske scenarier, hvor der ikke er nogen korneksport, skulle tilregnes udenlandsk energiforbrug (se fodnote i Tabel 3.5.5). I nærværende rapport fordeles energiforbruget til det eksporterede korn ligesom for de indenlandske forbrugte fodermidler - dvs. at 75% af energien til hjælpestoffer og maskiner tilregnes udenlandsk forbrug. De resterende poster i Tabel 3.5.1 og Tabel 3.5.2 antages alle forbrugt indenlands. Netto energiproduktionen fratrækkes det indenlandske energiforbrug, idet 1 GJ energi fra halm eller biogas antages at erstatte 1 GJ energi i form af olie.

Tabel 3.5.5 Indenlandsk og udenlandsk energiomkostning til landbrugsproduktion simuleret for situationen (år 1996) og for de tre økologiske scenarier A, B og C ved hhv. nuværende og forbedret dyrkningspraksis. Bemærk at netto energiproduktionen fra landbruget i Danmark er fratrukket den indenlandske energiomkostning.

Nudrift	1996	A: 100% foder- selvforsyning		B: Maks. tilladt foderimport		C: Fastholdt husdyr- produktion	
		nuværende	forbedret	nuværende	forbedret	nuværende	forbedret
		PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Indenlandsk	28,7 ^a	28,1	29,6	29,7	31,5	31,0	31,9
Udenlandsk	33,9	2,5	2,6	15,6	18,1	26,2	20,7
I alt	62,6	30,6	32,2	45,4	49,6	57,2	52,6

^a Energiomkostningen til produktion af de ca. 2 mia kg korn, der blev eksporteret i 1996, svarer til 5,4 PJ. Dette energiforbrug findes ikke i de økologiske scenarier, hvor der ikke er nogen korneksport.

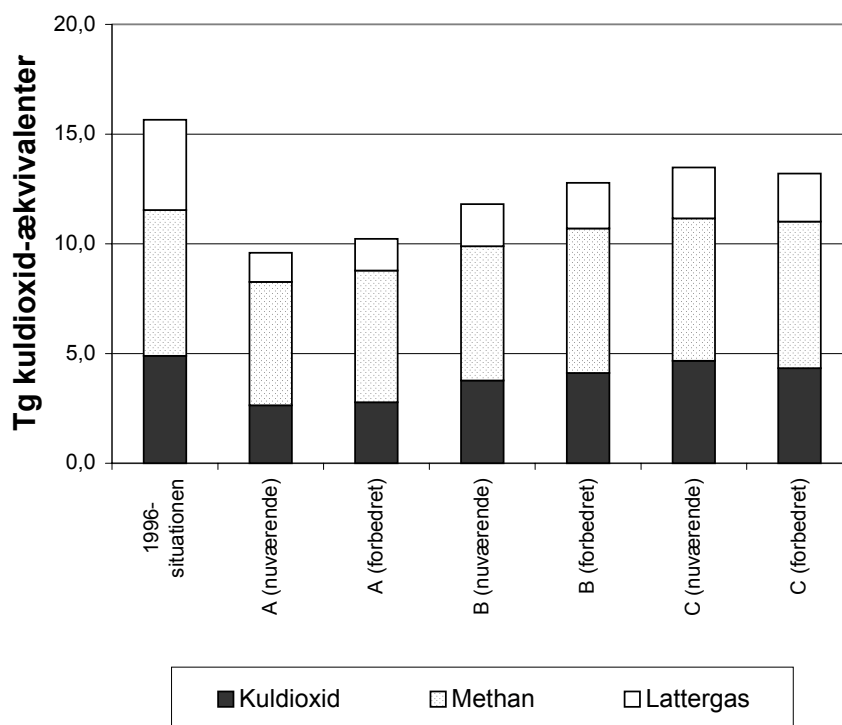
Det opgjorte energiforbrug kan endelig omregnes til CO₂-emission, idet der skelnes mellem national og udenlandsk emission; og den beregnede emission kan sammenlignes med emissionen af de øvrige drivhusgasser målt i CO₂-ækvivalenter (tabel 3.5.6).

Tabel 3.5.6 Landbrugets samlede indenlandske og udenlandske emission af drivhusgasser for nu-situationen (år 1996) og simuleret emission for de tre økologiske scenarier A, B og C ved hhv. standard og forbedret økologisk dyrkningspraksis. 1 Tg CO₂-ækv. svarer til hhv. 1 Tg CO₂, 21 Tg CH₄ eller 310 Tg N₂O (jf. tabel 1.2.1).

		Dansk landbrug 1996	Økologiske scenarier					
			Nuværende udbyttensniveau			Forbedret udbyttensniveau		
			A	B	C	A	B	C
Indenlandsk CO ₂	Tg CO ₂	2,5 ^a	2,4	2,6	2,7	2,5	2,7	2,8
CH ₄	Tg CO ₂	6,7	5,6	6,1	6,5	6,0	6,6	6,7
N ₂ O	Tg CO ₂	4,1	1,3	1,9	2,3	1,4	2,1	2,2
Indenlandsk i alt	Tg CO ₂	13,2	9,3	10,6	11,5	10,0	11,4	11,6
Gødning mv.	Tg CO ₂	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Import af foder	Tg CO ₂	1,5 ^b	0,0	1,0	1,8	0,0	1,1	1,3
Udenlandsk CO ₂	Tg CO ₂	2,4	0,2	1,2	2,0	0,2	1,4	1,6
Emission i alt	Tg CO ₂	15,6	9,6	11,8	13,5	10,2	12,8	13,2

^a Energiomkostningen til produktion af de ca. 2 mia kg korn, der blev eksporteret i 1996, svarer til 0,4 Tg CO₂. Denne emission findes ikke i de økologiske scenarier, hvor der ikke er nogen korneksport.

^b Hvis korneksporten i stedet modregnes foderimporten, ud fra en antagelse om at det eksporterede korn kan substituere importeret foder, svarer nedgangen i foderimporten og dermed den udenlandske CO₂-emission på 0,9 Tg CO₂ i 1996-situationen



Figur 3.12 Samlet emission af drivhusgasser fra dansk landbrugsproduktion i de opstillede scenarier.

4 Diskussion

4.1 Ændringer i landbrugets energiforbrug

Nærværende beregninger viser, at landbrugets totale energiforbrug falder ved omlægning til 100% økologisk jordbrug. Samtidig falder den vegetabiliske og animalske produktion, hvorfor energiforbruget per produceret enhed ikke falder så kraftigt som det totale energiforbrug. Således falder det totale energiforbrug til afgrødeproduktion i alle scenarier med 53% ved omlægning til økologisk drift ved den nuværende dyrkningspraksis, mens energiforbruget per foderenhed kun falder med 40%.

I denne rapport er energiforbruget ved 100% økologisk drift sammenlignet med energiforbruget i 1996-situationen, hvor den totale landbrugsproduktion som sagt var større end i de økologiske scenarier, der sammenlignes med. Måske ville det være mere reelt at sammenligne med en ekstensiv, konventionel produktion. Desuden er det vigtigt at notere, at den totale energiproduktion i form af biobrændsel og metabolisk energi i afgrødeproduktionen er større i 1996-situationen end i de økologiske scenarier. Der kan således argumenteres for, at der takket være forbruget af indsatsfaktorer såsom handelsgødning og pesticider netto produceres mere energi i den konventionelle planteavl (Figur 3.9).

I Dalgaard (1998) er energiforbruget ved pesticidfri drift sammenlignet med 1996-situationen. Det samlede afgrødeudbytte falder her med ca. 20%, hvilket rundt regnet svarer til udbyttefaldet i afgrødeenheder ved omlægning til økologisk landbrug. Det samlede energiforbrug falder imidlertid kun med 4-5%, hvilket skyldes, at der fortsat anvendes energiomkostningstungt handelsgødnings-N. En omlægning til pesticidfri drift vil altså ikke kunne reducere energiforbruget så meget som en omlægning til økologisk drift.

I 1996-situationen er der et uudnyttet potentiale for øget energiproduktion fra overskudshalm i størrelsesordenen en fordobling af landbrugets netto energiproduktion. I de økologiske scenarier er der ikke en tilsvarende uudnyttet halmreserve. Udnyttedes der i 1996 dobbelt så meget halm til energi, ville energibalancen i 1996-situationen svare til energibalancen i det økologiske scenario for en fastholdt husdyrproduktion, og der ville ikke være sparet energi ved omlægning til økologisk produktion. Tilsvarende kunne man forestille sig, at korneksporten på ca. 2000 mio. kg i 1996 i stedet blev anvendt til biobrændsel, hvilket ville resultere i en brutto energiproduktion i størrelsesordenen $15 \text{ MJ/kg} * 2000 \text{ mio. kg} = 30 \text{ PJ}$, som ikke ville kunne produceres i de økologiske scenarier, hvor der ikke er nogen korneksport. Der er således en række uafklarede spørgsmål omkring muligheder for energiproduktion i landbruget, som vil kunne ændre landbrugets energibalance så meget, at netto energiforbruget ved konventionel drift kunne blive mindre end netto energiforbruget i de gennemregnede økologiske scenarier.

En anden problematik omkring udnyttelsen af halm og gylle til energiformål er, at man herved afbrænder kulstof (C), som ellers ville være bundet i jordbunden, og derfor ikke ville være blevet frigjort som CO₂, sådan som det sker ved en forbrænding. Denne problematik er diskuteret nærmere i kapitel 4.3 og er et interessant aspekt at få belyst, hvis der skal regnes på scenarier med egentlig produktion af biomasse til energiforbrug eller omlægning af omdriftsjord til græs, græsbrak eller skov.

Det totale energiforbrug til husdyrproduktion er ifølge tabel 3.5.1 og tabel 3.5.2 tilsyneladende nogenlunde uændret ved omlægning til 100% økologisk produktion, hvor mængden af husdyr er fastholdt. Energiforbruget til egenproduktion af foder er imidlertid ikke medregnet under husdyrproduktionen (H), men under afgrødeproduktionen (A). Da økologisk dyrkede foderenheder er energimæssigt billige-

re end konventionelt dyrkede foderenheder, er energiforbruget per dyreenhed i Figur 3.11 derfor lavere i de økologiske scenarier end i 1996-situationen. Forskellen kan yderligere forklares med, at importerede foderenheder er energimæssigt dyrere end egenproducerede foderenheder, og at der i 1996-scenariet eksporteres billige egenproducerede foderenheder samtidig med, at der importeres en lige så stor mængde dyre foderenheder. I de økologiske scenarier eksporteres der ikke korn, og disse scenarier belastes derfor ikke med det ulige bytteforhold mellem eksporteret og importeret foder.

Den anvendte energiomkostningen til importeret foder på 5,7 MJ/fe (tabel 2.3.4) stammer fra Refsgaard et al (1998). Ifølge Cederberg (1998, pers. komm.) kan energiomkostningen til importeret foder variere fra ca. 1,4 MJ/kg for majs-glutenmel til omkring 5 MJ/kg for kraftfoderblandinger. Der er behov for yderligere forskning på området, idet energiomkostningen til importeret foder udgør en betragtelig del af det samlede energiforbrug i landbruget. Indtil videre anvendes dog energiomkostningen fra Refsgaard et al. (1998).

Den skitserede metode til simulering af direkte energiforbrug i landbruget vurderes at være velegnet til at estimere energiforbruget i de opstillede økologiske scenarier. Således er de i tabel 3.1.5 beregnede korrektionsfaktorer mellem ØKOBÆRS estimater for energiforbruget og det beregnede energiforbrug ifølge Energistyrelsens (1998) statistik alle tæt på 1, hvilket indikerer at ØKOBÆRS fordeling af det direkte energiforbrug er et godt estimat for virkeligheden.

Svagheden i nærværende beregninger af fossilt energiforbrug ligger i simuleringen af det indirekte energiforbrug. For det første er der anvendt en meget grov faktor for energiforbrug til etablering af stalde og andre landbrugsbygninger, og for det andet er der anvendt én fælles energiomkostning per foderenhed importeret gødning. Således kunne der argumenteres for, at energiomkostningen til etablering af stalde ved økologisk drift er lavere end ved konventionel drift, ligesom importeret økologisk foder måske i lighed med det egenproducerede foder er energimæssigt billigere per foderenhed end konventionelt foder. En nærmere undersøgelse af disse forhold vil kræve yderligere beregninger og ligger uden for rækkevidden af nærværende projekt.

En anden interessant, fremtidig arbejdsopgave kunne være at regne på fx delvis omlægning til økologi i specielt egnede geografiske områder eller uddybende beregninger af energimæssige konsekvenser af en ændret nu-drift, fx indførelse af pesticidfri dyrkning, dyrkning af energiafgrøder eller forskellige andre former for ekstensivering eller diversificering.

4.2 Ændringer i landbrugets emission af drivhusgasser

IPCC's metodologier til opgørelse af drivhusgasemission i form af metan (CH_4) og lattergas (N_2O) er grovere end den i nærværende rapport opstillede metode til estimering af landbrugets CO_2 -emission. Derfor er de estimerede ændringer af CH_4 - og N_2O -emissionen også mere usikre end de estimerede ændringer i CO_2 -emissionen. Et mere omfattende grundlag for estimering af metan og lattergasemissionen kan findes hos Andersen (1999, in prep.), hvis metoder og resultater er mere detaljerede end nærværende simple beregninger.

Ifølge tabel 3.5.6 bidrager CO_2 , CH_4 og N_2O med henholdsvis 31%, 43% og 26% af landbrugets samlede emission af CO_2 -ækvivalenter drivhusgas i 1996. Ved omlægning til de opstillede scenarier for økologisk jordbrug mindskes bidraget fra CO_2 relativt meget. Dette skyldes et relativt stort fald i det fossile energiforbrug. Dyreholdet falder derimod ikke så meget i de økologiske scenarier, og da antal dyr for en stor del er bestemmende for emissionen af CH_4 - og N_2O falder emissionen heraf heller ikke så meget.

Emissionen af N_2O falder også betragteligt ved omlægning til økologisk drift. Dette fald skyldes primært, at der ikke anvendes handelsgødning i de økologiske scenarier, og at N_2O -emissionen udtrykt ved bl.a. F_{SN} i ligning (4), og udvaskningen udtrykt ved N_{LEACH} i ligning (5) derfor også falder. Som sagt er parameteriseringen af IPCC's ligninger imidlertid ret usikker, specielt når det drejer sig om estimering af CH_4 - og N_2O -emissionen ved ændret driftsform såsom økologisk jordbrug. Således er det fx antaget, at emissionen af N_2O (EF_1 i ligning 4) er ens per kg N i såvel handelsgødning som husdyrgødning, hvilket sammenholdt med resultaterne i Granli og Bockman (1994), Lind et al. (1995) eller Meilby et al. (1994) må siges at være en grov antagelse. Det kan derfor være vanskeligt at konkludere, om der er en signifikant mindskelse af CH_4 - og N_2O -emissionen ved overgang til økologisk jordbrug, men tendensen peger entydigt i denne retning.

I en tidligere, mere summarisk opgørelse af Fenger et al. (1990) vurderedes landbrugets emission at svare til 11 Tg CO_2 -ækvivalenter mod nærværende opgørelses 1996-estimat på 16 Tg CO_2 -ækvivalenter. Den største del af forskellen skyldes, at nærværende opgørelse medtager såvel direkte og indirekte som indenlandsk og udenlandsk energiforbrug til landbrugsproduktion i opgørelsen af landbrugets CO_2 -emission. Denne opgørelse var ikke så detaljeret i Fenger et al. (1998), der anvendte de daværende standarder for landbrugets CO_2 -emission ifølge IPCC.

Landbrugets energiforbrug og drivhusgasemission bør sammenlignes med samfundets samlede forbrug og emission. En sådan sammenligning er ikke mulig i nærværende rapport, men i stedet henvises til Fenger et al. (1990), hvor det er beregnet, at landbrugets emission af drivhusgasser udgør ca. 12% af Danmarks samlede drivhusgasemission målt i CO_2 -ækvivalenter.

4.3 Konsekvenser af ændringer i arealanvendelsen

De viste beregninger af landbrugets CO_2 emission ved de forskellige scenarier indeholder kun poster, som skyldes forbrug af fossil energi. Imidlertid udveksler jordbruget også CO_2 med atmosfæren som følge af dyrkningen af jorden. Planterne fikserer CO_2 via fotosyntesen, og jordens pulje af organisk stof udveksler CO_2 med luften via tilførsel og nedbrydning af kulstof. Det er ikke muligt på baggrund af den eksisterende viden at kvantificere disse effekter så præcist, at de kan indgå i scenariernes CO_2 balancer. I det følgende gives derfor et overslag, som antyder størrelsen af en evt. effekt, og det diskuteres, hvorvidt en sådan forøgelse af jordenes C-indhold vil være permanent.

4.3.1 Planteproduktion

Mængden af CO_2 , som bindes i en afgrøde, er afhængig af afgrødens udbytte. Da der samlet høstes færre foderenheder i de økologiske scenarier end i det konventionelle, vil der derfor alt andet lige bindes mere i de konventionelle afgrøder end i de økologiske. Men da afgrøderne sjældent bliver lagret i flere år vil en tilsvarende mængde CO_2 inden for en kort periode blive frigivet igen fra de organismer, som omsætter afgrøden (mikroorganismer, skadedyr, husdyr eller mennesker). Omsætningen af CO_2 via indenlandsk afgrødeproduktion og opfodring vil derfor være større under det konventionelle scenario end under de økologiske scenarier A og B. Men der vil formentlig ikke netto være en større forskel i CO_2 emission mellem de to systemer alene af denne grund.

En eventuel afgrødebetinget forskel i CO_2 emission vil skyldes forskelle i mængden af producerede vegetabiliske og animalske fødevarer samt til en vis grad formentlig forskelle i foderforbruget per produceret enhed under konventionel og økologisk produktion. Foderforbruget per kg mælk er ikke væsentligt forskelligt mellem de to produktionsformer, hvorimod foderforbruget per kg svinekød er højere i

de økologiske scenarier end under konventionel produktion. Til gengæld er svineproduktionen, svineeksporten og den deraf afledte import af foder lavere i scenario A og B. En CO₂ balance for afgrødeproduktion og -forbrug i de forskellige scenarier må altså inkludere import-eksport balancer og vil være vanskelig af fortolke. Det har ikke hidtil været muligt at gennemføre en sådan beregning.

Det forhold, at de forskellige dyrkningsformer giver anledning til forskellige udbytter og dermed forskellig binding af CO₂, vil derfor indtil videre blive anset for dækket af beregningerne af CO₂ emission per kg produceret enhed. Dog kan der som nævnt i afsnit 4.1 være tale om, at den i gennemsnit større planteproduktion per ha i konventionel produktion kunne udnyttes til produktion af energiafgrøder/energikorn. Derved fortrænges fossil energi, og netto CO₂-emissionen i det konventionelle scenario ville kunne reduceres. Dette kan igen have afledte effekter på jordens kulstoflager, hvilket behandles i det følgende.

4.3.2 CO₂ omsætning i jorden

Jorden's indhold af kulstof undergår en konstant nedbrydning, hvorved der frigives CO₂. Samtidigt tilføres jordene CO₂ via efterladte rødder og afgrøderester samt organiske gødninger. Denne CO₂ omsætning via jorden udgør en meget stor del af den samlede CO₂ udveksling globalt set. Størsteparten af denne omsætning er dog neutral set i forhold til forøgelse af drivhuseffekten, da nettofrigivelsen af CO₂ er lille i forhold til den samlede omsætning. På intensivt dyrkede jorde vil der dog ofte være en netto frigivelse af CO₂, fordi indholdet af organisk stof langsomt reduceres (Christensen og Johnston, 1997). Olesen (1991) anslår, at danske landbrugsjorde via denne netto CO₂-emission årligt bidrager med op til ca. 2,5 mio. t C. Tallet er dog meget usikkert og bygger på antagelser, som ikke er verificeret i forsøg. Forholdet i skovene berøres ikke i denne rapport, da det antages, at deres dyrkning og udbredelse ikke påvirkes af scenarierne for økologisk jordbrug.

Der mangler viden om den præcise effekt af forskellige dyrkningsformer på de forskellige danske jordes C-indhold. Christensen et al (1996) konkluderer ud fra danske forsøg med halmnedmuldning, sædskifte og langvarige gødningsforsøg, at

- halmnedmuldning kan forøge jordens indhold af C, så den ved ligevægt er 3-16% højere i forhold til ingen nedmuldning.
- en tilsvarende effekt kan opnås ved brug af mellemafgrøder i kornrige sædskifter og på jorde med lavt indhold af organisk stof.
- kløvergræs i sædskiftet alt andet lige vil øge indholdet af organisk stof af to årsager: Dels opbygges en stor pulje af organisk stof under græstæppet, og dels er nedbrydningen af organisk stof reduceret som følge af den reducerede jordbehandling, mens der ligger græs.
- tilførsel af husdyrgødning har øget jordens indhold af organisk stof sammenlignet med tilførsel af handelsgødning.

Virningen af disse forhold er afhængig af jordens indhold af organisk stof i udgangssituationen. På jorde med højt C-indhold (dvs. over ca. 1,5 %) er der f. eks. i forsøg registreret et fortsat fald trods 1-3 års kløvergræs i 4-årige sædskifter. I samme forsøg blev der registreret en stigning på jorde med lavt C-indhold under 1%. Tilsvarende faldt C-indholdet i lerjorden ved Askov fra 2,7% til under 2,5% trods tilførsel af 25 t husdyrgødning årligt over 12 år. Det vides imidlertid ikke, hvor ligevægtsniveauet vil være på forskellige danske jorde.

Der er altså visse - omend få - resultater, som tyder på, at C-indholdet kan forøges ved udbredelse af økologiske sædskifter, som bygger på kløvergræs, grøngødning og efterafgrøder på jorde, der i dag udelukkende dyrkes med handelsgødning og meget kornrige sædskifter. Samlet set vil der dog ikke ske en forøgelse af mængden af husdyrgødning ved overgang til økologisk drift. Derfor må en evt. øget gennemsnitlig C binding som konsekvens af den bedre fordeling af husdyrene, der er forudsat i økoscenarierne, antages at blive beskedet.

Olesen og Holm-Nielsen (1995) anslår, at nettoemissionen fra danske landbrugsarealer kan nedbringes til 0,12 mio. t C ved høj tilførsel af C med planterester til jordene. Hvis sædskifterne generelt ændres, så der på de fleste jorde indgår 1-3-årige græs eller grønafrøder, vil dette formentlig kunne reducere netto CO₂-frigivelsen yderligere. Det er ikke p.t. muligt at kvantificere disse effekter, og det er meget usikkert, om der i givet fald vil være tale om en vedvarende effekt eller en overgangseffekt. Det er mest sandsynligt, at en øget tilførsel af organisk stof til dyrkede jorde med tiden vil medføre en øget nedbrydning, hvorfor der vil indstille sig en ny ligevægt; dog med et højere C-indhold. Det vides imidlertid ikke, på hvilket niveau ligevægten vil forekomme på forskellige danske jorde, eller hvor hurtigt dette kan ske. Dertil kommer, at det er usikkert, om den generelle nettonedbrydning af C-indholdet, som er observeret på dyrkede danske jorde, vil fortsætte efter en omlægning til økologiske sædskifter (efter nogle årtier med opbygning af C-puljen). Hvis den øgede nedbrydning af organisk stof med tiden bliver så stor, at den opvejer den ekstra tilførsel under økologisk dyrkning, vil den langsigtede effekt på CO₂ balancen blive meget lille. I så fald vil der være en større årlig udveksling af C mellem jord og atmosfære, men nettoemissionen af CO₂ vil kun være reduceret lidt. Der kan dog være tale om en reduktion på 1-2,5 mio. t C årligt i den periode, hvor indholdet af organisk stof øges. Selvom denne periode strækker sig over årtier, er dette imidlertid lidt i forhold til landbrugets samlede bidrag af CO₂ ækvivalenter til atmosfæren.

5 Konklusion

Ifølge de opstillede scenarier vil en omlægning til økologisk jordbrug betyde, at energiforbruget mindskes med mellem 9% og 51%. En omlægning til økologisk produktion med 100% selvforsyning vil mindske energiforbruget mest (49-51%), mens en omlægning til økologisk landbrug, hvor den nuværende husdyrproduktion fastholdes ved hjælp af en udstrakt foderimport, vil mindske energiforbruget mindst (9-16%).

Faldet i landbrugets energiforbrug vil betyde et tilsvarende fald i den på baggrund af forenklede forudsætninger beregnede CO₂-emission på mellem 4 og 47%. Også emissionen af de to andre væsentlige drivhusgasser CH₄ og N₂O vil falde med henholdsvis 0-16% og 44-68%. Totalt set vil emissionen af drivhusgasser målt i CO₂-ækvivalenter falde med 13-38% ved de beregnede omlægninger til 100% økologisk jordbrug.

CH₄ bidrager med den største del af landbrugets drivhusgasbelastning (ca. 43% i 1996-situationen og 48-59% ved 100% økologisk drift). Dernæst bidrager CO₂ mest (ca. 31% i 1996-situationen og 27-35% ved 100% økologisk drift). Endelig bidrager N₂O med ca. 26% af drivhusgasbelastningen fra landbruget i 1996-situationen og 14-17% ved 100% økologisk drift.

Totalt set produceres der ved den konventionelle planteavl i 1996-situationen mere energi i form af bio-brændsel og metaboliserbar energi i afgrøderne end i de økologiske scenarier. Der kan således ved øget brug af halm og korn til energiformål ved konventionelt landbrug opnås den samme eller en større netobesparelse i energiforbrug og emission af CO₂-ækvivalente drivhusgasser som ved 100% omlægning til økologisk landbrug.

6 Referencer

- Alrøe, H.F., Kristensen, E.S. og Hansen, B. 1998. *Danmarks samlede produktion og indsats af hjælpestoffer*. Delrapport A.1.1. Delrapport til den tværfaglige økologigruppe under Bichel-udvalget. Miljøstyrelsen, København. 12 s.
- Andersen, F.M., Kilde, N.A., Nielsen, L.H., Præstegaard, S. 1991. *En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO₂ SO₂ og NO_x-emissioner*. Risø-M-2929. 158 s.
- Andersen, J.M. 1999 (in prep.) *Notat om estimeringen af emissionen af metan og lattergas fra landbruget*. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 44 s.
- Bichel-udvalget 1999. *Rapport fra den tværfaglige økologigruppe. Økologiske Scenarier for Danmark*. Miljøstyrelsen, København. ISSN 87-7909-292-6.
- Bygnings- og Maskinkontoret 1999 *Landbrugets Elforbrug. Resultater for energitjek hos 50 landmænd i Tjele og Møldrup Kommune*. In: *Energi. Tilskud - rådgivning*, kapitel 1. Landboorganisationerne i Gl. Viborg og Aarhus Amter. 7 s.
- Børgensen, C.D., Kyllingsbæk, A. & Djurhuus, J. 1997 *Modelberegnet kvælstofudvaskning fra landbruget*. SP rapport 19. 66 s. ISSN 0908-2581. 66 s.
- Cederberg, C. 1998 *Life Cycle Assessment of Milk Production*. SIK rapport nr. 643. Institut for Livsmedel og bioteknik, Göteborg Universitet. 86 s.
- Cederberg, C. 1998 *Personlig kommunikation*. Institut for Livsmedel og bioteknik, Göteborg Universitet.
- Christensen, B.T.; Meyer, N.I., Nielsen, V. og Søgaard, C. 1996: *Biomasse til energi og økologisk jordbrug*. Kap 4. Dyrkningens virkning på kulstofpuljen. Rapport 002, inst. F. Bygn. Og energi, DTI.
- Christensen, B.T. og Johnston, A.E. 1997. *Soil Organic Matter and Soil Quality: Lessons Learned From Long-Term Field Experiments at Askov and Rothamsted*. In: Gregorich, E.G. og Carter, M.R. (eds.). *Soil Quality for Crop Production*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam (399-430) De Danske Landboforeninger (1997) *Landøkonomisk Oversigt*. De Danske Landboforeninger, København. ISSN 0101-7163. 119 s.
- Dalgaard, T. 1994. *Landbruget som fremtidens leverandør af non-food produkter til energi*. KVL-bachelorprojekt, Institut for Økonomi, Skov og Landskab, Frederiksberg. 72 s.
- Dalgaard, T. 1996. *Ressourcestyring af fossil energi i afgrødeproduktionen*. KVL-speciale, Landbohøjskolen, Institut for Jordbrugsvidenskab, Frederiksberg. 116 s.
- Dalgaard, T. 1998. *Ændring i forbrug af fossil energi ved omlægning til pesticidfrit landbrug*. Delrapport til miljø og sundhedsudvalget under Bichel-udvalget. Miljøstyrelsen, København. 16 s.
- Dalgaard, T., Halberg, N. & Fenger, J. 1998 *Forbrug af fossil energi og emission af drivhusgasser*. (Tidligere version af nærværende rapport). Delrapport A.3.2 om Miljø og Sundhedsmæssige konsekvenser i scenario med 100% økologisk jordbrug i Danmark. Delrapport til den tværfaglige økologigruppe under Bichel-udvalget. Miljøstyrelsen, København. 57 s.
- Dalgaard, T., Halberg, N. og Porter, J. 1999. *Fossil based energy use in organic and conventional farming*. (Submitted). Danmarks Jordbrugsforskning, Foulum.
- Dalsgaard, S.K. 1993. *Jordbrugssektorens Energiforbrug*. Statistik Nyt nr. 8 144-146. De Danske Landboforeninger, København.

- Danmarks Statistik 1993, 1997. *Landbrugsstatistik*
- Danske Elværkers Forening 1994. *Energirådgivning, Landbrug*. De Danske Elværkers Forening, Frederikserg. 225 s.
- De Danske Landboforeninger 1997, 1998. *Landøkonomisk Oversigt*. De Danske Landboforeninger, Axelborg, København.
- ELSAM 1995. Miljøberetning. ELSAM Fredericia. 23 s. ISSN 1395-427X
- Energistyrelsen 1998 og flere årgange. *Energistatistik*. Internet: www.ens.dk
- Energiministeriet 1993: *Energi 2000 -opfølgningen -en ansvarlig og fremsynet energipolitik*. Energiministeriet. København. s.1-41.
- European Commission DG VI Agriculture 1997. *Harmonisation of environmental life cycle assesment for agriculture*. Audsley E (eds.) Final Report Conserted Action AIR3-CT94-2028.
- Fenger, J., Fenhann, J. og Kilde, N. 1990. *Danish Budget for Greenhouse Gases*. Nord 1990:97. Nordisk Ministerråd, København. 116 s.
- Fenger, J. og Kilde, N. A. 1994. *Landbrugets bidrag til drivhuseffekten*. Jord og Viden 17:6-7.
- FN-forbundet, Mellemfolkeligt Samvirke 1987. *Vor fælles fremtid - Brundtland-kommisionens rapport om miljø og udvikling*. FN-forbundet og Mellemfolkeligt Samvirke. København: ISBN:87-7028-515-2.
- Granli, T. og Bøckman, O.C. 1994. *Nitrious oxide from agriculture*. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 12.
- Grant, R. 1998. *Kvalstof og phosphor - balancer og miljømæssige konsekvenser*. Delrapport A.3.1 til Bicheludvalget. Miljøstyrelsen, København.
- Green, M. 1978. *Eating Oil: Energy use in Food Production*. Westview Press. Boulder, Colorado: ISBN:0-89158-244-4.
- Hjortshøj, A. 1977. *Energiforbruget i landbruget*. Ugeskrift for agronomer, hortonomer, forstkandidater og licentiater. 7:123-126.
- Hjortshøj, A. og Rasmussen, S. 1977. *En kortlægning af den primære jordbrugssektors energiforbrug*. Økonomisk Institut, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole. København. rap.nr.7. s.1-119. Landbrugsøkonomiske studier.
- Hjortshøj, A. og Rasmussen S. 1978. *Energibudgetter for nogle vigtige danske landbrugsprodukter*. Tidsskrift for Landøkonomi. 1:91-113.
- Hulcher ,W.S. 1991. *Basic Energy Concepts*. In. Energy for sustainable rural development projects. FAO, Rom. 1: p. 5-26.
- Illerup, J.B., Winther, M., Lyck, E. og Fenger, J. 1999. *Hvor kommer luftforureningen fra? – fakta om kilder, stoffer og udvikling*. Temarapport fra Danmarks Miljøundersøgelser, 29. 32 s.
- IPCC. 1995. *IPCC second assesment synthesis of scientific-technical information relevant to interpreting article 2 of the UN framework convention on climate change 1995*. In: IPCC Synthesis report 1995. World Wide Web: <http://www.unep.ch/ipcc/ipcc/ipcc95.html>
- IPCC 1997. Houghton JT, Filho LGM, Lim B, Treanton K, Mamaty I, Bonduki Y, Griggs BJ og Callander BA (eds.). *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*. Vol. 3. Intergovernmental Panel on Climate Change, Bracknell, United Kingdom

- IFIAS 1974. *Energy analysis*. Slesser M (editor). International Federation of Advanced Study (IFIAS). Lidingö, Sverige. Report no.9. s.-1-103. Workshop report.
- Knudsen, M. 1995 (pers. komm.). *Tabeller over landbrugets energiforbrug*. Interne notater, De Danske Landbofoeninger, Axelborg, København.
- Knudsen, L. 1997. *Husdyrgødning på landsplan*. I: Poulsen og Kristensen *Normal for Husdyrgødning*. Beretning nr. 736, kap. 9. Danmarks JordbrugsForskning, Foulum.
- Kristensen, I.S. (pers. komm.). *Regneark med data, der ligger til grund for Mikkelsen et al. (1998) og personlige kommunikationer*. Danmarks JordbrugsForskning, Foulum.
- Landskontoret for Planteavl 1996. *Landsforsøgene*. Landbrugets Rådgivningscenter, Skejby
- Lind, A.M., Jørgensen, U. og Maag, U. 1995. *N₂O-emission ved dyrkning af energiafgrøder*. SP-rapport 21.
- Meilby, S., Hansen, B., Hoffmann, C.C. og Jacobsen, O.S. 1994. *Denitrifikation i ferske enge*. SP-rapport nr. 9.
- Mikkelsen, G., Kristensen, I.S., Holm, S., Jensen, P.K. og Jørgensen, L.N. 1998. *Sædskiftmodeller*. Miljøstyrelsen. 47 s.
- Miljø- og Energiministeriet 1995. *Danmarks Energifremtider*. Miljø- og Energiministeriet. Energistyrelsen. København. s.1-214.
- Olesen, J.E. 1991. *Foreløbige beregning af CO₂ emissionen fra dansk landbrugsjord*. Arbejdsnotat, nr. 24 AJ-MET, SP, Foulum.
- Olesen, J.E. og Holm-Nielsen, J.B. 1995. *Bioenergi uden at tære på kulstoflageret*. Vedvarende Energi og Miljø, nr. 5, 20-21.
- Parsby, M. og Fog, M.M. 1984. *Den primære jordbrugssektors energiforbrug 1982/83 -status og perspektiver*. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut, Landhusholdningsselskabets Forlag. København. rap.nr.18. s.1-91.
- Refsgaard, K., Halberg, N. og Kristensen, E.S. 1998. *Energy utilisation in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems*. *Agricultural Systems* 57, 599-630.
- Runge, E. 1998. *Summary report for National greenhouse gas inventories*. [www.dmu.dk/ AtmosphericEnvironment/CORINAIR/corinair.htm#updates](http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/CORINAIR/corinair.htm#updates)
- Schroll, H.. 1994. *Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture*. *Agriculture, Ecosystems og Environment* 51:301-10.
- Slesser, M.. 1984. *Energy Use in the Food-Producing Sector of the European Economic Community*. In: *Energy and Agriculture*. ; Stanhill G, editor. Springer-Verlag, Berlin. ISBN: 3-540-13476-x. 7: p.132-52.
- Stanhill, G. 1984. *Energy in Agriculture*. Springer Verlag, Berlin. ISBN 3-540-13476-X. 192 s.
- Stanhill, G. 1984b. *Agricultural Labour: From energy source to sink*. In: *Energy and Agriculture*. ; Stanhill G, editor. Springer-Verlag, Berlin. ISBN: 3-540-13476-x. 6: p.113-30.
- Tafdrup, S. 1998. *Bio-statistik*. Dansk Bioenergi nr. 37-40. Biopress, Risskov

7 Appendiks

7.1 Figurliste

Figur 1.1	Fossilt energiforbrug i dansk landbrug 1936-1995 (mod.e. Schroll 1994).....	10
Figur 3.1	Landbrugets direkte og indirekte energiforbrug i perioden 1980-1996.....	24
Figur 3.2	Landbrugets emission af CO ₂ fordelt på direkte og indirekte energikilder.	24
Figur 3.3	Udviklingen i landbrugets emission af CH ₄ fordelt på emission fra dyr og gødnings- håndtering 1975-1996 (efter Runge 1998).....	28
Figur 3.4	Landbrugets emission af NMVOC i forhold til Danmarks Samlede NMVOC- emission (Runge 1998).	30
Figur 3.5	Landbrugets emission af CO i forhold til Danmarks Samlede CO-emission (Runge 1998). CO-emissionen ophører med forbudet mod halmafbrænding i 1990.....	31
Figur 3.6	CH ₄ -emission fordelt på husdyrarter, estimeret for scenario A ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.	34
Figur 3.7	CH ₄ -emission fordelt på husdyrarter, estimeret for scenario B ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.	38
Figur 3.8	CH ₄ -emission fordelt på husdyrarter, estimeret for scenario C ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.	42
Figur 3.9	Sammenligning af energiproduktionen (PJ biobrændsel og PJ metabolisk energi) og fossil energiforbrug (PJ) i den vegetabiliske produktion i 1996 og i de to øko- logiske scenarier med samme animalske produktion (Scenario C: Ubegrænset import). (1 fe = 12,5 MJ ME).....	46
Figur 3.10	Gennemsnitlig energiomkostning til afgrødeproduktion i 1996-situationen og ved økologisk dyrkning ved hhv. nuværende og forbedret økologisk dyrkningspraksis (korrigeret).....	47
Figur 3.11	Gennemsnitlig energiomkostning til husdyrproduktion i 1996-situationen og i de tre økologiske scenarier A, B og C, ved henholdsvis nuværende og forbedret økologisk praksis for dyrkning af afgrøder som anvendes i fodringen.	47
Figur 3.12	Samlet emission af drivhusgasser fra dansk landbrugsproduktion i de opstillede scenarier.	49

7.2 Tabelliste

Tabel 1.2.1	De vigtigste drivhusgasser, deres globale opvarmnings potentiale (relativ effektivitet i forhold til CO ₂) for en 100-årig periode (IPCC 1996) og det primære jordbrugs relative mængdemæssige andel af de danske emissioner (Anslået på baggrund af Runge 1998). Bidragene fra NO _x , CO, og CFC er under 1% og derfor ikke angivet..	11
Tabel 2.1.1	Anvendte udbytter for den nuværende situation år 1996 (efter Mikkelsen et al. 1998 og Kristensen pers. komm.) og for 100% økologi-scenarierne (Alrøe et al. 1998).....	13
Tabel 2.1.2	Den vegetabiliske produktions omfang i 1996-situationen og i de 3 økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis. Rækkeafgrøder omfatter roer, kartofler, grøntsager, raps etc.	14
Tabel 2.1.3	Den animalske produktions omfang i 1996-situationen og i de 3 økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis. I de økologiske scenarier er der ingen ammekøer, hvorfor antal køer m. opdræt er lavere end i 1996-situationen.	14
Tabel 2.1.4	Foderimport tilsvarende til animalske og vegetabiliske produktion i 1996-situationen og i de tre økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis.	15
Tabel 2.1.5	Halmproduktion og -forbrug i 1996-situationen (Danmarks Statistik 1997) og i de tre økologiske scenarier A, B og C ved henholdsvis nuværende og forbedret dyrkningspraksis (Alrøe et al. 1998).....	15
Tabel 2.2.1	Anvendte CO ₂ -emissionsfaktorer for de almindeligste brændsler (efter Andersen et al. 1991) og for fremstilling af de almindeligste hjælpestoffer i landbruget.....	16
Tabel 2.2.2	Standard CH ₄ -emissionsfaktorer for de almindeligste husdyr i Danmark (efter IPCC 1997). EKM= kg energi-korrigeret mælk per ko per år. Manglende værdier er markeret med "-".....	17
Tabel 2.3.1	Gennemsnitlig energiomkostning ved dyrkning af konventionelle typeafgrøder (Modelleret med ØKOBÆR efter Dalgaard et al. 1999).....	18
Tabel 2.3.2	Gennemsnitlig energiomkostning ved dyrkning af økologiske typeafgrøder - standard praksis (Modelleret med ØKOBÆR efter Dalgaard et al. 1999).....	19
Tabel 2.3.3	Gennemsnitlig energiomkostning ved dyrkning af økologiske typeafgrøder - forbedret praksis (Modelleret med ØKOBÆR efter Dalgaard et al. in prep).	19
Tabel 2.3.4	Anvendte energiomkostninger for indsatsfaktorer i landbrugsproduktionen (efter Dalgaard et al. 1999).....	20
Tabel 2.3.5	Norm el-forbrug ved stalldrifft ved Ø=økologisk drift og K= konventionel drift (efter De Danske Elværkers Forening 1994).....	21
Tabel 2.3.6	Landbrugets netto energiproduktion. Landbrugets netto energiproduktion i form af halm (beregnet på baggrund af Energistyrelsen 1998, gyllemængder ifølge Knudsen 1997 og biogasproduktion fra gylle ifølge Tafdrup 1998).....	21
Tabel 3.1.1	Landbrugets direkte energiforbrug og fordelingen heraf i fysiske mængder. Energistyrelsen 1998 og De Danske Landboforeninger 1998. Omregning til PJ ifølge Tabel 2.3.4.....	23

Tabel 3.1.2	Landbrugets indirekte energiforbrug og fordelingen heraf i fysiske mængder (Energistyrelsen 1998, Danmarks Statistik 1997 og De Danske Landboforeninger 1998. Omregning til PJ ifølge Tabel 2.3.4). *) Beregnes ud fra L olie og benzin forbrugt.....	23
Tabel 3.1.3	Simuleret totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis.....	25
Tabel 3.1.4	Simuleret totalt energiforbrug ved husdyrproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis.....	25
Tabel 3.1.5	Sammenligning af simuleret energiforbrug med ØKOBÆR og opgørelser ifølge energistatistikken (Tabel 3.1.1 og Tabel 3.1.2). Korrektionsfaktoren viser forholdet mellem simuleret energiforbrug og energiforbruget opgjort ifølge statistikken.....	26
Tabel 3.1.6	Korrigeret totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis (korrektionsfaktor ifølge Tabel 3.1.5).....	27
Tabel 3.1.7	Korrigeret totalt energiforbrug ved husdyrproduktion for den nuværende konventionelle 1996-praksis (korrektionsfaktor ifølge Tabel 3.1.5).....	27
Tabel 3.1.8	Landbrugets nuværende emission af CH ₄ fordelt på husdyrtyper og andel CH ₄ udledt ved hhv. enterisk fermentation i dyrets tarm (fra dyr) og emission ved håndtering af husdyrgødning (fra husdyrgødning)	28
Tabel 3.1.9	Landbrugets direkte (N ₂ O _{direct}) og indirekte (N ₂ O _{indirect}) N ₂ O-emission for nu-situationen (år 1996) fordelt på kilder	29
Tabel 3.1.10	Estimering af NLEACH. I de økologiske scenarier reduceres den proportionalt med reduktionen i det totale N-overskud, NSOIL, der ifølge Grant (1998) tilføres jorden.	29
Tabel 3.1.11	FAW beregnet for nu-situationen (1996) som produceret husdyrgødningskvælstof af dyr minus et standard gastab af NH ₃ og NO _x på 20% og minus andelen af husdyrgødning afsat på græs. Kg N af årsdyr er antaget ens for alle scenarier.	30
Tabel 3.1.12	Beregning af fikseret kvælstof ved kløvergræsproduktion i Danmark og fikseret kvælstof ved produktion af importeret proteinfoder i udlandet.....	30
Tabel 3.2.1	Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario A.	31
Tabel 3.2.2	Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario A.	32
Tabel 3.2.3	Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for forbedret praksis i scenario A.	32
Tabel 3.2.4	Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret ved forbedret praksis i scenario A.	32
Tabel 3.2.5	Direkte og indirekte energiforbrug ved standard og forbedret praksis i scenario A. Hhv. direkte simuleret med ØKOBÆR og korrigeret ifølge korrektionsfaktorerne i Tabel 3.1.5.....	33
Tabel 3.2.6	Simuleret emission af CO ₂ for scenario A (100% selvforsyning med foder) ved hhv. standard og forbedret dyrkningspraksis.	33

Tabel 3.2.7	Antal årdsdyr og den tilsvarende CH ₄ -emission estimeret for scenario A ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.....	34
Tabel 3.2.8	Landbrugets direkte (N ₂ O _{direct}) og indirekte (N ₂ O _{indirect}) N ₂ O-emission for scenario A, (100% foder-selvforsyning) fordelt på kilder ved nuværende og forbedret dyrkningspraksis.....	35
Tabel 3.3.1	Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario B.....	35
Tabel 3.3.2	Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario B.....	36
Tabel 3.3.3	Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for forbedret praksis i scenario B.....	36
Tabel 3.3.4	Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret ved forbedret praksis i scenario B.....	36
Tabel 3.3.5	Direkte og indirekte energiforbrug ved standard og forbedret praksis i scenario B. Hhv. direkte simuleret med ØKOBÆR og korrigeret ifølge korrektionsfaktorerne i Tabel 3.1.5.....	37
Tabel 3.3.6	Simuleret emission af CO ₂ for scenario B (Maksimal tilladt foderimport) ved hhv. standard og forbedret dyrkningspraksis.....	37
Tabel 3.3.7	Antal årdsdyr og den tilsvarende CH ₄ -emission estimeret for scenario B ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.....	38
Tabel 3.3.8	Landbrugets direkte (N ₂ O _{direct}) og indirekte (N ₂ O _{indirect}) N ₂ O-emission for scenario B (maksimal tilladt foderimport) fordelt på kilder ved nuværende og forbedret dyrkningspraksis.....	39
Tabel 3.4.1	Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario C.....	39
Tabel 3.4.2	Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret for nuværende praksis i scenario C.....	40
Tabel 3.4.3	Totalt energiforbrug ved afgrødeproduktion simuleret for forbedret praksis i scenario C.....	40
Tabel 3.4.4	Totalt energiforbrug ved husdyrproduktion simuleret ved forbedret praksis i scenario C.....	40
Tabel 3.4.5	Direkte og indirekte energiforbrug ved standard og forbedret praksis i scenario C. Hhv. direkte simuleret med ØKOBÆR og korrigeret ifølge korrektionsfaktorerne i Tabel 3.1.5.....	41
Tabel 3.4.6	Simuleret emission af CO ₂ for scenario c (Fastholdelse af den nuværende animalske produktion) ved hhv. standard og forbedret dyrkningspraksis.....	41
Tabel 3.4.7	Antal årdsdyr og den tilsvarende CH ₄ -emission estimeret for scenario C ved hhv. standard og forbedret dyrkningpraksis.....	42
Tabel 3.4.8	Landbrugets direkte (N ₂ O _{direct}) og indirekte (N ₂ O _{indirect}) N ₂ O-emission for scenario C (fastholdelse af den nuværende animalske produktion) fordelt på kilder ved nuværende og forbedret dyrkningspraksis.....	43

Tabel 3.5.1	Balance for fossil energiforbrug i dansk landbrug for nu-situationen (år 1996) og for de tre scenarier for økologisk landbrug A, B og C ved nuværende dyrkningspraksis. Fordelingen af energiforbruget er modelleret med ØKOBÆR (Dalgaard et al. 1999) og korrigeret i forhold til det nuværende energiforbrug ifølge Tabel 3.1.4.	44
Tabel 3.5.2	Balance for fossil energiforbrug i dansk landbrug for nu-situationen (år 1996) og for de tre scenarier for økologisk landbrug A, B og C ved forbedret dyrkningspraksis. Fordelingen af energiforbruget er modelleret med ØKOBÆR (Dalgaard et al in prep.) og korrigeret i forhold til det nuværende energiforbrug ifølge Tabel 3.1.4.	45
Tabel 3.5.3	Simuleret forbrug af fossil energi sammenholdt med den vegetabiliske og animalske produktion	46
Tabel 3.5.4	Energiproduktion per produceret foderenhed i afgrødeproduktionen og det totale energiforbrug (inkl. eget foder) per dyreenhed i husdyrproduktionen	48
Tabel 3.5.5	Indenlandsk og udenlandsk energiomkostning til landbrugsproduktion simuleret for nu-situationen (år 1996) og for de tre økologiske scenarier A, B og C ved hhv. nuværende og forbedret dyrkningspraksis. Bemærk at netto energiproduktionen fra landbruget i Danmark er fratrukket den indenlandske energiomkostning. Energiforbruget til produktion af eksporteret korn i det konventionelle scenario er tilskrevet udenlandsk energiforbrug	48
Tabel 3.5.6	Landbrugets samlede indenlandske og udenlandske emission af drivhusgasser for nu-situationen (år 1996) og simuleret emission for de tre økologiske scenarier A, B og C ved hhv. standard og forbedret økologisk dyrkningspraksis. 1 Tg CO ₂ -ækv. svarer til hhv. 1 Tg CO ₂ , 21 Tg CH ₄ eller 310 Tg N ₂ O (jf. Tabel 1.2.1).	49

Abstract

The aim with this report is 1) To describe a method for simulation of agricultural energy use and emission of greenhouse gasses, 2) To use this method to quantify the consequences of a 100% conversion to organic farming in Denmark.

The situation for Danish agriculture in 1996 is compared with three scenarios for 100% conversion:

- A) Full self-supply with fodder (0% import). Hereby the possible pig production is limited.
- B) 15% import of fodder for ruminants, and 25% import for non-ruminants (15/25%). Here the pig production is limited too, but less than in scenario A.
- C) The same animal production as in 1996 (unlimited import of fodder)

For each scenario the vegetable and animal production are compared with their corresponding fossil energy use, simulated for the present crop yields in organic farming and expected improved, future crop yields:

		Danish agriculture 1996	Organic Scenarios					
			present crop yields			improved crop yields		
			A	B	C	A	B	C
Fodder units crops	10 ⁹ FU	15	12	12	12	13	13	13
Livestock units	10 ⁶ LU	2,3	1,7	2,1	2,4	1,7	2,3	2,4
Energy use:								
Crop production	PJ	38	18	18	18	18	18	18
Livestock production	PJ	39	13	28	40	14	31	34
Total	PJ	77	31	45	57	32	50	53
Energy production	PJ	14	0	0	0	0	0	0
Net energy use	PJ	63	31	45	57	32	50	53

The total energy use in the form of bio-fuels and metabolic energy in crops is larger in Danish agriculture 1996 than in the organic scenarios. Contrary to this, the energy use per fodder unit in the crop production, as well as per livestock unit in the livestock production, was lower in the organic scenarios (Scenario A had the lowest fodder import and was most energy effective, while scenario C was the least energy effective). However, the total production was also lower in the organic scenarios, which furthermore had different constitutions. Therefore, direct comparison is difficult.

Finally, energy use was simply converted to emission of the greenhouse gas CO₂, and compared with the emission of the two other significant greenhouse gasses CH₄ and N₂O.

		Danish agric. 1996	Organic scenarios					
			present crop yields			improved crop yields		
			A	B	C	A	B	C
CO ₂	Tg CO ₂ -equivalents	4,9	2,6	3,8	4,7	2,8	4,1	4,3
CH ₄	Tg CO ₂ -equivalents	6,7	5,6	6,1	6,5	6,0	6,6	6,7
N ₂ O	Tg CO ₂ -equivalents	4,1	1,3	1,9	2,3	1,4	2,1	2,2
Total	Tg CO ₂ -equivalents	15,6	9,6	11,8	13,5	10,2	12,8	13,2