BIOMASSE TIL ENERGI OG ØKOLOGISK JORDBRUG

BENT T. CHRISTENSEN, NIELS I. MEYER,
VILHJÁLMUR NIELSEN, CARSTEN SØGAARD

DTU



R-002

RAPPORT

ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-000-9

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

IBE

BIOMASSE TIL ENERGI OG ØKOLOGISK JORDBRUG

Niels I. Meyer, Vilhjálmur Nielsen
Institut for Bygninger og Energi
Bygning 118
Danmarks Tekniske Universitet
2800 Lyngby

Bent T. Christensen
Afdelingen for Plantevækstfaktorer
Statens Planteavlsforsøg
Forskningscenter Foulum
Postbox 23
8830 Tjele

Carsten Søgaard
Center for Økologi og Miljø
Den kongelige Veterinær og Landbohøjskole
Agrovej 10
2630 Tåstrup

Institut for Bygninger og Energi, DTU
Juni 1996

Abstrakt Formålet med nærværende rapport har været at beskrive og vurdere den konflikt, der er mellem ønsket om en større udnyttelse af biomasse til energi, og de betænkeligheder, der er fremkommet bl.a. fra økologiske landbrugeres side ved en øget borttagning af organisk materiale fra jordbruget. Projektet er udført i et samarbejde mellem Danmarks Tekniske Universitet, Statens Planteavlsforsøg og Den Kongelige Veterinær og Landbohøjskole.

I rapporten er principperne bag det økologiske jordbrug og betænkelighederne ved anvendelse af biomasse til energi beskrevet og empiriske resultater og modeller for kulstof og næringsstoffers indflydelse på jordens frugtbarhed refereret. Endvidere er betydningen for jordens kulstofbalance af halmnedmuldning, afgrødevalg og sædskifte, samt husdyrgødning beskrevet. Det bliver vurderet, hvorvidt der i økologisk jordbrug kan fremskaffes halmoverskud, der evt. kan anvendes til energi. Forholdene ved anvendelse af energiafgrøder og betydningen for skovøkosystemet ved udtagning af træ fra skove er også beskrevet.

Rapporten afrapporterer projektet "Udredningsprojekt om biomasseenergi og økologisk landbrug - fase 1" finansieret af Energistyrelsen (j.nr. 51191/96-0002).

IBE-R-002
ISBN 87-7877-000-9
ISSN 1396-4011

Forord

Biomasse forudses at spille en voksende rolle i den fremtidige danske energiforsyning. I de seneste år er der imidlertid opstået en usikkerhed om potentialet af biomasse til energiformål, fordi det hævdes, at økologisk jordbrug ikke kan afse biomasse til energi. For at skabe større sikkerhed om dette væsentlige spørgsmål for energiplanlægningen har Energistyrelsen i begyndelsen af 1996 iværksat et tværfagligt udredningarbejde på området. Nærværende rapport redegør for resultaterne af dette projekts første fase.

Udredningen er gennemført af en arbejdsgruppe bestående af Bent T. Christensen, Vilhjálmur Nielsen og Carsten Søgaard med Niels I. Meyer som koordinator. I kapitel 1 er det anført, hvem der har været hovedansvarlig for rapportens enkelte kapitler.

Til støtte for arbejdet har der været nedsat en tværfaglig følgegruppe, som har bidraget aktivt til rapportens udfærdigelse. Navnene på følgegruppens medlemmer er angivet i bilag 1.

Det vil fremgå af rapporten, at spørgsmålet om jordens frugtbarhed udgør et yderst kompliceret problemkompleks. Der hersker således betydelig usikkerhed med hensyn til jord- og skovbrugets kvantitative behov for tilbageførelse af biomasse på kort og lang sigt. Dette efterlader en tilsvarende usikkerhed med hensyn til potentialet af biomasse til energiformål.

I projektets første fase har man primært kunne belyse problemerne og usikkerhederne og angive størrelsesordenen for nogle væsentlige parametre.
Det er arbejdsgruppens og følgegruppens klare indstilling, at der er et akut behov for et mere omfattende opfølgende projekt, der kan skabe et sikrere grundlag for biomassens potentielle bidrag til den danske energiforsyning.

På vegne af arbejdsgruppen,

Niels I. Meyer
juni 1996

Indhold

RESUME AF KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER (6)
Generelle konklusioner (6)
Indflydelsen af halmnedmuldning på kulstofindholdet i jorden (7)
Andre faktorers indflydelse på kulstofindholdet i jorden (7)
Udnyttelse af husdyrgødning til kompostering (8)
Udnyttelse af husdyrgødning til biogas (8)
Biomasse fra energiafgrøder (8)
Biomasse fra skove (9)
Regneeksempler for anvendelsen af halm til energiformål i økologisk jordbrug (9)
Anbefalinger vedr. projektets opfølgende anden fase: (10)

1. Indledning (12)

2. Generelt om økologisk jordbrug (14)
2.1 Kritikken fra økologisk jordbrug imod biobrændsel. (16)

3. Organisk stof og jordens frugtbarhed (17)
3.1 Organisk stof i jord (17)
3.2 Virkning af tilført organisk materiale (17)
3.3 Agroøkosystemet (18)
3.4 Kulstofkredsløbet (19)
3.5 Sammenfatning (20)

4. Dyrkningens virkning på kulstofpuljen (22)
4.1 Halmnedmuldning (22)
4.2 Afgrødevalg og sædskifte (26)
4.3 Husdyrgødning (28)
4.4 Rodafledt kulstof (30)
4.5 Sammenfatning (31)

5. Muligheder for at anvende biomasse til energiformål i økologisk jordbrug. (33)
5.1 Halm. (33)
5.1.1 Estimering af mængden af halm til energiformål i et fuldt omlagt økologisk landbrug. (33)
5.2 Husdyrgødning (37)
5.2.1 Komposteringsvarme (37)
5.2.2 Biogas (38)
5.3 Sammenfatning (39)

6. Energiafgrøder (41)
6.1 Arealanvendelse (41)
6.2 Energiafgrøder i sædskiftet (41)
6.3 Energiafgrøder uden for sædskiftet (42)

6.4 Anvendelse af spildevandsslam til flerårige energiafgrøder (44)
6.5 Sammenfatning (45)

7. Biomasse fra skovbrug (47)
7.1 Skovøkosystemet og økologisk bæredygtighed (47)
7.1.1 Bevarelse af biotiske ressourcer (47)
7.1.2 Bevarelse af abiotiske ressourcer (47)
7.2 Vurdering af energipotentiale fra dansk skovbrug (49)
7.3 Kulstofbinding i skove (50)
7.4 Sammenfatning (51)

Referencer (53)

Følgegruppens sammensætning (57)

RESUME AF KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

Det har vist sig at være en væsentlig styrke for arbejdet at have en projektgruppe og en følgegruppe med bred faglig ekspertice vedr. traditionelt land- og skovbrug, økologisk jordbrug og energisystemer. På trods af forskellige udgangspunkter er det lykkedes at gennemføre en alsidig og konstruktiv analyse af problemerne. Det vil være vigtigt at bevare denne faglige struktur i en opfølgende anden fase for projektet.

I det følgende angives i punktform en række foreløbige konklusioner om mulighederne og problemerne i forbindelse med udnyttelsen af biomasse fra land- og skovbruget til energiformål.

Generelle konklusioner

- Indholdet af organisk stof har en positiv indflydelse på en række faktorer af betydning for jordens generelle frugtbarhed. Som eksempler kan nævnes jordens vandholdende evne, evnen til adsorption af fremmedstoffer (pesticider, tungmetaller m.v.), jordens bufferkapacitet og dens generelle strukturstabilitet.
- Det organiske stofs direkte betydning for de enkelte jordbundsparametre kan sjældent bestemmes under systemtro forhold. Som følge heraf er det vanskeligt at præcisere det organiske stofs kvantitative bidrag til jordens frugtbarhed. Praktiske erfaringer fra økologisk jordbrug underbygger kvalitativt det organiske stofs betydning for jordens generelle frugtbarhed.
- Ændringer i jordens indhold af organisk stof manifesteres over lange tidsrum, og virkningen af ændringer i puljen af organisk stof er derfor vanskelig at verificere eksperimentelt.
- Organisk materiale udgør en vigtig kilde til nedbryderfødekædens forsyning med energi, kulstof og næringsstoffer. Virkningen afhænger af mængden og typen af tilført materiale og af jordens beskaffenhed.
- Uden kompensation for de bortførte plantenæringsstoffer vil agro- og skovøkosystemernes produktivitet relativt hurtigt falde til et uacceptabelt niveau. Med den nuværende dyrkningsteknologi (kunstgødning, pesticider, vanding m.v.) i traditionelt landbrug ses ikke en sådan reduktion i produktiviteten. Det er dog usikkert, hvor længe denne produktivitet kan opretholdes på de udsatte jorde under hensyn til strukturændringer og erosionsforhold i jorden. Tilsvarende vil skovøkosystemets produktivitet falde, hvis øget biomasseudtag på afgørende måde reducerer den system-interne cirkulation af næringsstoffer.
- Ved overgang til økologisk jordbrug vil såvel jordens indhold af organisk stof og de deri bundne plantenæringsstoffer som kompensation for bortført organisk materiale gennem recirkulering af biomasse få øget betydning for agrosystemernes produktivitet.
- Uanset agrosystemets dyrkningsteknologi er hovedformålet at skaffe føde til mennesker og dyr. Et supplerende formål kan være at bidrage til fremskaffelsen af miljøvenlige biobrændsler. Dette medfører en større udveksling af næringsstoffer med omgivelserne end i udyrkede systemer med vedvarende

plantevækst og et mere diverst plantesamfund. Opgaven er at vælge teknologier og systemer, der opfylder formålene på den mest effektive og miljøvenlige måde.

- Den dyrkede jords bidrag til CO_2-balancen er ikke kvantitativt afklaret. Jordens store indhold af kulstof og den betydelige årlige udveksling af CO_2 mellem atmosfæren og agro- og skovøkosystemet kan begrunde gennemførelsen af en grundig analyse af samspillet mellem dyrkningspraksis, arealanvendelse og ændringer i jordens kulstoflager.

Indflydelsen af halmnedmuldning på kulstofindholdet i jorden

- Årlig nedmuldning af normale halmmængder (4-6 tons halm/ha) vil på lang sigt kunne øge den dyrkede jords indhold af kulstof med 3-15% set i forhold til fjernelse af halmen fra marken. Effekten afhænger af jordens type og beskaffenhed.
- I forhold til fjernelse af halm vil halmnedmuldning på det nuværende kornareal (1,4 millioner hektar) over en længere årrække give anledning til en samlet kulstoflagring af størrelsesordenen 6 millioner tons. Dette tal er dog behæftet med betydelig usikkerhed.

Andre faktorers indflydelse på kulstofindholdet i jorden

- Tilførsel af fast husdyrgødning vil give anledning til et højere kulstofindhold i jorden end tilførsel af en ækvivalent mængde kulstof ved halmnedmuldning.
- Et øget antal år med græs/kløvergræs i sædskiftet medfører et større kulstofindhold i jorden. Flere rækkeafgrøder og øget korndyrkning giver et forholdsmæssigt mindre bidrag til jorden kulstofpulje.
- Anvendelse af rajgræs som efterafgrøde ved ensidig korndyrkning har samme virkning på jordens kulstofindhold som nedmuldning af normale halmmængder. Anvendelse af gul sennep bidrager kun lidt til jordens kulstofindhold.
- Tilførsel af ækvivalente mængder tørstof i fast husdyrgødning og gylle er fundet at have samme virkning på jordens kulstofindhold.
- Såfremt jordens kulstofindhold ønskes øget markant over en kortere årrække kræves betydelige årlige tilførsler af tørstofrig husdyrgødning.
- For kornafgrøder udgør rodafledt kulstof 1-1,5 tons pr. ha pr. år. Mængden af rodafledt kulstof vil være større fra græsafgrøder og mindre fra rækkeafgrøder.
- Hvorvidt tilførsel af organisk materiale giver anledning til en øget kulstoflagring i dyrket jord, afhænger af jordens kulstofniveau i udgangssituationen. Indeholder den dyrkede jord i forvejen en stor kulstofpulje ses et fald, mens jord med et lavt udgangsniveau viser en stigning. Der er et stort behov for at gennemføre en mere detaljeret analyse af kulstofniveuaet i de danske landbrugsarealer.

Udnyttelse af husdyrgødning til kompostering

- En del økologiske jordbrugere foretrækker at anvende husdyrgødning i form af kompost. Ud over den direkte gødningsværdi hævdes komposten at medføre en række fordele for jordens generelle frugtbarhed i forhold til andre gødningstyper.
- Det er et problem ved den nuværende form for kompostering, at den indebærer et tab af kvælstof i form af ammoniak. Dette tab kan reduceres ved en videreudvikling af komposteringsteknologien.
- Ved kompostering af husdyrgødning udvikles varme, som med den nuværende teknologi stort set forsvinder som spildvarme. Ved udvikling af teknologien vil en del af denne komposteringsvarme kunne udnyttes til opvarmning af stalde og bygninger. Det vil kræve en nærmere analyse at finde frem til det tekniske og økonomiske potentiale for udnyttelse af komposteringsvarme.

Udnyttelse af husdyrgødning til biogas

- Der er betydelig usikkerhed om effekten af bioforgasset gylle på jordens frugtbarhed. Vurderingerne rækker lige fra en positiv indstilling (mindre lugttgener, mere homogent produkt etc) til en meget negativ indstilling (svækkelse af planternes modstandsdygtighed, "den rene gift for jorden"). Nogle økologiske jordbrugere vurderer, at afgasset gylle har stort set de samme egenskaber som kunstgødning, og det udgør en barriere for biogasproduktion i økologisk jordbrug.
- Der er behov for en mere omfattende analyse af emissionsforhold, energiforhold og effekten på jordens frugtbarhed af henholdsvis komposteret og afgasset husdyrgødning. Foreløbige vurderinger tyder på, at begge metoder har fordele og ulemper, men de kvantitative resultater er yderst sparsomme.

Biomasse fra energiafgrøder

- Pil og elefantgræs kan under danske forhold give årlige udbytter på over 10 tons tørstof pr. hektar ved moderate næringsstoftilførsler, men med store udsving mellem år og lokaliteter. Det kan forventes, at forædlingsarbejde vil medføre øgede udbytter i fremtiden.
- Ved moderate næringsstoftilførsler er næringsstoftabet fra pil og elefantgræs af samme størrelsesorden som for vedvarende græs. Det kan gøre energiafgrøder til en egnet afgrøde på jorde i områder med særligt beskyttelseskrævende grundvandsressourcer.
- I dag er størstedelen af det økologisk dyrkede areal udnyttet af mælkeproducenter, som typisk ikke har arealer til rådighed for energiafgrøder.
- Rene planteavlsbrug og brug med ekstensiv husdyrproduktion kan have mulighed for at afsætte arealer til egentlig energiproduktion. Det potentielle areal til energiafgrøder ved et landbrug fuldt omlagt til økologisk drift vil derfor afhænge af produktionssammensætningen på brugene.
- Der kan tænkes at være synergieffekter ved integrering af flerårige energiafgrøder i økologisk jordbrug, således at nedgangen i areal til fødevareproduk-

tion vil medføre en forholdsvis mindre nedgang i fødevareproduktion.

- Enårige energiafgrøder kan repræsentere en forbedring af sædskiftet i jordbrug, hvis der anvendes afgrøder, der ikke bliver dyrket i stort omfang i forvejen.
- Udnyttelse af kvælstoffikserende afgrøder til energiformål kan være et økonomisk tilfredsstillende alternativ til husdyrhold i økologiske jordbrug, hvis der sikres tilbageførsel af næringsstofferne.

Biomasse fra skove

- Udtag af biomasse fra skoven mindsker aktiviteten i nedbryderfødekæden og jordens indhold af organisk stof. Det er ikke undersøgt hvilket niveau af organisk stof i jorden, der kan karakteriseres som acceptabelt. Der er heller ikke gennemført undersøgelser af den kvantitative effekt på biodiversiteten.
- På nogle næringsfattige jorde er der set eksempler på, at andre stoffer end kvælstof er begrænsende for tilvæksten i skoven. Hvis der skal udtages biomasse fra disse jorde, er det nødvendigt at udføre kompensationsgødskning. For sådanne jorde vurderes det, at udtagning af små dimensioner af træ vil mindske dyrkningsgrundlaget på lang sigt. Det er således nødvendigt at fastsætte regler for udtagning af flis til energi fra disse jorde.
- En tilbageføring af vedaske til skovjorden må anses som en afgørende, men måske også tilstrækkelig, forudsætning for anvendelsen af hugstaffald fra skoven til energiformål i større skala. Det kan dog være et problem, at vedasken ofte har en anden næringsstofmæssig sammensætning end den bortførte flis.
- Skovrejsning på 3.000 ha nåleskov/år i 70 år og 2.000 ha løvskov/år i 140 år kan medføre en CO_2-binding på i gennemsnit ca. 2 mio. tons pr. år (sammenlignet med en nuværende dansk emission på omkring 60 mio. tons CO_2 pr. år). Efter 150 år kan den samlede overjordiske C-binding således udgøre 300 mio. tons CO_2 (80 mio. tons C). Denne binding kan bidrage til den ønskede reduktion af den danske CO_2-emission i overgangsperioden, indtil der er etableret en bæredygtig energisektor.
- Effekten af skovrejsning på C-lagring i jorden er ikke nærmere afklaret.
- Ved en systematisk anvendelse af stor plantetæthed ved skovrejsning kan der fremskaffes en betydelig biomasseressource, medens skovrejsningen står på.

Regneeksempler for anvendelsen af halm til energiformål i økologisk jordbrug

I det følgende omtales nogle foreløbige regneeksempler til belysning af mulighederne for at udnytte halm til energiformål ved en fuldstænding omlægning til økologisk jordbrug. Overskuddet af halm til energiformål er bestemt af den samlede kornproduktion, halmudbyttet og forbruget af halm til husdyrproduktionen og til nedmuldning. I rapportens regneeksempler er der indført nogle forenklede skøn og antagelser for disse parametre. Målet med disse foreløbige beregninger har været at angive størrelsesordenen af et eventuelt halmoverskud under forskellige forudsætninger, samt at pege på de faktorer, som især har indflydelse på halmoverskuddet.

For enkelheds skyld er der som regneeksempel valgt et jordbrug, der er helt omlagt til økologisk drift, men dermed er driftsformen ikke eentydigt fastlagt. Der er stadig store variationsmuligheder i form af forskellige staldsystemer og forskellige blandinger af dyrehold og kornarealer m.v. De forskellige kombinationer udspænder et handlingsrum med forskellige potentialer for biomasse til energiformål. I nærværende sammendrag vil vi kun nævne ydertilfældene, idet der iøvrigt henvises til rapportens kapitel 5.

Ændringen i biomassepotentiale på grund af omlægning til økologisk jordbrug vil variere proportionalt med omfanget af økologisk drift. Hvis kun halvdelen af landbruget er omlagt, bliver ændringen halvt så stor osv. Det er derfor enkelt ud fra regneeksemplerne baseret på 100% omlægning at regne om til en lavere procent af økologisk jordbrug i hvert af de angivne ydertilfælde.

En vurdering af potentialet for biomasse til energi kompliceres af, at også det traditionelle landbrug må forventes at omlægge driftsformerne i mere økologisk retning. I en lang årrække må man derfor antage, at landbruget vil bestå af en række forskellige dyrkningsformer, hver med et forskelligt potentiale for biomasse til energi. Der har ikke været tid til en nærmere analyse af dette komplicerede spektrum af dyrkningsformer i projektets første fase.

I regneeksemplerne er anvendt følgende generelle forudsætninger:

- Ca. halvdelen af landbrugsarealet anvendes til dyrkning af korn (ligesom nu).
- Halmudbyttet pr. ha er uændret (mindre kornudbytte, men mere langstråede sorter).
- Uændret antal dyreenheder kvæg i det omlagte landbrug (men en mere jævn geografisk fordeling).
- Reduceret antal dyreenheder (DE) svin i det omlagte landbrug (reduktion fra ca. 1 million DE til mellem 0,5 og 0,75 millioner DE).
- Tre forskellige staldsystemer for kvæg: dybstrøelsesstalde (ca. 10 kg halm pr. DE pr. dag), trædeudmugning (ca. 5 kg halm pr. DE pr. dag) og bindestalde (ca. 2 kg halm pr. DE pr. dag).
- Gennemsnitligt halmforbrug for svin: ca. 3 kg pr. DE pr. dag.

På dette grundlag findes følgende hovedresultater:

- Ved forskellige kombinationer af staldsystemer og dyrehold fås en stor variation i det gennemsnitlige overskud af halm til energi pr. år. Overskuddet varierer fra ca. plus 2,9 millioner tons til ca. minus 1 million tons, idet især valget af staldsystem har afgørende indflydelse på resultatet. I disse tal er der ikke inkluderet behovet for en eventuel nedmuldning af halm.
- De foreløbige beregninger tyder på, at potentialet for halm til energi må justeres i nedadgående retning i forhold til Energistyrelsens estimat, hvis økologisk jordbrug i den nuværende form vinder større udbredelse. Det endelige resultat vil afhænge af flere usikre parametre: udbredelsen af økologisk jordbrug, staldsystemer, omfanget af dyrehold, graden af nedmuldning, nye dyrkningsmetoder i traditionelt landbrug m.v.

Anbefalinger vedr. projektets opfølgende anden fase:

Projektets anden fase skal have til formål at analysere og belyse en række faktorer af betydning for den danske energiplanlægning, specielt i relation til udnyttelsen af biomasse til energiformål. Som overordnet ramme står ønsket om at sikre en bæredygtig udvikling både på energiområdet og på jordbrugs- og skovbrugsområdet. Hermed forstås primært, at sektorerne skal fungere på en sådan måde, at kvaliteten af det naturlige miljø og jordens frugtbarhed bevares, samtidig med at sektorerne yder den ønskede energiservice og den ønskede fødevareproduktion. Dette må ikke indebære udtømning af begrænsede ressourcer.

Med den givne problemstilling kræves der en sammenhængende analyse af de energimæssige og jordbrugs- og skovbrugsmæssige muligheder og konsekvenser for at undgå suboptimeringer, der er i konflikt med hinanden. På det institutionelle område forudsætter dette en udbygning af samarbejdet mellem Miljø- og Energiministeriet på den ene side og Landbrugs- og Fiskeriministeriet på den anden side. De videnskabelige og tekniske elementer kræver en tværfaglig projektgruppe, som dækker ekspertice vedr. land- og skovbrug, biologi, energi, økologi, økonomi og systemanalyse. Det er vigtigt at indsnævre usikkerhedsintervallerne så meget som muligt, hvis det skal være muligt at bevare biomasse som et væsentligt element i den langsigtede danske energiforsyning. I sidste ende kommer det til at bero på en politisk vurdering, hvorledes biomasse skal prioriteres i forhold til andre vedvarende energikilder i det danske forsyningssystem. Men denne politiske prioritering bør ske på et så sikkert fagligt grundlag som muligt.

Følgende hovedemner vil blive analyseret i projektets anden fase:

- Den tidligere udvikling og den forventede udvikling i kulstof- og næringsstofbalancen i dansk landbrug og i skovøkosystemet.
- Analyse og vurdering af behovet for tilførsel af kulstof og næringsstoffer til danske landbrugs- og skovarealer.
- Forskellige muligheder for i praksis at sikre en økologisk bæredygtig udvikling (herunder sikring af biodiversiteten) af dansk jordbrug og skovbrug med mindst muligt brug af eksterne ressourcer, specielt fossile brændsler. Herunder belyses energiregnskaberne for forskellige dyrkningsformer.
- Konsekvenserne for det biologiske ressourcegrundlag (biodiversitet) og dyrkningsgrundlaget ved udtag af biomasse fra skov.
- Analyse af miljømæssige, energimæssige og jordbrugsmæssige forhold ved udnyttelse af halm, gylle, spildevandsslam og træflis.
- Analyse af miljømæssige, energimæssige og jordbrugsmæssige forhold ved dyrkning af etårige og flerårige energiafgrøder.
- Analyse af optimale energisystemer og teknologier til udnyttelse af biomasse til energiformål.
- Opstilling af forskellige scenarier for den energimæssige udnyttelse af biomasse ved varierende antagelser om landbrugets og skovbrugets struktur (udbredelsen af økologisk jordbrug, dyrehold, staldstrukturer, udvikling i traditionelt landbrug, udvikling i skovbrug m.v.).

1. Indledning

I forbindelse med planlægningen af en bæredygtig energiudvikling for Danmark har udnyttelsen af biomasse fra begyndelsen spillet en væsentlig rolle. Det drejer sig i første omgang om "affaldsprodukter" som halm, træflis, gylle, og husholdningsaffald. I de seneste år har der også været interesse for at udnytte dyrkning af energiafgrøder, ikke mindst i forbindelse med kravet om braklægning af 10 - 15% af de danske landbrugsarealer.

Et voksende problem i denne forbindelse er usikkerheden om en potentiel konflikt mellem på den ene side økologiske og biologiske interesser, og på den anden side energimæssige interesser i forbindelse med udnyttelse af biomasse. Dette kan illustreres ved udtalelser fra økologiske jordbrugere om, at det er uforsvarligt at fjerne halmen med dens indhold af kulstof og næringsstoffer fra jorden, og at det er uforsvarligt at omdanne gylle til biogas. Tilsvarende fremføres, at fjernelse af træflis fra skove vil medføre en udhuling af næringsstofgrundlaget for fremtidig skov, og af ernæringsgrundlaget her og nu for en række af skovens organismer.

I forbindelse med dyrkning af energiafgrøder er der opstået tilsvarende indvendinger suppleret med kritik af at anvende pesticider og kunstgødning på braklagte arealer.

Endelig skal det nævnes, at der er betydelige uoverensstemmelser mellem de opgivne tal for energiregnskaberne, ikke mindst i forbindelse med fremstilling af flydende brændsler fra biomasse.

Alle disse usikre forhold kan ikke undgå at virke bremsende på planlægningen og udnyttelsen af biomassen i den danske energiforsyning. Under hensyn til den langsigtede natur af energiplanlægning sammen med mulighederne for, at økologiske dyrkningsmetoder på længere sigt vil omfatte en væsentlig del af det danske jordbrug og det voksende skovareal, må der nødvendigvis tages hensyn til disse spørgsmål i energiplanlægningen.

På den baggrund blev det på VE-Rådets møde den 17. august 1995 vedtaget at opfordre Energistyrelsen til at igangsætte et udredningsprojekt med en kompetent, tværfaglig følgegruppe til hurtigt at udrede de faktuelle forhold og belyse de energipolitiske konsekvenser af forskellige prioriteringer i relation til udnyttelsen af biomasse. Energistyrelsen har efterfølgende bevilget økonomisk støtte til at gennemføre en første fase af dette projekt i tidsrummet fra januar 1996 til juni 1996.

Arbejdet i projektets første fase har afdækket en række usikkerheder, specielt i forbindelse med behovet for ændrede dyrkningsmetoder, hvis jordens frugtbarhed skal sikres på kort og lang sigt. Der er også betydelig usikkerhed om strukturudviklingen i dansk landbrug (omfanget af økologisk jordbrug, intensitet og fordeling af kvæg- og svinehold, udviklingen af staldsystemer etc.). Også for skovbruget kan økologiske overvejelser føre til nye dyrkningskrav. Disse usikre faktorer kan få væsentlig indflydelse på den mængde biomasse, der vil være til rådighed for energiformål. Der er derfor et akut behov for en både bredere og dybere analyse af jordbrugets og skovbrugets behov for egenudnyttelse og for intern cirkulation af biomasse for at kunne opgøre det resulterende potentiale for biomasse til energi. For energisektoren er der behov for på dette grundlag at gennemføre systemanalyser og analyser af de optimale teknologier til udnyttelse af den biomasse, der er til rådighed.

I første fase har det kun været muligt at belyse en række af de komplekse problemer og angive størrelsesordenen af nogle af de væsentlige parametre. Disse resultater er gennemgået i de følgende kapitler.

Kapitel 2 illustrerer situationen omkring økologisk jordbrug i Danmark. Den hovedansvarlige for dette kapitel har været Carsten Søgaard. Første del af dette

kapitel giver en række faktuelle oplysninger om økologisk jordbrug, medens anden del sammenfatter en række argumenter fra økologiske jordbrugere imod anvendelsen af biomasse til energiformål. Det bør fremhæves, at disse synspunkter ikke er videnskabeligt dokumenterede, men de belyser baggrunden for konflikten om anvendelsen af biomassen. De kritiske synspunkter dækker heller ikke nødvendigvis arbejdsgruppens eller følgegruppens synspunkter.

I kapitel 3 gives en opsummering af empiriske resultater og modeller for kulstof og næringsstoffers indflydelse på jordens frugtbarhed. Hovedansvarlig for dette kapitel er Bent T. Christensen.

Denne generelle beskrivelse følges op i kapitel 4 med en beskrivelse af indflydelsen af halmnedmuldning, afgrødevalg og sædskifte, husdyrgødning m.v. Bent T. Christensen er også hovedansvarlig for dette kapitel.

I kapitel 5 gives nogle regneeksempler til belysning af halmpotentialet til energi under en række forskellige forhold. Det fremgår, at der er et meget stort variationsområde, hvor specielt valget af staldsystemer har kraftig indflydelse på potentialet. De hovedansvarlige for dette kapitel er Carsten Søgaard med faglig støtte fra Per Kølster.

Kapitel 6 beskriver forholdene omkring dyrkning af energiafgrøder, specielt elefantgræs og piletræer. I den forbindelse diskuteres også muligheder og problemer ved gødskning med spildevandsslam. Den hovedansvarlige for dette kapitel er Vilhjálmur Nielsen.

I kapitel 7 diskuteres mulighederne for at uddrage biomasse til energi fra skovbruget under hensyn til skovøkosystemet økologiske bæredygtighed. Herunder beskrives behovet for bevarelse af biotiske og abiotiske ressourcer.Den hovedansvarlig for dette kapitel har været Vilhjálmur Nielsen med faglig støtte fra Karsten Raulund-Rasmussen.

2. Generelt om økologisk jordbrug

I 1981 blev Landsforeningen for Økologisk Jordbrug (LØJ) dannet. Foreningen har udarbejdet egne avlsregler for markbruget og husdyrhold. I 1987 vedtog Folketinget loven om økologisk jordbrugsproduktion, og siden da har en række bekendtgørelser fastlagt de statslige økologi-regler. Ved gennemførelse af Rådsforordning (EØF) nr. 2092/91 af 24. juni 1991 blev reglerne, for planteproduktion, harmoniseret på EU-niveau. Det gældende regelsæt er givet i bekendtgørelse nr. 892 af 27. oktober 1994 om økologisk jordbrugsproduktion (Plantedirektoretet 1994).

Hovedpunkterne i de statslige økologiregler er følgende:

- Jordens frugtbarhed og den biologiske aktivitet i jorden skal, i tilfælde hvor det forekommer hensigtsmæssigt, opretholdes eller øges ved anvendelse af et hensigtsmæssigt flerårigt sædskifte og nedmuldning af organisk materiale.
- Planteskadegørere og ukrudt bekæmpes ved at samordne en række foranstaltninger:
  Hensigtsmæssigt sædkifte, sortsvalg, mekaniske dyrkningsmetoder, flammebehandling af ukrudt, beskyttelse af skadegørernes naturlige fjender.
- 2 års omlægningstid for salgsafgrøder.
- Mulighed for import af konventionel husdyrgødning op til 25% af afgrødernes normbehov for N. Den lovpligtige nytteværdi udgør beregningsgrundlaget.
- Der må importeres gylle, ajle og fast staldgødning fra alle brug undtagen jordløse. Den faste staldgødning skal komposteres ved import fra intensive brug (>2 dyreenheder/ha).
- Der må importeres halm samt en række tungtopløselige næringsstoffer uden tilladelse fra plantedirektoratet.
- Udsæd skal være af økologisk oprindelse, hvis det kan skaffes.
- 85% af foder til drøvtyggere og 75% af foderet til enmavede dyr (pr. dag) skal være af økologisk oprindelse.
- Alle dyr skal have adgang til jævnlig motion hele året og til afgræsning i sommerhalvåret. Tyre over 9 måneder samt slagtesvin kan dog holdes i udendørs løbegård når de daglig fodres med frisk grovfoder efter ædelyst.
- Der må ikke bruges forebyggende medicin.

LØJ's regelsæt er på en række punkter en opstramning i forhold til statsreglerne (LØJ 1995):

- Markerne må i gennemsnit højest tilføres husdyrgødning (økologisk + konventionelt) svarende til en produktion fra 1,4 dyreenheder/ha.
- På enkeltmarker må der maksimalt tilføres husdyrgødning fra 2,8 dyreenheder/ha.
- Der må i gennemsnit højst udbringes konventionel gødning fra 0,55-0,8 dyreenheder/ha.
- Fra år 2000 må højst 10% og fra 2005 højst 5% af besætningens foder være konventionelt produceret.

LØJ's målsætning for det økologisk jordbrug er beskrevet i "Avlsregler for økologisk jordbrug 1995". Disse giver en beskrivelse af visioner og ønsker til udviklingen. Det er således målet:

- at arbejde for, at alt jordbrug omlægges til økologisk jordbrug.
- at arbejde så meget som muligt i lukkede stofkredsløb og benytte sig af lokale ressourcer.
- at bevare jordens naturlige frugtbarhed.
- at undgå alle former for forurening, som måtte hidhøre fra jordbrugsmæssig praksis.
- at fremme en dyrkningsmæssig praksis, som tager størst mulig hensyn til miljø og natur.
- at producere fødevarer af optimal ernæringsmæssig kvalitet.
- at reducere jordbrugets forbrug af ikke-fornybare ressourcer herunder fossile brændstoffer til et minimum.
- at arbejde henimod, at byernes og fødevareindustriens affaldsprodukter opnår en kvalitet, så de kan genbruges som gødningsmidler i jordbruget.
- at give alle husdyr gode forhold, der er i overensstemmelse med deres naturlige adfærd og behov.
- at gøre alt, hvad der er muligt, for at sikre at alle levende organismer lige fra mikroorganismer til planter og dyr, som jordbrugeren arbejder med, bliver forbundsfæller.

Der tages i LØJ's målsætning afstand fra:

- syntetiske gødningsstoffer, pesticider m.v.
- forcering af planter og dyrs vækst.
- industrialiseret dyrehold.

For LØJ er jordbrugeren selv en vigtig del af den økologiske drift. Derfor skal det være muligt at leve af sit arbejde og samtidig udvikle alsidige menneskelige egenskaber. Det kan kun ske ved et tæt samarbejde mellem jordbrugere og forbrugere, hvor en livlig diskussion af metoder og kompromisser trækker grænserne op for, hvor kompromiserne hører op i fælles respekt for målene.

Der er i økologisk jordbrug et ønske om at reducere forbruget af fossilt brændstof, men der er ikke formuleret noget ønske om at levere anden energi til det øvrige samfund end energien i fødevarene.

I Aktionsplan for fremme af den økologiske fødevareproduktion (Det Økologiske Jordbrugsråd 1995), konkluderes, at der er behov for af få klarlagt, hvorledes økologisk jordbrug kan kombineres med produktion af biomasse til energiformål. Således indtiller Det økologiske Jordbrugsråd at der gennemføres (anbefaling nr. 4 og 5):

- En sammenlignende undersøgelse af energibalancen inden for konventionelt og økologisk jordbrug.
- En analyse af konsekvenserne for jorbundsforholdene samt planteprodukternes kvalitet ved større eller mindre udnyttelse af husdyrgødning til energiformål.

- En undersøgelse, som belyser samspillet mellem udnyttelse at halm til energiformål og konsekvenserne for mikrobiologiske og fysiske forhold i dyrkningsjorden som følge af at udtage organisk stof fra jordsystemet.
- En undersøgelse af konsekvenserne af, at halmressourcerne fjenes fra landbruget i forhold til de miljømæssige forbedringer ved anvendelse af biomasse til energiformål.

Så vidt vides er der ikke taget initativer til at følge disse anbefalinger ud i livet.

2.1 Kritikken fra økologisk jordbrug imod biobrændsel.

Der er fra økologisk side fremført følgende argumenter imod biobrændsel i tidsskriftsartikler, avisindlæg mv. (bl.a. Borgen 1991, Østergaard 1995):

- Der er i økologisk jordbrug ikke arealoverskud til energiproduktion.
- Der er i økologisk jordbrug ikke overskud af tørt halm, idet kornandelen i sædskiftet er mindre, samtidig med at halmbehovet til strøelse er større end ved konventionel drift.
- For at opbygge og opretholde jordens frugtbarhed er det nødvendigt med så stor en tilbageførsel af organisk stof som muligt. Det betyder, at i systemer, hvor halmen ikke bruges til strøelse og foder, vil det være hensigtsmæssigt at mulde den ned.
- Dyrkning af flerårige energiafgrøder vil formodentlig påvirke humusbalancen positivt, men afbrændingen medfører et tab af næringsstoffer (P og K), som det er uklart, om det er muligt at erstatte.
- Anaerobt opbevaret gylle og i særdeleshed bioforgasset gylle indeholder en række stoffer, der indvirker negativt på jordens frugtbarhed.
- Den energi, der går til biogasproduktion, vil ikke være til stede til jordens mikroorganismer, og dermed ikke medvirke til at opbygge jordens frugtbarhed.
- Den generelle udpining af jorden, som konventionel dyrkning medfører, forstærkes ved bortførsel af halm til biobrændsel. Dette vil på sigt vanskeliggøre en omlægning af disse jorde til økologisk produktion.
- En nedgang i jordens frugtbarhed vil kræve større indsats af plantenæringsstoffer og andre indsatsfaktorer, med dertil hørende uønskede konsekvenser for miljøet.

Efter LØJ's idé, mål og regler er der ingen modstrid med ønsket om at udnytte den størst mulige mængde organisk stof fra landbruget til energiformål.

På den anden side er den økologiske driftsform afhængig af, at der i vidt omfang tilbageføres organisk stof til jorden. Økologisk jordbrug hviler på den grundopfattelse, at jorden er et levende system, der skal fodres og gødes for derigennem at sikre planternes vækst. Det er således ikke planterne, men jorden, der gødes, og efterfølgende er det ikke gødningen, men jorden og dens mikroliv, der leverer grundlaget for plantevæksten. Dette princip er en efterligning af naturens processer, og bestræbelsen på at efterleve princippet skyldes ønsket om at opnå den optimale forening af produktion (mængde) og kvalitet af planteprodukter til foder og føde og samtidig den mest skånsomme behandling af miljøet.

3. Organisk stof og jordens frugtbarhed

Betydningen af organisk stof for jordens frugtbarhed har gennem tiden været genstand for en omfattende forskningsindsats. Idet nye metoder løbende bliver taget i anvendelse og nye teoridannelser indpasses i vores grundlæggende forståelse af jordbunden, er samspillet mellem organisk stof og jordens frugtbarhed et forskningsområde i stadig udvikling.

Nærværende afsnit giver en summarisk gennemgang af emnet. Christensen og Johnston (1996) giver en mere uddybende fremstilling af samspillet mellem organisk stof og jordens frugtbarhed, belyst ud fra eksempler fra langvarige forsøg ved Askov og Rothamsted (UK) forsøgsstationer.

3.1 Organisk stof i jord

Jordens indhold af organisk stof udgøres af rester af planter, dyr og mikroorganismer i alle nedbrydningsstadier, samt af forskellige omsætningsprodukter tæt forbundet med jordens mineralske bestanddele. Jordens organiske stof udgør en integreret del af terrestriske økosystemers struktur og funktion, herunder jordens evne til fortsat at understøtte en for økosystemet karakteristisk planteproduktion.

Det er velkendt, at det organiske stof har en positiv indflydelse på jordens fysiske og kemiske egenskaber, blandt andet jordens vandholdende evne, kationsombytningskapacitet, varmeledningsevne, adsorption af fremmedstoffer (pesticider, tungmetaller m.v.), bufferkapacitet og forvitringen af jordens mineralske bestanddele (Russell, 1973; Stevenson, 1994).

Det komplekse samspil mellem det organiske stof og jordens mineralske matrix, og det indbyrdes samspil mellem jordens forskellige kemisk/fysiske karakteristika, medfører imidlertid, at det organiske stofs direkte betydning for de enkelte jordbundsparametre sjældent kan bestemmes under systemtro forhold. Som følge heraf er det vanskeligt at præcisere det organiske stofs kvantitative bidrag til jordens frugtbarhed.

Mere overordnet har det organiske stof betydning for forhold knyttet til jordens strukturstabilitet, herunder luftskifte og vand- og stoftransport, såvel horisontalt (vind- og vanderosion) som vertikalt (nedvaskning). Gennem jordens fysisk/kemiske egenskaber påvirker det organiske stof røddernes vækst, aktiviteten af jordens mikrobielle samfund, samt jordbundsfaunaen. Det organiske stof udgør en vigtig kilde til nedbryderfødekædens forsyning med energi, kulstof og næringsstoffer.

Endelig indeholder det organiske stof en stor pulje af næringsstoffer (N, P og S), der ved det organiske stofs omsætning kan mineraliseres og udnyttes af planterne.

3.2 Virkning af tilført organisk materiale

Ved den biologiske omsætning af tilført organisk materiale (planterester, husdyrgødning, slam, kompost m.v.) frigives vand, CO_2 og plantenæringsstoffer, samtidigt med at der dannes mikrobiel biomasse og mikrobielt afledte organiske nedbrydningsprodukter. De frigivne plantenæringsstoffer kan optages af planterødder, atter fastlægges af nedbryderorganismerne eller tabes fra jorden ved nedvaskning og gasformige tab, mens de organiske nedbrydningsprodukter indgår i den videre omsætning af jordens pulje af organisk stof (Swift et al., 1979).

Tilførsel af organisk materiale har en umiddelbar effekt på størrelsen, sammen-

sætningen og aktiviteten af jordens mikrobielle biomasse og jordbundsfaunaen. Denne virkning er knyttet til de tilførte materialers letomsættelige fraktion. Tidshorisonten for denne fase af omsætningen er typisk 1 md. - 2 år.

Derudover har tilført organisk materiale en mere langsigtet virkning (tidshorisont 10-100 år) på jordens indhold af organisk stof ("humusniveau"). Denne virkning er knyttet til det tilførte materiales langsomt nedbrydelige fraktioner, samt til den videre omdannelse af de mikrobielt afledte nedbrydningsprodukter. Den langsigtede virkning er desuden forbundet med jordens beskaffenhed, herunder stabiliseringen af det nydannede organiske stof i organo-mineralske komplekser (Christensen, 1996).

Overordnet set vil virkningen af det organiske materiale være afhængig af den tilførte mængde og af materialets struktur, kemiske sammensætning og omsætningsgrad på tilførselstidspunktet. Mængden af ny-dannet organisk stof, der stabiliseres i jorden, afhænger af jordtypen, men også graden af forstyrrelse af jordens struktur (fx. ved jordbearbejdning eller ved jordbundsfaunaens aktivitet).

Ved gentagen tilførsel af organisk materiale øges jordens indhold af organisk stof, indtil der er opnået en for det pågældende økosystem karakteristisk ligevægt, hvor opbygning og nedbrydning af den organiske stofpulje er af samme størrelse. Ændringer i jordens samlede indhold af organisk stof manifesteres imidlertid først over lange tidsrum. Virkningen af en ændring i tilførsel af organisk materiale er derfor vanskelig at kvantificere. Langvarige forsøgsserier kombineret med modelsimuleringer udgør et nødvendigt grundlag for dokumentation af det organiske stofs betydning. Det må konstateres, at man ikke for nærværende for den enkelte jordtype kan fastlægge et optimalt niveau af organisk stof.

3.3 Agroøkosystemet

I udyrkede systemer er der som regel udviklet et tidsligt og stedsligt sammenfald mellem planternes behov for næringsstoffer og mineralisering af disse fra organisk stof. For udyrkede terrestriske økosystemer med vedvarende plantevækst er udvekslingen af næringsstoffer over økosystemets grænser som regel begrænset set i forhold til den indenfor systemet omsatte mængde. Udyrkede systemer kan således betragtes som relativt lukkede, idet langt hovedparten af det producerede organiske stof omsættes i systemet, hvorved energiindholdet udnyttes af nedbryderne, og næringsstofferne mineraliseres og tilbageføres til planteproduktionen.

I modsætning hertil er agroøkosystemet af natur mere åbent, idet formålet med dyrkningen er at producere foder og fødemidler, der kan eksporteres fra systemet. Herved fjernes såvel organisk stof som næringsstoffer.

I agroøkosystemet tilføres plantenæringsstoffer for at kompensere for den mængde, der bortføres med de høstede produkter. Derimod sker der sjældent en tilførsel af organisk materiale alene med det formål at kompensere for den høstede mængde af organisk materiale. Tilførsel af organisk materiale sker imidlertid som en følgevirkning, når planternes behov for næringsstoffer dækkes ved brug af organiske gødninger, og når uudnyttede afgrødedele nedmuldes. Herudover vil rodafledt organisk materiale blive efterladt i jorden uanset dyrkningspraksis.

En større kompensation for det fra agroøkosystemet bortførte organiske materiale vil medføre, at mængden af mikrobielt udnyttelig energi og kulstof i jorden øges. Virkningen vil afhænge af det tilførte organiske materiales karakter, fx. omsætningsgrad. Generelt vil der etableres en større mikrobiel biomasse og derigennem en større jordbundsfauna. Faunaen vil kunne påvirke den mikrobielle aktivitet, samt findelingen og fordelingen af det tilførte organiske materiale. De større jordbundsdyr vil påvirke jorden ved blanding af jordlagene og ved etablering af bioporer, der kan have betydning for vand- og stoftransport via præferencestrømning.

Mens agroøkosystemets produktivitet uden kompensation for de bortførte plantenæringsstoffer relativt hurtigt vil reduceres til et økonomisk uacceptabelt niveau (Christensen et al., 1994), har kompensation af den høstede mængde organisk materiale ikke vist en tilsvarende mere umiddelbar effekt på planteproduktionens omfang og kvalitet. Selv i dyrkningssystemer baseret på mineralske gødninger og kornrige sædskifter uden halmnedmuldning har produktionens omfang hidtil kunnet opretholdes med den nuværende dyrkningsteknologi. Det er dog usikkert, hvorvidt jordens frugtbarhed vil påvirkes på lang sigt.

Med begrænsninger i valg af dyrkningsteknologi (gødskning, plantebeskyttelse, vanding, jordbearbejdning, m.v.) vil såvel type som mængde af tilført organisk materiale kunne få øget betydning for jordens produktivitet. Undlades brug af mineralsk gødning, vil plantenæringsstoffer tilført med organisk materiale være afgørende, specielt for afgrøder uden evne til at binde atmosfærisk kvælstof (N_2-fixering). Afgrødernes forsyning med plantenæringsstoffer vil i højere grad blive bestemt af jordens evne til at stille næringsstoffer til rådighed ved biologisk betinget mineralisering, ved diverse kemiske reaktioner, og ved forvitring af jordens mineralske komponenter.

Uden brug af kemiske plantebeskyttelsesmidler vil samspillet mellem plantepatogener, jordens øvrige mikrobielle samfund og jordbundsfaunaen få større betydning for afgrødens sundhedstilstand og dermed også mængde og kvalitet af de høstede produkter. Mængde, type og omsætningsgrad af tilført organisk materiale vil kunne påvirke jordens sygdomshæmmende evne (Alabouvette, 1986; Doube et al., 1994; van Bruggen & Grünwald, 1994). Denne virkning skal ses i sammenhæng med samspillet mellem afgrødens næringsstofstatus, indholdet af sekundære metabolitter og afgrødens modtagelighed for sygdomme.

Udover de nævnte forskelle i typen af næringsstofkredsløb og det organiske materiales skæbne, afviger agroøkosystemet fra det udyrkede system ved, at jorden udsættes for hyppige forstyrrelser ved jordbearbejdning. Desuden er planteproduktionen i det udyrkede system baseret på et mere diverst plantesamfund med en blanding af enårige og flerårige vækster, mens agroøkosystemet i vidt omfang beror på monokulturer af enårige vækster. Disse har generelt et andet rodsystem end flerårige vækster og udviser ofte et højt næringsstofbehov i en meget aktiv men relativt kort vækstfase.

De grundlæggende forskelle mellem udyrkede og dyrkede systemer medfører, at det dyrkede system uundgåeligt vil give anledning til en større udveksling af næringsstoffer med omgivelserne og normalt til et mindre indhold af organisk stof i jorden.

3.4 Kulstofkredsløbet

Med hensyn til kulstof må både udyrkede og dyrkede systemer betragtes som relativt åbne. Den ved omsætningen af organisk stof dannede CO_2 frigives langt overvejende til atmosfæren, og tilsvarende bindes ved planternes fotosyntese CO_2 fra luften. Globalt skønnes det (Schimel, 1995), at de øvre jordlag totalt indeholder dobbelt så meget kulstof (1580 Gt C) som atmosfæren (750 Gt C). Den årlige udveksling af kulstof mellem terrestriske økosystemer og atmosfæren udgør godt 8% (62 Gt C) af atmosfærens indhold eller ca. 20 gange mere end den af menneskelig aktivitet afledte årlige netto stigning i luftens CO_2 indhold (ca. 3 Gt C).

Det organiske stof i jorden spiller en vigtig rolle i kulstofkredsløbet. Under danske forhold kan det beregnes, at dyrket jord (0-25 cm) indeholder 25-100 t C/ha, idet organogene (humus) jorde sædvanligvis viser betydeligt højere indhold. Til sammenligning kan det anføres, at C indholdet i en gammel bøgebevoksning (Strødam) blev bestemt til 85 t C/ha i skovbunden (L, F og H lag) og ialt 197 t C/ha i de øverste 1,5 m (Christensen & Malmros, 1984).

Det er beregnet (Olesen, 1991), at der i de øverste 60 cm af de bevoksede arealer i danmark findes ca. 600 mio. t C (3,45 mio. ha), hvoraf de 180 mio. t C findes i organogene jorde. Med udgangspunkt i langvarige forsøg ved Askov Forsøgsstation er det beregnet, at dette areal kan give anledning til en årlig netto CO_2 emission til luften på mellem 0 og 2,7 mio. t C, afhængigt af antagelser om tilførsel af C til jorden med planterester (herunder rod-afledt C). I en situation med høj C tilførsel til jorden viser beregningerne (Tabel 1), at der for de fleste jordtyper vil kunne ske en netto-binding af CO_2 i form af ophobning af organisk stof. Tabet af C fra organogene jorde er imidlertid så stort, at det samlede regnskab viser et netto tab af CO_2.

For nærmere at afklare problemstillingen mellem tilførsel/fjernelse af organisk materiale fra dyrket jord (fx. med henblik på anvendelse i energisektoren) og jordens kulstofbalance er der et markant behov for større viden om den samlede C

Tabel 1 Modelberegninger af årlig netto CO_2 emission fordelt på jordtyper og ved antagelse af høj kulstoftilførsel med planterester. Fra Olesen og Holm-Nielsen (1995).

Jordtype	Andel af areal (%)	Netto CO_2 emission (mio. t C/år)
Grovsandet	19	-0,08
Finsandet	8	-0,05
Lerblandet sand	22	-0,14
Sandblandet ler	19	-0,33
Ler	5	-0,05
Svær ler	1	0,03
Humus	3	0,74
Ialt	100	0,12

(- = netto binding)

tilførsel (incl. stub og rodafledt organisk stof) ved forskellige dyrkningssystemer, omsætningen af det tilførte C, og den aktuelle arealanvendelse fordelt på jordtyper.

3.5 Sammenfatning

- Indholdet af organisk stof har en positiv indflydelse på en række faktorer af betydning for jordens generelle frugtbarhed, forstået som jordens evne til vedvarende at understøtte en planteproduktion, der er forsvarlig med hensyn til omfang, kvalitet, rentabilitet og påvirkning af det omgivende miljø.
- På grund af det komplekse samspil mellem de dyrkningsmæssige tiltag og jordbundsfaktorerne kan det organiske stofs direkte bidrag til jordens frugtbarhed ikke for nærværende isoleres og kvantificeres under systemtro forhold.
- Der kan ikke for nærværende fastsættes et for den enkelte jordtype optimalt niveau af organisk stof.
- Tilførsel af organisk materiale øger aktiviteten i nedbryderfødekæden og jordens indhold af organisk stof, samt bidrager til jordens pulje af plantenæringsstoffer. Virkningen af det organiske materiale afhænger af mængden og typen af tilført materiale og af jordens beskaffenhed.

- Ændringer i jordens indhold af organisk stof manifesteres over lange tidsrum, og virkningen af ændringer i puljen af organisk stof er derfor vanskelig at verificere eksperimentelt. Langvarige forsøgsserier kombineret med modelsimuleringer må inddrages for at dokumentere det organiske stofs betydning.
- Uden kompensation for de bortførte plantenæringsstoffer vil agroøkosystemets produktivitet relativt hurtigt falde til et økonomisk uacceptabelt niveau. Med den nuværende dyrkningsteknologi (gødskning, plantebeskyttelse, vanding, jordbearbejdning m.v.) ses ikke en tilsvarende reduktion ved undladelse af kompensation for bortført organisk materiale.
- Med begrænsninger i valg af dyrkningsteknologi (gødskning, plantebeskyttelse, vanding, jordbearbejdning, m.v.) vil såvel jordens indhold af organisk stof og de deri bundne plantenæringsstoffer som kompensation for bortført organisk materiale kunne få øget betydning for agroøkosystemets produktivitet.
- Uanset valg af dyrkningsteknologi vil agroøkosystemet uundgåeligt give anledning til en større udveksling af næringsstoffer med omgivelserne og normalt til et mindre indhold af organisk stof i jorden, sammenholdt med udyrkede systemer med vedvarende plantevækst og et mere diverst plantesamfund.
- Det er uafklaret, hvorvidt den dyrkede jord bidrager til den nationale CO_2 emission. Jordens store indhold af C og den betydelige årlige udveksling af CO_2 mellem atmosfæren og agroøkosystemet fordrer en analyse af samspillet mellem dyrkningspraksis, arealanvendelse og ændringer i jordens C lager.

4. Dyrkningens virkning på kulstofpuljen

I dette afsnit behandles virkningen af halmnedmuldning, afgrødevalg og gødskning på indholdet af C i pløjelaget. Derudover er medtaget resultater fra undersøgelser af rodafledt C i kornafgrøder. Resultaterne hidrører primært fra danske undersøgelser baseret på markforsøg. Fordelen herved er, at klima, jordbundsforhold, dyrkningsteknik samt driftsledelse i forbindelse med forsøgene er realistiske i forhold til dansk landbrugspraksis.

4.1 Halmnedmuldning

I forbindelse med det landbrugsministerielle forskningsprogram *Halmforskning 80-84* blev der gennemført en omfattende indsats vedrørende virkning af halmnedmuldning. Resultaterne herfra er sammenskrevet af Christensen og Schjønning (1987). Derudover har Christensen (1987) i form af en kortfattet oversigtsartikel behandlet en række emner knyttet til halmnedmuldning og jordens frugtbarhed.

Tabel 2 viser mængden af halmafledt C, der resterer i jorden til forskellig tid efter en enkelt tilførsel af halm. Efter et års forløb findes godt 30% af halmens C stadig i jorden. Hovedparten heraf er indbygget i mikrobiel biomasse og mikrobielle nedbrydningsprodukter. Efter 20 år kan ca. 9% af den tilførte C mængde stadig genfindes i jorden (Sørensen, 1987). Af denne mængde er ca. 98% indbygget i jordens kulstofpulje og 2% i den mikrobielle biomasse.

Tabel 2 Halmafledt C i jord tilført ^{14}C-mærket byghalm (efter Christensen og Schjønning, 1987).

		% af tilsat halm-C tilbage i jorden efter								
		10	1	3	1	2	3	6	8	20
	JB.nr.	dage	mdr.		år					
Askov sand	3	74	71	57	32	22	18	15		
Ll. Valby	4								16	9
Højer	7	63	51	39	32	27	24	22		
Ribe	9	67	56	45	32	29	25	23		
Gennemsnit		68	61	49	32	26	22	20	16	9

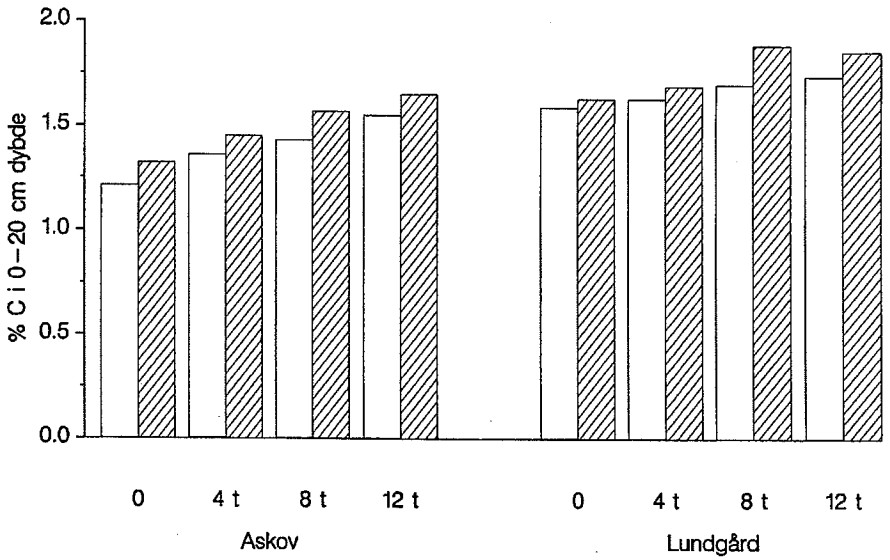
Tabel 3 viser resultater fra en forsøgsserie, hvor halmnedmuldningens indflydelse på jordens C indhold blev bestemt efter 10 års gentagen halmnedmuldning til vårbyg. Der blev udelukkende anvendt handelsgødning, og den årligt nedmuldede halmmængde var 4-5 t/ha. Det ses, at halmnedmuldning i forhold til fjernelse af halm øger jordens C indhold med 3-10%. På baggrund af disse tal beregnede Schjønning (1986), at det ville tage 15 til 56 år at opnå et ligevægtsniveau i jordens C indhold, og at den af halmnedmuldningen forårsagede stigning ved ligevægt ville være 3-16%. Som gennemsnit for de fire jordtyper bestemtes 34 år og en forøgelse på 7,6%. Dette er i overensstemmelse med resultater fra andre forsøgsserier med ensidig vårbygdyrkning og nedmuldning af normale halmmængder (Schjønning, 1986; Rasmussen og Andersen, 1991), herunder forsøg gennemført af de landøkonomiske foreninger (Skriver, 1984).

Tabel 3 Halmnedmuldningens indflydelse på indholdet af C i pløjelaget (0-20 cm) efter 10 års gentagen behandling (Schjønning, 1986).

Forsøgssted	JB.nr.	Halmen fjernet %C	Halmen nedmuldet %C	% stigning ved nedmuldning
Jyndevad	1	1,53	1,58	3,3
Askov	3	1,18	1,24	5,1[a]
Rønhave	7	1,33	1,43	7,5[a]
Højer	7	1,56	1,71	9,6

[a] = statistisk sikker forskel mellem halm fjernet og nedmuldet

Virkningen af halmnedmuldning på jordens C indhold afhænger af den nedmuldede halmmængde. Figur 1 viser, at jordens C indhold i det undersøgte område stiger næsten proportionalt med den nedmuldede halmmængde, og at virkningen af halm er væsentlig større på den mere lerrige Askov jord (JB5) end den grovsandede Lundgård jord (JB1). En større tilbageholdelse af halmafledt C på mere lerrige



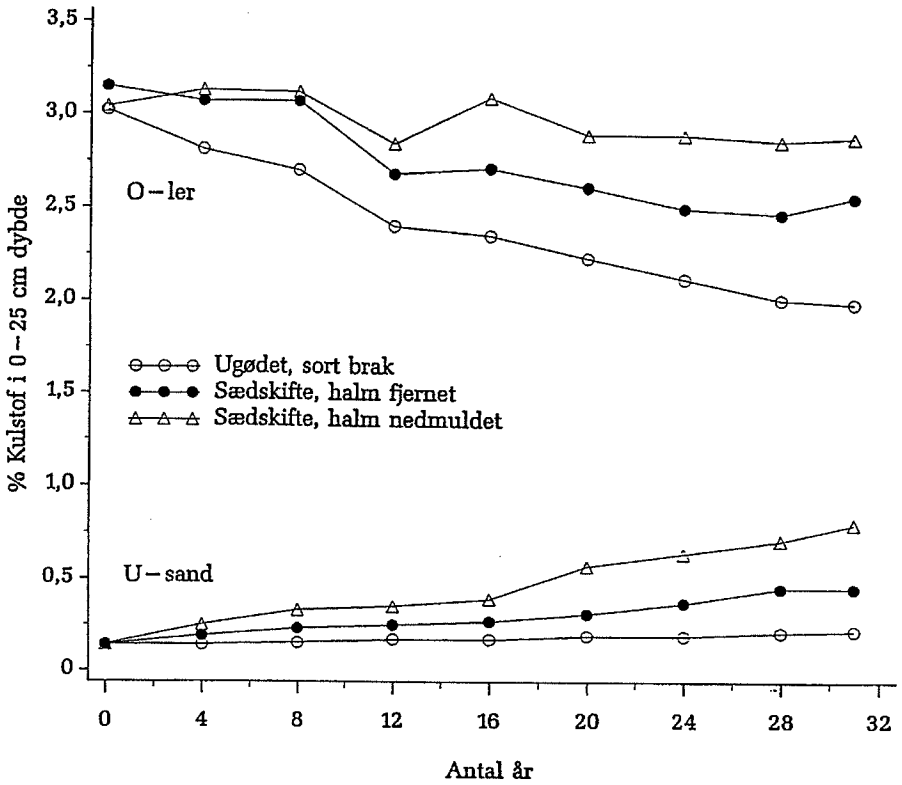
***Figur 2** Indholdet af C i jord efter årlig nedmuldning af 0, 4, 8 og 12 t halm/ha (□) til vårbyg ved Askov (12 år) og Lundgård (11 år). Skraverede søjler angiver samtidig dyrkning af rajgræs som efterafgrøde (▨) i de seneste 3-4 år. Resultater fra Thomsen (1995).*

jorde er i overensstemmelse med resultater sammenstillet af Schjønning (1986) for 15 forsøgsarealer med mere end 10 års nedmuldning af normale halmmængder (Tabel 4). Udover lerindholdet udviser jordene et forskelligt C indhold. De grovsandede jorde har uanset halmhåndtering et højere C indhold end de mere lerede jorde.

Tabel 4 Halmnedmuldningens indflydelse på jordens indhold af C. 15 forsøgssteder med mindst 10 års gentagen halmnedmuldning (Schjønning, 1986).

		% C i 0-20 cm dybde			
		Halmen			
% ler	Jordtype	fjernet	nedmuldet	Relativ stigning %	Antal forsøgssteder
2-5	sandjord	1,9	+0,03	1,6	7
7-10	lerblandet sandjord	1,3	+0,03	2,3	3
11-14	sandblandet lerjord	1,2	+0,07	6,0	3
17-18	lerjord	1,5	+0,13	8,8	2

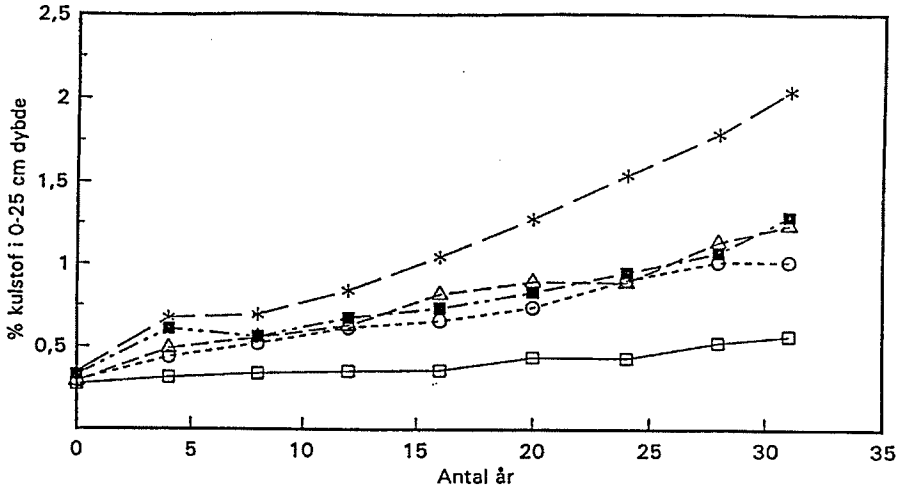
Samspillet mellem jordens C indhold og virkningen af halmnedmuldning fremgår af et 30 årigt forsøg ved Askov Forsøgsstation (Figur 2). Der indgik overjord (O-ler) med et ved forsøgets anlæg relativt højt indhold af C (tidligere vedvarende græsjord, JB4) og opgravet undergrundssand (U-sand) med lavt indhold af C ved anlæg. For O-ler's vedkommende faldt indholdet af C i alle behandlinger. For ugødet, ubevokset brak var det relative fald i perioden ca. 35%. Stråsædsafgrøder med halmnedmuldning kunne bedre opretholde jordens C niveau. For U-sand sås en 4-dobling af jordens indhold af C ved halmnedmuldning. Dette forsøg illustrerer også, at rodafledt C og C efterladt i stub udgør et væsentligt bidrag til jordens pulje af C.



***Figur 3** Virkning på jordens C indhold af ugødet, ubevokset brak og dyrkning af stråafgrøder med og uden halmnedmuldning på lerjord med højt C indhold (O-ler) og sandjord med lavt C indhold (U-sand). Resultater fra Christensen (1988).*

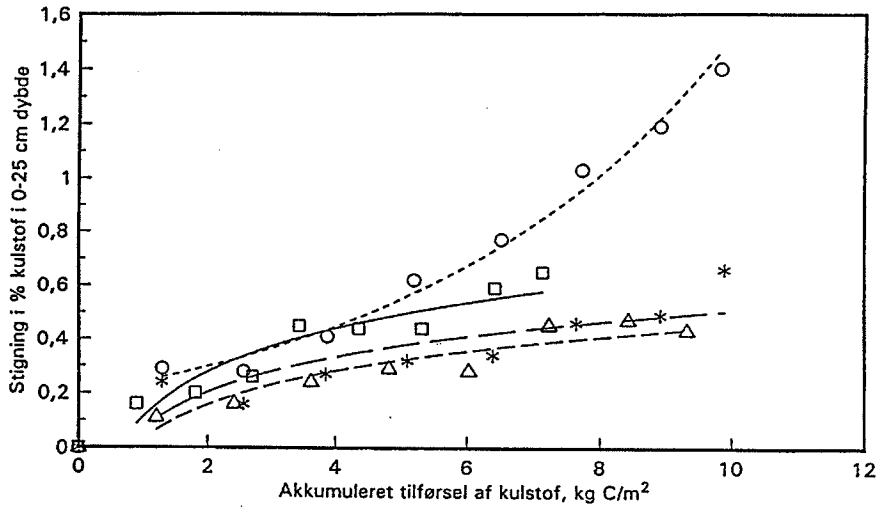
Virkning af forskellige C holdige tilførsler, herunder halm, er belyst i et andet 30-årigt forsøg med U-sand. Der blev årligt tilført fast staldgødning, sphagnumtørv, halm eller savsmuld svarende til 6,5 t tørstof/ha. Stigningen over 30 års perioden var stort set den samme efter årlig tilførsel af staldgødning, halm og

savsmuld (Figur 3).



Figur 4 *Udviklingen i indholdet af C i sandjord med lavt indhold af organisk stof (U-sand) efter årlig tilførsel af 6,5 t tørstof/ha i form af halm (○), fast staldgødning (△), savsmuld (■) og sphagnumtørv (*). Jord uden tilførsel er medtaget som reference (□). Resultater fra Christensen og Johnston (1996).*

Beregnet på grundlag af tilført C gav staldgødning anledning til et højere C niveau i jorden end savsmuld og halm (Figur 4). Efter 100 års gentagen årlig tilførsel vil det beregnede indhold i 0-25 cm dybde være henholdsvis 1,12, 1,00 og 0,92 %C.



Figur 5 *Netto-stigning i indhold af C i sandjord med lavt indhold af organisk stof (U-sand) som følge af årlig tilførsel af halm (△), fast staldgødning (□), savsmuld (*) og sphagnumtørv (○). Resultater fra Christensen og Johnston (1996).*

Det kan konkluderes, at årlig nedmuldning af normale halmmængder på langt sigt vil kunne øge den dyrkede jords C indhold med mellem 3 og 15% set i forhold til at fjerne halmen fra marken. Virkningen af halmnedmuldning vil være størst på de mere lerrige jorde med lavere C indhold og mindst på grovsandet jord.

Uden begrænsninger i valg af dyrkningsteknologi (gødskning, plantebeskyttelse, vanding, jordbearbejdning, m.v.) har halmnedmuldning normalt kun en mindre indflydelse på høstudbyttet (Christensen & Schjønning, 1987; Rasmussen & Andersen, 1991; Thomsen & Petersen, 1991). De foreliggende resultater viser, at halmnedmuldning på sandjord normalt påvirker udbyttet svagt positivt. Ved årlig nedmuldning i en længere årrække synes der også på de mere lerrige jorde at kunne opnås en mindre udbyttestigning ved halmnedmuldning (Rasmussen &

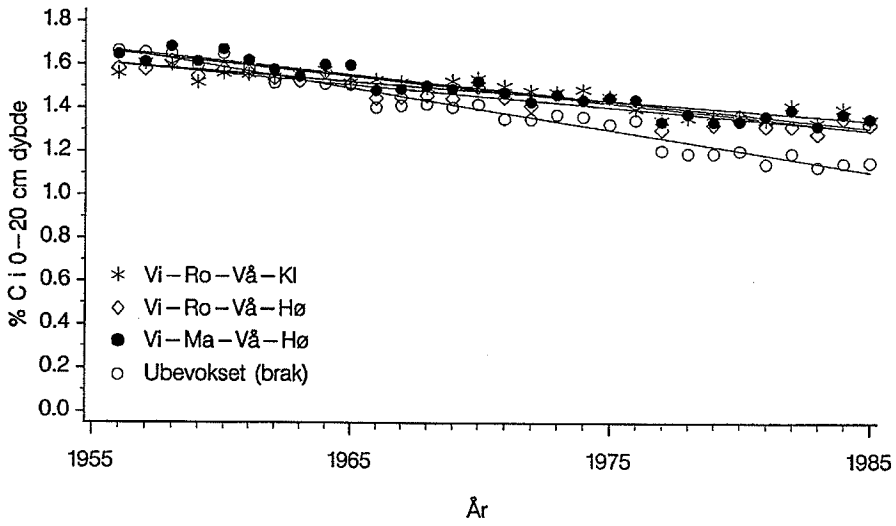
Andersen, 1994; Thomsen, 1995).

Med udgangspunkt i et indhold på 56 t C/ha og en halmafledt stigning på 7,5% vil årlig nedmuldning af halm på længere sigt medføre en C lagring i 0-25 cm dybde (pløjelaget) på 4,2 t C/ha. Med et samlet kornareal på 1,4 mio. ha vil forskellen mellem at fjerne eller nedmulde halmen på hele arealet svare til en lagring i jorden på 6 mio. t C. Til sammenligning kan anføres, at den nationale CO_2 emission ved anvendelse af fossile energikilder i 1994 androg 17 mio. t C (ca. 60 Mt CO_2) (Energistyrelsen, 1995a).

4.2 Afgrødevalg og sædskifte

Afgrødevalgets virkning på jordens C pulje er knyttet til rodsystemets beskaffenhed, antal af planter pr. arealenhed, henfald af overjordisk plantebiomasse i vækstforløbet, vækstperiodens længde, og omfanget af jordbearbejdning i forbindelse med afgrødens dyrkning. Således vil græs med en høj plantetæthed, en lang aktiv vækstperiode, og et aktivt rodsystem med stor udbredelse og stor rodtæthed give en større tilførsel af rodafledt organisk stof end salgsafgrøder med kort vækstperiode og rækkeafgrøder med relativt få planter pr. arealenhed. I sædskifter med stor andel af salgsafgrøder (korn, raps og ærter) og rækkeafgrøder (roer, kartofler og majs) vil det gennemsnitlige årlige antal af jordbearbejdninger være højere end i sædskifter med flerårige græsmarker.

Figur 5 viser udvikling i jordens C indhold over en 30-årig periode i et markforsøg ved Askov Forsøgsstation. I forsøget blev tre sædskifter sammenlignet med et ubevokset (brak) areal, der blev tilført samme mængde handelsgødning som arealerne med de tre sædskifter. I løbet af perioden faldt C indholdet i pløjelaget (0-20



Figur 6 *Udviklingen i jordens indhold af C ved ubevokset (brak) og forskellige sædskifter (Vi = vinterhvede, Ro = roer, Vå = vårbyg, Kl = kløvergræs, Hø = hør, Ma = majs). Forsøget gennemført på Lermarken, Askov (Christensen, 1990).*

cm) med 34%, når jorden blev holdt ubevokset (Tabel 5). Det mindste fald blev observeret, når kløvergræs udlagt i vårsæden indgik i sædskiftet, men med en kløvergræsafgrøde hvert fjerde år var forskellen dog beskeden. Forskellen mellem roer og majs som rækkeafgrøde i sædskiftet var ikke statistisk sikker.

Tabel 5 Udvikling i jordens indhold af C fra 1956-1985 ved ubevokset (brak) og forskellige sædskifter beregnet ved anvendelse af lineær regression af typen y = a + bx, hvor y = pct. C i jorden (0-20 cm) og x = antal år efter forsøgsanlæg. Gns. af B_3- og B_4-markerne (Lermarken, Askov). r^2 er korrelationskoefficienten. Resultater fra Christensen (1990).

Sædskifte[1)]	Indhold målt ved anlæg, %	Beregnet indhold, %		r^2	Beregnet gns. årligt fald		Relativt fald over 30 år, %[3)]
		ved anlæg	efter 30 år		mg C/g	kg C/ha[2)]	
Vi-Ro-Vå-Kl	1,56	1,61	1,35	0,84	0,088a[4)]	269	16
Vi-Ro-Vå-Hø	1,58	1,61	1,30	0,87	0,102ab	320	19
Vi-Ma-Vå-Hø	1,65	1,67	1,32	0,90	0,118b	362	21
Ubevokset (brak)	1,66	1,68	1,11	0,96	0,190c	589	34

[1)]Vi = vinterhvede, Ro = roer, Vå = vårbyg, Kl = kløvergræs, Hø = hør, Ma = majs

[2)]Vægt af 0-20 cm jordlag sat til 3100 t/ha (vol. vægt = 1,55 t/m^3)

[3)]Relativt fald = absolut fald i procent af beregnet indhold ved anlæg

[4)]Værdier efterfulgt af samme bogstav er ikke signifikant forskellige på 95 pct. niveau

I et andet 30-årigt forsøg (Tabel 6) sammenlignedes forskellige dyrkningssystemer på en lerjord med højt C indhold (O-ler), en sandjord med lavt C indhold (U-sand), samt lerjord med lavt C indhold (U-ler). O-ler jorden havde forud for forsøget været i vedvarende græs og havde derfor et højt C indhold. I forhold til den tilsvarende behandling i markforsøget (Tabel 5; 1,6% C i jorden) viste sædskiftet med kløvergræs hvert fjerde år (Tabel 6, afgrødesystem 4) et næsten dobbelt så stort årligt tab af C fra jorden med højt C indhold (O-ler; 3% C). For de to jorde med lavt C indhold (U-sand og U-ler) bidrog sædskiftet derimod til opbygning af jordens C pulje. Et øget antal år med kløvergræs i sædskiftet havde en positiv virkning på jordens C indhold (Tabel 6), mens dyrkning udelukkende af rodfrugter kun virkede halvt så godt som sædskiftet med handelsgødning. Det bemærkes, at supplering med fast husdyrgødning forbedrede C lagringen markant i forhold til anvendelse af handelsgødning alene.

Tabel 6 Årlig ændring i C indholdet i 0-25 cm dybde beregnet ud fra resultater fra 30-årige forsøg ved forskellige afgrødesystemer på C rig jord (O-ler) og to C fattige jorde (U-sand, U-ler) placeret i rammer ved Askov Forsøgsstation (Christensen, 1988). Ved beregningen er antaget 3750 t jord/ha.

Afgrødesystem	Årlig ændring i jordens C indhold (kg C/ha)		
	O-ler (3% C)	U-sand (0,1% C)	U-ler (0,2% C)
1 Ubevokset, ugødet	-1249 (218)	+90 (18)	
2 Stråsæd, halm fjernet, HA[2)]	-851 (148)	+371 (72)	
3 Stråsæd, halm nedmuldet, HA	-319 (56)	+765 (149)	
4 Sædskifte[1)], HA	-574 (100)	+514 (100)	+578 (100)
5 Sædskifte med HU[3)]	-308 (54)	+724 (141)	+960 (166)
6 Rodfrugter, HA	-926 (161)	+240 (147)	
7 3 år kløvergræs + 1 år roer, HA	-458 (80)	+596 (116)	

[1)]vintersæd, roer, vårsæd, kløvergræs

[2)]HA = handelsgødning

[3)]HU= fast husdyrgødning

Udover valg af hovedafgrøder vil anvendelse af mellemafgrøder (efterafgrøder og grøngødningsafgrøder) i perioder, hvor jorden ellers ville være ubevokset medvirke til et øget C indhold i jorden. Figur 1 viser virkningen af rajgræs udsået i vårbyg og anvendt som efterafgrøde med nedmuldning sent efterår. Efterafgrø-

den har øget jordens C indhold med 3-12% i forhold til behandlingerne uden rajgræs. En tilsvarende virkning af rajgræs brugt som efterafgrøde ved ensidig korndyrkning er fundet for grovsandet jord ved Jyndevad og lerrig marskjord ved Højer (Tabel 7). Rajgræs-efterafgrødens virkning på jordens C indhold svarer således stort set til virkningen ved nedmuldning af normale halmmængder (4-6 t halm/ha). Af Figur 1 fremgår også, at virkningen af halm og rajgræs-efterafgrøde omtrent er additiv.

Tabel 7 Indhold af C i 0-10 cm og 10-20 cm dybde efter mere end 10 år med ensidig korndyrkning (primært vårbyg) med og uden rajgræs som efterafgrøde. Resultater fra Rasmussen (1991).

	% C i jorden			
	Jyndevad		Højer	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Uden efterafgrøde[1)], pløjet	1,86 (100)	1,85 (100)	1,58 (100)	1,55 (100)
Med efterafgrøde, pløjet	2,07 (111)	1,92 (104)	1,73 (109)	1,69 (109)
Med efterafgrøde, pløjefri dyrkning	2,15 (116)	1,88 (102)	2,03 (128)	1,75 (113)

[1)]Rajgræs isået om foråret, gødet efter kornhøst, og et slæt fjernet primo november

Anvendelse af gul sennep som efterafgrøde, udsået efter høst af hovedafgrøden, bidrager kun lidt til jordens C pulje (Tabel 8). Samtidig nedmuldning af halm og dyrkning af gul sennep som efterafgrøde synes ligeledes at have en additiv virkning på jordens C indhold.

Tabel 8 Jordens indhold af kulstof (% C) i 0-10 cm dybde efter syv år med eller uden nedmuldning af halm og efterafgrøde (gul sennep) ved ensidig vårbygdyrkning med handelsgødning. Tal i parentes angiver forholdstal. Resultater fra Rasmussen og Andersen (1991).

	Askov	Borris	Roskilde	Rønhave	Højer	Gns.
Halm fjernet	1,64(100)	1,62(100)	1,54(100)	1,37(100)	1,67(100)	1,57(100)
Halm nedmuldet	1,73(105)	1,60 (99)	1,63(106)	1,50(109)	1,82(109)	1,65(105)
Efterafgrøde	1,59 (97)	1,64(101)	1,56(101)	1,42(104)	1,70(102)	1,58(101)
Halm+efterafgrøde	1,77(108)	1,61 (99)	1,60(104)	1,56(114)	1,86(111)	1,68(107)

4.3 Husdyrgødning

Husdyrgødningens virkning på jordens C indhold vil afhænge af type, tilført mængde, indhold af strøelse og omsætningsgrad. Fæcesdelen består af uomsatte eller delvist omsatte foderkomponenter, organisk materiale udskilt fra dyrets fordøjelsessystem, samt mikrobiel biomasse og diverse mikrobielt afledte nedbrydningsprodukter hidrørende fra fordøjelsesprocessen. Afhængigt af dyreart og fodringsintensitet vil fæcesdelen kunne variere betydeligt med hensyn til efterfølgende omsættelighed. De udskilte foderkomponenter vil typisk være domineret af svært nedbrydelige plantefraktioner.

Ved udnyttelse af fast husdyrgødning (inkl. dybstrøelse) opblandes fæcesdelen med strøelse og urin, og blandingen vil være komposteret i varierende grad inden gødningen udbringes. Fast husdyrgødning vil typisk indeholde en relativt stor del af langsomt omsætteligt organisk stof. Ved tilførsel af ækvivalente mængder C vil fast husdyrgødning derfor bidrage mere til jordens C pulje end uomsatte plantereester som fx. halm (Figur 4).

Tabel 9 viser indholdet af C i Askov og Lundgård jord efter årlig tilførsel af 25,

50 og 100 t gødning/ha over en periode på 12 år. Gødningen var enten kvæggylle med 7% tørstof eller fast kvæggødning med 23% tørstof. I forhold til anvendelse af handelsgødning øgedes jordens C indhold ved brug af husdyrgødning, og fast gødning gav generelt anledning til den største stigning ved tilførsel af ækvivalente mængder friskvægt. Beregnet på basis af den tilførte tørstofmængde har gylle og fast staldgødning i disse forsøg haft stort set samme effekt på jordens C indhold. Indholdet af C i Lundgård jorden var ved forsøgets anlæg på 1,5% og bortset fra handelsgødning har alle gødningstilførsler øget C indholdet. På Askov jorden var der 2,7% C i jorden ved forsøgets begyndelse. Dette for Askov jorden høje C indhold faldt i alle forsøgsbehandlinger. Kun 100 t staldgødning hvert år har kunnet opretholde C puljen på dette areal.

Tabel 9 Virkning af kvæggylle (7% tørstof) og fast kvæggødning (23% tørstof) på jordens C indhold (% C i 0-25 cm) efter årlig tilførsel af i gennemsnit 25, 50 og 100 t gødning/ha over en periode på 12 år. Sædskiftet var roer (majs på JB1), byg, rajgræs og byg. Fra Larsen og Kjellerup (1989), samt upubliceret materiale.

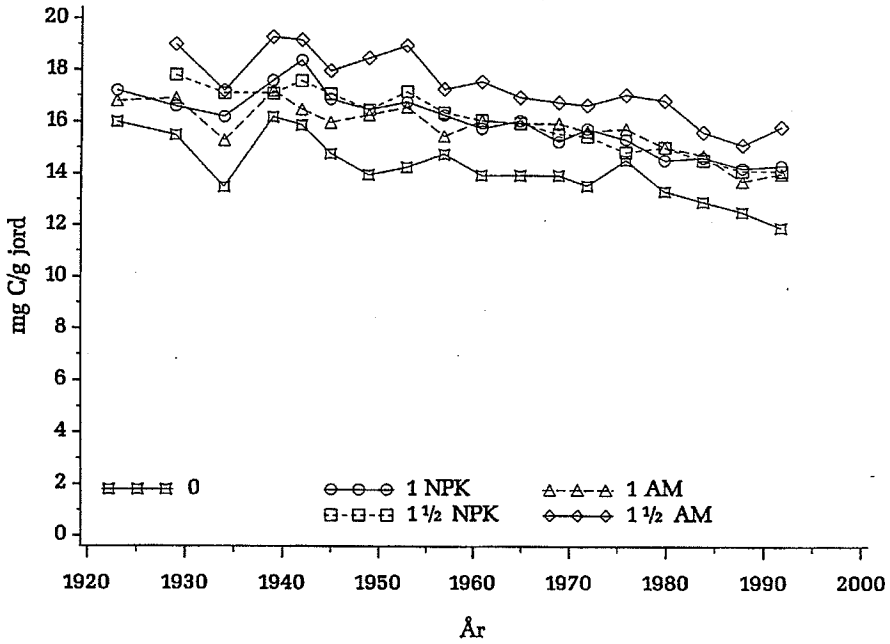
	Lundgård (JB1)		Askov (JB5)	
Friskvægt/ha/år	Gylle	Fast gødning	Gylle	Fast gødning
Handelsgødning[1)]	1,45 (100)		2,21 (100)	
25 t husdyrgødning	1,53 (106)	1,55 (107)	2,26 (102)	2,37 (107)
50 t husdyrgødning	1,59 (110)	1,69 (117)	2,30 (104)	2,53 (114)
100 t husdyrgødning	1,60 (110)	1,98 (137)	2,39 (108)	2,74 (124)

[1)]referenceled uden tilførsel af husdyrgødning

I de langvarige gødningsforsøg ved Askov Forsøgsstation (anlagt 1894) ses også en generelt faldende tendens i jordens C indhold (Figur 6), selvom C niveauet på dette areal er lavere end i ovennævnte forsøg. Indtil 1972 modtog 1 AM behandlingen fast husdyrgødning (10 t/ha/år i gennemsnit af sædskiftet), derefter er der tilført gylle (25 t/ha/år). Ved 1 NPK tildeles handelsgødning med et N, P og K indhold svarende til 1 AM. Figur 6 viser, at indholdet af C i jorden er mindsket i alle behandlinger, og at det gennemsnitlige årlige tab af C tilsyneladende har været uafhængigt af behandlingerne. Et generelt fald i jordens C pulje kan tilskrives virkningen af den almindelige dyrkningspraksis på mineralisering af det organiske stof, der var opbygget i jorden forud for opdyrkningen omkring år 1800. Sådanne langsigtede dyrkningsbetingede fald i jordens C indhold er også fundet i udenlandske langvarige markforsøg (Christensen og Johnston, 1996).

Med hensyn til virkningen af gødskning viser Figur 6, at det ugødede led har et lavere C niveau end led med gødningstilførsel. Dette må tilskrives den større mængde rod og stubrester, der efterlades af de større afgrøder på gødede led. Generelt er udbytterne 2 til 3,5 gange større ved tilførsel af 1 NPK og 1 AM. Ved 1½ NPK opnås samme C indhold som ved 1 NPK og 1 AM, hvilket kan betyde, at mængden af tilført stub og rod-afledt C ikke stiger i samme takt som det indhøstede udbytte (Christensen et al., 1994). Ved tilførsel af 1½ AM etableres et højere C indhold i jorden. Idet der tilføres samme mængde N, P og K og høstes stort set samme udbytte ved 1½ NPK og 1½ AM, må denne stigning tilskrives organisk materiale tilført med husdyrgødningen.

I overensstemmelse med resultaterne vist i Tabel 9 viser også det langvarige forsøg, at husdyrgødning giver anledning til et øget C indhold i jorden, men også at der kræves større mængder husdyrgødning for at opnå en betydende stigning i jordens C indhold.



***Figur** 7 Udviklingen i indholdet af C i pløjelaget (0-20 cm) på B_3-marken i de langvarige gødningsforsøg ved Askov Forsøgsstation. Figuren viser behandlingerne: ugødet (0), to niveauer af handelsgødning (NPK) og af husdyrgødning (AM). Fra Christensen og Johnston (1996).*

Ud fra de foreliggende resultater må det konkluderes, at husdyrgødning vil give anledning til et højere C indhold i jorden, end når tilsvarende mængder næringsstoffer tilføres med handelsgødning. Virkningen af husdyrgødning er større end ved tilførsel af samme mængde C i afgrøderester. Beregnet på grundlag af tilført tørstofmængde synes der ikke at være forskel på gylles og fast husdyrgødnings bidrag til vedligeholdelse eller opbygning af jordens C niveau. Såfremt jordens C indhold ønskes øget markant over en kortere årrække kræves betydelige årlige tilførsler af husdyrgødning med et relativt stort tørstofindhold.

4.4 Rodafledt kulstof

Uanset håndteringen af de overjordiske afgrøderester vil dyrket jord blive tilført betydende mængder C via rodafledt organisk stof. Det rodafledte C hidrører fra rødder og rodexudater m.v., der produceres og omsættes i selve vækstperioden, og fra den del af rodsystemet, der efterlades og nedbrydes i jorden efter høst af afgrøden. Mængden af rodafledt C vil derfor afhænge af afgrødetype (rodsystem, rodtæthed), vækstperiodens længde, og til en vis grad af afgrødens produktionsniveau. Der er dog næppe nogen simpel sammenhæng mellem en afgrødes overjordiske og underjordiske produktion.

Tabel 10 viser mængden af rodafledt C i vår- og vinterbyg. Resultaterne er baseret på $^{14}CO_2$ pulsmærkninger af afgrøderne i marken. Igennem hele vækstperioden blev der fra vårbyg sendt 1,7 t C/ha ned i rod og jord. Fem dage efter mærkningen var de 23% frigivet igen som CO_2 ved rod- og mikrobiel respiration, mens 18 og 59% kunne genfindes i henholdsvis makrorødder og jord. For vinterbyg var den samlede rodafsætning i vækstperioden 2,4 t C/ha. For denne afgrøde blev imidlertid 40% omdannet til CO_2 indenfor de første 5 dage efter mærkningen.

Tabel 10 Overjordisk og underjordisk planteproduktion i vår- og vinterbyg. Resultater baseret på $^{14}CO_2$ pulsmærkning under markforhold. Fra Jensen og Christensen (1993).

	1990, Vårbyg			1991, Vinterbyg		
	kg C/ha	%		kg C/ha	%	
Overjordisk produktion	4703		100	7433		100
Underjordisk produktion	1652	100	35	2372	100	32
Respiration (dag 0-5)	394	23	8	936	40	13
Makro-rødder (rodvask)	303	18	6	472	20	6
Jord	955	59	20	964	40	13

Ved modenhed af vårbyg og vinterbyg kunne der ved traditionel rodvaskeprocedure isoleres henholdsvis 450 og 797 kg C/ha, svarende til 27% og 34% af den totale rodafsætning i henholdsvis vårbyg og vinterbyg. Det ses, at rodafledt kulstof svarer til ca. 1/3 af den ved modenhed indhøstede kulstof. Det gælder både for vår- og vinterbyg. Ses der bort fra den rodafledte C, der blev omsat til CO_2 indenfor 5 dage, udgjorde C tilførslen med rodsystemet ca. 1,4 t C/ha.

Mængden af rodafledt C er formodentlig lavere fra rækkeafgrøder som roer og majs (Davenport & Thomas, 1988; Liljeroth et al., 1994), mens græsafgrøder vil give anledning til en større mængde rodafledt C (Buyanovsky et al., 1987).

Kendskabet til mængden af rodafledt C i forskellige afgrøder og dyrkningsmæssige forholds indflydelse herpå er imidlertid meget begrænset. Langt de fleste undersøgelser er gennemført under ikke-systemtro forhold. For undersøgelser gennemført i marken eller under mark-lignende forhold er der i næsten alle tilfælde alene bestemt mængden af makro-rødder, isoleret ved traditionelle rodvaske procedurer. Denne type af resultater undervurderer den samlede mængde af rodafledt C ganske betydeligt.

Det kan konkluderes, at for kornafgrøder vil jorden via rodsystemet kunne tilføres 1 til 1,5 t C/ha, uanset håndtering af overjordiske afgrøderester. For rækkeafgrøder er tilførslen formodentlig mindre, mens græsafgrøder måske bidrager med den dobbelte C mængde.

4.5 Sammenfatning

- Årlig nedmuldning af normale halmmængder (4-6 t halm/ha) vil på langt sigt kunne øge den dyrkede jords indhold af C med 3-15% set i forhold til at fjerne halmen fra marken.
- Tilførsel af fast husdyrgødning vil give anledning til et højere C indhold i jorden end tilførsel af en ækvivalent mængde C ved halmnedmuldning.
- Uden begrænsninger i valg af dyrkningsteknologi (gødskning, plantebeskyttelse, vanding, jordbearbejdning, m.v.) har årlig nedmuldning af halm over en længere årrække en mindre men positiv indflydelse på planteproduktionen.
- I forhold til fjernelse af halm vil halmnedmuldning på det samlede kornareal i Danmark (1,4 mio. ha) over en længere årrække give anledning til en samlet C lagring i jorden på ca. 6 mio. t.
- Et øget antal år med græs/kløvergræs i sædskiftet medfører et større C indhold i jorden, mens flere rækkeafgrøder og øget korndyrkning giver et forholdsmæssigt mindre bidrag til jordens C pulje.

- Anvendelse af rajgræs som efterafgrøde ved ensidig korndyrkning har samme virkning på jordens C indhold som nedmuldning af normale halmmængder, mens anvendelse af gul sennep kun bidrager lidt til jordens C indhold.
- Tilførsel af ækvivalente mængder tørstof i fast husdyrgødning og gylle er fundet at have samme virkning på jordens C indhold.
- Såfremt jordens C indhold ønskes øget markant over en kortere årrække kræves betydelige årlige tilførsler af tørstofrig husdyrgødning eller andre organiske gødninger med højt C indhold.
- For kornafgrøder udgør rodafledt C 1-1,5 t pr. år. Mængden af rodafledt C vil være større fra græsafgrøder og mindre fra rækkeafgrøder.
- Hvorvidt tilførsel af organisk materiale giver anledning til en øget C lagring i dyrket jord, afhænger af jordens C niveau i udgangssituationen. Indeholder den dyrkede jord i forvejen en stor C pulje ses et fald, mens jord med et lavt udgangsniveau viser en stigning.
- Et væsentligt miljømæssigt aspekt er knyttet til jordens potentiale for lagring/-frigivelse af CO_2-C. Ændringer i jordens samlede indhold af C sker kun langsomt, og der er et markant behov for et forbedret kendskab til omsætning i jord. Selv mindre ændringer i jordens C lagring vil have en mærkbar indflydelse på størrelsen af den nationale netto CO_2 emission. Ændret arealanvendelse (fx. udtagning af dyrket jord til skovrejsning, vedvarende energiafgrøder eller re-naturalisering) og ændret dyrkningspraksis kan have indflydelse på jordens C lagring i en lang årrække (tidshorisont 10 til mere end 100 år).

5. Muligheder for at anvende biomasse til energiformål i økologisk jordbrug.

I dette afsnit behandles mulighederne for at anvende biomasse til energiformål i økologisk jordbrug. Gennem nogle regneeksempler vurderes det, om der kan frembringes et halmoverskud i et 100% omlagt økologisk jordbrug, når der alene tages hensyn til halmproduktionen samt halmforbruget til foder og strøelse. Det vurderes således ikke i dette afsnit hvorvidt halmoverskuddet er til rådighed til energiproduktion eller om det er nødvendigt at nedmulde halmen for at opretholde kulstofpuljen i jorden. Endvidere diskuteres mulighederne og barriererne for anvendelsen af husdyrgødning til energi i økologisk jordbrug.

5.1 Halm.

Halm anvendes i landbruget primært til fodring og strøelse i kvægbesætninger, hvorfor halmen opfattes som en værdifuld ressource. Landbrugets strukturudvikling, hvor husdyrproduktionen er flyttet vestpå kombineret med en udvikling i staldsystemer, hvor halmbehovet til strøelse er minimeret eller helt forsvundet samt et mere kornrigt sædskifte, har gjort, at man i dag i store dele af landet har et halmoverskud. Ved omlægning til økologiske driftsformer vil grovfoderarealet stige på bekostning af kornarealet. Dette kan medføre en reduktion i mængden af halm. Dertil kommer, at der i de økologiske regler er et krav om at dyrene skal have adgang til et strøet leje. Dette kan afhængigt af opstaldningsforhold samt størrelsen af husdyrbestanden medvirke til et betydeligt større halmforbrug på økologiske gårde.

5.1.1 Estimering af mængden af halm til energiformål i et fuldt omlagt økologisk landbrug.

Overskuddet af halm til energiformål er således bestemt af den samlede kornareal, halmudbyttet og forbruget af halm til husdyrproduktionen. Forbruget af halm til dyrene er på sin side bestemt af den samlede husdyrbestand inden for hver dyreart og valget af staldsystem. For at beregne halmoverskuddet er der foretaget nogle forenklede antagelser for de nævnte faktorer og principperne i et 100% omlagt dansk landbrug. Et fuldstændigt omlagt dansk landbrug vil givetvis have en anden sammensætning end det nuværende (sædskifte og dyrehold). Det er derfor meget vanskeligt at lave energimæssige sammenligninger.

Målet med de forenklede og foreløbige regneeksempler er primært

- at angive størrelsesordenen af et eventuelt halmoverskud til energiformål eller nedmuldning ved omlægning af hele landbrugsarealet til økologisk drift og
- at pege på de faktorer, som især har indflydelse på halmoverskuddet.

Ved en lavere grad af omlægning til økologisk jordbrug vil ændringen i forhold til traditionelt landbrug reduceres proportionalt.

Det danske landbrugsareal var i 1993 på 2,74 mio. ha, hvoraf ca. 52% var dyrket med korn (Landbrugsrådet 1994). Efter en omlægning vil arealkravet til grovfoder formodentlig stige mens, arealet med f.eks. raps vil falde. På denne baggrund

antages, at kornarealet i et 100% økologisk omlagt landbrug vil falde til 40% af det totale. Det forudsætter imidlertid, at Danmark fortsat opretholder en i princippet maksimal husdyrproduktion. Såfremt husdyrproduktionen reduceres i et fremtidigt økologisk system grundet behovet for korn til føde, kan arealet med korn forventes at være nogenlunde det samme som idag d.v.s. 50% af det samlede landbrugsareal. Dette vil svare til et kornareal på mellem ca 1,1 og 1,4 mio. ha ved hhv. 40 og 50% kornareal.

Ifølge ELSAM m.fl. (1994) estimeres den aktuelle bjærgbare halmmængde til at være på gennemsnitligt 3,4 tons/ha. På grund af et lavere gødningsniveau vil halmudbyttet være mindre ved økologisk drift. På den anden side vil fraværet af stråforkortningsmidler samt valg af mere langstråede sorter (bedre konkurrenceevne overfor ukrudt) kunne betyde en større halmproduktion. Det antages derfor, at halmudbyttet pr. ha er uændret. Det betyder, at den samlede produktion af halm i et dansk økologisk landbrug vil ligge imellem 3,7 og 4,7 mio. t om året.

Tabel 11 Estimat af samlet halmproduktion i et 100% dansk økologisk landbrug.

	Kornareal % af total	Kornareal mio. ha	Halmudbytte t/ha	Halmproduktion mio. t/år
Stor husdyrhold	40	1,1	3,4	3,7
Reduceret husdyrhold	50	1,4	3,4	4,7

Husdyrholdets omfang

Husdyrholdet var i 1994 i Danmark på 2,4 mio. dyreenheder (DE)., fordelt på 1,1 mil. DE kvæg, 0,99 mil. DE svin og 0,33 mil. DE andre dyr (Danmarks Statistik 1995). Dette giver som gennemsnit ca. 0,88 DE/ha, men med en meget uensartet geografisk fordeling. For at dyrene kan spille en optimal rolle i det enkelte landbrugs næringsstofkredsløb og sædskifte vil det formodentlig være nødvendigt at fordele husdyrene mere jævnt over hele landet. For samtidig at sikre en tilstrækkelig selvforsyning med foder kan det ved økologisk kvæghold være nødvendigt med en belægning der ikke er højere end 0,8 til 1,0 DE/ha, mens aralkravet ved økologisk svinehold vil være mellem 0,5 og 0,7 DE/ha (Landbrugets Rådgivningscenter 1995). Dette er væsentligt lavere end fastsat i LØJ's avlsregler.

I et omlagt dansk landbrug kan kvægbestanden antages at være af samme størrelsesorden som den nuværende. En udvidelse af oksekødsproduktionen kan principielt være berettiget, der hvor den økonomisk set bidrager til at forbedre værdien af kløvergræs eller lucerne i sædskiftet, d.v.s. så længe disse afgrøders værdi som foder overstiger deres værdi til energiformål. Det antages derfor i regneeksemplet, at der fortsat vil være ca. 1,1 mio. DE kvæg i det omlagte landbrug.

Det antages endvidere, at det ikke vil være muligt at omlægge det samlede omfang af den nuværende danske svineproduktion til økologisk drift. I beregningseksemplet er det derfor valgt at reducere de nuværende ca. 1 mio. DE i svin til mellem 0,5 og 0,75 mio. DE. Det lave tal refererer til det scenario, hvor grovfoderarealet reduceres til fordel for et større kornareal jvf. tabel 11.

Der ses bort fra andre husdyrarter.

Staldsystemer og halmforbrug

De mest halmforbrugende staldsystemer er dybstrøelsesstalde til kvæg. Det antages, at halmforbruget til strøelse i dybstrøelsesstalde vil være på ca. 10 kg/DE/dag (LIK 1995a). Ved trædeudmugning kan dette halveres til ca. 5 kg/DE/dag (LIK 1995a). Anvendes traditionelle bindestalde, kan halmforbruget komme ned under

2 kg/DE/dag. Til de ovennævnte strøelsesforbrug skal lægges ca. 2 kg halm/DE/dag til fodring.

Det svarer til mellem 12 og 4 kg halm pr. DE pr. dag for kvæg ved staldsystemer med hhv. et højt og et lavt forbrug.

Forbruget af halm pr DE er lavere hos svin end hos køer. Det skyldes, at svin om muligt placerer deres gødning et bestemt sted, væk fra deres leje, og at svinene som enmavede dyr ikke er i stand til at spise så store mængder halm.

Som hos køer vil det største halmforbrug til svin optræde i dybstrøelsesstalde, mens et lavere forbrug kan opnås ved fritstående hytter og i traditionelle svinestier i stalde. I staldsystemer til økologiske svinehold kan der således skelnes imellem systemer, hvor slagtesvinene går i et sti-system med strøelse eller fritgående på græsningsfolde uden brug af halm. I begge tilfælde er søerne med smågrise på græs og i hytter med et mindre halmforbrug.

Smith og Udesen (1995) fandt ved udendørs sohold et halmforbrug pr. årsso på 160 kg indtil fravænning. Hvis de fravænnede grise gik på dybstrøelse var det totale halmforbrug ca. 400 kg/årsso, eller 1,1 kg halm/DE/dag. Dette tal vil formodentlig blive mindre, hvis grisene går på friland en del af året. Et andet og noget større estimat ved dybstrøelse er 1 kg halm/kg tilvækst/dag (Andresen 1996), eller ca. 5 kg halm/DE/dag.

Det gennemsnitlige halmforbrug anslås her at være ca 3 kg pr DE pr dag, svarende til 1,5 eller 2,25 mio. t halm/år ved hhv. 0,5 eller 0,75 mio. DE i svin.

Det anslåede halmforbrug svarer således til mellem 1 og 5 kg halm pr. DE pr. dag for svineproduktion med hhv. et højt og et lavt forbrug.

Estimering af samlet halmforbrug og halmoverskud

Ved at kombinere estimaterne for dyreenheder og for staldtyper fås et overslag over det samlede forbrug eller behov for halm i et 100 % økologisk landbrug som angivet i tabel 12.

Tabel 12 Halmforbrug til strøelse og foder i forskellige staldsystemer (kg halm/DE/dag, tal i () er landsgennemsnittet for DE/ha). Svin 1 og svin 2 refererer til antagelserne om at der i et omlagt landbrug vil være henholdvis 0,5- eller 0,75 mil DE svin.

	Samlet antal DE i mil.	lavt halmforbrug kg DE / dag	lavt halmforbrug mio. t / år	mellem halmforbrug kg DE / dag	mellem halmforbrug mio. t / år	højt halmforbrug kg/DE / dag	højt halmforbrug mio. t / år
køer	1,1	4	1,61	6	2,41	12	4,82
svin 1	0,5	1	0,18	3	0,55	5	0,91
svin 2	0,75	1	0,27	3	0,82	5	1,37
køer + svin 1	1,6 (0,55)		1,79		2,96		5,73
køer + svin 2	1,85 (0,64)		1,88		3,71		6,19

Det fremgår af tabel 12, at halmforbruget kan variere meget, hvilket hovedsageligt tilskrives forskelle i staldsystemernes halmforbrug. Om der vil være 0,5 eller 0,75 mio DE svin har en forholdsvis mindre indflydelse på det samlede behov for halm i husdyrbruget.

Tabel 13 Estimeret overskud af overskudshalm (til energiformål eller nedmuldning) afhængigt af husdyrsammensætning, dyreenheder og staldsystem. Ved beregningerne er den lavest estimerede halmproduktion kombineret med det største antal svin - og omvendt.

	Staldsystemer med lavt halmforbrug mio t	Staldsystemer med mellem halmforbrug mio. t	Staldsystemer med højt halmforbrug mio. t
Køer og flest svin 0,68 DE pr ha			
- forbrug af halm	1,88	3,71	6,19
+ produktion af halm	3,70	3,70	3,70
+/- overskud	+ 1,82	+ 0,01	- 2,49
Køer og færrest svin 0,58 DE pr ha			
- forbrug af halm	1,79	2,96	5,73
+ produktion af halm	4,70	4,70	4,70
+/- overskud	+ 2,91	+ 1,74	- 1,03

For at belyse variationsspektret anvendes det højeste estimat af halmproduktionen ved det laveste antal DE, og det laveste estimat af halmproduktionen ved det højeste antal DE. De kombinationsmuligheder der ikke er gennemregnet, vil ligge inden for dette interval.

Det fremgår af ovenstående beregninger, at der i det skitserede omlagte danske landbrug i bedste fald vil være ca. 2,9 mio tons halm/år i overskud til energiproduktion eller ca. 40 PJ.

Det fremgår endvidere, at de mest halmforbrugende staldsystemer samlet set giver et underskud af halm. Der foreligger derfor et udviklingsarbejde for økologisk jordbrug med henblik på at udvikle mindre halmkrævende staldsystemer, som samtidig tilgodeser krav til dyrevelfærd (motion + et strøet leje), arbejdsindsats (håndtering af halm og staldgødning), samt omkostningerne ved at anlægge og vedligeholde nye typer staldsystemer.

Det er samtidig ønskeligt, at der kan udvindes et energioverskud, således at det økologiske jordbrug som minimum er CO_2-neutralt og kan levere biomasse svarende til de driftsmæssige energibehov. Under forudsætning af at halmoverskudet ikke skal nedmuldes af hensyn til jorden, kan scenariet med det lave forbrug opfattes som et mål for økologisk jordbrug.

Et lidt større halmudbytte pr. ha, eller en lidt anderledes afgrødesammensætning kan resultere i en lidt større halmproduktion i økologisk jordbrug, men det vil formodentlig ikke ændre radikalt ved billedet. På den anden side kan man godt forestille sig at der kan udvikles staldsystemer, der både opfylder kravene til husdyrvelfærd og har et lavt strøelsesbehov. Skal økologisk jordbrug levere betydelige mængder halm til energiformål, skal der ske en udvikling af mindre halmforbrugende staldsystemer og/eller en yderligere reduktion i den animalske produktion.

Ved brug af bindestald, d.v.s. den staldtype der har det angivne laveste halmforbrug, kan der være vanskeligheder med at imødekomme velfærdskrav med hensyn til motion, selvom staldtypen har en økologisk godkendelse. Om vinteren, hvor køerne ikke er på græs, kan det være svært at få dyrene til at gå ud i en motions-

fold. Dertil kommer at udbinding giver ekstra arbejde ved pasningen af dyrene. I lighed med forhold, som gælder under koldere klimaforhold med mørke, snerige vintre, hvor dyrene ikke kan komme ud, kan det være et acceptabelt kompromis mellem velfærd og energiformål, at dyrene må ofre deres mulighed for at komme ud i vinterperioden.

Illum m.fl. (1995) har ved modelberegninger opstillet et energiregnskab for dansk landbrug anno 1995, som er 100% omlagt til økologisk landbrug. Ifølge modellen anvendes kun halvdelen af den halm, der ikke bruges til foder og strøelse, til energimæssig udnyttelse. Halm til energi opgøres til at udgøre 1,0 mio. t for et 100% økologisk landbrug (eller 14 PJ). Energipotentialet vil således principielt udgøre det dobbelte eller 2,0 mio. t halm svarende til 28 PJ. Ifølge Illum's estimat vil der således være en betydelig mængde halm, der ikke benyttes til strøelse og foder i et 100% omlagt landbrug. Der tages i denne model ikke stilling til om hensynet til jordens frugtbarhed vil kræve nedmuldning af denne halmmængde.

Der er således to uafhængige modelberegninger, der begge under gunstige forhold vil give et overskud af halm i et økologisk jordbrug. Det er således ikke givet, at et økologisk landbrug skal importere halm, selvom det fremgår, at kvægbrug med betydelig dyretæthed (>1 DE/ha), med de nuværende staldsystemer ikke har tilstrækkelige kornarealer til at producere den nødvendige mængde halm.

Til sammenligning opgører ELSAM m.fl (1994) det nuværende halmpotentiale til 46 PJ, eller ca. 3,2 mio tons halm. ELSAM m.fl. (1994) estimerer det bjærgbare halmoverskud til at blive mellem 1,9 og 2,7 mio. tons i år 2015, afhængigt af udviklingen i landbruget. Dette skøn er dog ud fra et mindre landbrugsareal end anvendt i nærværende beregninger.

Der er ikke i regneeksemplerne taget stilling til, hvorvidt den halm, der ikke anvendes til husdyr skal tilbageføres til jorden, for at bevare jordens frugtbarhed, eller den reelt er til rådighed til energiproduktion. Afklaring af mulighederne for under økologiske driftsformer at levere et regulært halmoverskud kræver yderligere forskning i tilførsel og omsætningsprocesser i jorden, ligesom der må tages stilling til, hvordan fremtidens stalde skal indrettes under hensynstagen til dyrevelfærd. Dertil kommer, at en evt. reduktion af det samlede danske dyrehold vil mindske behovet for strøelse i fremtiden.

Endelig skal det anføres, at det er ukendt hvorvidt overgang fra traditionelt landbrug med adgang til handelsgødning og plantebeskyttelsesmidler til økologisk jordbrug vil medføre en større variation i halmudbyttet fra år til år. Denne faktor vil indvirke på sikkerheden i levering af halm til energiformål.

5.2 Husdyrgødning

Husdyrgødningen er såvel i konventionelt som i økologisk jordbrug en værdifuld gødningsresource, der bør benyttes optimalt med henblik på at bevare og opbygge jordens frugtbarhed. Om kravet til bevaring/forbedring af jordens frugtbarhed kan forenes med anvendelse af husdyrgødning til energiproduktion, diskuteres i de følgende afsnit.

5.2.1 Komposteringsvarme

Der er forskellige måder i praksis at udbringe naturgødningerne. Nogle jordbrugere vælger at sprede naturgødningen uomsat, mens andre foretrækker at kompostere gødningen. Der peges således på at velomsat kompost udover gødningsværdien vil have positiv effekt på plantevæksten i kraft af påvirkningen af jordens indhold af organisk stof samt en vanskeligt kvantificerbar vækstfremmende og sygdomshæmmende effekt (Gottschall 1984, Jacobsen 1995 og Raupp 1995). Hvilken gødning jordbrugerne vælger at anvende hænger tæt sammen med, hvilken type

stald, der anvendes. Da der på mange økologiske brug er sket en omlægning til dybstrøelsesstalde, hvor strøelsen bliver ført ud på markerne uden forudgående behandling, er det i dag ikke almindeligt at kompostere. Endvidere er det ikke ualmindeligt at økologiske landbrug opbevarer husdyrgødningen i form af gylle (Rasmussen, pers. komm.). Det vurderes dog at anvendelsen af gylle i økologisk jordbrug er et overgangsfænomen og at denne opbevaringsform også vil reduceres i takt med indførelse af dybstrøelsesstalde (Østergaard, pers. komm.).

Ved komposteringsprocessen frembringes varme ved omsætning af organisk materiale, som i princippet kan udnyttes til opvarmning af stalde og boliger.

Ved komposteringen sker der en frigivelse af kulstof og kvælstof til atmosfæren. Jacobsen (1992) fandt således, at 50% af udgangsmaterialets kulstof og kvælstof fra gylle og halm gik tabt i en komposteringsreaktor i løbet af 5 dage. Tabet af kvælstof foregår primært som ammoniak, og dette er meget uheldigt ud fra et miljømæssigt synspunkt. Hvis komposteringsanlæg fremover benyttes i større grad, vil det være ønskeligt at benytte teknologier, der opsamler den frigivede ammoniak. Tabet af kvælstof udgør endvidere et unødvendigt næringsstoftab fra landbruget.

5.2.2 Biogas

Ved anaerobisk forgasning af husdyrgødning sker der en nedbrydning af letomsætteligt organisk materiale, hvorved der bl.a. frigives methan, CO_2 og vand. Samtidig sker der en mineralisering af plantenæringsstoffer og en homogenisering af materialet, således at det bliver lettere at håndtere og tildele præcist (Energistyrelsen 1993 og 1995b). Mindskelsen af lugtgenerne ved udbringning vurderes også positivt. I forbindelse med afgasningen sker der ikke noget tab af plantenæringsstoffer, hvorved anaerobisk forgasning må betegnes som en næringsstofmæssigt god anvendelse af biomasse til energi. Da ammoniak opkoncentreres i den afgassede gylle, samtidig med at pH stiger, er potentialet for ammoniaktab ved opbevaring og udbringning større ved biogasgylle end ved ubehandlet gylle. Der eksisterer imidlertid metoder til at forhindre dette tab. Ved tilførsel af letomsætteligt organisk materiale som f.eks. slagteriaffald til biogasanlæggene opnås endvidere en tilbageførsel af næringsstoffer til landbruget, der er i god overensstemmelse med principperne i økologisk jordbrug.

Der er ikke formuleret en klar politik i LØJ vedrørende bioforgasning. Der er dog betænkeligheder vedrørende systemet, da man dels ønsker en større anvendelse af dybstrøelsesstalde med efterfølgende direkte udførsel på markerne, og dels er betænkelige ved at anvende mineralsk gødning i stort omfang (Rasmussen pers. komm. og Østergaard pers. komm.). Gødningstyper med et højt indhold af koncentrerede næringssalte menes at svække planten og dermed gøre den mere modtagelig overfor sygdomme og skadedyr, samtidig med at produktets kvalitet generelt forringes (Andersen og Hansen 1995). Gylle og specielt afgasset gylle har således nogle af de samme egenskaber som kunstgødning, der ikke må anvendes i økologisk jordbrug. Det høje indhold af mineralsk gødning samt indholdet af ammoniak og svovlbrinte i den afgassede gylle gør at denne af nogen økologer betegnes som 'gift for jorden'. Holdningerne til biogas er dog forskellige, og der er således eksempler på, at den tilladte import af nitratgødning til økologiske landbrug sker i form af afgasset gylle fra biogasfællesanlæg. Det er dog ikke i dag muligt for økologiske jordbrugere at tilføre deres gylle til biogasfællesanlæg, da den afgassede gylle ikke vil kunne betegnes som økologisk (Rasmussen pers. komm.). Dette er en barriere for anvendelsen af biogas i økologisk jordbrug. Anvendelse af biogasgårdanlæg evt. med rørledning til transport af biogassen til et fælles gasmotoranlæg kan være en teknisk løsning på dette problem.

Til trods for at ajle i højere grad end afgasset gylle er en koncentreret gødning

spredes den på økologiske bedrifter, uden at dette medfører store problemer. Dette er muligt, idet mængden af ajle er relativt lille i forhold til den faste gødning, og det samlede gødningsbehov. Dertil kommer, at der anbefales forskellig anvendelse af staldgødningen afhængigt af, hvilken effekt der ønskes. Det anbefales således at anvende kompostering af gødningen, når en opbyggelse af jordens frugtbarhed ønskes, hvorimod mere tilgængelige gødningstyper såsom staldgødning anbefales, når der ønskes et højt udbytte (Ott 1986). Tilsvarende anvendes ajle i økologisk jordbrug til afgrøder, der har behov for store mængder tilgængeligt kvælstof.

Organisk bundet kvælstof indgår i jordens organiske fraktion, og er dermed ikke tilgængeligt på kort sigt (Besson et al 1986). Dette antyder at gødninger med stor mængde organisk bundet kvælstof vil have en positiv effekt på jordens indhold af organisk bundet kulstof og kvælstof. Raupp (1995) fandt således at kompost hæver jordens indhold af organisk stof, mere end staldgødning, der igen er bedre end kunstgødning. Kudeyarov (1992) fandt, at mineralsk kvælstof sænker jordens indhold af organisk stof. Dette er en af grundene til at man ikke ønsker at anvende kunstgødning i økologisk jordbrug. Fornemmelsen af at afgasset gylle har de samme egenskaber som kunstgødning, er derfor en betydelig barriere for biogasproduktion i økologisk jordbrug. Det vurderes dog, at biogasslam kan have tilsvarende anvendelse i økologisk jordbrug som ajle, men at anvendelse af biogasslam ikke kan blive dominerende (Østergaard pers.komm.). Det vides ikke hvordan jordens humusindhold påvirkes på lang sigt ved anvendelse af afgasset gylle som gødning i forhold til tilførsel af andre gødningstyper.

I forhold til konventionel drift giver kravet om et strøet leje i økologisk husdyrproduktion et mindre potentiale for gylleproduktion. Det er imidlertid muligt at lave biogas af den faste gødning. Anvendelse af store mængder strøelse er således ikke en hindring for biogasproduktion, men anvendelse af dybstrøelsesstalde vil mindske potentialet, da der sker en omsætning af det organiske materiale i dybstrøelsen. Endvidere sætter holdningen i økologisk jordbrug til anvendelse af mineralske gødninger en øvre grænse for anvendelsen af biogasteknologien i økologisk jordbrug.

Ud fra et energisynspunkt er biogas en højværdig energikilde, som kan udnyttes til fremstilling af el (og varme).

5.3 Sammenfatning

I regneeksemplerne er anvendt følgende generelle forudsætninger:

- Ca. halvdelen af landbrugsarealet anvendes til dyrkning af korn (ligesom nu).
- Halmudbyttet pr. ha er uændret (mindre kornudbytte, men mere langstråede sorter).
- Uændret antal dyreenheder kvæg i det omlagte landbrug (men en anden geografisk fordeling).
- Reduceret antal dyreenheder (DE) svin i det omlagte landbrug (reduktion fra ca. 1 million DE til mellem 0,5 og 0,75 millioner DE).
- Tre forskellige staldsystemer for kvæg: dybstrøelsesstalde (ca. 10 kg halm pr. DE pr. dag), trædeudmugning (ca. 5 kg halm pr. DE pr. dag) og bindestalde (ca. 2 kg halm pr. DE pr. dag).
- Gennemsnitligt halmforbrug for svin: ca. 3 kg pr. DE pr. dag.

På dette grundlag findes følgende hovedresultater:

- Ved forskellige kombinationer af staldsystemer og dyrehold fås en stor variation i det gennemsnitlige overskud af halm til energi pr. år. Overskuddet varierer fra ca. plus 2,9 millioner tons til ca. minus 1 million tons, idet især valget af staldsystem har afgørende indflydelse på resultatet. I disse tal er der ikke inkluderet en eventuel nedmuldning af halm.
- De foreløbige beregninger tyder på, at potentialet for halm til energi må justeres i nedadgående retning i forhold til Energistyrelsens estimat, hvis økologisk jordbrug i den nuværende form vinder større udbredelse. Det endelige resultat vil afhænge af flere usikre parametre: udbredelsen af økologisk jordbrug, staldsystemer, omfanget af dyrehold, graden af nedmuldning, nye dyrkningsmetoder i traditionelt landbrug m.v.

Husdyrgødning

- En del økologiske jordbrugere foretrækker at anvende husdyrgødning i form af kompost. Ud over den direkte gødningsværdi hævdes komposten at medføre en række fordele for jordens generelle frugtbarhed i forhold til andre gødningstyper.
- Det er et problem ved den nuværende form for kompostering, at den indebærer et tab af kvælstof i form af ammoniak. Dette tab bør reduceres ved en videreudvikling af komposteringsteknologien.
- Ved kompostering af husdyrgødning udvikles varme, som med den nuværende teknologi stort set forsvinder som spildvarme. Ved udvikling af teknologien vil en del af denne komposteringsvarme kunne udnyttes til opvarmning af stalde og bygninger. Det vil kræve en nærmere analyse at finde frem til det tekniske og økonomiske potentiale for udnyttelse af komposteringsvarme.
- Der er betydelig usikkerhed om effekten af bioforgasset gylle på jordens frugtbarhed. Vurderingerne rækker lige fra en positiv indstilling (mindre lugttgener, mere homogent produkt etc) til en meget negativ indstilling (svækkelse af planternes modstandsdygtighed, "den rene gift for jorden"). Økologiske jordbrugere vurderer, at afgasset gylle har en del af de samme egenskaber som kunstgødning, og har derfor tilsvarende betænkeligheder ved anvendelsen. Dette udgør en betydelig barriere for biogasproduktion i økologisk jordbrug.
- Der er behov for en mere omfattende analyse af emissionsforhold, energiforhold og effekten på jordens frugtbarhed af henholdsvis komposteret dyregødning og afgasset husdyrgødning. Foreløbige vurderinger tyder på, at begge metoder har fordele og ulemper, men de kvantitative resultater er yderst sparsomme.

6. Energiafgrøder

I modsætning til anvendelse af overskuds- og restprodukter fra landbruget, er dyrkning af energiafgrøder en selvstændig produktion, hvis arealanvendelse kan være i konkurrence med den øvrige arealanvendelse. I dette afsnit diskuteres mulighederne for at anvende energiafgrøder i økologisk jordbrug. Derudover diskuteres anvendelse af spildevandsslam som gødning til flerårige energiafgrøder.

6.1 Arealanvendelse

I 1995 var det samlede danske landbrugsareal på ca. 2,7 mio. ha. Heraf var ca. 30.000 ha anvendt til energiafgrøder og 220.000 ha lå brak. I fremtiden forventes landbrugsarealet til fødevare- og foderproduktion at mindskes, uproduktiv brak i omdrift at ophøre og et større areal afsat til produktion af energiafgrøder. Denne omlægning af landbruget vurderes at kunne give et potentiale fra energiafgrøder på op til 50 PJ i år 2025, når der tages hensyn til produktionsinteresser, natur og miljø (Teknologinævnet 1994). En omlægning af det danske landbrug til økologiske driftsformer vil få betydning for, dette potentiale, men det vides ikke, hvor stor denne ændring vil være.

For nuværende er størstedelen af det økologisk dyrkede areal anvendt til mælkeproduktion (Tersbøl og Fog 1995). Størstedelen af disse mælkeproducenter vil næppe under hensyntagen til mælkekvote, harmonikrav og krav om selvforsyning have større arealer, som de kan lade indgå i energiproduktion.

Rene planteavlsbrug eller brug med meget ekstensiv husdyrproduktion kan dog have mulighed for at afsætte arealer til en egentlig energiproduktion. Ved en fuldstændig omlægning til økologisk produktion afhænger det tilgængelige areal til energiafgrøder af strukturen og produktionen på de enkelte bedrifter.

En udtagning af areal til energiafgrøder behøver ikke at give en tilsvarende reduktion af fødevareproduktionen. Ved opdelingen af marker i mindre enheder og plantning af flerårige afgrøder som f.eks. pil i skellet mellem markerne kan der tænkes at opstå synergieffekter, således at der samlet opnås en større modstandsdygtighed mod skadedyrsangreb og sygdomme (Porter. pers. kom.). Det kan også tænkes, at indførelse af nye enårige afgrøder til energi vil forbedre sædskiftet og således medføre en øget samlet produktion.

Endelig kan man forestille sig energiafgrøder anvendt på arealer, hvor miljø eller naturhensyn sætter begrænsninger for almindelig landbrugsdrift (f.eks. over særligt beskyttelseskrævende grundvandsressourcer).

6.2 Energiafgrøder i sædskiftet

Der har hidtil været stor interesse i landbruget for at dyrke enårige energiafgrøder på de braklagte arealer (korn og raps). Fordelene ved enårige energiafgrøder frem for flerårige er, at dyrkningsteknikken er kendt, samt at det er let igen at indrage arealerne hvis braklægningsordningerne skulle falde bort. Det er et grundprincip i økologisk jordbrug, at forebygge sygdomsangreb bl.a. igennem et varieret sædskifte. Det er derfor ikke umiddelbart interessant at forøge kornandelen i sædskiftet i økologisk jordbrug. Derudover er der en uafsluttet etisk diskussion omkring afbrænding af korn.

Det kan dog ikke afvises, at dyrkning af en-/toårige energiafgrøder vil være interessant i økologisk jordbrug. Af hensyn til variationen i sædskiftet vil det være optimalt at benytte arter, der kun i ringe grad eller slet ikke benyttes i økologisk jordbrug i dag. Det kunne være forskellige olieproducerende planter (raps, oliehør, dodder), hamp, der tidligere har været dyrket i Danmark med godt udbytte,

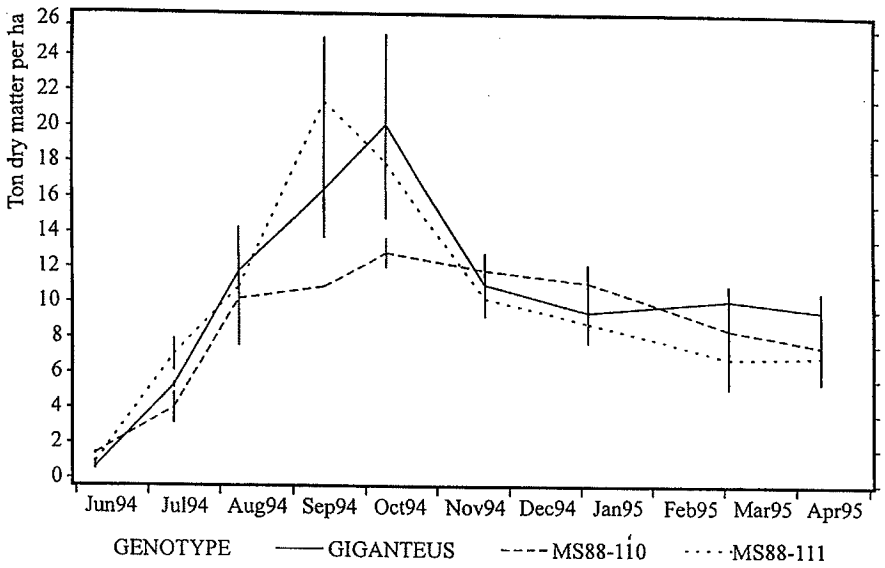
eller klinte, en tidligere ukrudtsplante, der har et stort potentiale for tørstofproduktion under danske forhold (Doll & Søgaard 1995).

6.3 Energiafgrøder uden for sædskiftet

Flerårige kvælstoffikserende urteagtige planter som lucerne og galega ært har et udbyttepotentiale på mere end 10 tons tørstof/ha (Holm og Johansen 1989 & Specialudvalget for økologi 1994). Deres dybe og kraftige rodnet virker strukturforbedrende på jorden, og med op til 300-500 kg kvælstof fikseret/ha/år (Neuerburg und Padel 1992) efterlades store mængder kvælstof i jorden. Endelig kan flerårige kvælstoffikserende afgrøder binde store mængder kulstof i jorden (Neuerburg und Padel 1992, Kahnt 1986). Der findes således plantearter, der opfylder kravet om stor tørstofproduktion, samtidig med at de kan virke positivt på jordens frugtbarhed.

Ved anvendelse af disse urteagtige afgrøder i biogasanlæg bevares plantenæringsstofferne, der kan føres tilbage til jorden sammen med den uomsatte del af det organiske materiale. Forbrændes eller forgasses energiafgrøderne i anlæg med effektiv røggasrensningsanlæg vil asken indeholde de fleste næringsstoffer bort set fra N fra de indfyrede afgrøder (Evald, pers.komm.). Hvis det sikres, at der ikke tilføres tungmetaller fra andre kilder, kan plantenæringsstofferne tilbageføres til landbruget, og energiproduktion kan i sidste ende blive en positiv faktor i omlægningen. At der er mangel på rene planteavlsbrug, der drives økologisk, skyldes netop at disse brug ikke kan få økonomi i de kvælstofsamlende marker. Kunne denne økonomi forbedres ved energiproduktion, ville omlægningen blive mere attraktiv. Energimæssig udnyttelse af biomasse vil under disse omstændighedder være attraktivt for økologisk jordbrug.

Elefantgræs er den urteagtige energiafgrøde,der er udført flest dyrkningsforsøg med i Danmark. Elefantgræs kan under gode klimaforhold give et betydeligt udbytte. Således har udbyttet ved forårshøst på forsøgsarealer ved Hornum svinget mellem 8 og 16 tons tørstof pr. hektar. Efter den meget tørre sommer 1992 høstedes dog kun 5-7 ton. Udbyttevariationen skyldes også C_4-fotosyntesens følsomhed over for kølige vækstforhold, varierende nedknækning gennem vinteren samt skade forvoldt af sen nattefrost i foråret (Jørgensen, 1994). Der er fortrinsvis udført dyrkningsforsøg med hybridklonen Giganteus, der oprindeligt er indført som prydplante. Det må antages, at der er gode muligheder for gennem aktivt forædlingsarbejde at forbedre udbytterne.



Figur 8 *Tørstofindhold i elefantgræs over året (Jørgensen, 1996)*

Figur 7 viser, at der opnås det største biomasseudbytte ved høst om efteråret, idet den øverste del af planterne, svarende til ca. halvdelen af tørstofindholdet, falder af i løbet af vinteren. I løbet af vinteren sker der samtidig et fald i vandprocenten, således at elefantgræsset bliver lagerstabilt (Jørgensen, 1996). Da samtidig en stor del af næringsstofferne findes i den øverste del af planterne samt i rhizomerne, er næringsstoffjernelsen ved høst om foråret lille i forhold til næringsstofomsætningen over året. Det store tab af organisk materiale i løbet af vinteren bidrager til opbygningen af jordens kulstofpulje, således at der samlet set kan forventes en stigning i jordens indhold af organisk stof.

Af vedagtige flerårige energiafgrøder er pil mest fremherskende, men f.eks. poppel og andre arter, der kan formeres ved stiklinger, har evne til at skyde fra stød og med en hurtig ungdomsvækst, kan også anvendes. Pil dyrket udelukkende til energiformål bliver også kaldt for energiskov. Dette er en noget misvisende betegnelse, da der i henhold til lovgivningen er tale om en landbrugsafgrøde. Det er ikke lovligt at dyrke skov med så korte hugstcykler som der her er tale om på arealer, der er udlagt til skov. Pil til energi dyrkes normalt med en omdriftsalder på mellem 20 og 30 år og med hugst hvert tredje/fjerde år.

Forskningscenter for Skov og Landskab har gennem årene 1989-1994 gennemført produktionsmålinger i danske pilekulturer (Morsing og Nielsen, 1995) og har fundet en gennemsnitlig årlig produktion på 7,5 tons tørstof pr. ha. Dette gennemsnit dækker over en variation i den årlige løbende produktion fra 1,8 til 22,6 tons pr. hektar. Den mest producerende prøveflade har i gennemsnit årligt produceret 13,6 tons tørstof pr. hektar. Det har ikke været muligt i forsøget at forklare den store forskel i produktion med forskelle i klon, vækstår, rodalder eller skudalder.

Pil tilfører årligt jorden store mængder organisk materiale fra blade og finrødder, og det forventes at jordens humusindhold i energiskove vil stige ved omdriftslængder på 20-30 år, grundet den lille jordbearbejdning (Kelkjær, 1992).

Etablering af flerårige energiafgrøder som elefantgræs og pil vurderes normalt at have en positiv indvirkning på faunaen i områder, der ellers domineres af enårige landbrugsafgrøder, idet de kan danne refugier for vildt og virke som spredningskorridorer for flora og fauna. Endvidere vurderes de flerårige energiafgrøder positivt på grund af lille udvaskning af nitrat til grundvandet og et lavt pesticidforbrug i forhold til landbrugsafgrøder i almindelighed. Disse forhold gør dyrkning af flerårige energiafgrøder interessant på jorde, der ligger over særligt beskyttelses-

krævende grundvandsressourcer.

En betænkelighed ved en storstilet udbredelse af elefantgræs og pil er, at der udelukkende anvendes nogle få højtydende kloner. Angreb af skadedyr eller sygdomme kan således få meget alvorlige konsekvenser. Den nuværende afhængighed af herbicider er også betænkelig, hvis disse afgrøder skal indpasses i et økologisk dyrkningssystem. Hvis disse afgrøder skal vinde indpas i det økologiske landbrug, er der brug for at udvikle dyrkningssystemer for energiafgrøder, hvor der ikke er behov for pesticider. Mekanisk ukrudtsbekæmpelse og samdyrkning med bælgplanter (til N-forsyning) kan virke befordrende for udbredelse af energiafgrøder.

6.4 Anvendelse af spildevandsslam til flerårige energiafgrøder

Ved dyrkning af pil og elefantgræs er det nødvendigt at tilføre plantenæringsstoffer for at få et tilfredsstillende udbytte. En mulighed er at anvende spildevandsslam, der udgør en næringsstofmæssig ressource.

Spildevandsslam består hovedsageligt af:

- Vand
- Organisk stof
- Organisk bundet N
- N bundet i ammoniak og ammonium
- Fosfor udfældet med jern og aluminium.
- Tungmetaller
- Miljøfremmede stoffer (f.eks. PAH, LAS, NPE, DEHP)

Indholdet af tungmetaller og miljøfremmede stoffer har givet anledning til store betænkeligheder, hvorfor det bl.a. blev udmeldt fra landbrugskredse, at man ikke ønskede at modtage spildevandsslam, før der kunne gives sikkerhed for at spredningen var ufarlig. Der måtte således ikke ske en optagning af tungmetaller og miljøfremmede stoffer i afgrøderne, og der måtte ikke ske en ophobning i jorden, der begrænsede jordens anvendelighed.

På denne baggrund fik Vandkvalitetsinstituttet til opgave at udarbejde forslag til kvalitetskriterier for anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål på baggrund af undersøgelser af kontamineringsniveau og en miljørisikovurdering.

Miljøstyrelsen har med baggrund i VKI's undersøgelser udarbejdet forslag til ny slambekendtgørelse ('Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål') (Miljøministeriet 1996). I forhold til den gamle bekendtgørelse er den væsentligste ændring, at der nu indføres afskæringsværdier for de 4 miljøfremmde stofgrupper PAH, LAS, NPE og DEHP.

Der synes ikke umiddelbart at være nogen sundhedsrisiko ved den nuværende udbringningspraksis på landbrugsjord, men da stoffernes effekt og skæbne ikke er fuldstændig belyst (VKI 1996), er afskæringsværdierne foreslået sat meget konservativt. Miljøstyrelsen foreslår, at kravene til indholdet af miljøfremmede stoffer skærpes fra 1997 og endnu en gang fra 1. juli 2000. Skærpelsen sker for at give affaldsproducenterne mulighed for at forbedre affaldsproduktets kvalitet f.eks. ved kildeopsporing.

Miljøstyrelsen vil iværksætte undersøgelser om langtidseffekterne og nedbrydningen af de miljøfremmede stoffer.

Nielsen (1994) argumenterer for, at spredning af spildevandsslam i energiskove er en betydeligt tryggere anvendelse end spredning i almindelige skove eller på landbrugsjord med fødevareproduktion. Dette skyldes at

- Energiskov er tætsluttende med stort plantetal, så den ikke indbyder til publikumsbesøg.
- Energiskov har betydeligt større næringsstofforbrug end almindelige skove. Da dyrkningen foregår på landbrugsjord er baggrundsværdierne for næringsstofudvaskning også højere end for skovjord, så der kan anvendes væsentligt mere slam end i skove.
- Vækstsæsonen normalt er lang og evapotranspirationen stor i forhold til almindelige landbrugsafgrøder.

Endvidere argumenteres der for, at ved spredning af spildevandsslam til afgrøder, der ikke anvendes til fødevareproduktion, vil tungmetaller kunne fjernes med afgrøden og efterfølgende opsamles i asken fra forbrændingen af afgrøden. Der vil ske en nedbrydning af toxiske organiske forbindelser, således at disse stoffer ikke vil udgøre noget problem, hvis der blot går nogle år før jorden anvendes til fødevareproduktion.

Da flerårige energiafgrøder bl.a. påtænkes anvendt i særligt følsomme grundvandsområder, og betænkeligheden vedrørende slam skyldes langtidseffekter, må det dog konkluderes, at der ikke er grundlag for at fastsætte særligt lempelige krav til spildevandsslam, der udbringes på flerårige energiafgrøder i forhold til kravene for udbringning på landbrugsjorde i øvrigt. Det vil dog være muligt at udnytte den gode tungmetaloptagelse til rensning af forurenede jorde.

6.5 Sammenfatning

- Pil og elefantgræs kan under danske forhold give årlige udbytter på over 10 tons tørstof pr. hektar ved moderate næringsstoftilførsler, men med store udsving mellem år og lokaliteter. Det kan forventes, at forædlingsarbejde vil medføre øgede udbytter i fremtiden.
- Ved moderate næringsstoftilførsler er næringsstoftabet fra pil og elefantgræs af samme størrelsesorden som for vedvarende græs. Det kan gøre energiafgrøder til en egnet afgrøde på jorde over særligt beskyttelseskrævende grundvandsressourcer.
- I dag er størstedelen af det økologisk dyrkede areal udnyttet af mælkeproducenter, som typisk ikke har arealer til rådighed for energiafgrøder.
- Rene planteavlsbrug og brug med ekstensiv husdyrproduktion kan have mulighed for at afsætte arealer til egentlig energiproduktion. Det potentielle areal til energiafgrøder ved et landbrug fuldt omlagt til økologisk drift vil derfor afhænge af produktionssammensætningen på brugene.
- Der kan tænkes at være synergieffekter ved integrering af flerårige energiafgrøder i økologisk jordbrug, således at nedgangen i areal til fødevareproduktion vil medføre en forholdsvis mindre nedgang i fødevareproduktion.
- Enårige energiafgrøder (som fx hamp) kan repræsentere en forbedring af sædskiftet i jordbrug, hvis der anvendes afgrøder, der ikke bliver dyrket i stort omfang i forvejen.

- Udnyttelse af kvælstoffikserende afgrøder til energiformål kan være et økonomisk tilfredsstillende alternativ til husdyrhold i økologiske jordbrug, hvis der sikres tilbageførsel af næringsstofferne.
- Det er ikke afklaret, hvorvidt gødskning med spildevandsslam kan foregå betryggende i energiafgrøder.

7. Biomasse fra skovbrug

På FN's konference om Miljø og Udvikling i Rio de Janeiro, 1992 (UNCED), blev der vedtaget en "ikke-juridisk bindende, autoritativ erklæring om principper for en global konsensus om forvaltning, bevaring og bæredygtig udvikling af alle former for skov" ('Skoverklæringen'). Det fremgår af denne erklæring, at dyrkning af skov skal ske under hensyntagen til, at skoven som samlet system skal være bæredygtig, samt at der skal ske en afvejning af de interesser, der er knyttet til anvendelse af skoven til rekreative formål, jagt, produktion af træ, naturbevaring etc. Med udgangspunkt i skoverklæringen har Miljøministeriet (1994) udgivet en national 'Strategi for bæredygtig skovdrift'. I denne strategi er begrebet 'bæredygtig skovdrift' opdelt i 18 delemner (kriterier). Kriterierne er opstillet ud fra eksisterende internationale aftaler og anbefalinger.

I det følgende vil potentialet for biomasse til energi fra skovbruget samt mulighederne for at binde kulstof i skoven blive vurderet og diskuteret

7.1 Skovøkosystemet og økologisk bæredygtighed

Det følgende bygger i stor udstrækning på Projekt Bæredygtig Skov, der er et forsøg på at opstille retningslinjer for bæredygtig skovdrift på ejendomsniveau, således at skovdriften i Danmark ikke indskrænker 'det økologiske råderum' (Larsen et al, 1996).

Der er kun medtaget forhold vedrørende bæredygtig skovdrift, der kan have betydning for energipotentialet fra skov ved uændrede dyrkningsforhold i øvrigt.

7.1.1 Bevarelse af biotiske ressourcer

Der skelnes mellem tre niveauer af biodiversitet: økosystemdiversitet, artsdiversitet og genetisk diversitet.

Genetisk variation danner grundlag for fremtidig tilpasning gennem selektion og forædling. Genetisk variation, indenfor (og mellem) arter, er således en forudsætning, men ikke en garanti for at økosystemet kan tilpasse sig ændringer i det omgivende miljø (klimaændringer, forurening, introducerede eller nytilkomne arter). Det er derfor vigtigt at bevare genressourcerne af hensyn til arternes og dermed økosystemets langsigtede stabilitet og anvendelse (Larsen et al. 1996).

Hugst og efterfølgende fjernelse af biomasse fra skoven nedsætter momentant livsgrundlaget for de dyrearter, der direkte eller indirekte er knyttet til den pågældende træart. Hvis fjernelsen af biomasse er betydelig vil den kunne medføre, at habitatens økologiske bæreevne overskrides (Larsen et al. 1996). Godt halvdelen af de plante- og dyrearter, der i Danmark er klassificerede som særligt beskyttelseskrævende, er skovarter (Miljøministeriet, 1991).

De fraktioner af træ, der fortrinsvist tænkes solgt som flis til energi, er de fraktioner, der sædvanligvis efterlades i skoven. Brug af flis fra skoven til energi øger således den samlede eksport af biomasse fra skoven og vil resultere i at mindre dødt ved vil blive efterladt i skovbunden. Dette vil mindske næringsgrundlaget for nedbryderfødekæden og forskyde balancen mellem de levende organismer i skoven. Det er ikke på det foreliggende grundlag muligt at fastlægge en nedre grænse for, hvor megen død biomasse der skal efterlades i skoven for at fastholde et acceptabelt niveau for de biotiske ressourcer.

7.1.2 Bevarelse af abiotiske ressourcer

Skovøkosystemer danner hverken under naturlige eller dyrkede omstændigheder et fuldstændigt lukket stofkredsløb, idet der løbende sker stoflige udvekslinger med omgivelserne. Dyrkningsgrundlaget omfatter den samlede pulje af næringsstoffer i økosystemet, dvs. næringsstoffer, der enten befinder sig i biomassen, i død biomasse eller i jordbunden indenfor røddernes rækkevidde. Næringsstofferne i jordbunden skal endvidere være på en forholdsvis labil form (Larsen et al. 1996).

De processer, der har betydning for dyrkningsgrundlaget, kan inddeles i tre grupper:

- Næringsstofudtømmende processer: udvaskning (forsuring, blotlægning), og optagelse af næringsstoffer (biomasseudnyttelse)
- Næringsstofopbyggende processer: forvitring, gødskning og deposition, herunder luftforurening (specielt kvælstof)
- Intern cirkulation af næringsstoffer: immobilisering og mineralisering.

De to første grupper af processer er afgørende for den langsigtede stabilitet, mens de interne processer er afgørende for stabiliteten på kort sigt (Larsen et al. 1996).

For at opnå en bæredygtighed på kort sigt skal mineraliseringen ske lige så hurtigt som immobiliseringen. Bæredygtighed på langt sigt forudsætter, at næringsstoftabet i form af udvaskning og biomasseudnyttelse balancerer med næringsstoftilførselen fra forvitring, deposition og fixering over tid. Tab af næringsstoffer over tid mindsker dyrkningsgrundlaget med efterfølgende tab af produktive muligheder (Larsen et al. 1996).

En ophobning af kvælstof i skoven, der overstiger, hvad der indbygges i økosystemets biomasse eller i jordbundens organiske fraktion, kan medføre baseudvaskning og forsuring. Da kvælstoftilførslen til danske skove på grund af luftforureningen er stor (20-40 kg pr. ha pr. år) og større end kvælstofbortførslen ved biomasseudtag (5-10 kg pr. ha pr. år) er det væsentligt at kende grænsen hvor kvælstofmætning indtræffer. Meget tyder på, at denne grænse er nået i en række danske skovøkosystemer (Larsen et al. 1996).

For alle andre næringsstoffer sker der et nettotab fra skoven, der må opvejes af forvitring eller gødskning. Forvitringshastigheden sætter således en naturlig grænse for, hvor meget der kan udtages af organisk materiale fra ugødet skov pr. tidsenhed, hvis der ikke skal ske en forringelse af dyrkningsgrundlaget.

På nogle næringsfattige jorde kan det allerede i dag ses, at andre næringsstoffer end N er begrænsende for væksten. Det vil sige, at frigivelse af næringsstoffer ved forvitring ikke er i stand til at opveje det næringsstoftab, der hidrører fra fjernelse af biomasse fra skoven. På disse jorde vil der være stor risiko for udvaskning af syre og nitrat til grundvandet. Det er derfor nødvendigt at gødske/kalke, hvis der ønskes at udtage biomasse fra de næringsfattigste jorde. Gødskning/kalkning er også nødvendig på lidt bedre jorde, hvis dyrkningsgrundlaget ikke skal forringes på længere sigt. Denne gødskning er nødvendig for at vedligeholde næringsstofpuljen, men vil ikke nødvendigvis have umiddelbar stimulerende effekt på væksten (Larsen et al. 1996 samt Raulund-Rasmussen, pers. komm.).

For at modvirke nedgang i produktiviteten har den svenske Skogstyrelse i 1986 udgivet almene råd om begrænsning ved udtag af trædele ud over stammeved fra skoven. Disse begrænsninger skyldes, at stammebark og specielt grene og kviste indeholder en betydelig del af næringsstofferne i træet. I følge disse råd bør der ikke udtages andet end stammeved på tørre, næringsfattige jorde og fra grovsandede jorde. På visse typer jorde bør kun halvdelen af hugstaffaldet tages ud. Der er også begrænsninger for områder med udpræget risiko for sommertørke og for

områder med stort nedfald af sur regn. De almene råd foreskriver også, at der kun tages hugstaffald ud af en bestand én gang i bestandens levetid (SOU, 1992).

Udtag af bark og kviste fra skoven vil have positiv indvirkning på skovens kvælstofbalance, hvor der i dag er netto kvælstoftilførsel, men vil øge ubalancen for de andre næringsstoffer. Da træaske indeholder de fleste næringsstoffer fra træet, bortset fra N, vil tilbageføring af træaske til skoven kunne gøre udtag af hugstaffaldet næringsstofmæssigt acceptabelt. Det er imidlertid et problem, hvis sammensætningen i asken ikke svarer til sammensætningen i flisen. Tilbageføring af asken forudsætter, at der ikke sker en opkoncentrering af tungmetaller i skoven.

Tilbageholdelsen af næringstoffer i asken samt fordelingen mellem forskellige askefraktioner afhænger af den benyttede forbrændings- samt røgrensningsteknologi. N forsvinder i form af kvælstofforbindelser, svovl forsvinder delvist, mens de øvrige næringsstoffer forsvinder i partikelform i stærkt begrænset omfang, hovedsageligt bestemt af den anvendte teknologi til rensning for partikler. I en større serie forsøg i Østrig med træfyring på anlæg med røggaskondensering, er konstateret, at kun mellem 0,5 og 2,5% af Ca og Mg forsvinder gennem skorstenen. For de mere flygtige mineraler forsvinder en noget større andel, f.eks. op til 14% K (Evald, pers. Komm.).

7.2 Vurdering af energipotentiale fra dansk skovbrug

Forskningscenter for Skov og Landskab har foretaget en analyse af træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha. Prognoserne er foretaget som gennemsnit af perioderne 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019 (Lind 1994).

Prognoserne bygger på den samlede vedmasseproduktion fordelt på træarter samt antagelser om hugstforløb og aflægningsgrænser. Prognoserne er opgjort for hvert amt. Da træbrændselsressourcen er afhængig af prisforholdene for de alternative afsætningsmuligheder for de små dimensioner er der beregnet to scenarier:

- Scenario 1 angiver en stor træbrændselsressource. Der antages her at blive lave priser og vanskelige afsætningsforhold for industritræet i nål (uændret niveau i flisprisen). Den kritiske udhugningsdiameter (der angiver grænsen for hvornår det kan betale sig at aflægge til industritræ) antages at være 16 cm.

- Scenario 2 angiver en forventet træbrændselsressource. Der antages normale priser og afsætningsforhold for industritræet i nål og en kritisk udhugningsdiameter på 12 cm.

Løvtræ under 10 cm har kun en meget begrænset alternativ anvendelse, så hele denne fraktion er til rådighed som brændsel i begge scenarier.

Ved hovedskovningen vurderes kun halvdelen af hugstaffaldet at være tilgængelig for flisning, da grene og topender ønskes bevaret på magre jorde af hensyn til næringsstofbalancen. Desuden er det teknisk vanskeligt at få alt kvaset med (Lind 1994).

På dette grundlag vurderer Lind (1994), at den samlede uudnyttede træbrændselsressource fra danske skove er som angivet i nedenstående tabel 14.

Tabel 14 Årlig potentielt tilgængelige uudnyttede træbrændselsressource i Peta Joule efter fradrag for nuværende forbrug. Omregnet fra Lind (1994) ved antagelse om en brændværdi på 19 GJ/ton tørstof.

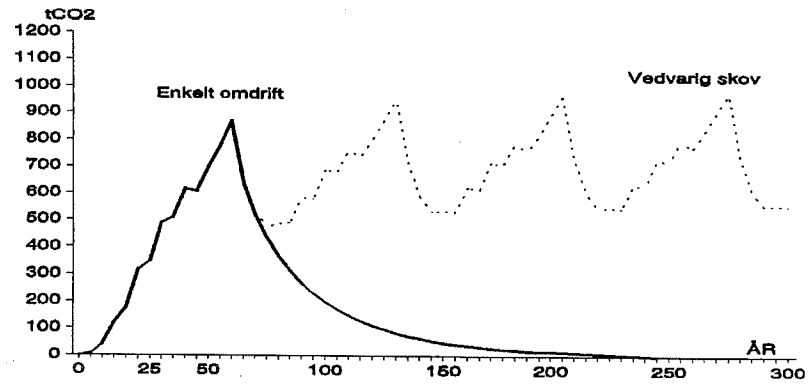
Årlig ressource i PJ	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Højt potentiale	5,8	5,2	5,7
Forventet potentiale	3,3	2,1	2,9

Til sammenligning er det nuværende forbrug af træ til energi på 5,0 PJ årligt. Heraf er ca. 60% brænde (Lind, 1994). I denne ressourceopgørelse er der taget et vist hensyn til bevarelse af biotiske og abiotiske ressourcer, idet halvdelen af hugstaffaldet ved hovedskovning er forudsat efterladt i skoven. Da der i ressourceopgørelsen er anvendt aggregerede produktionsklasseindelinger på amtsniveau, er det ikke muligt direkte ud fra udgangsmaterialet for ressourceopgørelsen at vurdere, hvorvidt der hermed er taget tilstrækkeligt hensyn til den biotiske ressource i næringsfattige jorde (Lind, pers. Komm.). Udtagningens betydning for den biotiske ressource er ikke vurderet.

For en mere præcis vurdering af biomasseressourcen fra skov til energi er det således nødvendigt at undersøge, hvor stor en andel af den tilgængelige træressource, der bør efterlades i skoven af hensyn til den biotiske ressource, samt i hvor høj grad udtag af små dimensioner af træ til energi forudsætter kompensationsgødning, hvilket delvist kan ske ved tilbageføring af træaske til skoven.

7.3 Kulstofbinding i skove

Det er besluttet at fordoble skovarealet i Danmark inden for en skovgeneration. Ved skovrejsning vil der ske en nettobinding af kulstof i de voksende træer, indtil skoven bliver fældet. Derefter vil der ske en nettofrigivelse af kulstof til atmosfæren i takt med at træet nedbrydes. Hvis der genplantes efter renafdriften, vil kulstofbindingscyklerne lappe over, og der opstår et dynamisk men vedvarende kulstoflager som vist i figur 8. Denne kulstofbinding kan være en del af en national CO_2-reduktionspolitik, idet skovrejsningen vil mindske nettoudslippet af CO_2 til atmosfæren indtil skoven er kommet i ligevægt. Der er dog tale om en éngangsbinding, der således ikke på lang sigt kan kompensere for en reduktion i energisektoren, men skovrejsningen kan udsætte tidsfristerne lidt.



Figur 9 *Kulstoflagring pr. hektar (i CO_2-ækvivalenter) i levende træbiomasse, død træbiomasse samt træprodukter for en enkelt omdrift og for den vedvarende skov (Linddal, 1994)*

Ved uændret anvendelse af træ til produkter med lang levetid samt genplantning af skov efter renafdrift, har Linddal (1994), beregnet at der ved skovrejsning vedvarende kan bindes mellem 140 og 240 tons kulstof (mellem 500 og 870 tons CO_2) pr. hektar i træ og træprodukter afhængigt af jordbundsforhold og træart. Beregningerne er foretaget med eg og rødgran som eksempler og viser, at selv om bindingen af kulstof sker hurtigere i gran end i eg, så medfører den længere omdriftstid for eg (140 år i forhold til 70 år) sammenholdt med længere levetid for træprodukterne, at eg giver en større samlet kulstofbinding end rødgran. Der vil sandsynligvis ske en binding af kulstof i jordbunden, men denne er ikke beregnet og derfor heller ikke medtaget i beregningerne.

Linddal (1994) har opstillet et skovrejsningsprogram, hvor der hvert år i 70 år plantes 3.000 ha nåleskov ligeligt fordelt på 'god', 'medium' og 'ringe' jordtype og tilsvarende tilplantes henholdsvis 500, 500 og 1.000 ha. løvskov pr. år i 140 år. Dette skovrejsningsprogram har efter 150 år bundet godt 80 mio. tons kulstof (godt 300 mio. tons CO_2) i levende træ, dødt træved i skoven samt træprodukter. Det svarer til 2 mio. tons CO_2 pr. år i gennemsnit. Kulstofbindingen kan fremrykkes ved at fremrykke skovrejsningen, men det vil ikke være hensigtsmæssigt at gøre dette i stort omfang, da det vil medføre problemer med at udhugning og hovedskovning så også vil ske samtidigt.

Ved plantning af skov bliver der ofte anvendt en såkaldt forkultur, der er en hurtigtvoksende træart, der plantes nogle år før eller evt. samtidig med hovedkulturen for at skabe et bedre vækstklima, mens hovedkulturen er mest følsom. Denne forkultur hugges efter få år og efterlades traditionelt i skoven, da den ikke tillægges nogen værdi i sig selv. Ved en bevidst satsning på at anvende træet fra forkulturen ved skovrejsning til energi, kan den vise sig at udgøre en ikke ubetydelig ressource, der er stabil over hele skovrejsningsperioden.

7.4 Sammenfatning

- Udtag af biomasse fra skoven mindsker aktiviteten i nedbryderfødekæden og jordens indhold af organisk stof. Det er ikke undersøgt hvilket niveau af organisk stof i jorden, der kan karakteriseres som akceptabelt. Der er heller ikke gennemført undersøgelser af den kvantitative effekt på biodiversiteten.
- På nogle næringsfattige jorde kan andet end N være begrænsende for tilvæksten. Hvis der skal udtages biomasse fra disse jorde, er det nødvendigt at tilføre kompensationsgødning.
- For sådanne jorde vurderes det at udtagning af små dimensioner vil mindske dyrkningsgrundlaget, med mindre der gødes. Det er således nødvendigt at fastsætte regler for udtagning af flis til energi fra disse jorde.
- En tilbageføring af vedaske til skovjorden må anses som en afgørende, men måske også tilstrækkelig, forudsætning for anvendelsen af hugstaffald fra skoven til energiformål i større skala for så vidt angår dyrkningsgrundlaget. Det kan dog være et problem, at vedasken ofte har en anden næringsstofmæssig sammensætning end den bortførte flis.
- Skovrejsning på 3.000 ha nåleskov/år i 70 år og 2.000 ha løvskov/år i 140 år kan medføre en CO_2-binding på i gennemsnit ca. 2 mio. tons pr. år (sammenlignet med en nuværende dansk emission på omkring 60 mio. tons CO_2 pr. år). Efter 150 år kan den samlede overjordiske C-binding således udgøre 300 mio. tons CO_2 (80 mio. tons C) Denne binding kan bidrage til den ønskede reduktion af den danske CO_2-emission i overgangsperioden, indtil der er etableret en bæredygtig energisektor.

- Effekten af skovrejsning på C-lagring i jorden er ikke nærmere afklaret.
- Ved en systematisk anvendelse af høj plantetæthed ved skovrejsning kan der fremskaffes en ikke ubetydelig biomasseressource, medens skovrejsningen står på.

Referencer

Alabouvette, C. (1986) Fusarium - wilt suppressive soils from the Châteaurenard region: review of a 10-year study. Agronomie 6, 273-284.

Besson, J.M., Daniel, R., Lischer, P., Wyss, O. (1986) Zusammensetzung von Rinder- und Schweingülle nach Lagerung, Belüftung und Methangärung sowie Wirkung des in den aufbereiteten Güllen enthaltenen Stickstoffes auf Italienisch-Raygras. In, Öko-Landbau - eine weltweite Notwendigkeit. (Ed.) Vogtmann, H., Boehncke, E. und Fricke I. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe. 110-123.

Borgen, A. (1991) Økologiske betænkeligheder ved biogas. Biogas Nyt nr. 3

Buyanovsky, G.A., C.L. Kucera & G.H. Wagner (1987) Comparative analyses of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. Ecology 68, 2023-2031.

Christensen, B.T. (1987) Omsætning af halm i dyrket jord - en oversigtsartikel baseret på litteratursøgning. Ugeskrift for Jordbrug 132, 1147-1153.

Christensen, B.T. (1988) Sædskiftets indflydelse på jordens indhold af organisk stof. I. Forsøg i rammeanlæg med halmnedmuldning og anvendelse af staldgødning, 1956-1986. Tidsskrift for Planteavl 92, 295-305.

Christensen, B.T. (1990) Sædskiftets indflydelse på jordens indhold af organisk stof. II. Markforsøg på grov sandblandet lerjord (JB5), 1956-1985. Tidsskrift for Planteavl 94, 161-169.

Christensen, B.T. (1996) Carbon in primary and secondary organomineral complexes. I M.R. Carter & B.A. Stewart (red.) Advances in Soil Science - Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 97-165.

Christensen, B.T. & P.Å. Malmros (1984) Spatial variability of litterfall and soil organic matter in a Beech stand. Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark 39, 384-396.

Christensen, B.T. & P. Schjønning (1987) Nedmuldning af halm. Tidsskrift for Planteavls Specialserie, Beretning nr. S1911, Statens Planteavlsforsøg, København.

Christensen, B.T. & A.E. Johnston (1996) Soil organic matter and soil quality: Lessons learned from long-term field experiments at Askov and Rothamsted. I E.G. Gregorich & M.R. Carter (red.) Soil Quality for Crop Production. Elsevier Science Publishers, Amsterdam (i trykken).

Christensen, B.T., J. Petersen, V. Kjellerup & U. Trentemøller (1994) The Askov Long-Term Experiments on Animal Manure and Mineral Fertilizers: 1894-1994. SP-report no. 43, Statens Planteavlsforsøg, København.

Davenport, J.R. & R.L. Thomas (1988) Carbon partitioning and rhizodeposition in corn and bromegrass. Canadian Journal of Soil Science 68, 693-701.

Doube, B.M., P.M. Stephens, C.W. Davoreu & M.H. Ryder (1994) Interactions between earthworms, beneficial soil microorganisms and root pathogens. Applied Soil Ecology 1, 3-10.

ELSAM, ELKRAFT, Energistyrelsen, De Danske Landboforeninger. (1994) Halmressourcer i Danmark på længere sigt.

Energistyrelsen (1995a) Energistatistik 1994. Energistyrelsen, København.

Energistyrelsen (1995b) Biogasfællesanlæg fra ide til realitet. Energistyrelsen, København

Evald, Anders, Videnscenter for halm- og flisfyring, DK-Teknik, Personlig kommunikation.

Gottschall, R. (1984) Kompostierung, Optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialen im okologischer Landbau. Alternative Konzepte 45. Verlag C.F. Muller Karlsruhe.

Holm, SV. N. & Johansen, B. (1989) Galega- den nye bælgplante. Ugeskrift for

Jordbrug 134, 279-283.
Illum, K., Jørgensen, P.J., Christensen, E.L.(1995) Fremtidens muligheder i dansk landbrug- modelberegninger af økologisk drevne jordbrugssystemer. I Magnus Demsitz (red): Rapport om økologisk jordbrugsreform. Specialarbejderforbundet i Danmark.
Jacobsen, S.T. (1995) Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer. Resources, Conservation and Recycling 13, 57-71.
Jacobsen, S.T. (1992) Chemical reactions and air change during decomposition of organoc matters. Resources, Conservation and Recycling 6, 259-266.
Jensen, B. & B.T. Christensen (1993) Rodafsætning i byg. Naturens Verden nr. 9, 352-358.
Jørgensen, U. (1996) Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K, and Cl in Miscanthus. Biomass & Bioenergy (i trykken).
Kahnt, G. (1986) Biologischer Pflanzenbau: Möglichkeite und Grenzen biologischer Anbausysteme. Verlag Eugen Elmer. Stuttgart.
Kelkjær, J. (1992) Energiskov - dyrkning og driftsøkonomi. Skovbrugsserien nr. 3, 1992. Forskningscentret for Skov og Landskab.
Kudeyarov, V.N. (1992) Compensation for organic carbon loss from soil at nitrogen fertilizer application. In J. Kubát: Humus, its structure and role in agriculture and enviroment. Proceedings of the 10. symposium Humus et Planta, held in Prague, in 1991. Elsevier, Amsterdam.
Landbrugets Rådgivningscenter (1995) Potentiel produktion af primært økologisk foderkorn.
Larsen, J. B.; K. Raulund-Rasmussen, T. S. Jensen, E. D. Kjær, P. Agger, L. Rasmussen & M. K. Jakobsen (1996) Skovøkosystemet og økologisk bæredygtighed. Udkast under udarbejdelse til rapport i forbindelse med Projekt Bæredygtig Skov. Sektion for Skovbrug, KVL. Upubl.
Larsen, K.E. & V. Kjellerup (1989) Årlig og periodisk tilførsel af kvæggødning i sædskifte. Mark og lysimeterforsøg. Tidsskrift for Planteavls Specialserie, Beretning nr. S1979, Statens Planteavlsforsøg, København.
LIK (1995a) Håndbog for kvæghold 1995-96. red. Landskontoret for kvæg.
Liljeroth, E., P. Kuikman & J.A. van Veen (1994) Carbon translocation to the rhizosphere of maize and wheat and influence on the turnover of native soil organic matter at different soil nitrogen levels. Plant and Soil 161, 233-240.
Lind, Carsten Hougs, Dansk Skovforening, Personlig kommunikation.
Lind, C. H. (1994): Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - Opgørelse og prognose. Skovbrugsserien nr. 10-1994, Forskningscenter for Skov og Landskab.
Linddal, M. (1994): CO_2-binding ved skovrejsning - en miljøøkonomisk model, Rapport til Miljøministeriet, Skov og Naturstyrelsen, Skovpolitisk kontor.
LØJ (1988) Økologisk Jordbrug, nr.43, marts 1988, 8. årgang.
LØJ (1995) Avlsregeler for økologisk jordbrug. Landsforeningen Økologisk Jordbrug.
Miljøministeriet (1991): Rødliste 90 - Særligt beskyttelseskrævende planter og dyr i Danmark, Miljøministeriet - Skov og Naturstyrelsen.
Miljøministeriet (1994): Strategi for en bæredygtig skovdrift. Betænkning nr. 1267.
Miljøministeriet (1996) Udkast til ny 'Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål' med kommentarer.
Morsing, M. & K. H. Nielsen (1995): Tørstofproduktionen i danske pilekulturer 1989-94. Skovbrugsserien nr. 13-1995, Miljø- og Energiministeriet, Forskningscenter for Skov og Landskab.
Neuerburg, W & Padel, S. (1992) Organisch-biologischer Landbau in der Praxis. Verlagsunion Agrar. München.

Nielsen, Keld Hauge (1994): Environmental Aspects of using waste waters and sludges in energy forest cultivation. Biomass & Bioenergy, 6, 123-132.
Olesen, J.E. (1991) Foreløbig beregning af CO_2 emission fra dansk landbrugsjord. AJMET Arbejdsnotat nr. 24, Forskningscenter Foulum, Tjele.
Olesen, J.E. & J.B. Holm-Nielsen (1995) Bioenergi uden at tære på kulstoflageret. Vedvarende Energi & Miljø nr. 5, 20-21.
Olesen, J.E. & Vester J. (1995) Næringsstofbalancer og energiforbrug i økologisk jordbrug. SP rapport nr.9. arpil 1995. 3. årgang.
Ott, P. (1986) Utilization of farmyard manure and composted farmyard manure: "A manuring strategy". In: The importance of biological agriculture in a world of diminishing resources. (Ed. Vogtmann, H., Boehnke, E. and Fricke, I.) Proc. 5th Int. Sci. Conf., Univ. Kassel, Aug 27-30 1984. s.61-73.
Pedersen, M. F. & Granholm, J. (1996) Økologisk jordbrug og energimæssig biomassseudnyttelse. To konflikterende udviklingsretninger. Inst. for Samfundsudvikling og Planlægning, AUC.
Plantedirektoretet (1994) bekendtgørelse nr. 892 af 27. oktober 1994.
Porter, John, Institut for Jordbrugsvidenskab, KVL: Personlig kommunikation.
Rasmussen, K.J. (1991) Reduceret jordbearbejdning og italiensk rajgræs som efterafgrøde II. Jordtæthed, rodudvikling og jordkemi. Tidsskrift for Planteavl 95, 139-154.
Rasmussen, K.J. & A. Andersen (1991) Nedmuldning af halm og efterafgrøde ved forskellig jordbearbejdning og kvælstofgødskning i fastliggende forsøg med vårbyg. Tidsskrift for Planteavl 95, 105-118.
Rasmussen, K.J. & A. Andersen (1994) Efterafgrøde, halmnedmuldning, jordbearbejdning og kvælstofgødskning. 13 års sædskifteforsøg på marskjord. SP-rapport nr. 13, Statens Planteavlsforsøg, København.
Rasmussen, Svend Nybo, Landsforeningen Økologisk Jordbrug, personlig kommunikation.
Rauhe, K. & Knappe, S. (1971) Systembetrachtungen zur Ertragsbildung unter besonderer Berücksichtigung der Humusvorräte des Bodens. Archive für Bodenfruchtbarkeit und Pflantenproduktion 15 281-287. Akademie-Verlag, Berlin.
Raulund-Rasmussen, Karsten, tidl. Sektion for Skovbrug, KVL, nu Forskningscenter for Skov og Landskab, Hørsholm, personlig kommunikation.
Raupp, J. (1995) The long-term trial in Darmstadt: Mineral fertilizer, composted manure and composted manure plus all biodynamic preparations. In Raupp, J (ed) Main effects of various organic and mineral fertilization on soil organic matter turnover and plant growth. Proceedings of the first meeting in Darmstadt May8th to 10th, 1995. Institute for Biodynamic Research, cop. Darmstadt.
Russell, E.W. (1973) Soil Conditions and Plant Growth, 10th Edition. Longman, London.
Schimel, D.S. (1995) Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. Global Change Biology 1, 77-91.
Schjønning, P. (1986) Nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg II. Indflydelse af halm og stubbearbejdning på jordens indhold af kulstof, kvælstof, kalium og fosfor. Tidsskrift for Planteavl 90, 141-149.
Skriver, K. (1984) Jordbearbejdning. I F. Bennetzen (red) Oversigt over Landsforsøgene 1983, Landsudvalget for Planteavl, Århus, pp. 50-52.
SOU (1992): Biobränslen för framtiden - Slutbetäntande av Biobränslekommisionen, Statens Offentliga Utredningar, SOU 1992:90 (samt bilag SOU 1992: 91), Almänna Förlaget, Stockholm.
Specialudvalget for Økologi (1994) Økologisk dyrkningsvejledning, Lucerne. Landbrugets Rådgivningscenter, Skejby, Århus.
Stevenson, F.J. (1994) Humus Chemistry - Genesis, Composition, Reactions. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Swift, M.J., O.W. Heal & J.M. Anderson (1979) Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Sørensen, L.H. (1987) Organic matter and microbial biomass in a soil incubated in the field for 20 years with ^{14}C-labelled barley straw. Soil Biology & Biochemistry 19, 39-42.

Teknologinævnet (1994) Biomasse til energiformål - et strategisk oplæg. Teknologinævnets rapporter 1994/4

Tersbøl, M. & Fog, E. (1995) Status over økologisk landbrug. I Kristensen, E.S. (red): Økologisk landbrug med udgangspunkt i kvægbedriften. Statens Husdyrbrugsforsøg, intern rapport nr. 42/1995.

Thomsen, I.K. (1995) Catch crop and animal slurry in spring barley grown with straw incorporation. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, 45, 166-170.

Thomsen, I.K. & J. Petersen (1991) Nedmuldning af hvedehalm. Tidsskrift for Planteavl 95, 277-287.

van Bruggen, A.H.C. & N.J. Grünwald (1994) The need for a dual hierarchical approach to study plant disease suppression. Applied Soil Ecology 1, 91-95.

VKI (1996) Anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål, Kontamineringsniveau, miljørisikovurdering og forslag til kvalitetskriterier. Udkast til Rapport til Miljøstyrelsen - Ferskvands- og Landbrugskontoret.

Østergaard, Troels V., Økologisk Jordbrugsråd, personlig kommunikation.

Østergaard, T. V. (1995) Muldsvind og biobrændsler. Global Økologi 2 nr. 3

Følgegruppens sammensætning

Følgegruppen for projektet har haft følgende sammensætning:

Bent T. Christensen, Statens Planteavlsforsøg, Forskningscenter Foulum

Per Kølster, Center for Økologi og Miljø, KVL

Poul Erik Morthorst, Systemanalyseafdelingen, Risø

Anne Sofie Nielsen, Ferskvands-og landbrugbrugskontoret, Miljøstyrelsen

John Porter, Institut for Jordbrugsvidenskab, KVL

Karsten Raulund-Rasmussen, Tidligere Sektion for Skovbrug, KVL, nu Forskningscenter for Skov og Landskab

Finn Rexen, Non-food sekretariatet, Strukturdirektoratet for Landbrug og Fiskeri, Landbrugs- og Fiskeriministeriet

Bent Sørensen, RUC

Søren Tafdrup, Biomassesektionen, 8. Kontor, Energistyrelsen (afløste Silke Westphal)

Pernille Tiedemann, Udviklingskontoret, Strukturdirektoratet for Landbrug og Fiskeri, Landbrugs- og Fiskeriministeriet

Silke Westphal, Biomassesektionen, 8. Kontor, Energistyrelsen (afløst af Søren Tafdrup)

Troels V. Østergård, medlem af Økologisk Jordbrugsråd

Endvidere har følgende været inviteret med til møderne:

Carsten Hougs Lind, Dansk Skovforening

Bo Læssøe, Landsforeningen Økologisk Jordbrug

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI varetager forskning og undervisning i bygningsprojektering, i bygningsenergiteknik og i energiplanlægning. Instituttet arbejder med formgivning og konstruktion af bygninger og byggesystemer, så de samtidig tilgodeser krav til sikkerhed, æstetik, holdbarhed, økonomi, rent miljø og lavt ressourceforbrug under såvel opførelse som drift. Bygninger er storforbrugere af energi, og deres energitekniske forhold behandles derfor indgående med hensyn til klimaskærmens opbygning, integration af solvarme, varmelagring og totale energiegenskaber. Instituttets arbejde med energiplanlægning omfatter bl.a. udnyttelsen af potentialet for energibesparelser og vedvarende energi for at fremme en samlet bæredygtig energiudvikling lokalt, nationalt og globalt.

Fagområderne er bl.a. bygningsprojektering, CAD, bygningsteknik, renovering, montagebyggeri, brandteknik, miljøstyring, klimapåvirkninger, fugtforhold, klimaskærm, solvarmeanlæg og passiv solvarme, termisk indeklima, energibesparende foranstaltninger, lavenergibyggeri, vedvarende energisystemer, integreret energi- og miljøplanlægning, energiplanlægning i ulande, og transportsystemers energiudnyttelse.

Instituttets arbejde foregår ofte i samarbejde med eksterne partnere, såvel nationalt som internationalt.

Institut for Bygninger og Energi - IBE

Danmarks Tekniske Universitet
Bygning 118
2800 Lyngby

Telefon: 45 93 44 77
Telefax: 45 93 44 30
E-mail: ibe@ibe.dtu.dk