

FØJO-rapport: Energi i økologisk jordbrug

1. Baggrund, formål og metode

(Uffe Jørgensen, Frede Hvelplund, Morten Gylling)

Formål: At beskrive rationale for videnssynesen, de valgte fokuseringer samt arbejdsmetode.

- Afgrænsning af emne – økologiske målsætninger
- Den globale energiforsyningsituation og drivhusgasudvikling
- Teknologivalg i relation til økologiske principper
- Lokal produktion til eget brug kontra substitution
- Nuværende politiske og økonomiske forhold i Danmark for Ø. J. og for energiråvarer

1.1 Energiaspekter i de økologiske målsætninger

Energiforsyning er en væsentlig forudsætning for at kunne drive jordbrug. En bæredygtig energiforsyning er et grundlæggende aspekt i de økologiske målsætninger, der bl.a. udtrykker, at *'med økologisk jordbrug forstås et selvholdende og vedvarende agroøkosystem i god balance. Systemet baseres mest muligt på lokale og fornyelige ressourcer'* (Strukturdirektoratet, 1999). Også Økologisk Landsforenings avlsgrundlag nævner, at økologisk jordbrug skal *'arbejde så meget som muligt i lukkede stofkredsløb og benytte stedlige ressourcer, undgå alle former for forurening, som måtte hidrøre fra jordbrugsmæssig praksis og reducere jordbrugets forbrug af ikke-fornybare ressourcer herunder fossile brændstoffer til et minimum'* (Økologisk Landsforening, 2002). De danske målsætninger er således mere explicit formuleret med hensyn til minimering af fossilt energiforbrug end de internationale målsætninger formuleret af IFOAM: *'to use, as far as possible, renewable resources in production and processing systems and avoid pollution and waste'* (International Federation of Organic Agriculture Movements, 2002).

I udviklingen af økologisk jordbrug har det indtil videre været forhold som næringsstoffer, ukrudt, skadedyr og husdyrvelfærd, der har haft højest prioritet, mens der ikke er sket megen udvikling med henblik på at minimere forbruget af fossile brændsler. I Aktionsplan II for Økologisk Jordbrug er derfor anført en række anbefalinger om udredning og forskning i mulighederne for reduktion af energiforbruget pr. produceret enhed samt for produktion af biogas og energiafgrøder (Strukturdirektoratet, 1999): Skal de citeres ???

- Det anbefales, at forskningen i større omfang medvirker til at muliggøre det økologiske jordbrugs ønske om at reducere energiforbruget pr. produceret enhed.
- Det anbefales at iværksætte et forsknings-, demonstrations- og udredningsarbejde med henblik på at undersøge mulighederne for produktion af biogas i forbindelse med økologisk jordbrug.
- Det anbefales at udføre en analyse af, hvilken rolle energiafgrøder kan spille i forhold til et eventuelt mål om at reducere det økologiske landbrugs afhængighed af fossil energi. I

forlængelse af analysen bør der iværksættes forsknings- og demonstrationsaktiviteter med fokus på, hvorledes energiafgrøder kan indpasses i økologiske sædskifter på en forsvarlig måde.

Ved energiproduktion i økologisk jordbrug kan man komme i konflikt med andre grundlæggende principper i værdigrundlaget for økologisk jordbrug, men man skal være opmærksom på, at disse principper er i løbende udvikling i takt med at ny viden opnås. Fx har der tidligere været lagt stor vægt på, at gødning og foder skulle opbevares aerobt, hvilket i høj grad var inspireret af den biodynamiske tankegang (FØJO, 2000b). Der er dog i løbet af de seneste tiår sket en ændring i den opfattelse bl.a. som følge af, at der ikke har kunnet dokumenteres nogen positiv effekt af kompost på kvalitet af jord eller produkter, mens der til gengæld kunne påvises et tab af næringsstoffer ved kompostering (Sommer & Eriksen, 2000). Anaerobe systemer til opbevaring af gødning og foder (gylle og ensilage) er derfor blevet meget almindelige i økologisk jordbrug.

Tilsvarende har der tidligere været stor modstand mod at anvende (anaerob) bioforgasning i økologisk jordbrug bl.a. ud fra en bekymring om, at det ville forringe jordens kvalitet sammenlignet med anvendelse af traditionelt håndteret gødning (Østergaard, 1995; Christensen et al., 1996). Men denne modstand er siden aftaget, da der ikke er fundet undersøgelser, som understøtter denne bekymring (kilde?).

Et andet centralt princip i økologisk jordbrug er nærhedsprincippet, som skal sikre gennemskuelighed og lokal accept af produktionen (FØJO, 2000b). Mindsket transport af varer ved øget fokus på nærmarkeder vil således være i tråd med nærhedsprincippet, samtidigt med at en mindskning af transporten vil mindske energiforbruget.

Med hensyn til vedvarende energiproduktion vil det være mest relevant at økologisk jordbrug i tråd med nærhedsprincippet udnytter de vedvarende energikilder decentralt. Dermed udelukkes i første omgang teknologier, som kræver større centrale anlæg – også fordi sporbarheden vil reduceres alvorligt. Det er fx anlæg til produktion af biodiesel (RME) og til etanolproduktion på basis af lignocellulosemateriale, som kræver store centrale anlæg. Også elproduktion fra biomasse sker i Danmark i høj grad på store centrale kraftværker, men der er teknologier under udvikling, som kan udnyttes til decentral kraftvarmeproduktion (Carlsen & Bovin, 2001; Videntcenter for Halm- og Flisfyring, 1999). Der er dog stadig mulighed for at etablere mellemstore anlæg, hvor flere økologer slutter sig sammen om en fælles produktion for at høste nogle stordriftsfordele eller for at opnå et fællesskab om produktionen. Det er fx tilfældet med projekt 'Øko-gas Give' om etablering af et biogasfællesanlæg (Jensen, 2002), og der kan også være fordele ved at etablere fællesanlæg til presning af oliefrø (Ferchau, 2000).

Endeligt kan produktion af vedvarende energi i økologisk jordbrug være med til at skabe grundlag for en forbedret recirkulering – et andet centralt princip i økologisk jordbrug (Rasmussen, 1999; FØJO, 2000a, b). Det kan ske ved at tilsætte husholdnings- og/eller industriaffald til biogasanlæg, hvor næringsstoffer og tungt omsætteligt kulstof kan returneres til jorden, efter at energien er trukket ud af affaldet. Det kan også ske ved at acceptere gødsning af energiafgrøder med kildesorteret urin og fæces eller evt. med slam, hvilket hidtil har været forbudt i økologisk jordbrug.

Stigningen i forbrugerefterspørgslen efter økologiske produkter er aftaget i de seneste år. Det kan hænge sammen med, at det forbrugersegment, som vil støtte pesticidfrit jordbrug og øget fokus på dyrevelfærd har lagt sit forbrug på et fast niveau. Hvis økologisk jordbrug opfylder sine målsætninger om at reducere forbruget af fossile brændsler til et minimum kan det være med til at skabe interesse for

økologiske produkter i andre forbrugersegmenter. I landbruget er der dog mange andre kilder til drivhusgasser end CO₂-emission fra afbrænding af fossile brændsler, og det er derfor vigtigt, at en strategi for reduktion af fossilt energiforbrug bygger på en analyse af effekten på den samlede drivhusgasbalance fra den økologiske produktion.

1.2 Den globale energiforsyningssituation og drivhusgasudvikling

Hvilken udvikling der skal fremmes i økologisk jordbrug og hvilke principper, der skal lægges mest vægt på at operationalisere afhænger også af samfundets øvrige prioriteringer og af væsentlige globale problemstillinger. I forbindelse med energiaspektet er det væsentligt kort at skitsere den globale energiforsyningssituation og status for drivhusgasområdet.

Sikkerhed og grøn energipolitik (Frede Hvelplund)

Energi politikken indrettes efter samfundets målsætninger, med hensyn til langsigtet forsyningssikkerhed og ressourceknaphed, global opvarmning, sikkerhedspolitik, demokrati, innovation, omkostnings-effektivitet og energipriser.

Vi er sandsynligvis ikke i en umiddelbar ressourceknaphedssituation på olieområdet. Men det er vigtigt at være opmærksom på, at olien befinder sig i politisk ustabile områder, og at de store olieforbrugende områder som bl.a. USA og Europa har meget små olieressourcer, som er ved at være udtømte. Såvel USA, som EU Europa har en meget lille del af verdens kendte olie og naturgasreserver. Ser vi alene på fordelingen af oliereserverne mellem Europa, USA, Mellemøsten og Rusland, illustreres de af tabel 1.

Tabel 1. Oliereserver i milliarder tønder i år 2000.

EU Europa	Rusland, Kazakstan, Usbekistan.	Mellemøsten, Libyen, Alger	USA	I alt verden	Årsforbrug i verden år 2000
30,4	177	602	32	1103	27

Kilde: Schindler (2001).

Tabellen viser, at oliereserverne i EU-Europa og USA kun udgør ca. 5% af verdens samlede oliereserver. De store og lettilgængelige reserver findes i Mellemøsten og Nordafrika, mens relativt store og noget mindre lettilgængelige reserver findes i Rusland, Kazakstan og Usbekistan. USA er blevet stadig mere afhængig af import af olie, og havde i år 2000 en nettoimport på ca. 50% af forbruget mod 35-40% i perioden 1965-1985. I USA er olieproduktion faldet med en tredjedel siden 1970, som et resultat af udtømmning af olie kilderne (Schindler ??).

Det er derfor ikke uden grund, at den nuværende Bush-Cheney administration interesserer sig meget for Irak, som har lettilgængelige oliereserver, der er tre gange så store som USA's samlede oliereserver. I den forbindelse er det vigtigt at slå fast, at USA har meget store muligheder for udnyttelse af såvel vind- som solenergi, og at potentialerne for energieffektivisering på transportområdet er enorme. USA kunne således alternativt med en mere energimæssig innovativ energipolitik både geostrategisk og innovationsmæssigt placere sig i en stærk situation ved at modernisere og effektivisere energisystemet i en miljøvenlig retning.

EU kommissionen regner i publikationen "Towards a European Energy strategy for the security of energy supply" (EU-kommissionen, 2000) med, at EU's import af olie vil stige fra 50% af forbruget i

2000 til 70% af forbruget i 2020-2030. Dette sker i takt med, at de Europæiske kilder i UK, Norge og Danmark er brugt op i løbet af de næste 10-30 år.

Der er derfor meget konkrete ressource- og forsyningsikkerhedsmæssige grunde til, at EU har en relativ aktiv energipolitik med forholdsvist ambitiøse målsætninger omkring energibesparelser og vedvarende energi. Det er f.eks. målsætningen, at EU skal forøge andelen af vedvarende energi i energiforsyningen fra 6% til 12% fra 2000 til 2010 (EU-kommissionen, 1997).

I Danmark begynder olieproduktionen ifølge Energistyrelsen (xxxx?) allerede at gå ned fra 2003, og olien vil være næsten opbrugt, når de der bliver født i 2003 er i tyveårsalderen. I perioden 2010-2020 kan USA og EU derfor blive stadig mere afhængige af olieimport og især af olie fra Mellemøsten.

I den situation er der to veje at gå. Den ene vej medfører stigende olieforbrug, ingen udvikling af de vedvarende energikilder og et stort behov for militær kontrol med det vigtigste olieforsyningsområde, Mellemøsten (Er der en kilde på det, hvor problemstillingen er analyseret nærmere?). Den kan medføre, at vi kommer til at leve i en meget usikker verden med en på grund af de store militærudgifter meget dyr energiforsyning.

Den anden vej kendetegnes ved en øget satsning på energieffektivisering og vedvarende energikilder. En vej som Danmark har været på indtil nu, og en vej, som især vores nabo mod syd, Tyskland, med sin omfattende satsning på de vedvarende energikilder, har taget. En vej som også EU synes at bakke op om (EU-kommissionen, 1997, 2000).

Landbrugets drivhusgasbalance, Kyotoprotokollen og Klima 2012

Dansk landbrug står for ca. 22% (eller er det kun 18?) af landets samlede emission af drivhusgasser (Olesen et al., 2001), og er dermed en afgørende faktor i vurderingen af Danmarks samlede drivhusgasbalance og mulighederne for at opfylde Kyotoprotokollen. Landbrugets energiforbrug forårsager dog kun ca. 12% af landbrugets samlede drivhusgasemission, mens den største del forårsages af lattergas og metan dannet under omsætning af C og N i jord, husdyr og gødning (Fenhann, 1999). På den anden side bidrager landbruget til fortrængning af fossil energi og dermed en reduktion af drivhusgas-emissionen ved at levere biomasse til energi, primært i form af halm. Ifølge (Dalgaard et al., 2000) leverede landbruget i 1996 biomasse til energi med et energiindhold på 14 PJ sammenlignet med et energiforbrug (direkte + indirekte) i landbruget på 77 PJ.

En omlægning til økologisk jordbrug vil påvirke mange poster på drivhusgasbalancen, nogle i positiv og andre i negativ retning (Olesen, 2001). Ved analyse af tre forskellige scenarier for 100% omlægning til økologisk jordbrug vurderede Dalgaard et al. (2000) dog at den samlede drivhusgasemission ville falde ved omlægningen i alle tilfælde (med 13-38%) (evt. tabel). Dette var tilfældet, selvom der ikke blev forventet en energiproduktion fra biomasse i de økologiske scenarier.

Ved en vurdering af effekter på drivhusgasbalancen af enkelte energimæssige tiltag er det meget vigtigt at analysere effekter på alle landbrugets emissionsposter, da der kan være store afledte effekter (Olesen, 2001). Fx vil en energibesparelse på reduceret jordbearbejdning sandsynligvis også forårsage en øget kulstoflagring i jorden (Olesen, 2001a), mens en fortrængning af fossil energi ved afbrænding af halm vil medføre en mindsket kulstoflagring i jorden (Christensen, 2002). Udnyttelse af biogas forårsager en fortrængning af fossil energi, men dertil kommer, at det vil reducere metanemissionen ved gødningshåndtering betydeligt (Sommer et al., 2001).

Den danske regering fremlagde i år 2000 en strategi for Danmarks opfyldelse af Kyotoprotokollen (første fase?), Klima 2012 (Miljø- og Energiministeriet, 2000). Her skitseres en række muligheder for at reducere landbrugets drivhusgasemission, herunder energibesparelser og udnyttelse af biogas og anden biomasse til energi, og landbruget vurderes at *'bidrage ganske betydeligt til den reduktion af klimagasser, der skal gennemføres frem til 2012'*. Denne vurdering deles af den nye regering, der i den nationale strategi for bæredygtig udvikling siger, at *'også landbruget vil bidrage ganske betydeligt til at begrænse udledningen af klimagasser'* (Regeringen, 2002).

1.3 Nuværende politiske og økonomiske forhold for økologisk jordbrug i Danmark (Morten Gylling)

Nuværende økonomiske og politiske forhold

Der er ikke en politisk/økonomisk sammenkædning mellem økologisk landbrug og vedvarende energi, udover formålet der for begges vedkommende er en mere bæredygtig udvikling.

Væksten i afsætningen af økologiske produkter er fladet ud i den senere periode. Det er i denne forbindelse en klar politisk holdning at økologien fremover skal kunne klare sig på markedsvilkår inden for de eksisterende tilskudsrammer (Regeringen, 2002). Der er dog i efteråret 2002 gennemført en øget fleksibilitet i tilskudsordningerne ligesom administrationen af ordningerne er forenklet.

Samtidig er reglerne for omlægningstilskud ændret, således at der fremover kun gives tilskud til omlægning inden for produktioner, hvor der er mangel på økologiske varer (større efterspørgsel end udbud), hvilket eksempelvis betyder, at der for nuværende ikke gives tilskud til omlægning af mælkeproduktion til økologisk produktion.

Den økologiske sektor har p.t. to væsentlige udfordringer:

- overgangen til 100 pct. økologisk foderforsyning
- øgning af efterspørgsel gennem produktudvikling og nye kundesegmenter.

Vedvarende energi

Det ultimative mål for den økologiske sektor må være at blive uafhængig af fossil af energi. Dette er dog næppe realistisk, men det vil utvivlsomt være til stor fordel for det økologiske jordbrug at søge mod en vis selvforsyning af energi.

Den eksisterende energihandlingsplan – Energi 21 (Miljø- og Energiministeriet, 1996), har gennem længere tid været under revision. Planens tidshorisont er frem til år 2030, og et af planens hovedmål er, udover at sikre en stabil energiforsyning, at sikre en reduktion i CO₂ udledningen, svarende til aftalerne i Koyotoprotokollen. Dette skal primært opnås ved at indfase en stigende mængde vedvarende energi i energisystemet.

Den igangværende revision af energihandlingsplanen forventes ikke at ændre på planens endelige mål i 2030, men indfasningen af biomasse og biogas bliver klart langsommere end oprindeligt antaget (kilde ?).

Samtidig er den såkaldte ”Joint Implementation” mekanisme kommet ind som et nyt kombineret energi- og miljøpolitisk instrument, der må forventes især at erstatte en del af den planlagte indfasning af vedvarende energi.

Som er led i liberaliseringen af el-markedet skal der etableres et marked for VE-beviser, som dog indtil videre er udskudt, idet forudsætningerne ikke som forventet var på plads med indgangen til 2003.

Der er i stedet vedtaget reducerede støttesatser for produktionen fra nye VE-anlæg (vind, biomasse, biogas). Samtidig bortfaldt anlægsstøtten til biogasanlæg, mens der p.t. er et udvalgsarbejde i gang vedrørende en opretholdelse af de tidligere støttesatser for el-produktion fra biogasanlæg.

Den hidtidige energipolitik har fokuseret på produktion af el og varme fra vedvarende energi, mens motorbrændstoffer som ethanol og rapsolie har været vurderet mindre miljøøkonomisk optimale (Skatteministeriet, 2002), og derfor ikke har haft politisk bevågenhed. Der er dog også på dette område fortsat en del aktivitet på embedsmandsplan.

Vind og biogas til el- og varmeproduktion og koldpresset rapsolie til drivmiddel er energiformer, der kan indpasses i den økologiske produktionsform.

En økologisk biogasproduktion har dog visse indskrænkninger i råvarevalget sammenlignet med den konventionelle biogasproduktion, idet det fedtrige industriaffald næppe er acceptabelt i en økologisk produktion.

For at kunne opretholde en acceptabel gasproduktion må der findes andre produkter som tilsætning til gyllen.

En anden mulighed er biogasproduktion på basis af kløvergræs evt. blandet med en mere kulhydratrig biomasse. Der vil her både være mulighed for at producere el og varme samt få en proteinrig rest der vil kunne anvendes som proteinfoder og derved afhjælpe nogle af problemerne med proteinforsyningen, når foderet skal være 100 pct. økologisk.

1.4 Muligheder for reduktion af fossilt energiforbrug i økologisk jordbrug (overlap m. kap. 2?)

Olesen & Vester (1995) beregnede energiforbrug og energiudbytte på en række økologiske modelejerdomme og fandt en betydelig spredning mellem brug. Som forventeligt var energibalancen (output/input) betydeligt bedre på rene planteavlbrug end på kvægbrug. Dalgaard et al. (2000) fandt, at omlægning til økologisk jordbrug vil mindske energiforbruget pr. produceret enhed i både planteavl og husdyrproduktion, primært som følge af, at der ikke bruges mineralsk N-gødning. I deres beregninger forventedes ikke en energiproduktion fra halm og biogas i økologisk jordbrug, således som det er tilfældet i konventionelt jordbrug. Der er heller ikke set på mulige forbedringer i energieffektiviteten i økologisk landbrugsproduktion.

Halm er en vigtig ressource i økologisk jordbrug, dels som strøelse til dyr, dels bør halmens næringsstoffer og kulstof tilbageføres til jorden i kornrige sædskifter for at bevare jordens frugtbarhed (kilde?). Halm kan derfor ikke forventes udnyttet til afbrænding i større omfang i økologisk jordbrug, men kan formodentligt udnyttes i biogasanlæg. Derimod kan tænkes dyrket kvælstofsamlende flerårige energiafgrøder (fx elletræer, kløvergræs), som kan producere energi samtidig med, at der opbygges humus (Granhall, 1994). Kløvergræs kan udnyttes i biogasanlæg (Jørgensen & Hannibal, 1997), hvorved den indsamlede kvælstof og øvrige næringsstoffer kan recirkuleres på bedriften.

I biogasanlæg kan det endvidere overvejes, om affald fra byerne kan tilsættes, således at energiproduktionen optimeres og næringsstofferne i husholdningsaffald og eventuelt i human urin og fæces kan blive recirkuleret. Biogasproduktion i økologisk jordbrug bør i det hele tages op til vurdering, på trods af at den har været omdiskuteret i økologiske kredse i Danmark (Christensen et al., 1996).

Økologisk jordbrug kan også vælge at sikre en vedvarende energiforsyning fra andre kilder end biomasse. Det kan fx være vindenergi til produktion af el og brint, hvor sidstnævnte kan anvendes som drivmiddel. Der er således behov for en samlet vurdering af, hvilke vedvarende energikilder der bedst kan medvirke til at mindske økologisk jordbrugs afhængighed af fossile brændsler.

Endeligt findes der en række muligheder for at spare på energien i forskellige led af den økologiske produktion. På www.energisparekatalog.dk findes en oversigt over konkrete sparemuligheder. Der er dog også gode muligheder for energibesparelser ved overordnede omlægninger i driftsplanen (Dalgaard et al., 2002). I planteavl kan reduceret jordbearbejdning mindske energiforbruget, men det kan til gengæld i økologisk jordbrug give forøgede ukrudtsproblemer. I husdyrbruget er anvendelse af eget foder oftest energimæssigt billigere end importeret foder. Produktion af kløvergræs kræver kun lidt energi og ved afgræsning spares energi sammenlignet med høst og udfodring af græsset.

I denne rapport vil vi gennemgå potentialet og afledte effekter af ovennævnte muligheder for at reducere energiforbruget i økologisk jordbrug.

1.5 Videnssynesens formål

Det er videnssynesens overordnede formål, at

- Sammenfatte den viden, der foreligger omkring energiforbrug, muligheder for besparelser, indkøb af vedvarende energi og produktion af energi i økologisk jordbrug.

Videnssynesen har ydermere som delmål, at

- Vurdere muligheder for at inkludere krav om reduceret forbrug af fossil energi i økologisk produktion, herunder muligheder for energideklaration af øko-varer.
- Analysere det mulige bidrag fra energiproduktion på økologiske brug til en bedre selvforsyning med næringsstoffer og/eller recirkulering fra by til land.

1.6 Afgrænsning af emne samt arbejdsmetode

Energiaspektet er meget bredtfaende og griber på et eller andet plan ind i alle operationer på en gård og i den videre transport og forarbejdning af gårdens produkter. Vi har derfor udvalgt nogle eksempler på ændringer i systemvalg og i adfærd, som kan påvirke det samlede energiforbrug uden at forsøge at estimere det samlede potentiale for energibesparelser ??

På det frie elmarked vil det sandsynligvis blive muligt at købe strøm, som er produceret ud fra vedvarende energikilder. Økologiske jordbrugere kan således vælge ganske simpelt at minimere deres forbrug af fossil energi ved at bestille 'grøn strøm'. Vi har kort analyseret/diskuteret denne mulighed, men har ellers lagt mere vægt på at analysere muligheder for at producere biomasse-energi på gården, idet det veksler kraftigt med den øvrige produktion på gården og kan give nogle afledte fordele for fx næringsstofbalancen. Biomasse har også en vigtig rolle til effektregulering i et vedvarende energisystem i kraft af lagermuligheden, som indtil videre er meget begrænset for vind- og solenergi.

I et evt. fremtidigt brintsamfund vil de nuværende drivmidler til traktorer o.l. kunne erstattes med brint produceret ud fra vedvarende energi. Det vurderes dog fortsat at være en del år inden denne mulighed bliver en realitet i praktisk skala (kilde?), og vi har derfor valgt ikke at analysere brintmuligheder i landbruget (på detailniveau?), men i stedet at se på de muligheder, der p.t. er realiserbare. Som mulige erstatninger for diesel, som udgør xx% af energiforbruget på økologiske landbrug, har vi set på mulighederne for at bruge biogas eller planteolie.

Centralt for arbejdet med videnssynthesen har været en bredt sammensat ekspertgruppe med 26 eksperter fra forskellige fagområder. Der har været afholdt tre møder i gruppen, hvor projektets retning og fremdrift på forskellige stadier i arbejdsprocessen er blevet diskuteret. Væsentlige diskussioner har været

Den valgte prioritering af emner og videnssynthesens analyserækkefølge kan skitseres ved nedenstående gennemgang af rapportens kapitler:

- I 1. kapitel skitseres baggrunden for arbejdet – de økologiske målsætninger, den globale energiforsyningssituation og den nuværende politisk/økonomiske situation for Ø.J.
- Kapitel 2 beskriver herefter status for energiforbruget i Ø.J., idet der med eksempler gives et overblik over forskelle mellem brugstyper m.v. Mulige energibesparelser ved teknologiskift eller ændret drift skitseres.
- I kapitlerne 3 og 4 ses på muligheder for produktion af energi i Ø.J. I 3. kapitel belyses mulighederne i biogasproduktion, som kan få en særlig rolle som næringsstofbank i Ø.J og kan fungere som planteavlsbrugenes drøvtygger.
- I 4. kapitel beskrives mulighederne for at dyrke biomasse til biogasanlægget, til oliepresning eller til direkte forbrænding, idet 3 udvalgte afgrøder beskrives som eksempel. Teknologivalg til konvertering af biomasse til energi diskuteres. Endelig beskrives, hvilke muligheder for udnyttelse af sol og vind, der har speciel relevans for Ø.J.
- I 5. kapitel vurderes effekterne af de foreslåede teknologier og afgrøder fra kapitel 3 og 4 på sædskiftet i Ø.J. samt på næringsstof- og drivhusgasbalancer.
- I 6. kapitel opstilles scenarier for et reduceret forbrug af fossil energi i Ø.J. ved besparelser og ved produktion af VE, som beskrevet i de tidligere kapitler. Den samlede effekt og barrierer for ændringerne diskuteres.
- Kapitel 7 konkluderer og giver oversigt over muligheder og barrierer. Behov for ny viden skitseres.

1.7 Litteratur

Carlsen, H. & Bovin, J., 2001. Stirling engines in small CHP plants. Proceedings of the Nordic & European Bio-Energy Conference and Exhibition, Aarhus, Denmark, 25-28 September 2001, 152-160.

Christensen, B.T. (Red.), 2002. Biomasseudtag til energiformål – konsekvenser for jordens kulstofbalance i land- og skovbrug. DJF Rapport Markbrug nr. 72, 75 pp.

Christensen, B.T., Meyer, N.I., Nielsen, V. & Søgaard, C., 1996. Biomasse til energi og økologisk jordbrug. Institut for Bygninger og Energi DTU, Rapport R-002, 57 pp.

Dalgaard, T., Dalgaard, R. og Nielsen, A.H., 2002. Energiforbrug på økologiske og konventionelle landbrug. Grøn Viden Markbrug nr. 260.

- Dalgaard, T., Halberg, N. & Fenger, J., 2000. Simulering af fossilt energiforbrug og emissioner af drivhusgasser. FØJO-rapport nr.5, 70 pp.
- EU-kommissionen, 1997. Energy for the future: Renewable sources of energy. White paper COM (97) 599.
- EU-kommissionen, 2000. Towards a European Energy strategy for the security of energy supply. Green Paper of the European Commission, Bruxelles, Belgien.
- Fenhann, j., 1999. Projections of emissions of greenhouse gases, ozone precursors and sulphur dioxide from Danish sources until 2012. Energistyrelsen, 69 pp.
- Ferchau, E., 2000. Equipment for decentralised cold pressing of oil seeds. Rapport fra Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi, 60 pp.
- FØJO, 2000a. Analyse af det økologiske regelsæt vedr. gødskning og miljøpåvirkning. Notat til Det Økologiske Fødevareråd/Strukturdirektoratet, 39 pp.
- FØJO, 2000b. Principper for økologisk jordbrug. Notat udarbejdet til FØJO's brugerudvalg, 29 pp.
- GRANHALL,U. 1994. Biological fertilization. *Biomass and Bioenergy*, **6**, 81-91.
- International Federation of Organic Agriculture Movements, 2002. IFOAM Norms. 139 pp.
- Jensen, K.S., 2002. Øko-gas Give – eksempel på økologisk biogasfællesanlæg. Kongresbilag fra Økologi-kongres 2002 – Mellem værdier og vækst, 80-84.
- Jørgensen, P.J. & Hannibal, E., 1997. Kløvergræs som energiafgrøde. Dansk Bioenergi 31, 8-9.
- Olesen, J.E. & Vester, J., 1995. Næringsstofbalancer og energiforbrug i økologisk jordbrug. SP rapport nr. 9, 143 pp.
- Olesen, J.E., Petersen, S.O., Andersen, J.M., Fenhann, J. & Jacobsen, B.H., 2001. Emission af drivhusgasser fra dansk landbrug. DJF rapport, Markbrug nr. 47, 45 pp
- Miljø- og Energiministeriet, 1996. Energi 21 – Regeringens energihandlingsplan.
- Miljø- og Energiministeriet, 2000. Klima 2012 – status og perspektiver for dansk klimapolitik. 191 pp.
- Rasmussen, S.N., 1999. Recirkulering af næringsstoffer fra by til land i økologisk perspektiv. Erhvervsjordbruget, Landbonyt 7/1999, 22-25.
- Regeringen, 2002. Fælles Fremtid – Udvikling i balance. Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling. 87 pp.

Schindler, J. & Werner, Z., 2001. Comment on the Green Paper of the European Commission, "Towards a European Strategy for the security og energy supply", L-B Systemtechnik GmbH, Tyskland.

Sommer, S.G. & Eriksen, J. (red.), 2000. Husdyrgødning og kompost. FØJO-rapport nr. 7.

Sommer, S.G., Møller, H.B. & Petersen, S.O., 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF rapport - Husdyrbrug, 31, 53 pp.

Strukturdirektoratet, 1999. Aktionsplan II – Økologi i udvikling, 367 pp.

Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1999. Træ til energiformål, teknik – miljø – økonomi. 71 pp.

Økologisk Landsforening, 2002. Værdigrundlag for Økologisk Landsforening. www.okoland.dk.

Østergaard, T.V., 1995. Muldsvind og biobrændsler. Global Økologi 2(3), 3-8.

2. Status for energiinput og –output i økologisk jordbrug samt muligheder for besparelser (Tommy Dalgaard, Niels Halberg, Martin Heide Jørgensen)

Formål: Ved udvalgte eksempler at give læseren en viden om status for energiforbruget i Ø.J., om hvilke operationer der vejer tungt i regnskabet, og om mulige besparelser.

- *Beskrivelse af kritiske forudsætninger for beregninger*
- *Fordeling på brugstyper – tal for kvæg-, plante- og evt. svine/fjerkræbrug*
- *Fordeling på operationer (indirekte forbrug, markarbejde, stald m.m.)*
- *Fordeling på energibærere (olie, strøm, varme)*
- *Diskussion af udspecificeringsgrad af energiforbruget (pr kg/ kr/ ha/ gård/ region ?)*
- *Betydning af transport (store/ små brug - nær-/ fjernmarked)*

2. Status for energiinput og -output i økologisk jordbrug samt mulighed for besparelser

Tommy Dalgaard, Niels Halberg, Martin Heide Jørgensen
Danmarks JordbrugsForskning

2.1 Sammendrag

2.2 Indledning

Formålet med dette kapitel er at give et overblik over forhåndenværende viden omkring energiinput og energioutput i forskellige økologiske produktionssystemer, samt muligheder for besparelser ved ændring af disse.

***** Denne indledning skal udvides, bl.a. med referencer til eksisterende arbejder omkring opgørelser af energibalancer i økologisk landbrug, internationalt og i Danmark.. Desuden kan inkluderes generelle betragtninger om økologisk jordbrugs andel af energiforbruget i dansk landbrug, udledningen af drivhusgasser etc.

2.3 Metode til opgørelse af energiinput og -output

Systemafgrænsning

Denne vidensyntese afgrænses til opgørelser af energiinput og -output på landbrugsbedriften. Dvs. det energiinput, der medgår til forarbejdning og transport, efter produkterne har forladt bedriften, medregnes ikke, mens den energi, der går til at fremstille input, som anvendes på bedriften, samt den energi der går til indengårds transport, medregnes. Dog diskuteres også energiforbruget til transport mellem landbrugsbedrifter og til markedet hvor landbrugsprodukterne sælges kort. I lighed med metoderne i Refsgaard et al. (1998) og Dalgaard et al. (2001) opgøres energiforbruget ved hjælp af nøgletal for energiforbrug ved forskellige operationer og ressourceforbrug. I tabel 2-4 er vist et uddrag af de nøgletal, der ligger bag nærværende kapitels opgørelser af energiforbrug.

Energioutput kan opgøres som energiindholdet i de produkter, der sælges fra bedriften med henblik på udnyttelse til energimæssige formål. I visse tilfælde opgøres også den energi der indeholdes i de fødevarer- eller foderprodukter der forlader landbruget. Som regel vil energiforbruget til fødevarerproduktion blive sat i relation til den producerede mængde, hvilket diskuteres nærmere sidst i dette kapitel. Energioutput ved foderafgrøde dyrkning kan opgøres i foderenheder (FE), der er et udtryk for den metaboliske energi ved anvendelse af afgrøden til husdyrfoder. På denne måde kan den overvejende del af energiinput på et husdyrbrug inkluderes i beregningen af energiforbrug per enhed animalsk produkt. Alternativt kan energioutput opgøres som den metaboliske energi som menneskeføde, eller som brændværdien, der udtrykker den energi, der kan opnås ved forbrænding af produktet. Brændværdien for korn er fx 15 MJ/kg og for halm lidt mindre.

Direkte og indirekte energiforbrug

I tabel 1 er vist en oversigt over de forskellige former for direkte og indirekte energiforbrug i landbruget. Det direkte energiforbrug omfatter de kilder som direkte kan omsættes til energi (fx brændstof, smøremidler og elektricitet). Det indirekte energiforbrug omfatter den energi, der behøves for at producere de input som anvendes i landbrugsproduktionen (fx bygninger, maskiner, kraftfoder, kunstgødning, kalk og sprøjtemidler). Energiforbruget opgøres i Joule (J), hvor $1.000.000 \text{ J} = 1.000 \text{ MJ} = 1 \text{ GJ}$. Fx er energiindholdet i dieselolie 35,9 MJ/L, og der medgår yderligere 14% til udvinding, raffinering og transport af olien. Dvs. energiforbruget ved forbrug af 1L diesel svarer til 40,9 MJ/L. 1 kilowatt-time el udgør tilsvarende 9,5 MJ, hvis energitabet ved fremstilling og distributionen medregnes.

Tabel 1. Oversigt over de forskellige former for direkte og indirekte energiforbrug i landbruget

Direkte energiforbrug		Indirekte energiforbrug
Brændstof	Øvrig energi	
1. Jordbehandling og såning	1. Smøremidler	1. Maskiner & Bygninger
2. Gødskning og kalkning	2. Markvanding	2. Andre eksterne input (kvælstof, fosfor, kalium, sprøjtemidler og importeret foder)
3. Plantebeskyttelse	3. Tørring	
4. Høst og presning	4. Opvarmning	
5. Transport og håndtering	5. Ventilation	
	6. Malkning	

I Tabel 2 er vist nøgletal for, hvorledes brændstofforbruget beregnes. Der er opdelt i fem kategorier af operationer. Disse nøgletal baserer sig primært på danske målinger fra Statens Jordbrugstekniske Forsøg, suppleret med en række udenlandske kilder. Tabel 3 og Tabel 4 viser nøgletal for, hvordan det øvrige energiforbrug i henholdsvis afgrøde- og husdyrproduktionen opgøres. Disse tal er ligeledes afledt fra litteraturen, idet de eksakte henvisninger kan findes i Dalgaard et al. (2001). Det bør bemærkes, at specielt nøgletallene for indirekte energiforbrug er behæftet med stor usikkerhed.

Tabel 2. Nøgletal for brændstofforbrug i form af diesel

Jordbehandling og såning		
Pløjning (21 cm), forår*	20,0	L/ha
Pløjning (21 cm), efterår*	23,0	L/ha
Pløjning (16 cm), efterår*	16,0	L/ha
Jordpakning	2,0	L/ha
Såbedsharvning, let*	4,0	L/ha
Såbedsharvning, tung*	6,0	L/ha
Tromling*	2,0	L/ha
Såning*	3,0	L/ha
Stubharvning*	7,0	L/ha
Gødskning og kalkning		
Spredning og læsning af mæg	0,6	L/t
Gyllespredning	0,3	L/t
Kunsthødsugning	2,0	L/ha
Kalkning	1,5	L/ha/år
Plantebeskyttelse		
Sprøjtning	1,5	L/ha
Ukrudtsharvning*	2,0	L/ha
Radrensning*	3,0	L/ha
Høst og presning		
Mejetærskning	14,0	L/ha
Roeoptagning	17,0	L/ha
Roeaftopning	10,0	L/ha
Grønthøstning	5,0	L/ha
Presning og læsning	2,0	L/t
Skårlægning	0,5	L/t
Stængelbrydning	0,2	L/t
Finsnitning	1,0	L/t
Transport og håndtering		
Maskintransport	0,04	L/km
Gødning- og fodertransport	0,2	L/t/km
Læsning og indlægning	0,5	L/t
Udfodring	0,3	L/t
Anden håndtering	0,5	L/t
Erhvervsræssig bilkørsel	5,0	L/ha

*) På lerjord eller humusjord (JB-nr. > 7) ganges nøgletallet med en faktor 1,1. På sandjord (Jb-nr. 1-3) ganges med en faktor 0,9.

Tabel 3. Nøgletal for øvrig energiforbrug i afgrødenproduktionen.

Smøremidler	3,6	MJ/(L diesel)
Maskiner	12	MJ/(L diesel)
Markvanding	20-52	MJ/mm
Tørring	50	MJ/t/(%-point)
Mineralsk kvælstof	50	MJ/(kg N)
Mineralsk fosfor	12	MJ/(kg P)
Mineralsk kalium	7,0	MJ/(kg K)
Kalk	30	MJ/t
Sprøjtmidler	300	MJ/kg aktivt stof

Tabel 4. Nøgletal for øvrig energiforbrug i husdyrproduktionen per år (1 dyreenhed= DE svarer til 1 malkeko af stor race eller 30 slagtesvin, 1 foderenhed= FE svarer til foderværdien i 1 kg hved)

Stalddrift		
Malkekøer	8,0	GJ/DE
Andre kvæg	1,7	GJ/DE
Konventionelle søer	6,1	GJ/DE
Økologiske søer	3,2	GJ/DE
Konventionelle slagtesvin	0,9	GJ/DE
Økologiske slagtesvin	0,4	GJ/DE
Klimastalde		
Konventionelle søer	3,1	GJ/DE
Konventionelle slagtesvin	0,6	GJ/DE
Bygninger, inventar etc.	2,5	GJ/DE
Importeret foder	5,7	GJ/FE

2.4 Resultater af hidtidige opgørelser

I forbindelse med Bichel-udvalgets (1999) opgørelser af scenarier for omlægning til økologisk jordbrug blev den samlede energibalance for dansk landbrug sammenlignet med den forventede energibalance efter omlægning til 100% økologisk jordbrug (Tabel 5). Som det ses, er det specielt energiforbruget til afgrødeproduktionen, der reduceres ved omlægning til økologisk drift, hvorimod energiforbruget til husdyrproduktion vil være stort set uændret, hvis husdyrproduktionen efter omlægning opretholdes i uændret omfang i forhold til den konventionelle situation. Imidlertid vil det totale energiforbrug til husdyrproduktion selvfølgelig være mindre ved omlægning til økologisk landbrug med færre husdyr. Specielt gælder det, at det i økologisk jordbrug er energimæssigt set favorabelt at producere forholdsvis flere drøvtyggere frem for enmavede dyr. Dette skyldes et drøvtyggerne kan udnytte grovfoderafgrøder såsom kløvergræs, der er energimæssigt set billigt at producere økologisk.

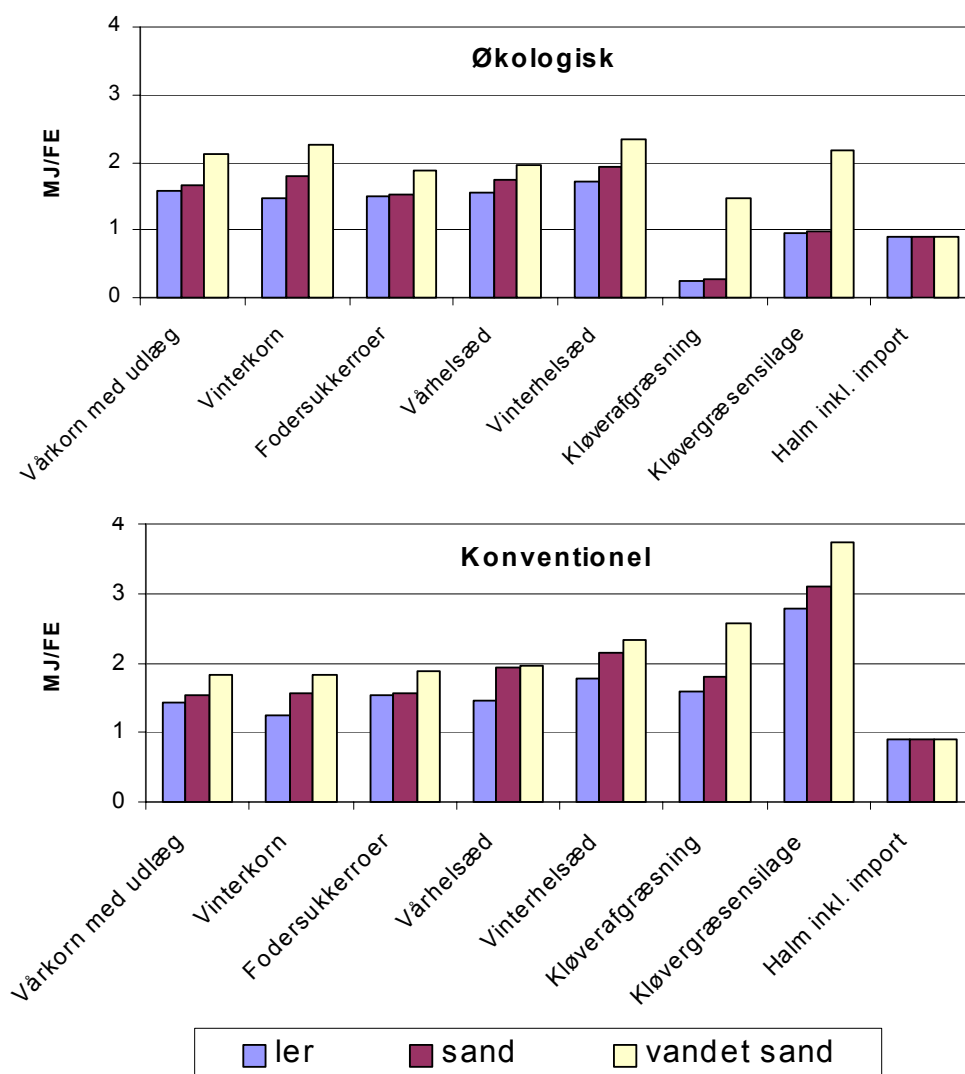
Af tabel 5 fremgår det også, at der ikke forventedes nogen energiproduktion i økologisk jordbrug, hvorimod dansk landbrug i 1996 producerede en ikke uvæsentlig energimængde på ca. 14 PJ, primært i form af halm til afbrænding, energiafgrøder og biogas. Et af formålene med nærværende vidensyntese er netop at afdække mulighederne for energiproduktion i økologisk jordbrug, for derigennem at nedsætte netto energiforbruget.

Tabel 5. Energibalancen for dansk landbrug i 1996 sammenlignet med den forventede energibalance efter omlægning til 100% økologisk landbrug, hhv. uden import af foder og en heraf lavere svineproduktion, og ved en uændret husdyrproduktion gennem øget import af foder til Danmark. (Dalgaard et al. 2002b).

PJ	Dansk landbrug	Økologisk landbrug	
	1996	lavere svineprod.	uændret husdyrprod.
Afgrødeproduktion	38	18	18
Husdyrproduktion	39	13	40
Total	77	31	57
Energiproduktion	14	0	0
Netto energiforbrug	63	31	57

Planteproduktion

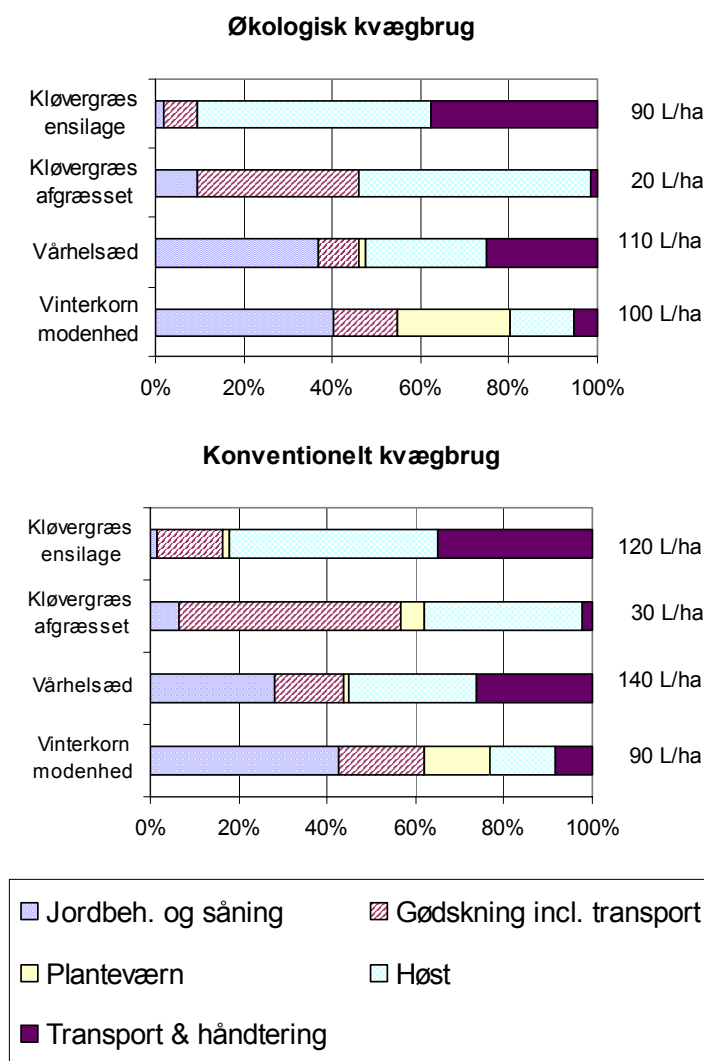
Ved hjælp af nøgletallene i Tabel 2 og Tabel 3 er energiforbruget for en række forskellige afgrøder modelleret ved hhv. en typisk økologisk- og konventionel dyrkningspraksis på lerjord, sandjord og vandet sandjord (Figur 1). Det ses, at specielt kløvergræs, og i særdeleshed kløvergræs som afgræsses, er energimæssig favorabelt at dyrke økologisk.. Dette er bl.a. fordi køerne på disse marker henter størstedelen af foderenhederne selv og fordi der ikke tilføres ret meget gødning. Derimod er der ikke den store forskel på energiforbruget per foderenhed af de andre opgjorte afgrøder – hverken mellem de forskellige økologiske afgrødetyper eller mellem tilsvarende økologiske og konventionelle afgrøder, idet det højere energiforbrug til handelsgødning mm. i konventionelle marker opvejes af et højere udbytte (Refsgaard et al., 1998). Disse tendenser gælder både på lerjord, sandjord og vandet sandjord, idet energiforbruget per foderenhed afgrøde produceret på lerjord generelt er mindre end på sandjord, bl.a. pga. større udbytter på lerjorden, mens energiforbruget per produceret foderenhed for alle afgrødetyper er størst på vandet sandjord, sandsynligvis fordi merudbyttet for den ekstra energiindsats er mindre i økologiske marker (Halberg & Kristensen, 1997).



Figur 1. Typisk energiforbrug per foderenhed (FE) planteproduktion på malkekvægsbedrifter på hhv. ler-, sand-, og uvandet sandjord (Dalgaard et al. 2002).

Fordeling på operationer

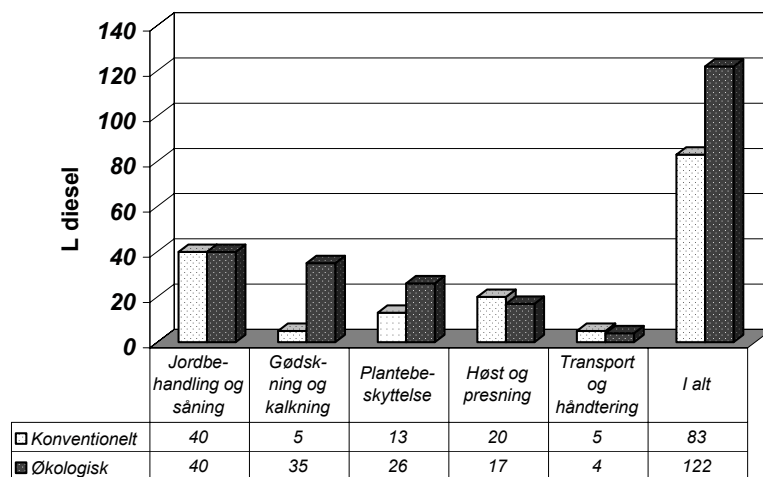
Figur 2 viser en opgørelse af dieselforbrugets fordeling på de fem kategorier af operationer, beregnet for fire typiske afgrødetyper i økologisk og konventionelt kvægbrug. Dieselforbruget er, i lighed med det totale energiforbrug, lavest for kløvergræs, og specielt for afgræsset kløvergræs, hvor der både er et lille dieselforbrug til jordbehandling og såning og til høst samt hjemtransport af afgrøden. Endvidere tildeles der kun små mængder husdyrgødning til kløvergræsset. Når kategorien ”høst” vejer så relativt tungt for afgræsset kløvergræs, skyldes det, at dieselforbrug til afpudsning kommer under denne kategori, og at de øvrige poster til dieselforbrug er så små.



Figur 2. Eksempel på dieselforbrugets fordeling på de fem kategorier af operationer, beregnet for hhv. vinterkorn til modenhed (excl. bjærgning af halm), vårhelsæd med udlæg, afgræsset kløvergræs og kløvergræs til ensilage, dyrket på typiske hhv. økologiske eller konventionelle kvægbrug på vandet sandjord. Dieselforbrug til transport af husdyrgødning er tilskrevet kategorien gødskning.

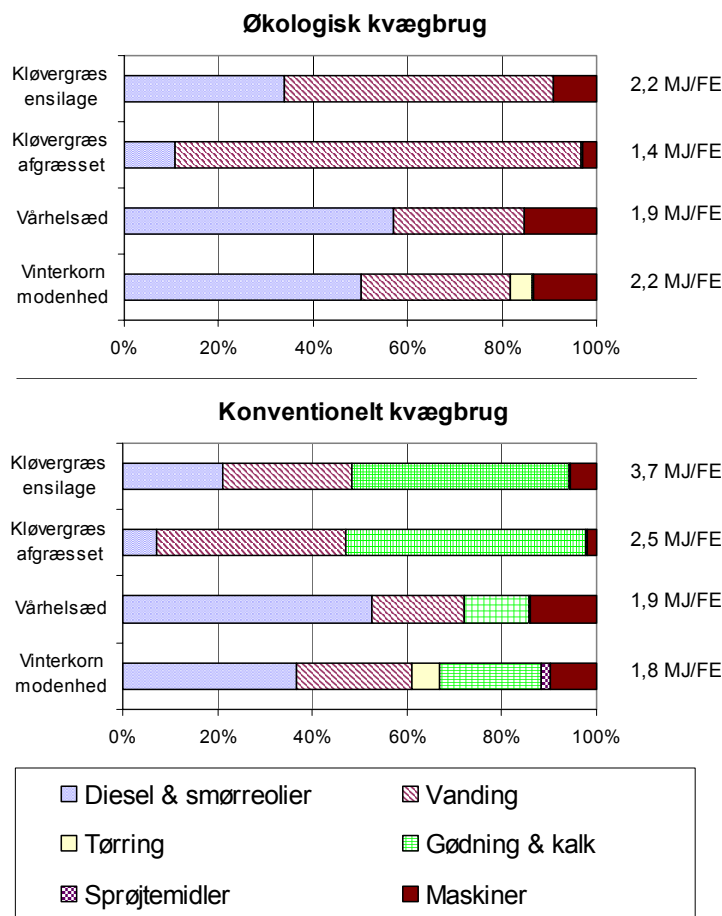
Ofte fremføres i debatten, at mekanisk ukrudtsbehandling bevirker, at energiforbruget til brændstof er meget højt i økologisk jordbrug. Som det ses af figur 2, er dieselforbruget til planteværn med striglinger og efterårs-ukrudtsharvninger da også, specielt for økologisk dyrket korn til modenhed, anseeligt.

Imidlertid er dette dieselforbrug ikke så stort i helsæden, hvor der pga. udlæget ikke kan foretages intensiv mekanisk ukrudtsbekæmpelse. I figur 3 er dieselforbruget tilsvarende opgjort for vårbyg til modenhed, dyrket på hhv. økologisk og konventionel planteavlsbrug. Som det ses, er dieselforbruget til plantebeskyttelse væsentligt større i økologisk end i konventionel vårbyg, og det totale dieselforbrug per ha er også større, men denne forskel skyldes i højere grad forskel i dieselforbrug til udbringning af hhv. husdyrgødning på det økologiske brug, og handelsgødning på det konventionelle brug. I det store billede, er det ekstra energiforbrug til mekanisk ukrudtsbekæmpelse derfor ikke af væsentlig betydning, hvilket vil blive nærmere illustreret i det følgende.



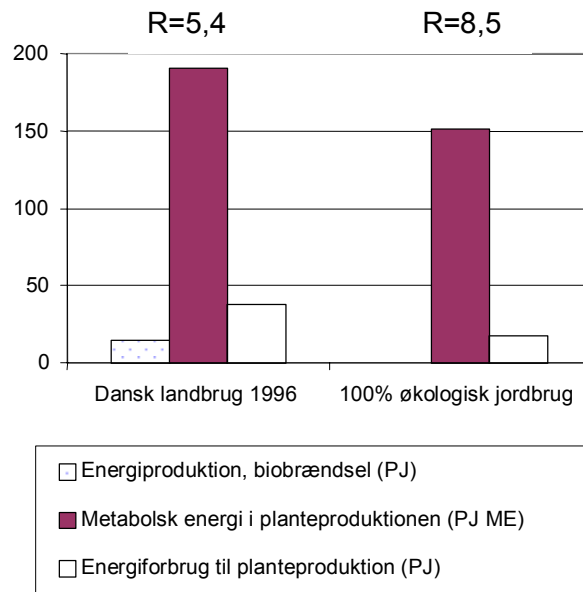
Figur 3. Eksempel til opgørelse af brændstofforbruget til hhv. konventionel og økologisk dyrkning af 1 ha vårbyg på en planteavlsbedrift, på lerjord, hvor halmen bjærges.

Figur 4 viser det totale energiforbrug per foderenhed af de fire typiske afgrøder, som dieselforbruget blev opgjort for i Figur 2. Som det ses, kan vanding være en betydelig post i energiregnskabet, og specielt for økologisk jordbrug, hvor der ikke er noget indirekte energiforbrug til handelsgødning. Når vanding vejer så tungt skyldes det bl.a. at energitabet ved fremstilling og transmission af den el der forbruges til vanding er inkluderet i energiforbruget hertil. Det nominelle kilowatttimeforbrug er således kun ca. halvt så stort! Endvidere ses det, at energiforbruget til brændstof vejer tungt ved økologisk dyrkning, hvilket i særlig grad gør sig gældende for vårhelsæd, hvor dieselforbruget er højest.



Figur 4. Eksempel på fordelingen af det totale energiforbrug per foderenhed, beregnet for hhv. vinterkorn til modenhed (excl. bjærgning af halm), vårhelsæd med udlæg, afgræsset kløvergræs og kløvergræs til ensilage, dyrket på typiske hhv. økologiske eller konventionelle kvægbrug på vandet sandjord. (Der vandes med 45 mm til vårsæd, 53 mm til vintersæd og 133 mm til kløvergræs).

I Figur 5 er det samlede energiforbrug i planteproduktionen, med udgangspunkt i Bichel-udvalgets (1999) opgørelser af scenarier for omlægning til økologisk jordbrug, opgjort i PJ fossil energi. Til sammenligning er endvidere vist den samlede energiproduktion til foder og menneskeføde opgjort i PJ metaboliserbar energi (ME), og energiproduktionen med biobrændsel opgjort i PJ fossil energi. Som det ses, er både energiproduktionen og netto energiforbruget (energiforbrug minus energiproduktionen i form af biobrændsel) mindre i den økologiske end i den konventionelle situation. Imidlertid er forholdet, R, mellem energi produktion og netto energiforbrug højere for den økologiske situation ($R=8,5$) end for den konventionelle situation ($R=5,4$).



Figur 5. Bio-brændsel energi og metaboliserbar energi (ME) i afgrødeproduktionen sammenlignet med energiforbruget til produktionen heraf (Dalgaard et al. 2002b). R betegner forholdet mellem energi produktion og netto energiforbrug.

Husdyrproduktion

Ved at kombinere energiomkostningen per produceret FE med oplysninger om fodring og ydelse i besætninger er energiforbruget per kg mælk og kød beregnet.

Undersøgelser baseret på bedriftsdata fra årene 1990-92 viste at økologisk mælk kostede ca. 2.2 MJ per kg på lerjord og 2.7 MJ per kg på vandet sandjord (Refsgaard et al., 1998). Gårdstudier fra 10 økologiske brug i 1994-1997 viste et energi forbrug på mellem 2.1 og 3.3 MJ per kg mælk (energi til konstruktion af stalde og inventar ikke indregnet; Halberg, 1999). Der var ingen signifikant forskel mellem bedrifter på ler og sandjord, men stor forskel på bedriftenes gennemsnitlige energiforbrug over tre år. Forskellen mellem bedrifter kan dels skyldes strukturelle forhold såsom indretning af stalde incl. malke- og køleanlæg, afstande til marker og håndtering af husdyrgødning. Men erfaringerne fra projektet tyder på at driftsledelse kan spille en rolle også på kort og mellemlangt sigt, f.eks. valg af sædskifte og fodring samt energibesparende foranstaltninger såsom varme-genvinding.

Der er ingen gårdstudier omfattende energiforbrug i økologisk svineproduktion, hvorfor dette er forsøgt modelleret (Dalgaard et al., 2002a, 2001).

Som det fremgår af tabel 5 viser modellen et mindre energiforbrug per kg kød og mælk i økologisk produktion, men forskellen er lille og mindre end i ovennævnte gårdundersøgelser. Årsagen til den mindre forskel er bl.a. at modellen forudsætter et mindre forbrug af handelsgødning på de konventionelle brug – bl.a. som følge af de strammere gødningsregler.

Resultaterne fra de seneste gårdstudier og modellerne peger på at energiforbruget ikke har været genstand for systematisk udvikling indenfor den økologiske branche. Det skal understreges at energiomkostningen til bygninger og inventar er et groft skøn, som ikke er differentieret. Der er formentligt et mindre energiforbrug til konstruktion af mange af de nyere opstaldningsformer indenfor især økologisk svineproduktion, men der mangler imidlertid data og analyser af dette (jf. også aktionsplan II).

1 års-malkeko	Økolo- gisk	Konventi onel
Fodring:		
Afgræsning	2,3	3,6
Græsensilage	1,5	2,4
Helsædensilage	0,8	1,0
Halm	0,0	0,0
Korn	3,3	2,7
Kraftfoder	6,7	7,4
Strøelse	0,4	0,4
Stalldrif	8,0	8,0
Bygninger og inventar	2,5	2,5
I alt	25,6	28,0
1000 kg mælk*	9,0	9,0
MJ/kg mælk	2,8	3,1

*) Kød omregnes til mælk på energibasis 1:10

30 slagtesvin	Økolo- gisk	Konventi onel
Fodring:		
Eget korn	9,6	4,2
Foderimport	13,5	21,3
Strøelse	0,4	0,1
Stalldrif	0,4	0,9
Bygninger og inventar	2,5	2,5
I alt	26,4	29,0
kg kød netto*	2240	2100
MJ/kg kød	11,8	13,8

*) Økologiske slagtesvin fra 30-105 kg og konventionelle fra 30-100 kg

Tabel 5. Eksempel på energiforbrug (GJ) til mælkeproduktion i en sengebåsestald ved typiske foderplaner og jordbundsforhold

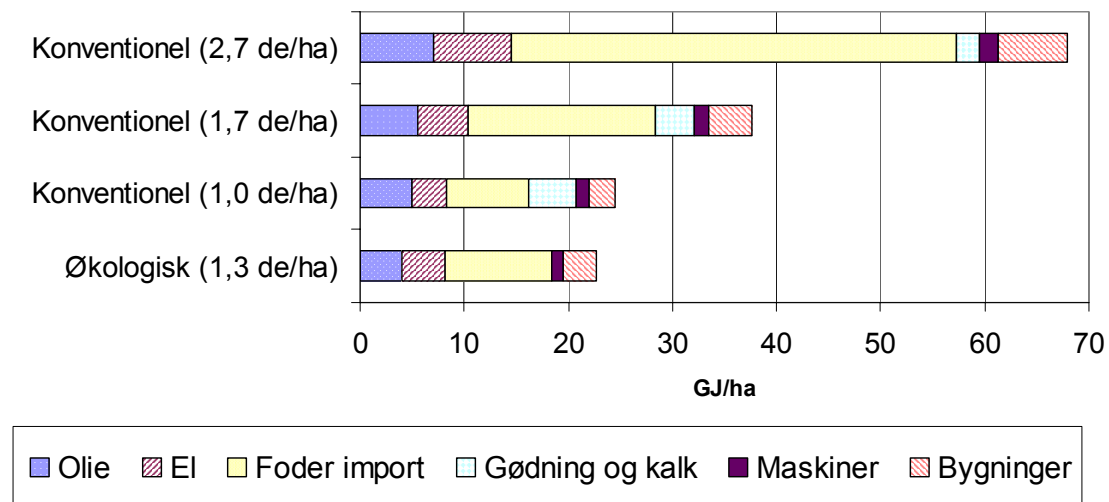
Tabel 6. Eksempel på energiforbrug (GJ) til produktion af svinekød hhv. i en dybstrøelses- (Ø) og spaltestald (K)

Fordeling på brugstyper og energibærere

Den ovenfor skitserede metode anvendes i et forskningsprojekt til opgørelse af bl.a. energiforbruget ved livscyklus-vurderinger (LCA) af landbrugsprodukter (Anonym 2002). Formålet er, at udvikle enkle og robuste metoder til opgørelse af bl.a. energiforbruget og udledningen af drivhusgasser per produceret landbrugsprodukt. Som en udløber af dette projekt, udvikles metoder til afstemte opgørelser af energiforbrug på forskellige bedriftstyper, således at summen af energiforbruget på alle bedrifter stemmer med det totale energiforbrug i Danmark.

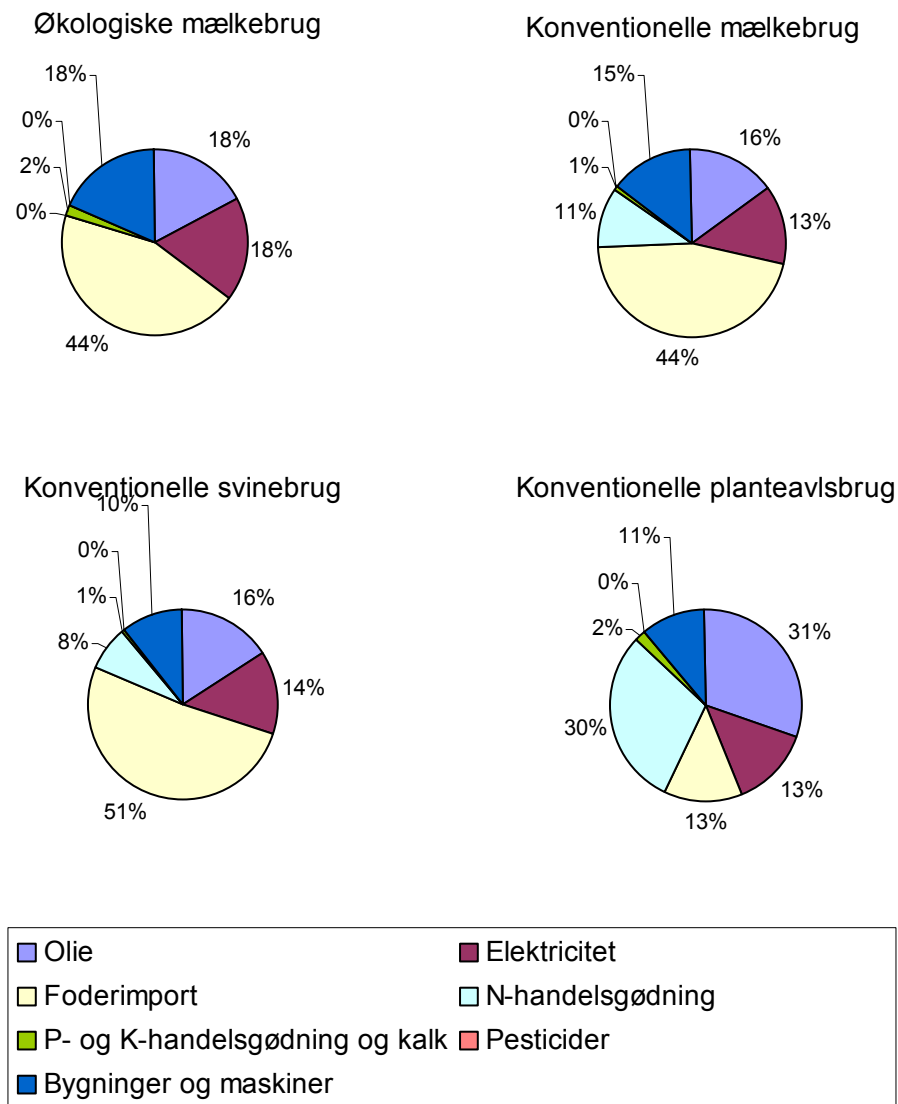
I LCA-projektet er energiforbruget kun opgjort for én økologisk brugstype, nemlig økologisk malkekvægbrug. Dette skyldes at der for de anvendte datasæt fra 1999 kun var mulighed for at inddrage denne ene type i opgørelserne. Af figur 6 ses det at energiforbrug til foderimport er den vigtigste post på energiregnskabet i økologisk mælkebrug, mens energiforbruget til olie, el og bygninger er næsten lige store og tilsammen udgør et energiforbrug tilsvarende energiforbruget til foder. Endelig er der et mindre energiforbrug til maskiner.

I figur 6 er energiforbruget for økologisk mælkebrug endvidere sammenlignet med energiforbruget på konventionelle mælkebrug med hhv. ekstensiv (1,0 de/ha), middel (1,7 de/ha) og intensiv (2,7 de/ha) husdyrproduktion. Som det ses, er den væsentligste forskel, at de konventionelle brug anvender en del indirekte energi til import af handelsgødning, og at de økologiske brug overraskende nok har et forholds lavere energiforbrug til olie. Dette skyldes bl.a. flere afgræsningsmarker med et lavt energiforbrug, mens de konventionelle bedrifter har mere helsæd og græs til ensilage, der kræver et stort brændstofforbrug. Endvidere ses det, at energiforbruget per ha er lavere på økologiske brug end på konventionelle brug med samme husdyrtæthed. Kommende analyser vil vise, i hvor høj grad det ifølge de nye beregninger også gælder for energiforbruget per produceret liter mælk.



Figur 6. Det gennemsnitlige energiforbruget på økologiske mælkebrug sammenlignet med energiforbruget på konventionelle mælkebrug med hhv. ekstensiv, middel og intensiv husdyrproduktion.

De opgjorte direkte og indirekte energiforbrug, kan på baggrund af en række antagelser opdeles på energibærere. Fx kan det antages, at der anvendes olie til posterne ”Diesel & Smørreolier” samt ”Tørring”, at der anvendes el til vanding, at der anvendes naturgas til fremstilling af ”gødning og kalk” og kul til fremstilling af maskiner. I forbindelse med livscyklusvurderingerne foretages en nærmere analyse af fordelingen på energibærere. I figur 7 er vist en foreløbig sammenligning af energiforbrugets fordeling på forskellige brugstyper opgjort i LCA projektet, og som i løbet af dette projekt vil blive disaggregeret på forskellige typer af energibærere.



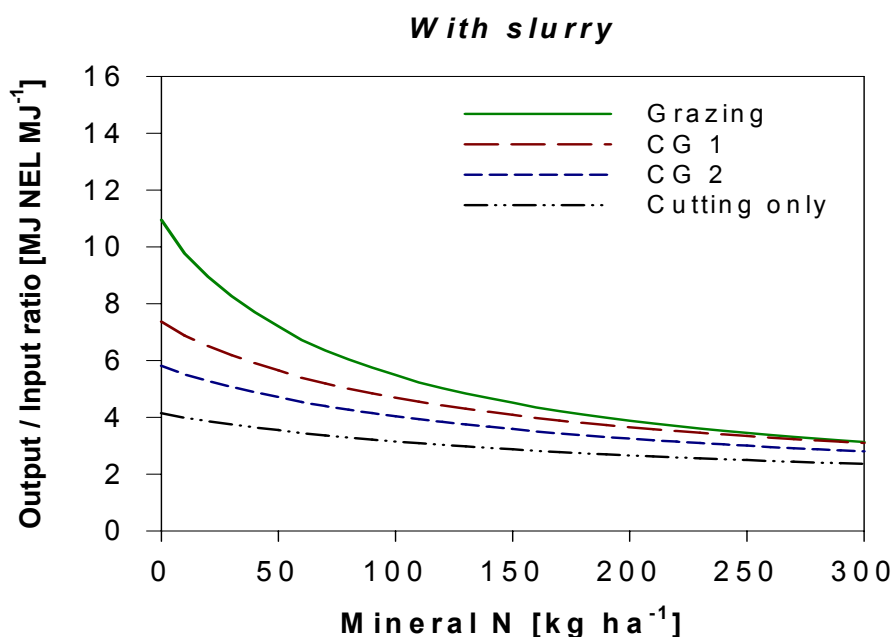
Figur 7. Fordelingen af det totale energiforbrug opgjort på typiske økologiske mælkebrug og sammenlignet med konventionelle mælkebrug, svinebrug og planteavlbrug.

Marginale energibalancer og netto energiudbytte ved forskellige produktioner

Formålet med at anvende fossil energi i jordbruget er at forøge den solenergi-mængde, som landbrugsplanterne optager, og derved at forøge produktionen af fødevarer eller non-food produkter. Derfor bør enhver analyse af energibalancer i landbruget også omfatte en analyse af, om der er en positiv marginal nytte af det investerede energiforbrug. Imidlertid har langt de fleste opgørelser af energiforbruget i landbruget hidtil koncentreret sig om sammenligninger af energiforbruget til produktion af forskellige produkter under forskellige betingelser, fx gennem sammenligningerne af output-input ratioer, som de i figur 5 opgjorte R-værdier.

I dette afsnit vil vi kort gennemgå et par eksempler de få opgørelser af marginal energinytte, som er at finde i litteraturen, for så senere i kapitel 6 vedrørende scenario-analyser at vende tilbage til problematikken.

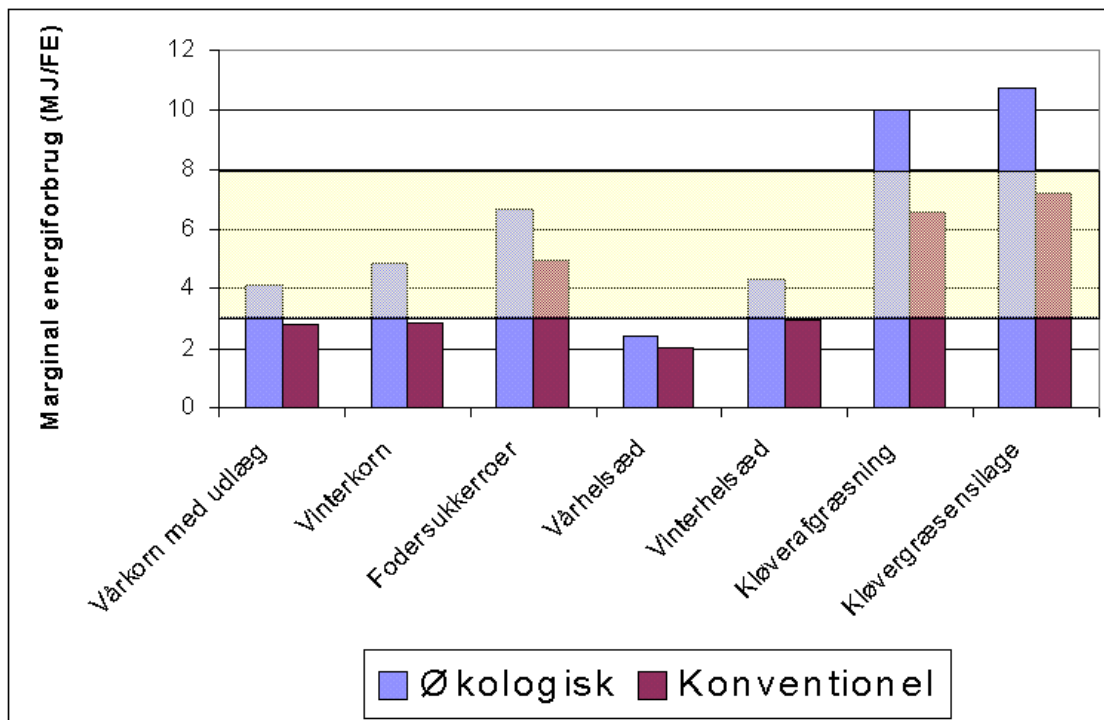
Det første eksempel er hentet fra forsøg vedrørende høst af kløvergræs på Karkendam forsøgsstation i det nordlige Tyskland, hvor energiudbyttet i form af foder (NEL) blev opgjort per investeret MJ fossil energi. (Figur 8). I forsøget blev sammenlignet kløvergræs gødsket med forskellige tildelinger af kvælstof (N) og høstet ved hhv. udlukkende afgræsning, 1 slæt + afgræsning, 2 slæt + afgræsning og udlukkende ved slæt. Som det ikke overraskende ses, falder det marginale energiudbytte (per høstet energienhed ved tildeling af et kg ekstra N) med den totale tildelte N-mængde. En vigtig pointe ved at kende de marginale energiudbytter for forskellige afgrødetyper, er at man derved kan opstille en prioriteret rækkefølger over, hvilken afgrøde det vil være energimæssigt mest hensigtsmæssigt at tildele et ekstra kg N til. På dette felt er der behov for yderligere viden, og dette aspekt vil som sagt endvidere blive undersøgt nærmere i kapitel 6 vedrørende scenario-analyser. Figur 8 viser samtidig at output/input ratioen falder med antallet af slæt, men at dette fald er størst ved lave N-tildelinger. Dvs. den energimæssige gevinst ved afgræsning frem for slæt er mest markant i systemer med lave N-tildelinger (hviket ofte er tilfældet i økologiske systemer), mens den marginale energiomkostning af flere slæt er mindst i systemer med en høj N-tildeling.



Figur 8. Forsøg vedrørende høst af kløvergræs på Karkendam forsøgsstation i det nordlige Tyskland. Energiudbyttet i form af foder (NEL) er opgjort per investeret MJ fossil energi. I forsøget blev sammenlignet kløvergræs gødsket med forskellige tildelinger af kvælstof (N) og høstet ved hhv. udlukkende afgræsning (grazing), 1 slæt + afgræsning (CG 1), 2 slæt + afgræsning (CG 2) og udlukkende ved slæt (cutting only). (Dalgaard et al. 2002c).

Det andet eksempel vedrører det marginale energiforbrug per energiudbytte ved markvanding (Figur 9). Ifølge de viste opgørelser er det marginale energiforbrug til én ekstra foderenhed opnået ved vanding for korn og helsæd typisk lavere end den tilsvarende energiomkostning for indkøbt kraftfoder. I så tilfælde vil et yderligere forøget energiforbrug til vanding antagelig være en energimæssig set god

investering, hvis den derved opnåede ekstra foderproduktion kan substituere indkøbt foder. Derimod viser opgørelserne at energiomkostningen ved vanding af græs typisk er højere end energiomkostningen ved at importere foder. Dvs. der ville kunne spares energi ved at spare på vandingen af græsmarker og i stedet importere mere foder.



Figur 9. Eksempel på marginal energiforbrug til én ekstra foderenhed (FE) opnået ved vanding, sammenlignet med energiomkostningen ved import af foder (den brune stribe), der ligger mellem 3 og 8 MJ/FE (Dalgaard et al. 2002a efter Refsgaard et al. 1998).

Mulige energibesparelser ved teknologiskift eller ændret drift

***** Her indsættes Martin Heides afsnit!

Energiforbruget kan bl.a. mindskes ved at

- Vælge afgrøder med lavt energiforbrug – fx kløvergræs
- Øge produktionen af egen foder på bekostning af foderimport
- Mindske dieselforbruget - fx ved overgang fra fast husdyrgødning til gyllesystemer, udvidet brug af afgræsning frem for slæt, minimering af transportafstande, og specielt i konventionelt jordbrug ved reduceret jordbehandling
- Udnytte bi-afgrøder såsom efterslæt og halm
- Mindske handelsgødningsforbruget, fx ved at øge arealet med N-fixerende afgrøder
- Anvende pesticider optimalt
- Undgå brug af græspiller i foderplanen

- Flytte markvanding til afgrøder med det største marginale udbytte eller evt. mindske markvandingen og importere mere foder
- Indføre staldsystemer med naturlig ventilation og mindre forbrug af strøelse
- Optimere hele produktionssystemet, så der opnås større udbytter per forbrugt energienhed. Endvidere kan der evt. produceres bio-energi, som kan opveje en del af landbrugets energiforbrug.

2.5 Diskussion

Problemer ved forskellige udspecificeringer

Der kan som nævnt tidligere være flere grunde til at fokusere på energi forbruget i forskellige landbrugssystemer: En ressourceøkonomisk synsvinkel og en forureningsmæssig synsvinkel. Fra et ressourceøkonomisk perspektiv er det vigtigt at undersøge hvilke produktionsformer, som forbruger mest energi samt hvordan landbrugets rolle som energiproducent kan indgå i samspil med produktionen af fødevarer. I et forureningsperspektiv er de vigtige spørgsmål, hvilke og hvor store emissioner jordbrugssystemers energiforbrug giver anledning til, hvor store de er i forhold til andre led i fødevarerproduktionskæden samt hvordan man kan mindske forureningen (især udledning af drivhusgasser).

I begge tilfælde må man overveje om det interessante spørgsmål er hvor meget energi en landbrugsproduktion bruger enten per kg leveret produkt eller i forhold til energi input. Dette afhænger naturligvis af hvilket spørgsmål man ønsker besvaret men også af hvilke substitutionsmuligheder man vil acceptere og om det er totale eller marginale betragtninger som foretages.

Det er i princippet lige meget, hvor den fossile energi afbrændes, hvis den i sidste ende bruges for at producere et kilo agurker, korn, mælk eller kød. Derfor bør opgørelsen af det samlede energiforbrug inkludere energien medgået til fremstilling af hjælpestoffer. Således er der i energiregnskaberne medtaget både det direkte og det indirekte energiforbrug. Summen af disse poster er en samlende målestok for produktionens afhængighed af ikke fornyelige energikilder.

I tabel 7 er vist eksempler på indikatorer for energiforbrug fra Europæiske grønne regnskaber, såkaldte Input Output Accounting systems (Verschuur et al., 2001). I det følgende diskuteres relevante opgørelses metoder ud fra forskellige perspektiver.

Tabel 7. Oversigt over indikatorer for energiforbrug anvendt i forskellige europæiske systemer til opgørelser af input og output fra landbruget (Verschuur et al., 2001).

	Energi-forbrug	Energi-effektivitet	Drivhusgas - emission	Energibesparende driftsledelse	Netto energi udbytte
Indikator	MJ ha-1	MJ kg-1 product	Kg CO2 kg-1 product	eco rating +/- 100 scale also emissions	GJ ha-1
Beregning	Sum MJ input /ha	(MJ input/MJ output)100 %		MJ energy consumed	GJ output - GJ input
Databehov	Direct energy use , actual (5) or modelled (19) Indirect energy (19)	Actual direct and indirect energy use, MJ Energy equivalents Actual output, kg	Actual direct and indirect energy use, MJ Energy and CO2 equivalents Actual output, kg	Actual direct energy use	Actual direct and indirect energy use, MJ Energy in products
Eksempler, systemnavn	GA, AEI	EALF, AEL, EY, REPRO	EY	EMA	EAT(de)
Evaluerings, anvendt reference	Range of farms Integrated farming	Range of farms, 28: maximum level defined by?	Range of farms	best practice	?
Landmændenes reaktion		Not interested in indirect energy use	Low interest	?	?
Effektivitet		Direct energy use reduced			

GA= Green Account (DK), AEI=AgroEcological Indicators (Fr), EALF=Ethical Account for a Livestock Farm (DK), AEL= Agricultural Environment Label (NL), EMA= Environmental Management for Agriculture (GB), REPRO (GE), EY= Energy Yardstick (NL), EAT=Energy Analysis Tool (GE).

Energiforbrug som ressourcebetragtning

Ud fra et ressourceøkonomisk perspektiv må man skelne mellem landbrugets rolle som fødevarerleverandør og som (potentiel) energileverandør. Enkelte forfattere har forsøgt at sammenligne energiforbruget med energi indholdet i produkterne, en såkaldt nettoenergi balance. ”hvor meget energi i mad får vi ud af forskellige produktionsformer”? (Lerland og Lansink 2002). Fx fandt Schroll (1994) at forholdet mellem energi-output og -input i landbruget er faldet gennem perioden 1936-1990 og forbruget af fossil energi i landbruget begyndte at overstige energiindholdet i produkterne fra omkring 1985. (*Check op!!*) Netto energianalysen af fødevarerproduktion har imidlertid begrænset værdi af to årsager. For det første: Ved produktionen af fødevarer udnyttes solenergi og fossil energi, som vi ikke kan spise, til at producere metabolisk energi, som er mennesker og dyrs nødvendige energikilde. Selvom vi altså i visse tilfælde måtte bruge flere MJ fossil energi per MJ mad-energi kunne vi altså ikke blot

springe planteproduktionen over. Derimod kunne man i teorien springe husdyrholdet over og undgå tabet af metabolisk energi ved animalsk produktion (*kilde på netto energi tab i husdyrhold..*). For det andet: Fødevarer udfylder andre behov end energibehovet, både rent ernæringsmæssigt og i en bredere kulturel sammenhæng som forbrugsvarer. Kun i tilfælde hvor man ud fra ideelle betragtninger overvejer konsekvensen af substitution mellem fødevarer (og overholder ernæringsmæssige krav) f.eks. kød med bønner, er nettoenergi produktionen i fødevarer systemer interessant.

Det kan derimod være af interesse for forbrugerne at kunne sammenligne energiforbruget til den samme vare under forskellige produktionsformer. Ved analyse af markedsorienterede jordbrugssystemer er det altså overvejende energiforbruget per produceret enhed som er interessant. I forskellige danske og europæiske miljøregnskaber for landbruget er MJ per kg produkt (mælk, kød, korn,..) den hyppigst anvendte indikator (Verschuur et al, 2001).

Planteproduktion kan, som tidligere nævnt, ske med større eller mindre energiforbrug per ha og per kg udbytte. Her er det især vigtigt at gøre sig klart at land er den begrænsende faktor i bestræbelserne på at fastholde mest mulig solenergi via fotosyntesen i planterne. Derfor er det ikke ligegyldigt, hvor store udbytter der høstes på et givet areal. I eksemplet ovenfor vist at energiforbruget pr. foderenhed og pr. kg mælk var lavere under økologisk produktion end under konventionel. Men udbytterne i marken var også lavere, hvorfor der skal et større areal til at producere f.eks. en given mælkemængde i det økologiske system.

Foreløbige beregninger antyder f.eks., at hvis denne forskel i arealkrav blev indregnet som energiafgrøder ville dette opveje forskellen i energiforbruget mellem økologisk og konventionel produktion ved en given mælkemængde (Dalgaard et al. 2000). Der er dog vanskeligheder med at indregne forskellen i indkøbt kraftfoder i de to systemer, hvorfor der er behov for yderligere overvejelser og beregninger.

Hvis derimod fokus er på jordbrugets rolle som energileverandør via opsamling af solenergi i plantevækst er MJ forbrændingsenergi i biomassen opgjort per forbrug af fossil energi i hjælpestoffer naturligvis interessant (Jf. figur 5, og beregningen af $R = \text{MJ energiproduktion per MJ netto energiforbrug}$). Eftersom planteproduktion i sidste ende er begrænset af landbrugsarealets størrelse er det i dette perspektiv interessant at udpege de systemer, som bedst udnytter marken som solfanger til produktion af energi. Dvs. indikatorerne MJ per kg produkt eller $R = (\text{MJ output} / \text{MJ input})$ bør muligvis suppleres med en indikator for den totale netto energiproduktion per ha, f.eks. (MJ input - MJ output) per ha.

Dette peger mere generelt på behovet for at foretage scenariestudier over muligheden for at kombinere energiafgrøder med anden landbrugsproduktion for bl.a. at kunne vurdere mulighederne for at øge selvforsyningsgraden med energi i landbruget set på regionalt eller nationalt plan (jf. Tabel 5).

Tabel 8. Udvalgte indikatorer for analyse af energiforbrug og produktion i økologisk jordbrug

Indikator	Beregning/enhed	Formål
Energiforbrug per kg produkt	MJinput/kg mælk, kød, korn etc.	Ressource effektivitet, givet produkt og efterspørgsel
Nettoenergiforbrug (godskrivning af bio-energi)	(MJinput- MJenergioutput)/kg mælk, kød, korn etc.	Ressource effektivitet, indregning af energiproduktion på bedriften
Nettoenergi balance	(MJ(met) i fødevarerprodukter)-(MJ input)	Ressource effektivitet, sammenligning af fødevarer
Netto energi produktion	(MJ output -MJ input)/ha	Ressourceeff. Landbruget som energileverandør
Emission energirelateret drivhusgasser per kg produkt	Energiforbrug omregnet i emissioner, IPCC metode, Kg CO ₂ ækviv. per kg mælk osv.	Forurening, produktperspektiv
Total Emission drivhusgasser per kg produkt	Som ovenfor samt andre emissioner, Kg CO ₂ ækviv. per kg mælk osv.	Forurening, produkt- og nationalt perspektiv
Total Emission drivhusgasser	Total kg CO ₂ ækvivalenter	Forurening, globalt perspektiv (?)

Energiforbrug fra en forureningsbetragtning

Forbrug af fossil energi enten direkte på bedriften eller under produktion af hjælpestoffer giver anledning til emission af fx NO_x og SO_x'er samt drivhusgasserne CO₂ og CH₄. Eftersom disse emissioner er overvejende mobile og ikke bundet til landbrugsarealet er den produktorienterede synsvinkel den mest interessante her. Dvs. sammenligningen af hvor meget fossil energi der bruges per kg mælk produceret (Tabel 5), antyder hvilken produktionsform som kan levere et givet produkt i en given mængde med den mindste forurening. Imidlertid er en sådan opgørelse kun en del af billedet: For det første forbruges de færreste fødevarerprodukter hverken lokalt eller direkte fra bedriften. Derfor bør man inkludere energiforbruget i de efterfølgende processer, transport og forarbejdning m.m. for at finde de samlede emissioner relateret til et givet fødevarerforbrug. For det andet er der andre processer forbundet med landbrugsdrift som giver anledning til udledning af drivhusgasser, især lattergas fra ufuldstændig denitrifikation af husdyrgødning og methan fra drøvtyggerses vomomsætning. I begge tilfælde kan der være systematiske forskelle imellem to systemer, som kan mindske eller opveje forskellen imellem niveauet af emissioner relateret til fossil energi i primærproduktionen.

Derfor er der behov for et redskab til at kunne håndtere de mere komplekse beregninger af flere emissionskilder i flere produktionsled og evt. sammenveje dem i færre enheder. Livscyklusvurdering er en sådan metode. Ved brug af metoder standardiseret af bl.a. det internationale panel for klimaforandring (IPCC, 1997) sammenvejes udledning af drivhusgasser, idet methan og lattergas omregnes i CO₂ ækvivalenter. Ved brug af disse omregninger viser det sig at ca. x% af den samlede udledning af drivhusgasser ved produktionen af et kg mælk stammer fra forbruget af fossil energi mens methan fra køer og udledning af lattergas udgør hhv. y og x % af drivhusgas emissionen per kg mælk. (**** her skal suppleres med opdaterede resultater fra Randis beregninger - senere om LCA vinklen: herved kan man også finde de steder i processen hvor en indsats betaler sig bedst)

Når energiforbrug og emissioner udtrykkes per produceret enhed muliggør det sammenligning med f.eks. normtal, best practice eller andre produktionssystemer. Dette giver mening i en marginal betragtning, dvs. hvis man overvejer konsekvensen af at producere/efterspørge en enhed mere produceret på en given måde eller sammenligner forskellige substituerbare produkter (såkaldt funktionelle enheder). Herunder også vurdering af mælkeproduktionssystemer, idet kvotesystemet – stort set - fastholder den totalt producerede mængde selvom nogle producenter ændrer produktionsmetode.

(Dette afsnit vedr. total betragtning skal måske omskrives ???):

Derimod er produkt-perspektivet ikke nødvendigvis relevant ved vurdering af energiforbrug og emissioner fra produktionsgrene, hvor alternativet ikke nødvendigvis er en anden (dansk) produktionsform men måske blot en lavere produktion. Såfremt kødforbrug i vores eksportlande substitueres med vegetabilsk protein hvis Dansk svineproduktion mindskes er det blot den totale emission af drivhusgasser fra produktionen, som er interessant. Det er dog formentlig sjældent at sådanne antagelser (om ingen substitution) holder, hvorfor produktperspektivet som regel er det relevante.

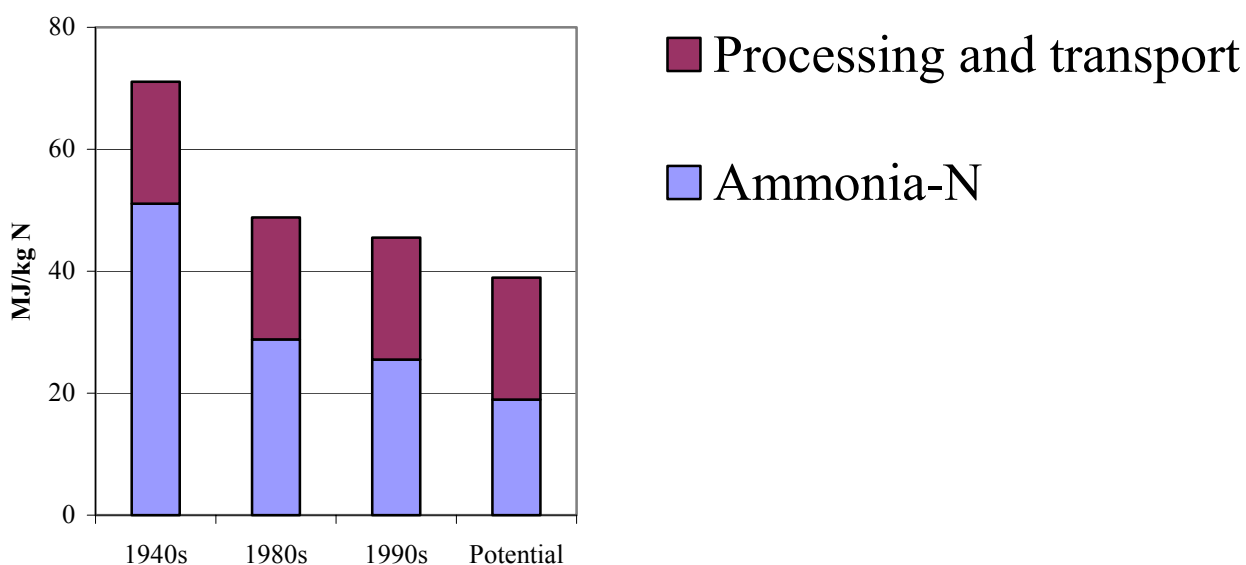
***** Diskussion af opgørelse af energiforbrug/kr?.....

Kritiske forudsætninger ved beregningerne

Dette afsnit skal uddybes og videre behandles i kapitel 6 vedr. scenarieanalyser:

Følgende kritiske forudsætninger skal som minimum gennemgås:

- Værdisættelse af energi i importeret husdyrgødning (er hidtil sat til 0) – skal energien til husdyrgødning kun sættes til energiforbrug til transport+udbringning?, eller skyggepris på N & P, eller til energiværdien i tilsvarende handelsgødning?
- Normer dækkende for de forskellige maskintyper, jordtyper, markstørrelser etc. Der er på forskellige bedriftstyper, pløjedybde etc...
- Energiomkostning til handelsgødning (saml. Øko/konv, import af konv. Fodrer til økologi



Betydningen af energiforbrug til transport

Dette afsnit skal også uddybes og videre behandles i kapitel 6 vedr. scenarieanalyser:

Jordbrugssystemet... afgrødesammensætning, sædskifte, foderplan.. optimering, driftledereffekter....

Vidensbehov

Dette kapitel skrives efter diskussionen på det 2. Videnssyntesemøde. Her er nogle pinde som input til denne diskussion:

- Scenariestudier i potentiale i combined food energy (CFE) systems, følsomhedsanalyser af ændringer i kritiske faktorer og marginale ændringer i indstasfaktorforbrug, samt alternative produktionssystemer og produktionsmåder.
- Opgørelser af forskelle mellem forskellige økologiske brugstyper: Hvor er det der er den største fordel fx af CFE systemer
- Belysning af potentialet for energiforbrug (og energibesparelser) i økologisk jordbrug
- Kobling til C-balancer... CO2 og drivhusgasser, fx via Kobling til FASSET (Arbejdstidsforbrug og modellen DRIFT, eller ved implementering af nøgletal for indirekte og direkte energiforbrug heri)
- Systembetragtninger, kædebetragtninger, LCA, eksterne faktorer (transport til forarbejdningsevirsomheder og butikker, emballering etc.)
- Kombinerede energimæssige og økonomiske analyser: opgørelse af energiforbrug/kr?
- Transport.. lokale versus ikke lokale forsyningsystemer.
- Energimæssig værdisætning af husdyrgødning.... Alternative value betragtninger
- Udspecificering af energiforbrug (tyske modeller),
- Nye målinger af E-forbrug ved specielle ”økologiske” driftsformer
- review af andre nye metoder til energi input/output opgørelser (jf. Niels’ link)

Flere af disse spørgsmål belyses nærmere i ”scenariet kapitlet”

Litteratur

Anonym. 2002. Hjemmeside for forskningsprojektet ”Livscyklusvurdering af basis-levnedsmidler”.
<http://www.lcafood.dk/>

Bichel udvalget (1999) *Rapport fra den tværfaglige økologigruppe*. Miljøstyrelsen, København.

Dalgaard T, Halberg N og Fenger J (2000) *Simulering af fossilt energiforbrug og emission af drivhusgasser*. FØJO rapport nr. 5. Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, Foulum.

Dalgaard T, Dalgaard RL og Nielsen AH (2002a) *Energiforbrug på økologiske og konventionelle landbrug*. Grøn Viden Markbrug no 260. Juli. 8 pp.

Dalgaard T, Halberg N and Fenger J (2002b) *Can organic farming help to reduce national energy consumption and emissions of greenhouse gases in Denmark?* In: EC van Lerland and AO Lansink (eds.) *Economics of sustainable energy in agriculture*. Economy and Environment vol. 24. p. 191-204. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 1-4020-0785-X.

Dalgaard T, Kelm M, Wachendorf M, Taube F, and Dalgaard R. (2002c) *Energy balance comparison of organic and conventional farming*. Proceedings from the OECD Workshop on Organic Agriculture (see www.okoforsk.dk). 23-26 September 2002, Washington D.C., USA. Session 2.2. Environmental aspects. 12 p.

Dalgaard T, Halberg N & Porter JR (2001) *A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 87(1) 51-65.

Halberg, N. 1999. *Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers*. Agric. Ecosys. Environ. 76, 17-30.

Halberg N., Kristensen I.S. 1997. *Expected crop yield loss when converting to organic dairy farming in Denmark*. Biol Agric Hort 14:25-41

IPCC (1997).....

Lerland EC van and Lansink AO (2002) *Economics of sustainable energy in agriculture*. Economy and Environment vol. 24. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 1-4020-0785-X.

Refsgaard et al. (1998)....

Schroll (1994)....

Verschurr et al. (2001)....

3. Biogasproduktion i økologisk jordbrug (Sven G. Sommer, Morten Gylling, Jens Bo Holm-Nielsen)

Formål: At beskrive hvilke effekter biogasproduktion kan have på Ø.J. med hensyn til energi, næringsstofforsyning og drivhusgasemission.

- *Aerob kontra anaerob omsætning*
- *Biogas fra gylle og mulighed for tilsætning af affald og plantemasse*
- *Gårdanlæg/fællesanlæg – produktion af varme/el, traktordrift*
- *Betydning for næringsstoffilgængelighed, lugt, patogener, ukrudtsfrø og drivhusgasser*
- *Mulighed for produktion af svinefoder ?*

3. Biogasanlæg – fermentering af husdyrgødning og energiafgrøder

Henrik Møller og Sven G. Sommer, Afdeling for Jordbrugsteknik, Danmarks JordbrugsForskning

3.1 Sammendrag

Organisk stof i husdyrgødning, energiafgrøder og affaldsprodukter kan omsættes og frigøres til energiproduktion ved anaerob omsætning (forgæring, biogasproduktion) og ved forbrænding. Forbrænding af organisk materiale giver en større energi udnyttelse af det organiske materiale end en forgæring, fordi forbrændingen er fuldstændig og forgæringen ufuldstændig. Forgæringsprocessen har imidlertid en række fordele, som er medvirkende til, at biogasproduktion kan være en særligt interessant teknologi for økologisk jordbrug. Forbrænding er kun en realistisk mulighed for biomasse med højt tørstofindhold og afbrænding af husdyrgødning og grovfoderafgrøder er kun muligt med en ringe energiudnyttelse og stort

tab af kvælstof, mens disse biomasser er meget anvendelige til energiproduktion i biogasanlæg. Anaerob omsætning af husdyrgødning er en velkendt teknologi der ud over en betydelig energigevinst giver en række sidegevinster i form af reduceret drivhusgasemission, forbedret gødningsudnyttelse og reducerede lugtgener. Anaerob omsætning af grovfoderafgrøder giver et stort energioverskud og muliggør dyrkning af kvælstoffikserende afgrøder til energiformål, hvorved der høstes fikseret kvælstof der kan komme andre afgrøder til gavn, hvilket er af særlig stor betydning ved økologisk planteavl. Omsætning af kløvergræs giver samtidig mulighed for produktion af høj værdigt protein foder.

3.2. Indledning

Traditionelt har landbruget selv produceret en stor del af den energi, der har været brug for i produktionen. Før traktorens indpas blev 10% (Beregnet på baggrund af information fra Juncker, 1919) af en gårds arealtilliggende anvendt til foderproduktion til heste, der bidrog med trækraft til markredskaber og til transport. Heste er selvfølgelig historie, men eksemplet viser at der er en lang tradition for at dyrke afgrøder med henblik på at skaffe energi.

I økologisk jordbrug ønsker man at videreføre denne praksis, idet det er en målsætning at økologisk jordbrug skal baseres mest muligt på lokale og fornyelige ressourcer (Strukturdirektoratet, 1999), samt være selv bærende og undgå alle former for forurening.

Planter omsætter sol-energi til organiske forbindelser med et højt indhold af energi, der kan omsættes til metan ved en anaerob omsætning eller frigøres ved en forbrænding (oxidation). Forbrænding af organisk materiale giver en større energi udnyttelse af det organiske materiale end en forgæring, fordi forbrændingen er fuldstændig og forgæringen ufuldstændig. Forgæringsprocessen har imidlertid følgende fordele, som er medvirkende til, at biogasproduktion kan være en særligt interessant teknologi for økologisk jordbrug:

- Omsætning af metan fra anaerob omsætning, muliggør såvel varme som elproduktion på mindre decentrale anlæg, medens elproduktion ved oxidation kræver transport til store centrale anlæg
- Et højt vandindhold i afgrøden reducerer nettoenergiproduktionen ved forbrænding, derfor er afgødetyper med >60% vand, svarende til grovfoderafgrøder, uegnet til forbrænding uden en fortørring, men velegnede til biogasproduktion.
- Ved forbrændingen af afgrøden går kvælstof tabt, der kan dannes skadelige NOX emissioner, fosfor bliver mindre tilgængeligt, og det er nødvendigt at erstatte næringsstofferne bl.a. ved kvælstoffiksering (Kuikman et al. 2002).
- De tungomsættelige kulstofforbindelser i biomassen omsættes ikke og tilbageføres med den afgassede gylle til jorden, hvor den vil bidrage til at opretholde jordens frugtbarhed
- 1-3 årige kvælstoffikserende afgrøder, som kløvergræs er velegnet til anaerob omsætning og kan sikre kvælstof forsyningen for økologiske planteavlere

Ved fermentering af omsætteligt organisk materiale i biogasanlæg produceres metan, der kan benyttes til el og varmeproduktion eller som drivmiddel i traktorer. I eksisterende biogasanlæg er det især gylle og organiske affaldsprodukter fra fødevarerindustrien, som er anvendt som energikilde. Gylle består af meget omsat plantemateriale samt lidt strøelse og har som følge heraf et ringe energiindhold, derfor tilsættes energirigt affald.

I stedet for at benytte gylle kunne man anvende let omsætteligt og energirigt græs, kløvergræs eller lignende til biogasproduktionen (Jørgensen og Hannibal, 1997). Det omsatte plantemateriale vil kunne forarbejdes og derpå anvendes som foder (se afsnit 3.4) eller som gødningsmiddel.

Foruden energigevinsten har omsætning af gylle i biogasanlæg en række positive sideeffekter. Omsætning af husdyrgødning i biogasanlæg vil bidrage til at reducere den direkte udledning af drivhusgasserne metan og lattergas fra gylle. Den lange opholdstid i biogasanlæg ved høje temperataurer kan også bidrage til at reducere risikoen for spredning af smitte (Matens et al. 1998) Endvidere reducerer afgangning af gylle og afgrøder ikke biomassens gødningsværdi snarere tværtom.

Biomassens energiindhold kan frigøres ved hhv. en anaerob omsætning (biogasproduktion), en aerob omsætning (kompostering) eller ved en oxidation (forbrænding). Frigørelsen af energi ved anaerob omsætning og ved oxidation kan udnyttes til produktion af varme, el og motorbrændstof medens aerob omsætning (kompostering) kun i begrænset omfang muliggør en energiudnyttelse. Produktion af el fra metan produceret ved anaerob omsætning er velkendt teknologi på mindre anlæg knyttet til gårde medens el produktion ved oxidation kun er muligt på større centrale kraftværker.

Det fremgår af tabel 3.1 at bruttoenergiindholdet i biomasse er 14-19.4 MJ/kg TS. Variationen skyldes primært forskelle i askeindholdet, som er større i husdyrgødning end i afgrøder. Anaerob omsætning frigør 50-80% af biomassens indhold i form af metan, medens forbrænding frigør hele energiindholdet og alt andet lige vil forbrændingen derfor kunne give en større energiproduktion. Det er imidlertid vanskeligt at forbrænde biomasse med højt vandindhold som gylle og græs og for denne type biomasse vil anaerob omsætning være mest fordelagtigt. Anaerob omsætning af halm og elefantgræs giver en væsentlig mindre energiproduktion (ca. 50%) end forbrænding og kan kun omsættes ved samudrødning med husdyrgødning. Til gengæld vil metanproduktion give bedre mulighed for produktion af el og motorbrændstof, ligesom kvælstof og uomsat kulstof i den afgassede biomasse bidrager til jordens frugtbarhed.

Tabel 3.1. Energiforhold ved hhv anaerob omsætning og oxidation af forskellige biomassetyper. Ved beregning af nettoenergi er virkningsgrad og procesenergiforbrug ikke indregnet.

Biomasse	Tørstofindhold	VS/TS forhold	Bruttoenergi	Netto energi	
				Anaerob omsætning	Oxidation (forbrænding)
	%	%	MJ/kg TS		MJ/kg TS

Svinegylle ¹	6	80	14,3	8.58	Ikke mulig
Kvæggylle ¹	10	80	14,0	7.0	Ikke mulig
Kløvergræs ²	20	90	18,3	14.6	Ikke mulig
Halm ¹	90	90	19,1	9.6	17.2
Elefantgræs	85	90	19,4	9.7 ³	17.5

¹Møller mfl (2003)

²Kløvergræs (sammensætning af VS): råprotein 21%, råfedt 3%, kulhydrat: 66% (Andersen & Just, 1983)

Bruttoenergiindholdet for hhv protein, råfedt og kulhydrat er anslået til 24.2, 34.1 og 18.5 MJ/kg.

³Beregnet ved forudsætning om en omsættelighed på niveau med halm, hvilket vil kræve kraftig neddeling.

3.3. Biogasproduktion

Processen

Første fase i produktionen af metan (CH₄) er hydrolysen af uopløselige biopolymerer (fedt, protein, cellulose, lignin) under iltfrie forhold. Biopolymererne nedbrydes til opløselige kulhydrater, langkædede fedtsyrer, aminosyrer og glycerol (Barlaz et al. 1990, Vavilin et al. 1998) med en hastighed som både afhænger af den enkelte forbindelse og det fysisk-kemiske miljø (temperatur, pH mv.).

Ved anaerob omsætning af materialer, som har et højt indhold af cellulose og lignin, er hydrolysen det hastighedsbegrænsende led for metanproduktionen. Årsagen er, at lignin binder sig til holocellulose i en tredimensional matrix (lignocellulose), hvor lignin beskytter cellulosen mod kontakt med de hydrolytiske enzymer (Tong et al. 1990). Biomasse med et højt indhold af lignocellulose kan derfor have et højt teoretisk biogasproduktionspotentiale; men anvendes biomassen uforarbejdet til biogasproduktion vil det kræve en meget lang opholdstid (flere hundrede dage) at få en acceptabel energiproduktion. En konsekvens af en lang opholdstid er, at biogasreaktoren skal være stor, og produktionen vil derfor blive bekostelig.

De opløste nedbrydningsprodukter fra hydrolysen optages dernæst af forgærende bakterier og omsættes til flygtige fede syrer (VFA), alkoholer, brint og CO₂ (Patni og Jui, 1985). Metan dannes ud fra forgæringsprodukterne af en lille gruppe stærkt specialiserede bakterier, der kun kan fungere under anaerobe (strengt iltfrie) forhold. Sådanne forhold finder man i gylle og i biomasse, der fermenteres i biogasanlæg, hvor metan produktionen er et mål for processen. Samme betingelser findes også i gyllekanaler og i gyllelagre, hvor metanudsendelse bidrager til et øget indhold af drivhusgasser i atmosfæren. De hydrolytiske og forgærende bakterier har tilsammen et komplekst stofskifte, der gør metandannelsen afhængig af især partialtrykket for brint (P_{H₂}). Ved lavt P_{H₂} produceres overvejende brint og eddikesyre, som er hovedsubstraterne for metanbakterierne, mens der ved højt P_{H₂} fortrinsvist dannes reducerede forbindelser som propionsyre, smørsyre og ethanol (McInerney *et al.* 1981). En stabil og afbalanceret proces, som bl.a. kan opretholde et lavt partialtryk for brint, er derfor en forudsætning for en effektiv metanproduktion i et biogasanlæg.

Metanproduktionen er stærkt temperaturafhængig, og den er eksponentielt stigende med stigende temperatur ved temperaturer under 30°C (Psychrophilic; Cullimore et al. 1985) og har optimum ved 30-40°C og 50-55°C. For at sikre at metanproduktionsraten er høj, bliver gyllen

opvarmet til enten 30-40°C (Mesofilt) eller til 50-55°C (Thermofilt) i biogasreaktorer. Årsagen til at temperaturen i nogle reaktorer er 30-40°C skyldes, at man vil undgå ammoniak-hæmning af processen. Er ammoniumindholdet højt, som i svinegylle, kan en sænkning af temperaturen reducere ammoniakkoncentrationen. Derfor har man traditionelt benyttet mesofile reaktorer til svinegylle; imidlertid har det vist sig, at processen kører fint på svinegylle ved 48°C.

Biogasanlæg

En økologisk husdyr-producerende gård kan vælge at producere biogas på eget gårdbiogasanlæg, hvis husdyrproduktionen og gødningsproduktionen er stor, eller gården kan være tilknyttet et fælles-biogasanlæg (Jensen, 2002). På gården bør man søge at opbevare den ubehandlede gylle kortvarigt i gyllekanaler og fortank. Produceres biogassen på eget gårdbiogasanlæg pumpes gyllen direkte fra fortanken til reaktoren. Fra gårde tilknyttet fællesbiogasanlæg transporteres gyllen fra gårdens fortank til et lille mellemlager på biogasanlægget, hvorfra gyllen pumpes til reaktoren.



Figur 3.1. Billede af et biogasanlæg.

På biogasanlægget (Fig.3.1) bliver gyllen varmet op ved indløbet til reaktoren og bliver i reaktoren omrørt konstant. Forud for tilførsel af gylle til reaktoren tømmes denne for en tilsvarende mængde afgasset gylle. Opholdstiden for gyllen i reaktoren beregnes som den daglige tilførsel af gylle divideret med reaktorens volumen. Denne hydrauliske opholdstid er et gennemsnit af opholdstid af forskellige længde for forskellige portioner af gylle. Ved udløbet fra reaktoren sænkes gyllens temperatur ved varmeveksling og varmen benyttes til opvarmning af tilført gylle.

På anlæg, hvor opholdstiden er blevet for lille, fordi man modtager mere biomasse end forventet på det tidspunkt da anlægget blev dimensioneret, undlader man at varmeveksle den afgassede gylle og pumper den varme gylle til efterlager med gasopsamling. Efterlageret udgør så i princippet en billig udvidelse af reaktorkapaciteten. I disse efterlagre udvindes 10-20% af den samlede gasproduktion, og den afgassede gylles temperatur falder til niveauet for ubehandlet gylle. Den afgassede og efterbehandlede gylle kan enten blive opbevaret i lagertanke

på biogasanlægget, i decentrale lagre tilhørende biogasanlægget, eller på ejendommene tilknyttet biogasanlægget.

For at producere den teoretisk mulige metanproduktion skal biomassen omsættes i flere måneder. Imidlertid aftager metanproduktionen eksponentielt med tiden og bliver lille efter få uger. Ved dimensionering af anlægget foretages derfor en afvejning af produktionsrate som funktion af opholdstiden på den ene side og på den anden side opholdstid, hvilket er lig reaktorstørrelse og økonomi. Opholdstiden for gyllen i biogasreaktorer varierer typisk mellem 14 og 20 dage, i mesofile reaktorer er opholdstiden længere end i thermofile. For at reducere opholdstiden og reducere størrelsen af reaktoren kører de fleste biogasanlæg ved thermofile eller nært thermofile temperaturer.

Den producerede metan opsamles og benyttes som brændstof i motor-generator anlæg (Tabel 3.2). En del biogasanlæg har egen generator og sælger el til nettet, andre sælger gassen til decentrale naturgasfyrede fjernvarmeværker. Ved omsætning af biogas i el-generatorer produceres både el og varme (max. 40% el og 40-50% varme). Det er således vigtigt at kunne udnytte varmen for at få en god samlet udnyttelse af den producerede energi. Dette er imidlertid vanskeligt på kvægbedrifter, hvor der ikke er behov for staldvarme og i sommermånederne må der derfor ofte bortkøles overskudsvarme fra gårdanlæg. På fælles biogasanlæg er der oftest en afsætning af gas eller varme til et fjernvarme forsyningsnet, der forsyner en by med varme og derved er det oftest muligt at afsætte overskudsvarmen hele året.

Tabel 3.2. Bruttoenergiproduktion ved afgasning af gylle fra 1 dyre enhed og fra slet af 1 ha græs. Energiproduktionen er ikke fratrukket tab ved proces og energiomsætning, som samlet er i størrelsesordenen 30%. Der er regnet med en elvirkningsgrad på 40%. En husstand forbruger 3-4000 kWh el og 20.000 kWh varme.

	Metan	Bruttoenergiproduktion kWh	
		El	Varme
	M ³ enhed ⁻¹		
Køer, 1 Dyre enhed	406	1624	2436
Slagtesvin (30-100 kg), 1 DE	250	1000	1500
Græs, 1 ha*	1700	6800	10200

* 30 ton m. 18% TS. Ved græsproduktion forbruges 950 kWh.

Energipotiale

I danske biogasanlæg er råstoffet gylle iblandet energirigt affald hovedsagligt fra fødevarerindustrien. Det har vist sig at koncentrationen af energiholdige forbindelser i gylle er lav, biogasproducenterne har derfor været nødt til at tilsætte energiholdige affaldsprodukter til gyllen for at få økonomi i produktionen. Alternativer til gylle og affald som energikilde kunne være afgrøder, der høstes med henblik på produktion af energi og som også vil kunne benyttes som gødningsmiddel eller evt foder efter afgasning i biogasanlægget.

Energi og affaldsprodukter

De affaldsprodukter, der potentielt kan recirkuleres til økologisk jordbrug vil kunne stamme fra husholdningsaffald, levnedsmiddelindustrien herunder slagterier og human fækaliier.

Forudsætningen for, at husholdningsaffald og human fækaliier kan anvendes i økologisk jordbrug, er at anvendelsen ikke strider mod de økologiske regler. Barriererne mod at indføre affaldsprodukterne i økologisk jordbrug er også, at de kan belaste jorden med patogener og uønskede stoffer som tungmetaller og andre miljøfremmede stoffer..

Ved kildesortering af husholdningsaffald kan risikoen for tungmetalfurening stort set elimineres og mængden af synlige urenheder begrænses. Der findes ligeledes sanitære systemer, hvor human fæces og urin separeres fra det øvrige spildevand eller fra hinanden ved kilden, så man undgår miljøfremmede stoffer i fæces og urin, der derfor vil kunne anvendes i det økologiske jordbrug. Ved energifremstillingen på et biogasanlæg opnår man som en sidegevinst en kontrolleret hygiejnisering af affaldet/fækaliier (Miljøstyrelsen, 1997, Lund et al., 1996)., der efterfølgende vil være velegnet til genanvendelse i økologisk landbrug.

Energi- og næringsstof potentialerne fra forskellige kilder udenfor landbrugets kredsløb er angivet i tabel 3.3. Det samlede energipotential fra de angivne kilder er 5.5 PJ. Det vil imidlertid næppe være realistisk at udnytte potentialerne fuldstændigt (Møller & Baadstorp, 1998) og en realistisk recirkuleringsgrad på længere sigt vil være 50-75% for husholdningsaffald og fækaliier, medens en højere andel af industriaffaldet vi kunne anvendes. I dag bliver mere end 50% af industriaffaldet nyttiggjort i biogasfællesanlæg (Tafdrup 2002).

Ved anvendelse af affald i biogasanlæg, recirkuleres der samtidig en stor mængde næringsstoffer. Human fækaliier og urin indeholder store mængder næringstoffer. Især urin delen har et stort næringsstofindhold, som kan recirkuleres uden forudgående biogasbehandling, forudsat der er sket en urin separation i husholdningerne.

Tabel 3.3. Energi- og næringsstof potentialer i husholdningsaffald, humane fækaliier og urin, samt industriaffald. PJ er en energienhed svarende til 10¹⁵ Joule

	Mængde	Energi	Næringsstoffer	
			N	P
	1000 tons	PJ	1000 tons	
Husholdningsaffald ¹	650	2	3.9	0.7
Fækaliier+urin ²	2000	1	25	3.5
Affald fra fødevarer industri ³	400	2.5	4	1
I alt	3050	5.5	32.9	5.2

¹Møller & Baadstorp, 1998, ²Naturvårdsværket (1995) og egne udregninger, ³ affald fra industri dækker fiskeaffald, slagteriaffald (ikke kodprodukter) mm. Tafdrup (1999 og 2002), næringsstofindhold er eget skøn

Energi og biomasse

Som nævnt i indledningen er der i landbruget tradition for at producere afgrøder med henblik på energiproduktion. Det er muligt at anvende græs, kløvergræs eller roetoppe til

energiproduktion på økologisk drevne gårde. I forhold til at dyrke afgrøder med henblik på en forbrænding er der ved biogasproduktion bl.a. den fordel, at næringsstofferne ikke går tabt og at anlæggene kan placeres lokalt.

Græsset bliver i eksisterende anlæg blandet med vand eller i en delmængde af afgasset biomasse og derpå pumpet ind i reaktorerne, der producerer biogas. Det er muligt at tilføre biomassen tørt; men det er kompliceret og har i de eksisterende anlæg givet problemer med driftsstop. Det er nødvendigt at kunne opbevare biomassen i perioder, hvor høst ikke er muligt, hvis man ønsker udelukkende at drive biogasanlægget på græs, kløvergræs eller lignende. Til det brug er ensileret græs/kløvergræs eller roetoppe meget velegnet.

Det er beregnet, at der ved biogasbehandling af græs kan produceres 0,35 m³ CH₄ per kg volatile solids (VS) i græsset (Tabel 3.4). Beregningerne der ligger til grund for tabel 3.5 er gennemført under forudsætningerne angivet i tabel 3.4. VS er den organiske del af tørstof i gylle og græs eller anden biomasse. I en nyligt afsluttet undersøgelse blev det vist, at energiproduktionen ved afgasning af ensileret græs var 0,4 m³ CH₄ per kg VS, hvilket er lidt højere end ved gennemsnitsberegningen angivet i tabel 3.4.

For at få en høj energi produktion ved afgasning af græs er det vigtigt at græsset bliver slået før det begynder at sætte stængler, hvilket svarer til slettidspunktet for græs, der har en god foderværdi. Endvidere skal græsset eller ensilagen findeles før den anvendes til biogasproduktionen.

Tabel 3.4. Produktion af tørstof på 1 ha ekstensiv græs, sammensætning af det høstede græs og metanproduktionen i biogasanlæg.

Komponent	Indhold i græs	Kløvergræs
Fedt, % TS	4,9	3,3
Kulhydrat, % TS	68,1	73
Protein, % TS	26	23
VS/TS forhold, %	90	90
Metan produktion, m ³ CH ₄ kg ⁻¹ VS*	0,35	0.35
TS produktion ton ha ⁻¹	5-7	5-7

*Beregnet med metan produktions model udviklet af Sommer et al. 2001.

Der er lavet en balance for energiproduktionen på et biogasanlæg (tabel 3.5), der omsætter kløvergræs til biogas. I beregningerne indgår energiforbruget ved eksempelvis markarbejde og energiforbrug ved biogasproduktionen (Sommer et al. 2002). Tages udgangspunkt i produktionen af 30 t kløvergræs pr. ha med et tørstofindhold på 18% og et VS indhold på 90% vil energioverskuddet i systemet være 12658 kWh pr. ha. Energi-ratioen (energibalancen) af systemet er ca. 10, dvs. der produceres ca. 10 gange så meget energi, som der forbruges. Hertil kommer at der høstes kvælstof der er fikseret med afgrøden, og som kan anvendes til andre afgrøder, ligesom en del af den kvælstof der efterlades i jorden ved dyrkningen kan komme den følgende afgrøde til gode. Hvis den tilsvarende mængde kvælstof skulle produceres industrielt ville det kræve et betydeligt energiforbrug (Tabel 3.5), men det kan diskuteres om denne energigevinst kan indregnes i en økologisk energibetragtning

Tabel 3.5. Energi produktion og forbrug. Energiproduktion ved N-fixering er beregnet ved at beregne den energi der skulle anvendes til at producere N ved handelsgødning (50 MJ/kg N (Møller & Baadstorp 1998). N fikseret med afgrøde recirkuleres med det afgassede produkt, som gødning, medens N-fikseret i jord virker som gødning for følgende afgrøde

Parameter	Mængder	Energiproduktion/forbrug Kwh/år
Kløvergræs	30 ton 18% TS	17010
Procesenergi	20% af energiproduktion	-3402
Markarbejde u. vanding ¹	95 l diesel	-950
Netto		12658
N-fixering høstet med afgrøde ²	35 kg N/ha	500
N-fixering jord	100 kg N/ha	1420

¹Sommer mfl. 2002

²4% protein (TS) forudsat i afgrøde

Drivmiddel til traktorer

Biogas produceret ved anaerob omsætning af biomasse kan anvendes som motorbrændstof til biler og traktorer. I Sverige er der en del erfaringer med anvendelse af biogas til drift af busser (kilde?). Ulempen ved anvendelse af biogas som motorbrændstof er den ringe brændværdi per volumen og indholdet af CO₂ og H₂S. Der skal således mere end 1 m³ biogas til at modsvare 1 l dieselolie, hvis gassen er ukomprimeret, og hvis gastanken skal indeholde tilstrækkeligt brændstof, kræves komprimering af gassen til stort tryk, hvilket er energikrævende. Endvidere skal gassen inden komprimering opgraderes, dvs. CO₂ og H₂S skal fjernes fra gassen. I Danmark, hvor der er betydelige naturgasreserver, vil det derfor være oplagt i stedet at bruge naturgassen som traktorbrændstof, fordi naturgas ikke indeholder CO₂. Biogassen kunne så benyttes til at substituere naturgas i decentrale kraftvarmeværker, hvor biogassen ikke behøver at blive rensat for CO₂ indhold.

3.4 Sidegevinst ved fermentering af græs/kløvergræs eller gylle

Forædling af biomasse til foder

Forsøg i Tyskland har vist, at anaerob, bakteriel omsætning af både frisk græs og ensileret græs i biogasreaktorer har øget biomassens indhold af aminosyrer (herunder lysin). Det er således vist at i udrådnet gødning er aminosyreindholdet steget med 230%, lysinindholdet med 300% og proteinindholdet (kvælstof*6,25) med 25% i forhold til udgangsmaterialet (Gunnerson og Stuckey, 1986). Det forøgede indhold af protein og især af lysin vil kunne gøre græsset til et meget anvendeligt foder til svin. Protein forsyningen til svin og især forsyning af essentielle aminosyrer er akilleshælen i økologisk svineproduktion (se Økologisk Jordbrug, vinteren 98/99), og kunne det lykkedes at fremstille et protein og aminosyrerigt foderprodukt ved at fermentere græs ville det kunne bidrage til en videre udbygning af økologisk svineproduktion, hvor mindst 80% af foderet dyrkes økologisk og lokalt.

Den fermenterede biomasse fra en reaktor, hvor græs er tilført opblandet i væske, vil have en relativ lav koncentration af proteiner og aminosyrer. Derfor vil det være nødvendigt at separere

væsken fra biomassen og alene benyttet koncentratet som foder. Et alternativ vil være at forbedre designet af biogasanlæg, der tilføres biomassen uden forudgående opblanding i vand.

Det er muligt at overføre ca. 30% af kvælstoffet til en fast fraktion ved separering. En stor del af kvælstoffet i væske fraktionen vil være ammonium samt en del lavmolekylære proteiner og aminosyrer. Derfor kan det vise sig nødvendigt med en form for additiver der kan binde aminosyrer og proteiner for at opnå en effektiv separation, hvor hele protein og aminosyre fraktionen overføres til den faste fraktion. Fodringsforsøg har også vist, at svinene sorterer det oparbejdede foder fra foderblandinger. Derfor skal produktet fra separation af den mikrobielt behandlede biomasse videreføres for at sikre at svinene vil æde foderet. En videreførelse kan bestå i tørring, der også vil bidrage til at øge foderværdien af biomassen, idet foderværdien pr. kg bliver større.

På baggrund af målinger af metan produktion og separation er der lavet en massebalance for tørstofindholdet i biomassen der behandles med henblik på at øge foderværdie (Sommer et al. 2002). I beregningerne er målingerne opskaleret til anvendelse af produktionen af biomassen fra 1 ha kløvergræs. Der høstes 30 tons biomasse med et tørstofindhold på 5,4 tons (18% tørstof). Biomassen ensileres og omsættes i biogas reaktoren. Ved denne omsætning omdannes 2,5 tons tørstof til metan. Ved en optimal separation vil der blive overført 2,23 ton tørstof til den faste fraktion, som anvendes til fodring af svin.

I den ubehandlede biomasse vil kvælstofindholdet være 207 kg og fosforindholdet 23 kg. Der tabes lidt kvælstof (1 kg) og intet fosfor ved den mikrobielle proces. I den faste fraktion til svinefoder vil der være 88 kg N og 21 kg P. En del af væskefraktionen recirkuleres til biogasanlægget og anvendes til at blande med ensilagen for kunne tilføre biomassen som suspension til reaktoren. Som følge af at en del af væskefraktionen fra separationen recirkuleres til reaktoren bliver der i det færdige koncept overført en stor andel af proteinet til den faste fraktion, som skal anvendes som svinefoder.

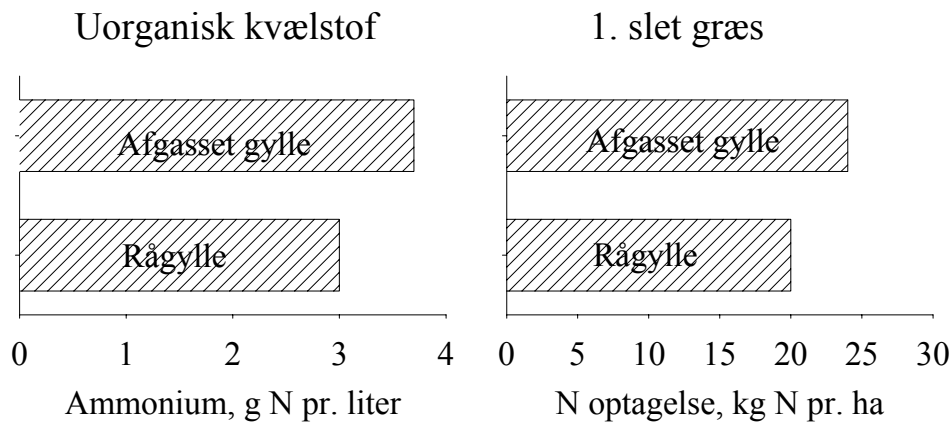
Miljøeffekter

Ammoniaktab og gødningsværdi

Afgasning af gylle i biogasanlæg ændrer gyllens egenskaber på en række områder, hvor de væsentligste ændringer er: Andelen af uorganisk kvælstof stiger (Figur 3.2), pH stiger, viskositeten bliver mindre. En højere andel af uorganisk kvælstof og højere pH giver risiko for større ammoniakfordampning under lagring og udbringning. Til gengæld betyder den mindre viskositet, at gyllen hurtigere trænger ned i jorden. Når gyllen er sivet ned i jorden reduceres risikoen for at ammoniak går tabt ved fordampning.

I praksis har det vist sig, at de positive og negative virkninger stort set udligner hinanden ved svinegylle medens der er en betydelig positiv kvælstof effekt ved afgasning af kvæggylle. Dette hænger sammen med, at ammonium andelen i kvæggylle stiger fra ca. 50% til 75% ved afgasningen, mens ammonium andelen øges lidt i svinegylle. Tabet af ammoniak fra udbragt afgasset gylle er ikke forskelligt fra udbragt ubehandlet gylle (Rubæk et al., 1996). Det er ammonium-kvælstof i gylle som er plantetilgængeligt. Som følge heraf er udbyttet større pr kg

udbragt kvælstof i afgasset gylle i forhold til udbyttet af kvælstof i rågylle.

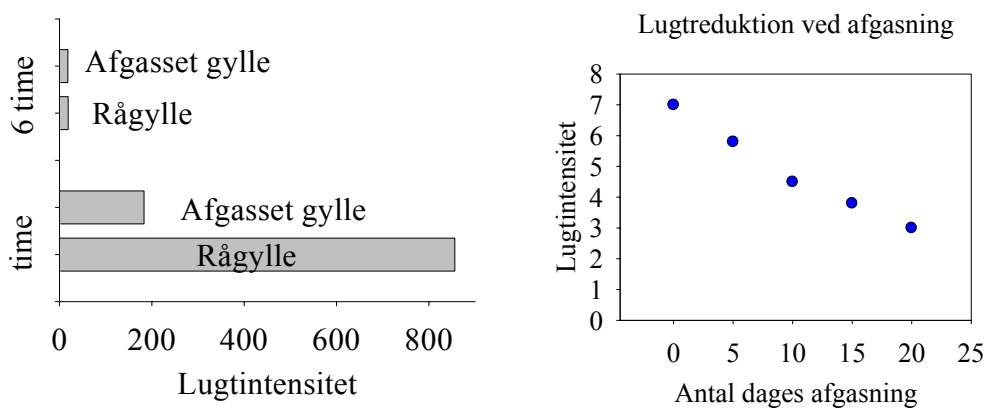


Figur 3.2. Indhold af uorganisk kvælstof i form af ammonium i henholdsvis afgasset gylle og rågylle (venstre) og N-optagelsen i 1-slet af græs efter udbringning af afgasset gylle og rågylle (højre) (Rubæk et al. 1996).

Som nævnt er andelen uorganisk kvælstof i forhold til organisk kvælstof større i afgasset gylle som i ubehandlet gylle. Afgrøderne kan kun optage den uorganiske kvælstof, derfor er 1. års gødningsværdien af kvælstof i afgasset gylle større end værdien af kvælstof i ubehandlet gylle (Fig 3.2; Rubæk et al. 1996, Birkmose 2002). En forudsætning for at kunne udnytte den større gødningsværdi er at gyllen enten bliver nedfældet eller nedbragt i jorden ved pløjning eller harvning umiddelbart efter udbringning.

Lugt

Udover de fordele, afgangningen af gylle kan betyde for anvendelse af næringsstoffer, kan biogasanlæg spille en vigtig rolle til begrænsning af lugtemission ved håndtering af husdyrgødning (Figur 3.3). Det skyldes, at afgangning reducerer gyllens indhold af ildelugtende organiske komponenter (Power et al. 1999); Sommer og Husted (1995) har således vist, at indholdet af de lugtende, fede syrer (VFA) i afgasset gylle er ca. 50% af indholdet i ubehandlet gylle, og tørstofindholdet kun 25%. I en undersøgelse af Pain et al. (1990) var lugtgenerne fra nyligt udbragt, afgasset gylle ca. 25% af lugten af ubehandlet gylle.



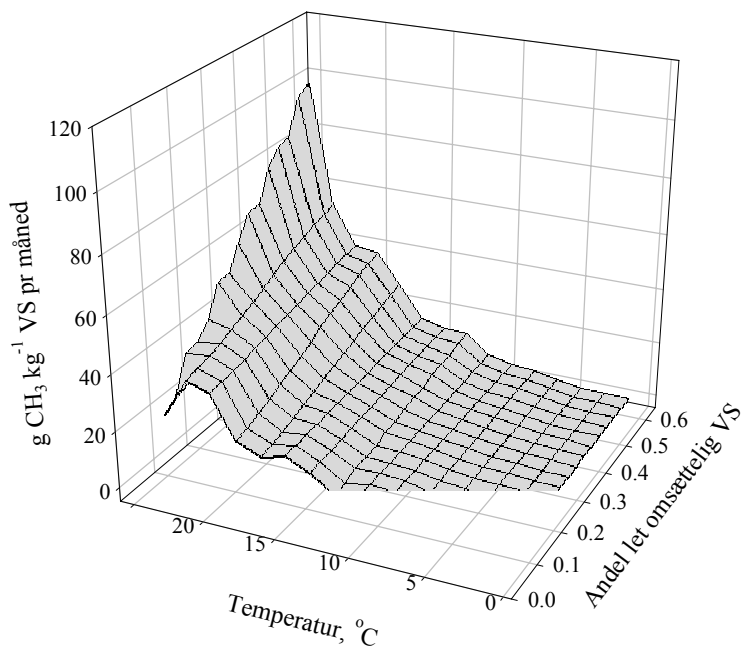
Figur 3.3. Lugtgener ved udbringning af afgasset og ubehandlet gylle (Venstre, Pain et al. 1990) og lugtintensitet af afgasset gylle efter stigende antal dages afgang (Højre, Powers et al. 1999)

Reduceret drivhusgasemission

Husdyrgødning er en kilde til drivhusgasserne metan (CH_4) og lattergas (N_2O) i atmosfæren. Udsendelsen af både metan og lattergas er væsentlig lavere end udsendelsen af kuldioxid, men de to gasser er langt mere effektive som drivhusgasser. Metans varmpotentiale er således ca. 20 gange så stort som kuldioxids og for lattergas er varmpotentialet ca. 300 gange større som for kuldioxid (IPPC 2001).

Metan produceres som nævnt af bakterier under iltfrie forhold. I gylle fra kvæg vil der i reglen straks være et betydeligt indhold af metanproducerende bakterier, og metanproduktionen i frisk gylle starter derfor kort tid efter sammenblanding af fæces og urin. I frisk svinegylle er der kun få metanproducerende bakterier, så der kan gå dage eller uger før der produceres metan af betydning i frisk svinegylle (Henrik Møller, ikke publiceret). Mængden af metan produceret i lagret gylle vil afhænge af temperaturen, opholdstiden i lageret og indholdet af organisk tørstof (VS). Figur 3.4 illustrerer metan-udsendelsen som funktion af temperature og indholdet af omsætteligt organisk tørstof. Det ses at udsendelsen er lav ved temperaturer under $10\text{-}15^\circ\text{C}$. Temperaturen i gyllebeholdere er normalt under 15°C , den daglige udsendelse af metan fra lagret gylle er derfor lav, men gyllen opbevares i lang tid og den samlede udsendelse bliver derfor betydelig. I gylle lagret i stalde er temperaturen mellem 15 og 20°C og den daglige udsendelse af metan derfor større.

Omsætning af gylle i biogasanlæg forbruger gyllens indhold af omsættelig organisk tørstof (Harikishan and Sung, 2002), derfor vil der være en meget lille udsendelse af metan fra afgasset gylle, der er blevet afkølet. Beregninger viser, at metanudsendelsen fra 1 kg omsættelig tørstof i svinegylle kan reduceres med ca. 40% og med ca. 30% for kvæggylle. Reduceres opholdstiden for gyllen i stalden vil metanudsendelsen blive reduceret endnu mere og indholdet af omsætteligt tørstof i gyllen vil stige. Derved vil biogas-potentialet af gyllen, der omsættes i biogasanlægget blive større. Effekten er at metanudsendelsen fra 1 kg omsætteligt tørstof reduceres med ca. 80% for svinegylle og 85% for kvæggylle og energiproduktionen stiger med $5\text{-}10\%$.



Figur 3.4. Udsendelse af metan fra gyllelager som funktion af temperatur og indhold af VS (Sommer et al. 2001).

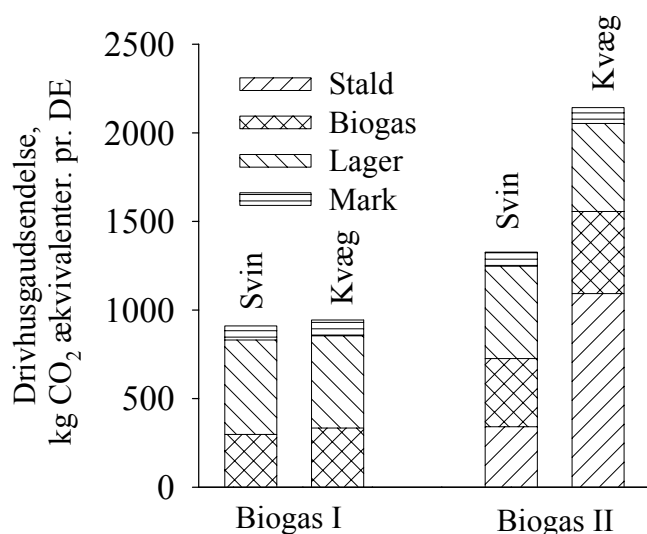
Dyrkningsjorden er normalt velforsynet med ilt, så betingelserne for metanproduktion efter udbringning af gylle er ringe. Udsendelsen af metan fra udbragt gylle skyldes derfor primært frigivelse af opløst metan og er i øvrigt ubetydelig i forhold til udsendelsen fra lagret gylle (Chadwick og Pain, 1997; Sherlock et al. 2002).

Lattergas kan dannes gennem to fundamentalt forskellige bakterielle processer. Den ene proces, som kaldes nitrifikation, er en iltning af ammonium til nitrat. Nitrifikationen er således en iltkrævende proces og lavt iltindhold fremmer produktionen af lattergas via nitrifikation (Firestone og Davidson, 1989). Ved denitrifikation dannes lattergas som er et mellemprodukt ved reduktion af nitrat til frit kvælstof, denitrifikations-processen er begrænset til iltfrie/iltfattige forhold. Iltfrie/iltfattige områder i jorden vil fremme denitrifikation og derfor øge risikoen for produktionen af lattergas ved denitrifikation.

Dyrkningsjorden er normalt et iltet miljø, men iltfrie forhold kan opstå hvis jorden er meget våd, f.eks. efter en periode med nedbør, eller hvis der er områder i jorden med et højt iltforbrug. Nedfældning af gylle med et højt indhold af let omsætteligt organisk stof fremmer iltforbruget og dermed udbredelsen af iltfattige områder samt som konsekvens heraf produktionen af lattergas ved nitrifikation og denitrifikation (Petersen 1992). Reduktion af gyllens indhold af omsætteligt organisk tørstof vil mindske udbredelsen af iltfattige områder i marker, hvor gylle er blevet nedfældet, og udsendelsen af lattergas vil blive formindsket. Målinger viser, at udsendelsen af lattergas fra nedfældet afgasset gylle er 20-40% lavere end udsendelsen fra ubehandlet gylle (Petersen 1999)

Den energi, der produceres i biogasanlæg, substituerer energi produceret ved afbrænding af fossilt brændsel. Model beregninger viser at 1 kg VS fra svineproduktion vil substituere 0,45 kg CO₂ produceret ved afbrænding af naturgas og 1 kg VS produceret fra kvægproduktion substituerer ca. 0,30 kg CO₂. Den samlede effekt af at anvende gylle i et traditionelt biogasanlæg (Reduktion af metan og lattergasudsendelse og substitution af kulfyring) er en reduktion i CO₂ ækvivalenter på 900 til 950 kg CO₂ pr dyreenhed for henholdsvis svin og kvæg

(Figur 3.5). Benyttes mere avanceret teknologi, der bl.a. omfatter reduktion af metanemission fra stalde bliver effekten endnu større.



Figur 3.5. Reduktion i drivhusgas udsendelse ved fermentering af gylle i biogasanlæg ved (*Biogas I*) traditionel biogasproduktion og (*Biogas II*) ved avanceret biogasproduktion (Udarbejdet på baggrund af Sommer et al. 2001.

Denitrifikationstab

Denitrifikationstab (denitrifikation: omsætning af nitrat til frit kvælstof, N₂) i form af frit kvælstof og lattergas er væsentligt mindre fra afgasset gylle (Rubæk et al., 1996, Petersen 1999). Denitrifikation finder sted under iltfrie forhold, et højt indhold af VS (kulstof) i udbragt gylle vil fremme de iltfrie forhold og dermed denitrifikationen. Ved biogas produktion reduceres gyllens indhold af kulstof, der forbruges mindre ilt i jord tilført gylle og denitrifikationen reduceres.

Smittespredning

Husdyrgødning består af en blanding af urine og faeces sammen med en blanding af sekreter fra dyrene og foderrester. Derfor vil husdyrgødning fra husdyrbesætninger, der huser infektioner, indeholde de patogener (bakterier, vira og parasitter) der findes i de enkelte besætninger. Til økologisk jordbrug importeres gødning og håndtering af ubehandlet husdyrgødning kan udgøre en potentiel risiko for spredning af patogener. Indenfor den enkelte besætning vil gødningshåndteringen medvirke til at opretholde et infektionspres og muliggøre spredning mellem forskellige dele af en ejendom.

Indholdet af patogener i gødningsfraktioner vil kunne reduceres ved varmebehandling, effekten af varmebehandling er afhængig af behandlingstid og temperatur (Tabel 3.3). En mulig patogenreducerende behandling vil være fermentering af gyllen i biogasanlæg.

Som nævnt producere biogas i anlæg ved ca. 33°C (mesofilt) i omkring 20 dage. Det ses at ved 35°C bliver indholdet af bakterier og virus reduceret til et niveau hvor anvendelsen ikke skulle

kunne forårsage smittespredning og der måske vil være en beskedent risiko for spredning af parasitter (nematoder). Martens et al. (1998) har vist at ved 30°C bliver faecale streptococcer ikke reduceret mere end med 1 til 2 log. enheder og salmonella blev ikke reduceret. Mesofil afgangning af gylle giver således ikke en sikker hygiejnisering af gødningen.

Derimod giver termofil afgangning af gylle ved ca. 50°C i mere end 6-10 dage en sikker hygiejnisering af gyllen (Tabel 3.6). Matens et al. (1998) viste at faecale streptococcer, salmonella, og aujeszky virus (model for svine feber virus) blev inaktiveret på mindre end 24 timer ved termofil fermentering af gylle. Lignende resultater blev fundet i undersøgelsen af Harikishan og Sung (2002). Tendensen mod at bygge termofile biogasanlæg bidrager således til en bedre sikring mod spredning af patogener.

Table 3.6. Hygiejnisering af gylle, dvs reduktion af patogener til 10% af det oprindelige antal (T_{90}), som funktion af temperatur og behandlingstid. Tiden er i dage (d) (Bendixen, 1995)

		Temperatur, °C			
		5°C	20°C	35°C	55°C
Bakterier	Salmonella		14 d	2.4 d	0.03 d
	E. Coli		14 d	1.8 d	0.02 d
	Faecal Streptococci			2	0.05 d
Virus	Mund og klovssyge	>98 d	14 d	1 d	0.05 d
	Aujeszky's syge	98 d	14 d	0.2 d	0.01 d
Parasitter	Nematode æg			21-35 d	0.2 d

3.5 Vidensbehov

- For at kunne anvende afgrøder optimalt til biogasproduktion er der behov for at afklare hvilke afgrøder der er mest velegnede og at tilpasse kulturteknik og drift til energiproduktion.
- Der er behov for udvikling af systemer til indpasning af anvendelse af affald og fækaler i økologisk biogasproduktion.
- Der er behov for afklaring og forsøg med muligheder for at kombinere biogas energi produktion og svinefoder produktion. For at

3.6 Litteratur

Andersen, P.E. & Just, A. 1983. Tabeller over foderstoffers sammensætning mm Det kgl. Danske landhusholdningsselskab

Barlaz, M.A., Ham, R.K. & Schaefer, D.M. 1990. Methane production from municipal refuse: A review of enhancement techniques and microbial dynamics. Critical. Environ. Control, 19, 557-584.

- Bendixen, H.J. 1995. Smitsstofreduktion i biomasse (Reduction of pathogens in biomass for fermentation i biogasplants). Landbrugs- og Fiskeriministeriet. Copenhagen, Denmark.
- Birkmose, T. 2001. Biogas production – agriculture, environment and energy. Presentation at the BioEnergy conference 25-28. September in Aarhus-DK.
- Cullimore, D.R., Maule, A. & Mansuy, N. 1985. ambient temperature methanogenesis from pig manure waste lagoons: Thermal gradients incubator studies. *Agric. Wastes*, 12, 147-157.
- Chadwick D. & Pain, B., 1997. Methane fluxes following slurry applications to grassland soils laboratory experiments. *Agric. Ecosys. Environ.*, 63, 51-60.
- Firestone, M.K. & Davidson, E.A., 1989. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil, 7-21. In: M.O. Andreae and D.S. Schimel (ed.) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. J. Wiley & Sons Ltd.
- Gunnerson, C.G. og Stuckey, D.C. 1986. Integrated resource recovery. Anaerobic digestion principles and practises for biogas system. World Bank Technical papers nr. 49.
- Harikishan, S. and Sung S.W. 2002. Cattle waste treatment and class a biosoloid production using teperature-phased anaerobic digester. *Advances in Environmental Research*, in press .
- IPPC 2001. [Climate Change 2001: The Scientific Basis](#), Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, x. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson. Published by Cambridge University Press. Pp. 892.
- Jensen, K.S., 2002. Øko-gas Give – eksempel på økologisk biogasfællesanlæg. Kongresbilag fra Økologi-kongres 2002 – Mellem værdier og vækst, 80-84.
- Juncker, N. 1919. Den danske landmandsbog. Juinckers Forlag, København. Pp 522-523. Ved beregningen er det antaget at der er behov for 2 spand heste og en plag på en gård på 40 tdr. land og at der blev produceret 5000 FE/ha, en hest har behov for ca. 10 FE pr dag..
- Jørgensen, P.J. og Hannibal, E. 1997. Kløvergræs som energiafgrøde. *Dansk Bioenergi* 31, 8-9.
- Kuikman, P.J. og Buiters, M. 2002. Co-fermentation of animal manure with organic wastes has potential to reduce emissions of greenhouse gases in the Netherlands. In *Non-CO₂ Greenhouse Gases* (Eds. Van Ham, Baede, Guicherit & Williams-Jacobse). Millpress, Rotterdam, Pp. 497-498.
- Lund, B., Frøkjær Jensen, V., Have, P. og Ahring, B. 1996. Inactivation of virus during anearobic digestion of manure in laboratory scale biogasreactors. *Antonie van Leeuwenhoek*, 69:25-31.
- Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring B. K. 2003. Theoretical and ultimate gas potential of manure, straw and solid fraction of manure. Prepared for submission to *Biomass & Bioenergy*.
- Martens, W. Fink, A., Phillip, W., Weber, W., Winter, D. and Böhm, R. 1998. Inactivation of viral and bacterial pathogens in large scale slurry treatment plants. In; Eds. Martinez, J. et al. *Proceedings from RAMIRAN '98 8th. international conference om Management Strategies for Organic Waste Use in Agriculture*. 529-539.
- McInerney, M.J., Bryant, M.P. & Pfennig, N. 1981. Anaerobic bacterium that degrades fatyacids in syntrophic association with methanogens. *Arch. Microbiol.*, 122, 129-135.
- Miljøstyrelsen. 1997. Hygiejniske aspekter ved behandling og genanvendelse af organisk affald. Miljøprojekt nr. 351, Miljø- og Energiministeriet.

- Møller, H.B. og Baadstorp, L. 1998. Indsamling og anvendelse af organisk dagrenovation i biogasanlæg. Miljøprojekt nr 386. Miljø-og Energiministeriet Miljøstyrelsen.
- Naturvårdsverket 1995. Vad innehåller avlop från hushåll? Naturvårdsverket rapport 4425.
- Olesen, J.E. 2002. Energy crops as a strategy for reducing greenhouse gas emissions. I Greenhouse gas inventories for agriculture in the Nordic countries (Eds. J.E. Olesen og S.O. Petersen), Helsingør, Denmark, 24-25 January 2002. DIAS Report, 87-96..
- Pain, B.F.; Misselbrook, T.H.; Clarkson, C.R.; Rees, Y.J. (1990) Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically-treated pig slurry on grassland *Biological Wastes* 34, 259-267.
- Patni, N.K. & Jui P.Y. 1985. Volatile fatty acids in stored dairy-cattle slurry. *Agric. Wastes*, 13, 159-178.
- Petersen, S.O. 1992. Nitrification and denitrification with direct injection of raw or anaerobically digested liquid cattle manure. *Acta. Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 42, 94-99.
- Petersen, S.O., 1999. Nitrous oxide emissions from manure and inorganic fertilizers applied to spring barley. *Journal of Environmental Quality* 28, 1610-1618.
- Powers, W.J., Horn, H.H. Van, Wilkie, A.C., Wilcox, C.J. og Nordstedt, R.A. (1999) Effects of anaerobic digestion and additives to effluent or cattle feed on odor and odorant concentrations. *J. Animal Science* 77, 1412-1421.
- Rubæk, G.H., Henriksen, K., Petersen, J., Rasmussen, B., and Sommer, S.G. 1996. Effects of application technique and anaerobic digestion on gaseous nitrogen loss from animal slurry applied to ryegrass (*Lolium perenne*). *J. Agric. Sci.* 126, 481-492.
- Sherlock, R.R., Sommer S.G., Rehmat Z. Khan, R.Z., C. Wesley Wood, C.W., Guertal, E.A., Freney J.R., Dawson C.O. and Cameron K.C. 2002. Emission of Ammonia, Methane and Nitrous Oxide from Pig Slurry Applied to a Pasture in New Zealand *J. Environ. Qual.* 31, 1491-1501.
- Sommer, S.G. and Husted, S. 1995. Chemical composition of the buffer system in livestock and biogas plant digested slurry. *J. Agric. Sci.* 124, 45-53.
- Sommer, S.G., Møller, H.B. og Petersen, S.O. 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF-rapport nr. 31, Husdyrbrug. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks Jordbrugsforskning. Pp53.
- Sommer, S.G. Møller, H.B., Fernández, J.A., Theil, P., Baadstorp, L., Jørgensen, P.J. og Holm-Nielsen, J.B. 2002. Bakteriel fremstilling af økologisk svinefoder baseret på græs. Slutrapport til Direktoratet for FødevareErhverv.
- Strukturdirektoratet 1999. Aktionsplan II – Økologi i udvikling, Pp 367. København.
- Tafdrup, S. & Gregersen, K.H.G. 1999. Biogasanlæg – produktion og økonomi. *Dansk BioEnergi*, særnummer juni 1999-
- Tafdrup, S. 2002. Genanvendelse af organisk affald. *Dansk BioEnergi*, juni 2002.
- Tong, X., Smith, L.H. and McCarty, P.L. 1990. Methane fermentation of selected lignocellulosic materials. *Biomass*, 21, 239-255.
- Vavilin, V.A., Lokshina, L. Ya, Rytov S.V., Kotsyurbenko O.R. & Nozhewnikova, A.N. 1998. Modelling low-temperature methane production from cattle manure by an acclimated microbial community. *Bioresource Technology* 63, 159-171.

4. Muligheder for dyrkning af energi-afgrøder og udnyttelse af sol og vind i økologisk jordbrug

Uffe Jørgensen, Erik Fløjgård Kristensen, Frede Hvelplund

Formål: At gennemgå dyrkning og energiodnyttelse af afgrøder med særlig relevans for Ø.J. samt særlige muligheder for udnyttelse af sol- og vindenergi.

- *Oversigt over mulige afgrøder,*
- *Udvalg af særligt relevante afgrøder for Ø.J. (raps, el, kløver) – dyrkningskrav, udbytter og lagringsmuligheder*
- *Mulige vind-vind løsninger (næringsstofproduktion, samproduktion, grundvand, naturindhold)*
- *Konvertering til drivmiddel, el og varme*
- *Vind og sol – særlige muligheder i Ø.J. (fx lugevogn)*
- *Biomassens rolle for effektregulering og muligheder for lagring og konvertering til brint*

4.1 sammendrag

4.2 Introduktion

Der kan udvindes energi af eksisterende biomasseressourcer såsom gylle, kartoffeltoppe og anden letomsættelig biomasse i biogasanlæg som beskrevet i kapitel 3. Energipotentialt i disse biomasser er ca. XX MJ ved det nuværende omfang og sammensætning af økologisk jordbrug i Danmark. Det svarer til ca. XX procent af energiforbruget ved den nuværende drift af økologisk jordbrug (se kap. 2).

Da direkte udnyttelse af halm fra økologisk jordbrug til energiformål ikke anses for relevant i betydeligt omfang (bortset fra den del, der passerer et biogasanlæg efter at have været benyttet til strøelse), vil et øget bidrag af energi fra biomasse i økologisk jordbrug kræve dyrkning af deciderede energiafgrøder. Dette kan ske på de eksisterende brakarealer (p.t. xx ha eller xx % af det omlagte areal), eller kan tænkes foretaget inden for den almindelige om drift. Sidstnævnte forudsætter dels, at fastkoblingen af energiafgrøder i EU's landbrugspolitik til brakordningen løsnes i fremtiden, således som det p.t. skitseres i strategipapirer for tilpasning af landbrugspolitikken i de kommende år (Agenda 2000, (kommissionen, 1999); Kommissionen, 2002). Dels forudsætter omlægning af omdriftsarealer til energiafgrøder, at der sker en øget produktion af foder/fødevarer på eksisterende eller nye arealer, hvis den nuværende produktion af økologiske fødevarer skal fastholdes. Dette kan umiddelbart synes at være en betydelig politisk-økonomisk barriere. Men en vis mindskning af det totale produktionsniveau (kvantitet) til gengæld for mere ressourceøkonomiske produktionssystemer med lavere emissioner til omgivelserne (kvalitet) vil være i tråd med målene både i EU's og Danmarks landbrugs- og miljøpolitik (EU-kommissionen, 1999, 2002; Regeringen, 2002) samt i de økologiske målsætninger om mere bæredygtige produktionssystemer (se kap. 1).

Mange forskellige afgrøder kan anvendes som energiafgrøder. I en gennemgang af danske erfaringer med energiafgrøder nævner Jørgensen og Kristensen (1996) resultater fra 13 arter (se tabel X), og i en

europæisk sammenfatning af viden om energiafgrøder nævnes 36 arter, som har været undersøgt med henblik på energimæssig omsætning (Venendaal et al., 1997).

Valget af afgrøde afhænger dels af de efterfølgende konverteringsprocesser, idet bioforgasning, oliepresning og direkte forbrænding stiller vidt forskellige krav til biomassen. Dernæst er gode egenskaber for energiafgrøder en kombination af lave omkostninger ved etablering, pasning og høst med dyrkningsstabilitet (modstandsdygtighed mod biotisk og abiotisk stress) og højt udbytte. Specielt for økologisk jordbrug er modstandsdygtighed overfor sygdomme, skadedyr og ukrudt samt egenforsyning med kvælstof af særlig betydning.

Tabel X. Afgrøder undersøgt med henblik på energiudnyttelse i Danmark ifølge Jørgensen og Kristensen (1996) samt arealomfang i 2002 (Direktoratet For FødevarerErhverv, personlig meddelelse).

<i>Dansk navn</i>	<i>latinsk navn</i>	<i>Arealomfang (ha) på brakarealer 2002</i>
Pil	<i>Salix ssp.</i>	834
Elefantgræs	<i>Miscanthus ssp</i>	30
Hvede	<i>Triticum aestivum</i>	0
Rug	<i>Secale cereale</i>	0
Triticale	<i>Triticosecale</i>	0
Raps	<i>Brassica napus</i>	19.973
Orientalisk takkeklap	<i>Bunias orientalis</i>	0
Solsikke	<i>Helianthus annuus</i>	0
Jordskok	<i>Helianthus tuberosus</i>	0
Japansk pileurt	<i>Reynoutria japonica</i>	0
Dodder	<i>Camelina sativa</i>	0
Røgræs	<i>Phalaris arundinacea</i>	0
Klinter	<i>Agrostemma githago</i>	0

I det efterfølgende er udvalgt afgrøderne kløvergræs, raps og elletræ for en nærmere gennemgang. De repræsenterer hver for sig afgrødetyper, der passer til de tre primære omsætningsveje: Mikrobiel forgasning/forgæring, oliepresning og direkte forbrænding eller termisk forgasning. Ved valget af afgrøde er det tillige forsøgt at vælge den mest optimale afgrøde til økologisk jordbrug med hensyn til de væsentlige egenskaber nævnt ovenfor. Raps har dog betydelige mangler med hensyn til næringsstofforsyning og modstandsdygtighed overfor sygdomme/skadedyr. Vi har alligevel valgt at gennemgå den her, dels fordi den ofte er blevet trukket frem som en mulig afgrøde til økologisk produktion af bio-drivmidler (Bugge, 2000), og dels er nem at konvertere decentralt til traktorbrændstof, som ellers er vanskeligt at erstatte med vedvarende energi. Et muligt alternativ til raps gennemgås kort.

4.3 Udvalgte afgrødeeksempler

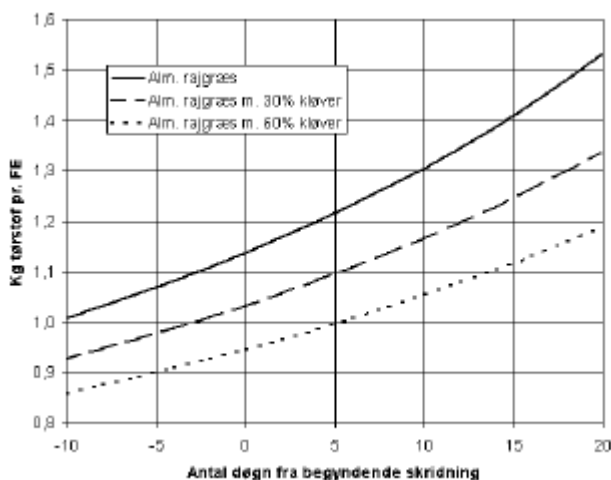
Kløvergræs

Kløvergræs er en helt central kilde til kvælstofforsyningen i økologisk jordbrug (Simmelsgaard et al., 1998; Askegaard et al., 1999) og vil blive det i stigende grad, hvis adgangen til brug af gødning fra ikke-økologiske brug begrænses i fremtiden (Tersbøl, 2002a). På rene planteavlbrug er man ofte nødsaget til at inddrage kløvergræs i sædskiftet som grønbrak for at sikre en tilstrækkelig N-forsyning. Disse arealer afpudses oftest, uden at afgrøden fjernes, men omsættes på marken. Det medfører en ikke-kvantificeret risiko for denitrifikation og dannelse af lattergas under de delvist anaerobe forhold i den afhuggede plantemasse. Hvis i stedet plantemassen blev opsamlet og omsat i et biogasanlæg, ville der kunne

produceres energi, og den indsamlede kvælstof kunne udbringes der, hvor der er størst behov i sædskiftet.

Fjernelse af det afhuggede kløvergræs vil sandsynligvis øge N-fikseringen i marken, da fikseringen er negativt korreleret til jordens indhold af uorganisk N (Høgh-Jensen et al., 2003), således at udnyttelse af kløvergræsset til biogas vil øge N-værdien af kløvergræs i sædskiftet.

Høj foderværdi af slætgræs vil også betyde et højt gasudbytte (se kap. 3??), og man kan således anvende de gængse normer for vurdering af optimalt høsttidspunkt mht. foderværdi til optimering af høsttidspunkter for græs til biogas. I figur X ses sammenhængen mellem græssets skridningstidspunkt og kg tørstof pr. FE (parallelt til gasudbytte??) ved forskellige kløverprocenter.



Figur X. Sammenhæng mellem afstand til skridningstidspunkt og foderværdi af kløvergræs

Ved høst af kløvergræs fjernes store mængder kalium, og det kan være en af årsagerne til den såkaldte 'kløvertræthed', som ofte ses på økologiske brug (Askegård et al., 1999). Kløver og andre N-fikserende arter har et større kaliumbehov end græsser (Kilde ??). Det er derfor vigtigt, at der returneres en tilstrækkelig mængde kalium fra biogasanlægget til fortsat kløvergræsproduktion, eller at der benyttes andre kalium-kilder som fx aske, spildevand eller vinasse.

Etablering af kløvergræs kan ske ved udlæg i den foregående afgrøde, hvorved udvaskningen af N efter høst af denne minimeres. De forskellige kløver- og græsarter stiller forskellige krav til jordbund og klima. På almindelig agerjord er hvid- og rødkløver samt almindelig rajgræs de mest foretrukne arter (Landbrugets Rådgivningscenter, 2002a). På tør jord kan suppleres med hundegræs og rødsvingel. På våd jord kan suppleres med alsikkekløver, engsvingel, timothe og almindelig rapgræs. Endeligt kan der isås forskellige andre arter, som kan øge markernes variation og betydning for bier og andre insekter. Arternes egnethed til biogas ??

Anden dyrkningsteknik for kløvergræs er velkendt og kan findes i de almene dyrkningsvejledninger (Landbrugets Rådgivningscenter, 2002a,b).

10.000 ha grovfoderbrak – hvad bruges det til?

Raps (og dodder)

Raps er ofte blevet nævnt som en interessant afgrøde til direkte presning af olie til transportmidler herunder traktorer (Maegaard, 1999; Skøtt, 2001; Staal et al., 2001). Det er også blevet trukket frem i diskussionen, at rapsen kan dyrkes økologisk, således at produktionens miljøbelastning minimeres (Bugge, 2000).

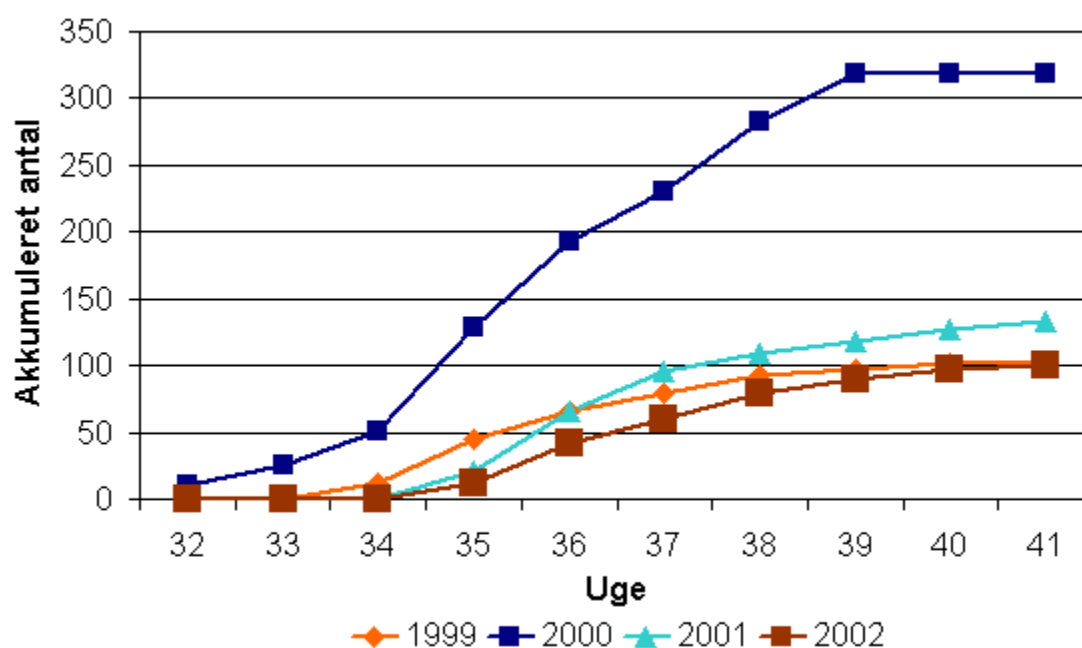
Økologisk dyrkede proteinafgrøder er efterspurgt med henblik på 100% fodring med økologisk foder. Der kan fodres enten med hele rapsfrø eller med rapskage. Ved fodring af kvæg med rapsfrø vil arealkravet på den enkelte økologiske ejendom ikke øges i forhold til ved dyrkning af byg som kraftfoder, mens produktion og fodring med rapskager, og dermed en olieproduktion, vil medføre et øget arealkrav (Sehested og Kristensen, 2002). Der er sket en stigning i det dyrkede areal med økologisk raps fra 74 ha i 1998 til xx ha i 2002 (tabel x). Det udgør dog stadig kun xx% af det samlede økologiske areal. Den ringe udbredelse på trods af gode priser på økologiske rapsfrø skyldes, at raps er en vanskelig afgrøde at dyrke økologisk. Den er næringsstofkrævende og sårbar overfor flere skadedyr. Til gengæld har raps en god konkurrenceevne overfor ukrudt og er en god forfrugt i sædskiftet.

Tabel x. Økologisk vinterrapsareal i ha og i procent af det dyrkede økologiske areal, herunder arealer under omlægning (Tersbøl, 2002b).

	1998	1999	2000	2001	2002
Hektar med vinterraps	74	17	535	378	?
Procent af økologisk areal	0,12	0,02	0,39	0,24	?

Det er specielt rapsjordloppen, som kan give fatale skader i vinterraps, således at afgrøden i visse tilfælde må opgives (Landbrugets Rådgivningscenter 2002d). Skaden sker dog i løbet af efterår og vinter, således at den kan erkendes så tidligt, at en vårafgrøde kan sås i stedet. Angreb af rapsjordlopper svinger meget fra år til år (se figur 1) med tendens til cykliske udsving, og det kan således tænkes, at det bliver muligt at forudsige, hvilke år der vil blive fornuftige rapsår (Landbrugets Rådgivningscenter, 2002d).

Fangster af rapsjordlopper 1999-2002



Figur 1. Fangster af rapsjordlopper i vinterraps i planteavlskonsulenternes registreringsnet i efterårene 1999, 2000, 2001 og 2002. De gennemsnitlige ugentlige fangster er summeret.

Der har været en del bekymring for, at spildfrø af raps kunne blive et større problem i økologiske sædskifter. Vinterraps giver færrest problemer, og det er bedst at undlade dyb jordbearbejdning lige efter høst af rapsen, således at frøene kan spises af fugle eller vil spire på overfladen inden senere jordbehandling (Rasmussen, 2001).

Den øvrige dyrkningsteknik for vinterraps er velkendt (Landbrugets Rådgivningscenter, 2002c) og vil ikke blive gennemgået her.

I Landforsøgene blev der i år 2000 gennemført dyrkning af økologisk vinterraps på 13 marker, hvilket gav et gennemsnitligt frøudbytte på 2180 kg/ha med en variation på mellem 500 og 3850 kg (Tersbøl et al., 2000). I de tilsvarende konventionelle landsforsøg blev der i gennemsnit af 30 forsøg målt et udbytte på 3500 kg/ha i målesorten Express med et merudbytte på 780 kg i Artus (Haldrup et al., 2000). Disse resultater indikerer således en udbyttenedgang på 40-50% ved økologisk dyrkning af raps, hvilket naturligvis skal ses i lyset af, at økologisk dyrkning af raps fortsat er under udvikling. I årene 2001 og 2002 gennemførtes kun et enkelt sortsforsøg med udbytter mellem 1200 og 2200 kg/ha (Tersbøl et al., 2001) og 310 og 944 kg (Tersbøl et al., 2002). De lave udbytter i år 2002 skyldtes bl.a. for dårlig planteetablering. I alle år blev der registreret bedst udbytte i sorten Artus.

Dodder (*Camelina sativa*), også en korsbløstmret afgrøde, er et muligt alternativ til dyrkning af raps, idet den er mindre input-krævende (Zubr, 1998). Den har været dyrket mere almindeligt i Europa indtil 1940-50'erne, hvorefter den gled ud, fordi den med sit høje indhold af polyumættede fedtsyrer ikke kunne bruges til margarinefremstilling. I en periode fra 1983 er der ved KVL gennemført en række

forsøg med afgrøden og dens anvendelse til energi og foder (Zubr, 1997); Zubr, 1998). Dodders frøkage har en aminosyresammensætning, som gør den særligt egnet til æglæggende høns (Zubr, 1993; Rokka *et al.*, 2002). Dodder findes både som vinter- og vårsorter. Frøene af vårsorter har et olieindhold på ca. 42%, mens der er ca. 45% i vintersorters frø (Zubr, 1997).

Der har været størst anvendelse af vårsorter, som i ældre danske forsøg på lermuldede jorder har givet et gennemsnitligt frøudbytte på 2100 kg/ha ved gødskning med 93 kg N/ha (Nordestgård, 1961). Der blev kun registreret spredte angreb af sygdomme og skadedyr i forsøgene. Der er færre erfaringer med vintersorter, som kan være mere sygdomsmodtagelige (Zubr, 1997), men som også kan opnå højere udbytter. Ved KVL er høstet op til 3300 kg/ha i vintersorter (Zubr, 1998). Den mest udbredte sygdom i dodder er meldug, men der findes fuldstændigt resistente sorter, som vil kunne udnyttes i en eventuel forædling (Vollmann *et al.*, 2001). Med henblik på at finde nye proteinkilder til økologiske husdyr, specielt fjerkræ, har Økologisk Landsforening besluttet at anlægge forsøgsparceller med vår- og vintersorter af dodder fra foråret 2003 (Morten Priesholm, personlig meddelelse).

Elletræer

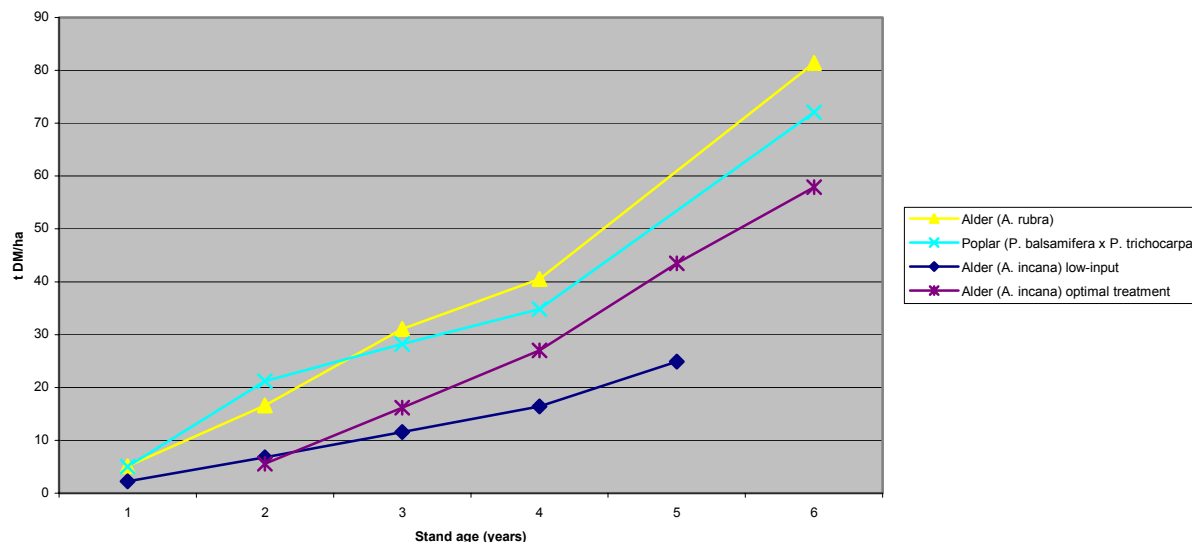
Pil er den mest almindelige vedagtige energiafgrøde i Danmark (se tabel X), og dyrkningen baserer sig bl.a. på omfattende forskning og udvikling i Sverige, hvor der dyrkes knap 20.000 ha pil (Venendaal *et al.*, 1997). I Danmark dyrkes enkelte arealer med økologisk pil. Dyrkning af pil vil dog på de fleste jordtyper kræve tilførsel af kvælstofgødning for at opnå et tilfredsstillende udbytte. En alternativ mulighed er samdyrkning med kløver eller andre N-fikserende urter (Granhall, 1994). En mere enkel løsning kan dog være at dyrke elletræer (*Alnus sp.*), som i sig selv er N-fikserende. Der dyrkes i Danmark i dag kun ca. 8 ha med elletræer på landbrugsjord under brakordningen (Direktoratet For FødevarerErhverv, personlig meddelelse), men forsøg i Sverige (Granhall & Verwijst, 1994), Estland (Uri *et al.*, 2002) og Skotland (Proe *et al.*, 2002) har vist, at elletræer kan dyrkes efter tilsvarende principper som pil, blot uden N-gødskning. Dertil kommer, at el er mere modstandsdygtig end pil mod sygdomme og vildt-skader (Koppel, 1999; Ulf Granhall, personlig meddelelse).

Kvælstoffikseringen i elletræer sker via symbiose med actinomyceten *Frankia*, der findes i de fleste jorder. Men for at sikre optimal nodulering kan frøplanter af el inokuleres med en suspension af knuste rodknolde fra el før plantning. Der er gennemført adskillige studier af størrelsen af N-fikseringen i elletræer, og Granhall & Rytter (2003) opsummerer, at der kan fikseres 30-185 kg N/ha/år i ugødede bestande. Sammenlignet med blade af andre løvtræer har elletræer højere N-koncentration i bladene selv ved løvfald, hvilket betyder, at de i højere grad bidrager til opbygning af en organisk kvælstofpulje i jorden (Slapokas og Granhall, 1991; ??). I tætte bestande af hvidel kan ca. 100 kg N/ha/år tilføres jorden med blade (Rytter *et al.*, 1989).

Dyrkning af el har tillige vist sig at øge fosfortilgængeligheden i jorden (Uri *et al.*, 2002), enten via mycorrhiza-aktivitet (ARVEBY & GRANHALL, 1998) eller via udskillelse af fosfatase med rodesudater (Giardina *et al.*, 1995). Hvorvidt den øgede tilgængelighed er vedvarende efter fjernelse af afgrøden, således at det kunne gavne fosfortilgængeligheden i et langsigtet økologisk sædskifte er uvist.

Svenske undersøgelser af el har primært omfattet hvidel/gråel (*A. incana*) og rødæl (*A. glutinosa*), hvoraf hvidel har givet de bedste udbytteresultater (Ulf Granhall, personlig meddelelse). Amerikansk Rødæl (*A. rubra*) vurderes i Sverige at være for frostfølsom (spørg Brander om danske erfaringer), men har i skotske undersøgelser givet meget gode udbytter (Proe *et al.*, 2002). I Estland er afprøvet tæt plantning af hvidel og hybrid-el (*A. hybrida*) på landbrugsjord uden efterfølgende gødskning eller

ukrudtsbekæmpelse. Det gav en tilfredsstillende etablering, men dog med mindre udbytter end i intensivt passede svenske undersøgelser (Uri & Vares, 2002); (Granhall & Verwijst, 1994; Fig. X).



Figur X. Akkumulerede udbytter af el og poppel i Sverige, Estland og Skotland. *A. rubra* og poppel var herbicidrenholdt og ikke gødede (Proe et al., 2002). Høj-input *A. incana* blev vandet og gødet med P og K (Granhall & Verwijst, 1994). Lav-input *A. incana* blev hverken gødet eller ukrudtsreguleret (Uri, 2001).

Rødel er naturligt hjemmehørende i Danmark, hvor den har været benyttet til stævningsskovdrift i århundreder. Den trives bedst på fugtige jorder, mens hvidel er bedre på sandede jorder (Jens Christian Buhl, personlig meddelelse). Rødel skyder efter høst fra stødet, mens hvidel sætter rodskud (Uri & Vares, 2002), som kan genere ved høst.

Hvidel er plantet som en af arterne i de brede bioenergi-læhegn i det økologiske forsøgsareal for kombineret energi og fødevarerproduktion ved KVL (Kuemmel *et al.* 1998). Ved den første høst af læhegnene i 1999/2000 efter 5 vækstår var det årlige udbytte af hvidel dog kun 3,8 ton tørstof/ha sammenlignet med udbytter på 9,4-13,6 ton/ha i forskellige pilearter (www.agsci.kvl.dk/~bek/cfe). På den forholdsvis gode jord ved KVL ville rødel muligvis have ydet bedre.

En bagdel ved el er, at den ikke som pil kan formeres med stiklinger (Uri & Tullus, 1999). Selvom der kan anvendes en større planteafstand end for pil (Uri & Vares, 2002) vil plantning af frøplanter sandsynligvis betyde en dyrere etableringen (Ifølge Hedeselskabet vil prisen være 2,6-2,9 kr/frøplante). Hvidel kan dog formeres med rodskud (Uri & Tullus, 1999), hvilket muligvis kan billiggøre etableringen.

4.4 Høst og lagring af energiafgrøder

Erik Fløjgaard Kristensen, DJF Afd. f. Jordbrugsteknik

Af de udvalgte energiafgrøder til økologisk jordbrug gælder for raps og kløvergræs, at der findes velfungerende og kendte høstteknikker i form af henholdsvis mejetærskerhøst og anvendelse af en finsnitter af en eller anden type. Disse kendte teknikker vil ikke blive beskrevet her.

For elletræer findes kun lidt erfaring og viden om maskinhøst af træerne dyrket til energi i en kort omdriftsperiode (4-8 år). Til gengæld er der forsket i og også opbygget praktisk viden vedrørende høst og håndtering af tilsvarende træafgrøder primært pil og poppel dyrket med kort omdriftstid til energi (Danfors, 1991; Jørgensen & Kristensen, 1996; Kofman & Spinelli, 1997; Luger, 1999; Hadders, 2002). Specielt poppel har ligheder med el i vækst og struktur, hvorfor erfaringerne herfra kan anvendes ved en bedømmelse af de tekniske muligheder for høst.

Bedste høstidspunkt er i vinterperioden, når træet kan høstes uden blade og dermed har et lavt næringsstofindhold. Under danske forhold kan vinterhøst være problematisk på grund af dårligt vejr og fugtig jord, som ikke kan bære tunge høstmaskiner. Normalt vil det være fordelagtigt at høste i en periode med frostvejr.

De høstsystemer, som kan anvendes til el, kan inddeles i to hovedgrupper:

1. Helskudshøstere hvor der sker en fældning af træet, og materialet bundtes eller opsamles løst. Den type maskiner kan enten være traktordrevne eller selvkørende. Normalt lagres og tørres det høstede materiale på marken og snittes før det leveres eller anvendes til brændsel. Eksempelvis kan anvendes Hvidsted Energy Allrounder, Dansalix pilehøster, Frøbbesta og Segerslåt Empier. Helskudshøsternes kapacitet er ofte kun 5 -10 tons frisk træ pr time. Høsten foretages uafhængigt af den øvrige håndtering. Systemet er fleksibelt og stiller ikke de store krav til logistik.
2. Kombineret høst og flisning. Disse maskiner er selvkørende, selvom der i princippet godt kunne anvendes en ombygget bugseret traktordreven snitter. Høsten sker med kraftige vandretliggende savklinger og materialet føres via indførselsvalser frem til en snitter. Af denne type maskiner kan nævnes Class Jaguar, hvor basisenheden er en traditionel snitter til landbrugsafgrøder, mens der er udviklet et specielt skærebord til bl.a. energiskov. En anden mulighed er en Austoft, som er en modificeret sukkerrørshøster. Maskinerne har en kapacitet på 20-30 tons frisk træ pr time. Ved høsten omlæsses til transportvogne eller lastbil i marken, som så transportere flisen til lager. Der er således ofte involveret flere køretøjer, hvorfor der her er større krav til logistik.

Ofte vil der være behov for at lagre den høstede flis eller de bundtede træer. Lagres fugtig flis i overdækkede stakke i ca. et halvt år må forventes et lagringstab på ca. 20% forårsaget af biologisk aktivitet. For træer lagret i helskud vil lagringstabet være væsentlig mindre, 2-5%, samtidig med at der kan opnås en tørring af materialet. Er det muligt at lagre materialet lufttæt ved inddækning med plastfolie, kan tørstof tab næsten undgås.

Lagring af rapsfrø til senere presning af olie er velkendt og enkelt. Det kan også være nødvendigt at lagre kløvergræs med henblik på anvendelse i vinterperioden i biogasanlæg. Det kan ske ved ensilering, hvorved der skal regnes med et tab af tørstof på ca. 15% samt en fordyring af biomassen med godt 50% (Jørgensen & Hannibal, 1997).

4.5 Energiomsætning af energiafgrøder

Teknikken til energiomsætning af kløvergræs i biogasanlæg er beskrevet i kap. 3, mens der i det efterfølgende er beskrevet teknikker til presning af raps, oliens udnyttelse i dieselmotorer samt til produktion af varme og strøm ud fra træ.

Raps (Nordvestjysk Folkecenter)

Elletræ

Produktion af varme ud fra træ er en gammelkendt teknik, der dog har undergået en kraftig effektivisering i de seneste år. Hvor virkningsgraden af mindre træfyr for blot 10-15 år siden lå på 50-60% er den nu steget til omkring 90% (Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1999). Dette er gennemført ved ændringer i fyrrymmets udformning og ved styring af forbrændingsprocessen. Der blev indført en tilskudsordning til mindre biobrændselskedler (op til 400 kW) i 1995, som blev gradueret efter kedlernes effektivitet, hvilket i særlig grad satte skub i udviklingen. Denne ordning blev fjernet igen med udgangen af år 2002.

Elletræ er let træ, ligesom pil og nåletræ, hvilket har betydning for størrelse af brændselslager til en given energiproduktion (Videncenter for Halm og Flisfyring, 1996). Brændværdien pr. vægtenhed tørt træ afviger til gengæld ikke væsentligt fra andet træ (Rytter, 1996). Vandindhold ved høst og mineralindhold ??

Der findes ikke dokumentet erfaring med fyring med elletræ dyrket i kort rotation, men det kan formodentlig ske på samme vis som med pil og poppel dyrket i kort rotation. Der vil oftest være en højere barkandel og dermed et højere mineralindhold i træer dyrket i kort rotation end i skovflis. Træflis af pil kan fyres i stokerfyrede kedler helst med askesnegl, da der ellers kan opstå problemer med askehåndtering (Gylling, 2001).

Det vil dog være en fordel både økonomisk og med hensyn til muligheden for at dække behovet for flere energikilder på gården, hvis træflisen kan udnyttes til kraftvarmeproduktion. Der er en del forskellige teknikker under udvikling til kraftvarmeproduktion også i en mindre skala, som kan etableres på en enkelt gård (Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1999).

Det forholdsvis simple princip i den gammelkendte Stirlingmotor synes særligt lovende med henblik på at etablere en robust teknologi, som er tolerant overfor variation i biomassekvalitet og kan udnytte brændsler med høje vandindhold (Carlsen & Bovin, 2001). Den robuste teknologi sandsynliggør, at produktionen kan ske automatisk med et meget begrænset tilsyn, hvilket vil være nødvendigt ved decentral drift på en gård. Disse fordele opvejer den forholdsvis lave elvirkningsgrad på ca. 20%. Der er blevet testet en række biomassefyrede prototyper af Stirlingmotorer fra 9-75 kW_{el} dels i laboratorium ved DTU, dels hos landmænd på gårde, og der arbejdes på, at kunne markedsføre de første biomassefyrede Stirlingmotorer i år 2004 (Carlsen & Bovin, 2001).

4.6 mulige vind-vind kombinationer

Produktion af biomasse til energi medfører en beslaglæggelse af areal, som kan konflikte med ønsker om andre udnyttelser. Hvis bioenergi skal have en mere omfattende rolle i økologisk jordbrug skal produktionen derfor enten ske på arealer, som ikke kan bruges til andre formål (fx brakarealer), eller der skal udvikles multifunktionelle biomasseproduktionssystemer, som giver andre output end bare biomasse til energi. Energiafgrøder kan give nogle generelle positive effekter i sædskiftet ved at ophobe organisk stof i jorden (kløvergræs og el) og ved at give et mere varieret sædskifte, som kan reducere sygdomstrykket i hovedafgrøderne. Nogle eksempler på mere specifikke effekter er beskrevet nedenstående.

Øget diversitet i landbrugslandskabet

Det danske landskab er et kulturlandskab, hvor landbruget har en helt dominerende rolle som arealforvalter. Vi har alle en visuel forventning til kulturlandskabet, som er meget påvirkelig af kultur,

tidsperiode og holdninger. De fleste er dog enige om, at det er væsentligt, at kulturlandskabet giver gode muligheder for at bevare eller fremme en så varieret vild flora og fauna som muligt. Det kan bl.a. ske ved at bevare en variation i landskabstyper, ved at sikre korridorer i landskabet og ved at have en blanding af enårige og flerårige afgrødearealer (kilde??). En biomasseproduktion kan bidrage til at opfylde disse mål på flere områder:

Ved at plante brede læhegn, som med års mellemrum kan høstes til energi skabes forbedrede korridorer i landskabet og overvintringssteder for fx XX og XX, som ikke kan klare sig i sædskiftemarken (kilde?). Dette såkaldte kombinerede fødevarer- og energisystem er igennem en årrække blevet afprøvet ved KVL, og har vist (Kuemmel et al., 1998). Det er også blevet undersøgt, om de brede læhegn kunne medføre et reduceret skadedyrstryk i de mellemliggende økologiske sædskifter via bedre spredning af naturlige fjender af skadedyrene. En analyse af parasitter på bladlus indikerede, at læhegnene øgede forekomsten af parasiterede bladlus i en økologisk bygmark ??? (Langer, 2001).

Flerårige energiafgrøder giver forbedrede betingelser for jordboende organismer, som bliver forstyrret af årlig jordbearbejdning. En undersøgelse af regnorme viste således en kraftig øgning i antallet af individer og arter i energipil sammenlignet med nærliggende sædskiftemarken (Reddersen & Petersen, 1998). Derimod var pil generelt ikke bedre eller kun marginalt bedre for småpattedyr, vinterfugle og insekter. I randen af pileplantagen var dyrerigdommen dog klart forøget, hvilket viser, at naturværdien vil maksimeres ved maksimering af randarealet, og desuden kan en række øvrige dyrkningstiltag øge pileplantningernes værdi (Reddersen, 2000; Gylling, 2001).

Afpudsning af uudnyttede engarealer for at bevare dem åbne og for at fjerne næringsstoffer, således at engenes artsrigdom opretholdes.

Beskyttelse af grundvandskvalitet

Økologisk jordbrug bliver ofte fremført som et godt redskab til beskyttelse af vores drikkevand (Miljø- & Energiministeriet, 1994). Det er helt korrekt med hensyn til risikoen for pesticidforurening af grundvandet, mens til gengæld effekten af økologisk jordbrug på nitratudvaskningen ofte er marginal (Kristensen & Olesen, 1998 ???). Adskillige studier har vist, at nitratudvaskningen fra flerårige energiafgrøder (pil og elefantgræs) er meget lav (Aronsson et al., 2000; Jørgensen & Mortensen, 2001), bortset fra i etableringsfasen (Mortensen et al., 1998). Vedvarende svagtgødet kløvergræs til biogas giver ligeledes kun lav udvaskning (Ohlsson, 2003??). Hvis derfor en del af det økologiske areal udnyttes til energiproduktion med flerårige energiafgrøder vil økologisk jordbrug blive et mere vægtigt redskab til grundvandsbeskyttelse.

Jørgensen & Mortensen (1997) vurderer, at udvaskningen i gennemsnit af en hel rotation (ca. 20 år) af pil og elefantgræs vil være 15-30 kg/ha årligt, hvilket inkluderer høj udvaskning under etablering og en forventet høj udvaskning ved afvikling af kulturen. Kvælstoffikserende afgrøder regulerer fikseringsraten efter forekomsten af mineralsk N i rodzonen (Granhall & Rytter, 2003), og der er således ingen grund til at tro, at udvaskningen fra elletræer vil være højere end fra pil og elefantgræs. Rytter et al. (1991) nævner en udvaskning fra el på 5-15 kg/ha i ugødede og i højt gødede behandlinger. Udvasningen fra lav-input kløvergræs

Hvis økologiske brug i særligt nitratfølsomme grundvandsområder skal kunne give en ekstra effekt på nitratudvaskning kan det bl.a. ske ved at satse på energiproduktion med flerårige energiafgrøder. Hvis 25% af arealtilliggenheden tilplantes med energiafgrøder, vil det på en brugstype, som ellers udvasker 65 kg N/ha/år (kvægbrugssædskifte m. efterafgrøder og 1 DE/ha på sandjord (Hansen & Kristensen, 1998)), reducere udvaskningen til 54 kg N/ha, idet den årlige udvaskning fra energiafgrøderne er sat til

22 kg N/ha. Energiafgrøderne kan evt. placeres tæt på vandboringer for her at opnå den maksimale effekt.

Næringsstofopsamling

Økologisk jordbrug arbejder på sigt på at mindske importen af gødning fra konventionelle brug (kilde?). Dermed bliver det en vanskeligere opgave for den økologiske landmand at sikre sine afgrøder en god næringsstofforsyning. Energiafgrødeproduktion kan medvirke til at opsamle næringsstoffer og eventuelt til at recirkulere næringsstoffer fra det øvrige samfund.

Kvælstof opsamlet fra atmosfæren af kløver (eller andre bælplanter) kan efter omsætning af biomassen i et biogasanlæg anvendes på foder- og fødevarer afgrøder. Kvælstof fikseret af elletræer vil kunne ophobes i organisk stof i jorden og kunne udnyttes af efterfølgende afgrøder. Engarealer og vådområder, der periodevis bliver oversvømmet, således at der afsættes næringsstoffer, kan være en vigtig kilde til et jordbrugs næringsstofforsyning. I takt med at der er sket en stor stigning i økologiske driftstyper uden kvæg eller andre drøvtyggere, kan næringsstofferne i stedet hentes ind fra engene til biogasanlægget, som er blevet kaldt 'planteavlernes drøvtygger' (svensker).

Endeligt er der mulighed for at recirkulere spildevand, kildesorteret fæces og urin eller eventuelt slam fra byerne til energiafgrøder. Ved at recirkulere på energiafgrøder undgås risikoen for umiddelbar kontaminering med smittekim eller uønskede organiske forbindelser til foder- og fødevarer afgrøder. Til gengæld kan næringsstofferne recirkuleres til foder- eller fødevarer afgrøder efter passage af biogasanlæg eller forbrænding – en såkaldt 'double-loop' introduktion af 'beskidte' næringsstoffer i et fødevarer system. Tungmetaller og persistente organiske forbindelser vil til gengæld kunne ophobes i jorden, men med de seneste års kraftige opstramning på afskæringsværdierne for spildevand og slam er det måske på tide at revurdere mulighederne for at lukke hullet i den økologiske cirkel.

Animal keeping in SRC - oversættes

Improved animal welfare is a key value of organic farming, which implies that access to outdoors area is a demand for e.g. pigs and poultry that are normally kept in stables in conventional agriculture. These areas could very well be SRC fields creating a multiple use of the land. Both pigs and poultry can find some feed in SRC fields but the main asset is that their natural foraging behaviour such as rooting and ground pecking will be satisfied. Additionally they will find shade and shelter, which is important for these animals as well. On the other hand, the SRC will help avoid one of the major problems of keeping outdoors pigs, namely the risk of high nitrate leaching (Eriksen, 2002). According to Danish agricultural legislation, areas for outdoor pigs have to be covered by plants. Grass is the usual cover, which however often is difficult to keep due to the rooting behaviour of pigs and the shallow rooting depth of grass. Therefore, it is normal practise in Danish outdoor pig production to apply a nose ring to prevent the sows from deep rooting, and the slaughter pigs are usually kept indoors with admittance to an outdoor run. This is a compromise between environment and welfare (Studnitz, 2001), which may be avoided by keeping the pigs in deep-rooted SRC.

Pigs and geese were kept in willow at the Danish farmer Aage Bach (see fig. X). Geese continuously thrived well in the willows. The combination of pigs and willow initially worked very well: the pigs kept weeds down without damaging the willows and apparently enjoyed life in the 'woods'. However, after some weeks the pigs discovered the good taste of roots of willows, and started turning over the willow crop. It is however likely that it will be possible to find willow clones (or may be alder which is very resistant to browsing from wild animals (Koppel, 1999)) that the pigs will not disturb. At the willow-breeding site of Svalöf Weibull in Sweden it was observed that wild animals not at all browsed some of the clones while others were severely affected (Stig Larsson – personal communication). Furthermore

trials to establish at which seasons SRC is affected by pigs and whether certain feeding strategies may be effective in reducing damage could help design a proper multiple use system for SRC and pigs.

4.7 Muligheder for at udnytte sol- og vindenergi i økologisk jordbrug

På det frie elmarked vil det sandsynligvis blive muligt at købe strøm, som er produceret ud fra vedvarende energikilder. Økologiske jordbrugere kan således vælge ganske simpelt at minimere deres forbrug af fossil energi ved at bestille 'grøn strøm'. Jordbrugere har også arealer til rådighed, hvor der kan opstilles vindmøller, hvilket dog er reguleret i regionsplanlægningen. Det er dog tilladt at opstille husstandsmøller (op til xx kw) uden at dette er en del af regionplanlægningen?? Hvem ved noget om det??

Vindenergi kan konverteres til brint, som i fremtiden vil kunne omsættes i brændselsceller, som kan drive en traktor. Det vil være et stort skridt i retning af at få vedvarende energi ind til erstatning for drivmidler, men brintteknologien er endnu ikke udviklet til et kommercielt niveau, hvilket forventes endnu at vare 10-20 år ???



Figur x. Solvognen 'Greentrac' til brug ved plantning, lugning og høst af grønsager.

Endvidere er det muligt at opsætte solceller på en landbrugsejendom, men det er dog foreløbigt en meget dyr måde at producere strøm på. Der kan dog være niches, hvor solceller kan udnyttes smart,

således at der opnås andre fordele. Et eksempel herpå er 'Solvoggen Greentrac' (Figur x), som er udviklet i samarbejde mellem Buresø Grøntsager (www.burelake.dk) og Toria A/S (www.toria.dk). Solvoggen er bygget til anvendelse som lugevogn (liggesæder til 3 personer), plantevogn (planteplatform for tre plantere) og høstvogn (plads til 2-3 europaller). Voggen er dækket af et tag af solceller med en samlet effekt på 800 W, som lader et batteri med kapacitet til tre dages let arbejde uden sol. Voggen vejer 600 kg og har en maksimal hastighed på 15 km/t. Denne vogn giver et bedre arbejdsklima end en tilsvarende dieseldrevet vogn, hvilket kan være med til at forsvare de foreløbigt højere energiomkostninger.

En anden niche for solceller kan være som drivmiddel for lugerobotter, som p.t. er under udvikling bl.a. ved Forskningscenter Bygholm.....

4.8 Vidensbehov vedrørende produktion af energi på økologisk jordbrug

- Måling af N-effekt og drivhusgasbalance for kløvergræs henholdsvis som afpudset grønbrak og ved anvendelse til biogas.
- Økologisk dyrkning af vinter- og vårsorter af dodder samt evt. forædling mod meldug.
- Måling af elletræers langtidseffekt på N-balance og på P-tilgængelighed på bedriftsniveau.
- Ellearters (*A. incana*/*glutinosa*/*hybrida*/*rubra*) egnethed til kortrotationsdrift under lavinput betingelser i Danmark.
- Billige etableringsmetoder til elletræer.
- Recirkulering af næringsstoffer fra byerne på økologiske energiafgrøder – næringsstofbalance, smitterisiko og uønskede stoffer.
- Afprøvning af hold af fjerkræ og/eller svin i energiafgrøder – kloner, belægningsgrad, tidsrum, arbejdsforbrug, nitratudvaskning.
- Demonstration af dyrkning af biomasse og konvertering til drivmiddel, varme og el på gårdniveau og sammenligning med vind- og solenergi. ('Energigården')
- Diskussion af principper for egenforsyning kontra substitution (salg til elnettet og køb på andre tidspunkter – levering af biomasse og køb af diesel ??)

4.9 Referencer

Aronsson, P.G., Bergström, L.F. & Elowson, S.N.E. 2000. Long-Term influence of intensively cultured short-rotation willow coppice on nitrogen concentrations in groundwater. *Journal of Environmental Management*, **58**, 135-145.

ARVEBY, A.S. & GRANHALL, U. 1998. Occurrence and succession of mycorrhizas in *Alnus incana*. *Swedish Journal of Agricultural Research*, **28**, 117-127.

Askegaard, M., Eriksen, J., Søgaard, K. & Holm, S., 1999. Næringsstofhusholdning og planteproduktion i fire økologiske kvægbrugssystemer. DJF-rapport, Markbrug nr. 12, 112 pp.

Bugge, J., 2000. Rapsolie til transport 3: Økologisk rapsdyrkning er en realitet. Notat fra Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi, 10 pp. www.folkecenter.dk.

Carlsen, H. and Bovin, J. (2001). Stirling engines in small CHP plants. Presentation at the Nordic & European Bioenergy Conference and Exhibition, Aarhus, Denmark, September 2001.

- Danfors, B., 1991. Salixodling. Maskiner, arbejdsmetoder og økonomi. Swedish Institute of Agricultural Engineering. Meddelande 436.
- Eriksen J. Implications of grazing by sows for nitrate leaching from grassland and the succeeding cereal crop. *Grass and Forage Science* 2002;56:317-22.
- Giardina, C.P., Huffman, S., Binkley, D. & Caldwell, B.A. 1995. Alders increase soil phosphorus availability in a Douglas-fir plantation. *Canadian Journal of forest research*, **25**, 1652-1657.
- EU-kommissionen, 1999. Agenda 2000.
- EU-kommissionen, 2002. Midtvejsrevision af den fælles landbrugspolitik. Kom(2002) 394.
- GRANHALL, U. 1994. Biological fertilization. *Biomass and Bioenergy*, **6**, 81-91.
- GRANHALL, U. & RYTTER, L. 2003. Symbiotic nitrogen fixation in grey alder. In: (, eds.) (in press). In: Riparian alder forests. Their importance as buffer zones and bioenergy sources (eds Mander & Lohmus), Kluwer Academic Publishers.
- Granhall, Ulf and Verwijst, Theo. Grey alder (*Alnus incana*) - A N₂-fixing tree suitable for energy forestry. Hall, D. O., Grassi, G., and Scheer, H. 409-413. 1994. Bochum, Germany, Ponte Press. 7th EC Conference on Biomass.
- Gylling, M., 2001. Energiafgrødeprogrammet – hovedrapport. Fødevareøkonomisk Institut, Rapport nr. 131, 78 pp.
- Hadders, Gunnar, 2002. Skörd, lastning och transport av träflis (Salix) från jordbruksmark. System och kostnader. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr. 294.
- Haldrup, C., Elbæk-Jensen, P., Petersen, P.H., Nielsen, G.C., Gislum, R., Knudsen, L. & Pallesen, B., 2000. Frø- og Industriafgrøder. I: (Pedersen, C. Å. (red.)) Oversigt over Landsforsøgene 2000, 228-251.
- Hansen, B. & Kristensen, E.S., 1998. N-udvaskning og -balancer ved omlægning fra konventionelt til økologisk jordbrug. I: Kristensen E.S., Olesen J.E. (red.). Kvælstofudvaskning og -balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer. FØJO-rapport nr. 2, 87-114.
- Høegh-Jensen, H., Loges, R., Jensen, E.S., Jørgensen, F.V. & Vinther, F. P., 2003. Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. Submitted to Agricultural Systems.
- Jørgensen, U. & Kristensen, E.F., 1996. European Energy Crops Overview - Country report for Denmark. Report from DIPS and DIAS
- Jørgensen, U. & Mortensen, J. 1997. Perennial crops for fibre and energy use as a tool for fulfilling the Danish strategies on improving surface and ground water quality. In: Olesen, S. E. (ed.). Alternative Use of Agricultural Land. SP report No. 18 (1997), 12-21.
- Jørgensen, U. & Mortensen J., 2000. Kombination af energiafgrødeproduktion og grundvandsbeskyttelse. I: Jørgensen U. (red.). Har energiafgrøder en fremtid i Danmark? DJF Rapport

Markbrug no. 29, 97-104.

Kofman, P.D. & Spinelli, R., 1997. An Evaluation of Harvesting Machinery for Short Rotation Coppice Willow in Denmark. Elsamprojekt

Koppel, A. Short rotation crops in Estonia. Christersson, L. and Ledin, S. Proceedings of the IEA Bioenergy, Task 17 meeting in Uppsala, 41-46. 1999. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Short Rotation Forestry. Report 64.

Kristensen E.S., Olesen J.E., 1998. Kvælstofudvaskning og -balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer. FØJO-rapport nr. 2, 114 pp.

Kuemmel, B., Langer, V., Magid, J., De Neergaard, A. & Porter, J.R. 1998. Energetic, economic and ecological balances of a combined food and energy system. *Biomass and Bioenergy*, **15**, 407-416.

Landbrugets Rådgivningscenter, 2002a. Dyrkningsvejledning – udlæg af græs og kløvergræs til grovfoderproduktion. www.lr.dk.

Landbrugets Rådgivningscenter, 2002b. Dyrkningsvejledning – Græs og kløvergræs til slæt. www.lr.dk.

Landbrugets Rådgivningscenter, 2002c. Økologisk dyrkningsvejledning, vinterraps. www.lr.dk.

Landbrugets Rådgivningscenter, 2002d. Rapsjordlopper – udbredelse, skader, registreringsnet. Planteavlsorientering nr. 05-236. www.lr.dk.

Langer, V. 2001. The potential of leys and short rotation coppice hedges as reservoirs for parasitoids of cereal aphids in organic agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **87**, 81-92.

Luger, E., 1999. Harvesting of willow and poplar. www.eeci.net.

Maegaard, P., 1999. Planteolie skal reserveres til mobile formål. Henvendelse til Folketingets udvalg for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 5 pp. www.folkecenter.dk.

Mortensen, J., Nielsen K.H. & Jørgensen, U., 1998. Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass and Bioenergy* **15**, 457-66.

Nordestgård, A., 1961. Forsøg med stigende mængder kalksalpeter til dodder. *Tidsskrift for Planteavl* **64** (6), 1024-1034.

Proe, M.F., Griffiths, J.H. & Craig, J. 2002. Effects of spacing, species and coppicing on leaf area, light interception and photosynthesis in short rotation forestry. *Biomass and Bioenergy*, **23**, 315-326.

Rasmussen, I., 2001. Sådan kan spildraps måske begrænses. Produktion – DLG's Landbrugsmagasin, juni, 7.

- Regeringen, 2002. Fælles Fremtid – Udvikling i balance. Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling. 87 pp.
- Reddersen, J., 2000. Er energipil for dyr? Dansk Bioenergi 53, 18-19.
- Reddersen, J. & Petersen, I.K., 1998. Er energipil naturvenlig? Dansk Bioenergi 37, 24-26.
- Rokka, T., Alen, K., Valaja, J. & Ryhanen, E.L. 2002. The effect of a *Camelina sativa* enriched diet on the composition and sensory quality of hen eggs. *Food Research International*, **35**, 253-256.
- RYTTER, L., ARVEBY, A.S. & GRANHALL, U. 1991. DINITROGEN (C₂H₂) FIXATION IN RELATION TO NITROGEN- FERTILIZATION OF GREY ALDER [*ALNUS-INCANA* (L) MOENCH] PLANTATIONS IN A PEAT BOG. *Biology and Fertility of Soils*, **10**, 233-240.
- Rytter, L., Slapokas, T. & Granhall, U., 1989. Woody biomass and litter production of fertilized !! grey alder plantations on a low-humified peat bog. *Forest Ecology and Management* 28, 161-176.
- Simmelsgaard, S.E., Kristensen, I.S. & Mørgensen, L., 1998. Planteproduktion på forskellige økologiske brugstyper. I: Kristensen E.S., Olesen J.E. (red.). Kvælstofudvaskning og -balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer. FØJO-rapport nr. 2, 43-68.
- Staal, L., Getreuer, J., Olsen, O. & Vandborg, C., 2001. Koldpresset rapsolie til busser. Dansk Bioenergi 58, 22-23.
- Skøtt, T., 2001. Grøn olie og benzin til debat. Dansk Bioenergi 57, 8.
- Studnitz, M. Influence of nose ringing on the behaviour and welfare of outdoor gilts. Ph.d. thesis, Department of Animal Science and Animal Health, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, 2001. 108 pp
- Tersbøl, M., 2002a. 100 procent økologisk planteproduktion, visioner, problemer og muligheder. Kongresbilag til Økologikongres 2002 – mellem værdier og vækst, 112-114.
- Tersbøl, M., 2002b. Dyrkning af markært, smalbladet lupin, hestebønner og raps. Faktaark. www.proteiner.okoland.dk.
- Tersbøl, M., Bertelsen, I., Pedersen, J. B., Haldrup, C., Jørgensen, T. V., Birkmose, T.S. & Knudsen, L., 2000. Økologisk dyrkning. I: (Pedersen, C. Å. (red.)) Oversigt over Landsforsøgene 2000, 228-251.
- Tersbøl, M., Bertelsen, I., Mejnertsen, P., Pedersen, J. B., Haldrup, H., 2001. Økologisk dyrkning. I: (Pedersen, C. Å. (red.)) Oversigt over Landsforsøgene 2002, 217-246.
- Tersbøl, M., Bertelsen, I., Mejnertsen, P., Pedersen, J. B., Nielsen, G.C., 2002. Økologisk dyrkning. I: (Pedersen, C. Å. (red.)) Oversigt over Landsforsøgene 2002, 219-259.
- Uri, V. 2001. *The dynamics of biomass production and nutrient status of grey alder and hybrid alder plantations on abandoned agricultural lands*. Phd-thesis; university of Tartu, Estonia, 150 pp.
- Uri V and Tullus H. Grey alder and hybrid alder as short-rotation forestry species. Overend RP and Chornet E. 167-173. 1999. Proceedings of the 4th Biomass Conference of Americas, Oakland,

California, USA, August 29 – September 2, 1999.

Uri, V and Vares, A. The above-ground biomass and production of alders (*A. incana* (L.) Moench, *Alnus glutionsa*, (L.) Gaertn. *Alnus hybrida* A. Br.) on abandoned agricultural lands in Estonia. Hynynen, J. and Sanaslahti, A. Proceedings of the workshop on "Management and utilization of broadleaved tree species in Nordic and Baltic countries - birch, aspen and alder" in Vantaa, Finland, May 2001. 2002. Finnish Forest Research Institute. Research Papers 847.

Uri, V., Tullus, H. & Lohmus, K. 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management*, **161**, 169-179.

Venendaal, R., Jørgensen, U. & Foster, C.A. 1997. European energy crops: a synthesis. *Biomass and Bioenergy*, **13**, 147-185.

Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1996. Granbrænde. Videnblad nr. 108. 2 pp.

Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1999. Træ til energiformål, teknik – miljø – økonomi. 71 pp.

Vollmann, J., Steinkellner, S. & Glauning, J. 2001. Variation in resistance of camelina (*Camelina sativa* [L.] Cz. & Coss.) to downy mildew (*Peronospora camelinae* Gaum.). *Journal of Phytopathology-Phytopathologische Zeitschrift*, **149**, 129-133.

Zubr, 1993. New source of protein for laying hens. *Food Compounder*: 23-25.

Zubr, J. 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. *Industrial Crops and Products*, **6**, 113-119.

Zubr, 1998. Environmentally friendly cultivation of false flax (*Camelina sativa*). I: Woergetter, M. & Jørgensen, U. (eds.): Proceedings of the international workshop on environmental aspects of energy crop production. BLT, Wieselburg, Austria, 173-182.

5. Sædskiftebetragtninger og miljøbalancer ved nye driftsmetoder samt produktion af biogas og energiafgrøder (Jørgen E. Olesen, Bent T. Christensen)

Formål: At analysere effekter af mulige energiproduktioner og –besparelser på Ø.J.'s sædskifte og samlede miljøbalance.

- Hvad betyder bioforgasning og nye afgrøder for det samlede økologiske sædskifte og for jordens frugtbarhed ?
- Eksempler på næringsstofbalance ved dyrkning af forskellige afgrøder til biogas eller afbrænding
- Eksempler på samlet drivhusgasbalance ved fx ændret jordbearbejdning, biogasproduktion og nye afgrøder

	Pil ¹	Elefantgræs ¹	Vinterrug ¹	Vinterraps ¹ (helsæd)	Vinterraps ² (RME+halm)	Vinterraps ³ (olie + halm)	Kløvergræs ⁴
Udbytte (t ts/ha)	9	9	10	3 (frø) 2,6 (strå)	2,7? (frø) 2,2? (strå)	2,7? (frø) 3,3? (strå)	8
TS % v. høst	50	10	15	9 (frø) 15 (strå)	9 ? (frø) 15 ? (strå)	9 ? (frø) 15 ? (strå)	83
Energiudbytte (nedre brænd- værdi)	147	161	171	116	RME: 31 Kage+glycerin:? Halm: 38	Olie: 37 Kage:39 Halm:57	
Energiforbrug dyrkning, høst og transport til værk	10,3	8,8	18,1	19,4	12,2	12,2	
Energiforbrug olie og RME-fremst.	-	-	-		10,5	2,1	
Totalt energiinput	10,3	8,8	18,1	19,4	22,7	14,3	
Nettoenergiudbytte	137	152	153	97	?	118	
Energibalance	14	18	10	6	1,4 (kun RME) 3 (RME+halm)	3 (kun olie) 7(olie+halm)	7 (ensileret) 13 (direkte)

1: European Energy Crop Overview – Country report Denmark. Jørgensen & Kristensen, 1996

2: EMBIO – Energistyrelsens model til økonomisk og miljømæssig vurdering af biobrændstoffer. COWI, 1997

3: Rapsolie til transport 1: Energibalance og CO₂-balance. Bugge, 2000

4: Kløvergræs som energiafgrøde. Jørgensen og Hannibal, 1997.

6. Analyse af mulige ændringer i økologisk jordbrugs energiforbrug og muligheder for krav om reduceret forbrug af fossil energi i økologisk jordbrug (Tommy Dalgaard, Niels Halberg, Morten Gylling)

Formål: At opstille scenarier for et reduceret forbrug af fossil energi ved besparelse og produktion af VE, diskutere den samlede effekt og barrierer for ændringerne samt muligheder for regeldannelse.

- Opstilling af scenarier for forbedret energibalance og reduceret forbrug af fossil energi
- Økonomisk effekter heraf (inkl. indsamlede næringsstoffer?)
- Indkøb af vedvarende energi – dokumentation ?
- Hvilke mål for reduceret fossilt energiforbrug kan opstilles?
- Vil det være muligt at deklarerer økovarers energiforbrug?
- Diskussion af muligheder og barrierer – tekniske, økonomiske og holdningsmæssige

7. Sammenfatning og forslag til vidensopbygning

Formål: At give en oversigt over den indsamlede viden samt give forslag til forskning, der kan medvirke til reduktion af fossilt energiforbrug i Ø.J.

- Sammenfatning af muligheder og barrierer
- Konklusioner
- Oversigt over viden og mangel på samme