Energi fra biomasse - Ressourcer og teknologier vurderet i et regionalt perspektiv

Uffe Jørgensen, Peter Sørensen, Anders Peter Adamsen og
Inge T. Kristensen



AARHUS UNIVERSITET

Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet

DJF MARKBRUG NR. 134 • JANUAR 2008

DJF MARKBRUG NR. 134 • JANUAR 2008

Energi fra biomasse
- Ressourcer og teknologier vurderet i et regionalt perspektiv

Uffe Jørgensen, Peter Sørensen, Anders Peter Adamsen og Inge T. Kristensen,

Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø
Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet
AARHUS UNIVERSITET
Postboks 50
8830 Tjele

Rapporterne indeholder hovedsagelig forskningsresultater og forsøgsopgørelser rettet mod danske forhold. Endvidere kan de beskrive større samlede forskningsprojekter eller fungere som bilag til temamøder. Rapporterne udkommer i serierne: Markbrug, Husdyrbrug, Havebrug.

Abonnenter opnår 25% rabat, og abonnement kan tegnes ved henvendelse til:
Aarhus Universitet
Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet
Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 8999 1028

Alle publikationer kan bestilles på nettet: www.agrsci.au.dk

Forside Foto: Flemming Nielsen

Tryk: www.digisource.dk
ISBN 87-91949-28-9

Forord

Denne udredning blev finansieret af det tidligere Viborg Amt som en del af forberedelsen til Region Midtjyllands udarbejdelse af en strategi for vedvarende energi og miljøteknologi.

Energifakta

1 kilojoule [kJ] = 1000 J
1 megajoule [MJ] = 1000 kJ
1 gigajoule [GJ] = 1000 MJ
1 terajoule [TJ] = 1000 GJ
1 petajoule [PJ] = 1000 TJ

1 kilowatt-time [kWh] = 3,6 MJ = 860 kilokalorier [kcal]

Typiske nedre brændværdier (GJ/tons) af:

Træpiller	18
Brænde, lagret	15
Træflis, friskt	8
Halm	15
Korn	15
Rapsfrø	25
Rapsolie	35
Etanol	26
Biogas	23
Fossil olie	42
Kul	26
Naturgas	48

1 l olie = 42 MJ = 11,7 kWh

Danmarks energiproduktion i år 2006: 1.243 PJ
Danmarks energiforbrug (normaliseret) i år 2006: 863 PJ
Danmarks produktion af vedvarende energi i år 2006: 119 PJ
Heraf biomasse: 84 PJ

1. Indholdsfortegnelse

Forord ... **3**

1. Indholdsfortegnelse ... **5**

2. Sammendrag ... **8**

3. Summary ... **12**

4. Biomasseenergi i Danmark og internationalt ... **14**

5. De enkelte teknologier ... **17**

5.1. Direkte afbrænding til varme og kraftvarme ... *17*
5.1.1. Hvordan udnyttes direkte afbrænding? ... 17
5.1.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for direkte afbrænding ... 18
5.1.3. Råvaregrundlag til direkte afbrænding ... 18
5.1.4. Miljøeffekter af direkte afbrænding ... 19
5.1.5. Økonomi ved direkte afbrænding ... 19
5.1.6. Fordele og ulemper ved direkte afbrænding ... 19

5.2. Termisk forgasning ... *20*
5.2.1. Hvordan udnyttes termisk forgasning? ... 20
5.2.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for termisk forgasning ... 22
5.2.3. Råvaregrundlag for termisk forgasning ... 23
5.2.4. Miljøeffekter af termisk forgasning ... 23
5.2.5. Økonomi i termisk forgasning ... 23
5.2.6. Fordele og ulemper ved termisk forgasning ... 24

5.3. Omsætning af biomasse til brint ... *24*
5.3.1. Hvordan omsættes biomasse til brint? ... 24
5.3.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for omsætning af biomasse til brint ... 25
5.3.3. Råvaregrundlag for omsætning til brint ... 25
5.3.4. Miljøeffekter ved omsætning af biomasse til brint ... 25
5.3.5. Økonomi ved omsætning af biomasse til brint ... 26
5.3.6. Fordele og ulemper ved omsætning af biomasse til brint ... 26

5.4. Biogas ... *26*
5.4.1. Hvordan udnyttes biogas? ... 26
5.4.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for biogasproduktion ... 28
5.4.3. Råvaregrundlag for biogasproduktion ... 30
5.4.4. Miljøeffekter ved produktion af biogas ... 31
5.4.5. Økonomi i biogasproduktion ... 32
5.4.6. Fordele og ulemper ved biogasproduktion ... 33

5.5. "Biomass to Liquid" (BtL) ... *33*
5.5.1. Hvordan udnyttes BtL-teknologien? ... 33
5.5.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for BtL ... 34
5.5.3. Råvaregrundlag for BtL ... 34
5.5.4. Miljøeffekter ved produktion og anvendelse af BtL ... 34

5.5.5. Økonomi ved produktion af BtL 34
5.5.6. Fordele og ulemper ved BtL 35

5.6. Etanol 35
5.6.1. Etanol ud fra sukker- og stivelseholdige råvarer 36
5.6.1.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for produktion af etanol fra sukker og stivelse . 36
5.6.1.1. Hvordan udnyttes etanol fra sukker og stivelse? 36
5.6.1.3. Råvaregrundlag for produktion af etanol 37
5.6.1.4. Miljøeffekter ved produktion af etanol fra sukker og stivelse 37
5.6.1.5. Økonomi i produktion af etanol fra sukker og stivelse 38
5.6.1.6. Fordele og ulemper ved produktion af etanol fra sukker og stivelse 38
5.6.2. Etanol ud fra celluloseholdige råvarer 38
5.6.2.1. Hvordan udnyttes etanol fra celluloseholdige råvarer? 38
5.6.2.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for etanolproduktion fra cellulose 39
5.6.2.3. Råvaregrundlag for etanolproduktion fra cellulose 39
5.6.2.4. Miljøeffekter ved produktion af etanol fra cellulose 40
5.6.2.5. Økonomi i produktion af etanol fra cellulose. 40
5.6.2.6. Fordele og ulemper ved produktion af etanol fra cellulose 42

5.7. Rå planteolie 42
5.7.1. Hvordan udnyttes rå planteolie? 42
5.7.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for udnyttelse af rå planteolie 43
5.7.3. Råvaregrundlag for produktion af rå planteolie 44
5.7.4. Miljøeffekter ved udnyttelse af rå planteolie 44
5.7.5. Økonomi ved produktion af rå planteolie 45
5.7.6. Fordele og ulemper ved udnyttelse af rå planteolie 46

5.8. Biodiesel 46
5.8.1. Hvordan udnyttes biodiesel? 46
5.8.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for biodiesel 46
5.8.3. Råvaregrundlag for produktion af biodiesel 47
5.8.4. Miljøeffekter ved udnyttelse af biodiesel 47
5.8.5. Økonomi ved udnyttelse af biodiesel 49
5.8.6. Fordele og ulemper ved udnyttelse af biodiesel 49

6. Diskussion af samspil mellem teknologier, landbrugsproduktion og miljø 50

6.1. Samspil mellem teknologier 50

6.2. Samspil mellem energiproduktion, jordbrugsdrift og miljø 50

7. Regionale aspekter 54

8. Potentielt energibidrag fra biomasse i Region Midtjylland og i Danmark 56

8.1. Metodik ved beregning af biomassepotentiale 59
8.1.1. Datakilder og opgørelser 59
8.1.2. Tiltag 1. Energiafgrøder 60
8.1.2.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi 60
8.1.2.2. Scenario 61
8.1.2.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha 61
8.1.2.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen 62
8.1.3. Tiltag 2. Raps til energi 62
8.1.3.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi 62

8.1.3.2. Scenario ... *62*
8.1.3.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha ... *62*
8.1.3.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen ... *62*
8.1.4. Tiltag 3. Halm til energi ... 63
8.1.4.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi ... *63*
8.1.4.2. Scenario ... *63*
8.1.4.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha ... *64*
8.1.4.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen ... *64*
8.1.5. Tiltag 4. Brændsel fra skove, hegn og haver ... 64
8.1.5.1. Arealpotentiale ... *64*
8.1.5.2. Scenario ... *64*
8.1.5.3. Beregningsfaktorer for udbytte pr. ha ... *64*
8.1.5.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen ... *65*
8.1.6. Tiltag 5. Udnyttelse af græs på lavbundsjord til biogas ... 65
8.1.6.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi ... *65*
8.1.6.2. Scenario ... *66*
8.1.6.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha ... *66*
8.1.6.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen ... *67*
8.1.7. Tiltag 6. Biogas fra husdyrgødning og afbrænding af afgassede gyllefibre ... 67
8.1.7.1. Ressourcepotentiale og nuværende udnyttelse til energi ... *67*
8.1.7.2. Scenario ... *68*
8.1.7.3. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen ... *69*

9. Referencer ... 71

2. Sammendrag

Biomasse er den største kilde til vedvarende energi både i Danmark og på verdensplan. I rapporten beskrives principperne bag forskellige teknologier til udnyttelse af biomasseenergi, deres udviklingsstatus, råvarekrav, miljøeffekter m.m. Valg af den optimale teknologi afhænger meget af lokale forhold - herunder råvaretilgængelighed. Den fremtidige økonomi i forskellige processpor vil afhænge af, hvor succesfuld teknologiudviklingen vil være, men også af den førte skatte- og afgiftspolitik samt af udviklingen i råvarepriser på både biomasse og fossile brændsler. Der er derfor ikke noget åbenlyst bud på den bedste teknologi. I tabel 1 har vi vurderet nogle væsentlige parametre for de teknologier, vi har beskrevet nærmere i rapporten. Karaktererne må dog ikke opfattes som absolutte, da der sker en løbende teknologiudvikling.

Tabel 1. Sammenligning af forskellige bioenergiteknologiers anvendelsesmuligheder, udviklingsniveau, råvaregrundlag samt miljø- og energiudbytte

	Energiprodukter (Varme, El, Biobrændstof)	**Teknologisk udviklingsniveau**	**Råvaregrundlag (snævert - bredt)**	**Afledte miljøgevinster (vandmiljø, drivhusgas m.m.)**	**Energiudbytte**	**Centrale (C)/ decentrale (D) anlæg**
Direkte afbrænding	V, E	***	***	*	***	C/D
Termisk forgasning	V, E	**	***	**	***	C
Omsætning til brint	V, E, B	*	***	**	?	C/D
Biogas	V, E, B	***	***	***	**	D/C
Biomass to liquid	B	*	***	**	**	C
Rå planteolie	V, E, B	***	*	**	*	D/C
Biodiesel	V, E, B	***	*	*	*	C
Etanol fra stivelse	B	***	**	**	*	C
Etanol fra lignocellulose	V, E, B	*	***	**	**	C

Afledte miljøgevinster og maksimalt energiudbytte afhænger ikke kun af valg af konverteringsteknologi, men i mindst lige så høj grad af valget af råvare eller dyrkningssystem til produktion af råvaren. Fx vil udnyttelse af græs fra vedvarende engarealer i biogasanlæg kunne fjerne næringsstoffer fra ådalene og dermed bidrage til et renere vandmiljø. Energiudbyttet i

biogasprocessen er ikke så højt som ved direkte afbrænding af biomasse, men ved at afbrænde den resterende fiberfraktion efter afgasning øges energiudbyttet, og nitratudvaskningen fra landbrugsarealerne kan reduceres, når fiberfraktionen ikke bringes tilbage. Et tredje eksempel på effekt af dyrkningssystem er, at ved at dyrke flerårige energiafgrøder (fx pil og elefantgræs) frem for energikorn vil den samlede drivhusgasfortrængning ved produktion af samme energimængde øges, samtidig med at nitratudvaskningen mindskes.

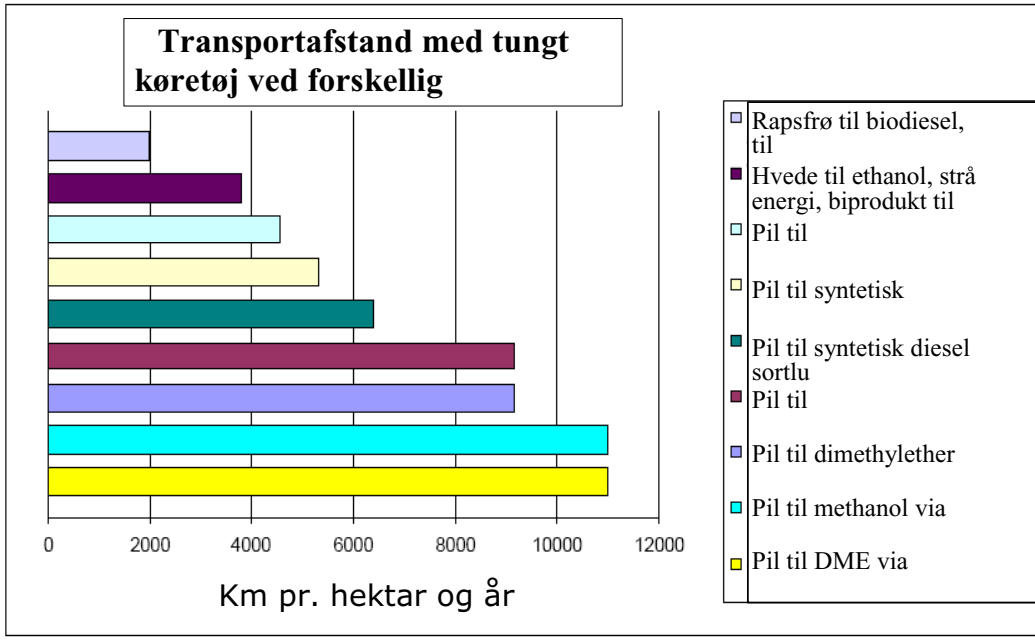
Nettoenergiudbyttet ved produktion af biomasse afhænger meget af, hvilke afgrøder man dyrker, og hvilket biomasseprodukt man opfatter som slutproduktet. Som et groft overslag kan følgende nettoenergiudbytter (energiforbrug til dyrkning og omsætning er fratrukket) forventes ved produktion af:

- pileflis eller helsædskorn 150 GJ/ha
- biogas ud fra kløvergræs 60 GJ/ha
- etanol og lignin[1] fra helsæd 45 GJ/ha
- etanol fra hvedekerner 20 GJ/ha
- rapsolie eller biodiesel 15 GJ/ha

Det skal dog huskes, at ved udnyttelse af kløvergræs produceres samtidigt kvælstofgødning[2], ved rapsolie og biodiesel produceres halm og rapskage (samt glycerin ved biodieselproduktion), mens der ved etanolproduktion ud fra korn opnås foderprodukter. Det er alligevel tydeligt, at ved fremstilling af forædlede biomasseprodukter til transportsektoren opnås med den nuværende teknologi et betydeligt mindre energiudbytte pr. ha end ved produktion af råvarer til kraftvarmesektoren. Det er således en stor udfordring for teknologiudviklingen at øge effektiviteten i omsætningen til biobrændstoffer til erstatning for olie, der af ressourcemæssige og politiske grunde er den mest sårbare fossile råvare.

Produktion af etanol på basis af lignocellulose (såkaldt 2. generationsanlæg) og produktion af dimethylether (eller andre syntetiske brændstoffer) via termisk forgasning af biomasse er teknologier, der potentielt kan levere biobrændstoffer med et højt energiudbytte (se figur 1). På EU-plan afsættes derfor store forsknings- og udviklingsmidler for at løfte disse teknologier til et kommercielt niveau. Begge teknologier kræver dog store centrale anlæg med deraf følgende store investeringskrav.

[1] Lignin udvindes i processen og dets energiindhold udnyttes ved afbrænding
[2] Bælgplanter fikserer kvælstof fra luften. Efter omsætning i biogasanlæg kan kvælstoffet udnyttes som gødning. Herved spares energi, da fremstilling af 1 kg kvælstofgødning bruger energi svarende til godt en lt. olie.



Figur 1. Beregning af mulig transportafstand pr. hektar med tungt køretøj ved benyttelse af forskellige afgrøder og konverteringsteknologier. Sortlud er et biprodukt fra papirfremstilling. Figur fra præsentation af Volvo Technology Corporation, P. Klintbom, 2005

Andre teknologier, der egner sig til decentral udnyttelse og har større chance for teknologisk at slå igennem indenfor en kortere tidshorisont, kan have interesse for udvikling i regionalt regi. Det gælder fx biogas, Stirlingmotorer og udnyttelse af rå rapsolie. Ved god integrering i lokale strukturer og ved samspil med lokale jordbrugs- og miljøforhold kan opnås en række afledte gevinster, som mere eller mindre kan opveje stordrifts- og højteknologifordelene ved de "store" teknologier.

Region Midtjylland har en erhvervsspecialisering på fremstillingserhverv indenfor fødevarer, beklædning og møbler samt indenfor energi og miljø. Sidstnævnte område er sammen med sektoren medico og sundhed de områder, der er i kraftigst vækst i Danmark. Der er således et stort potentiale i Region Midtjylland for at udvikle energi- og miljøsektoren yderligere - ikke mindst i et tæt samspil med fødevareerhvervet, således at de øgede miljøkrav, der stilles til landbrugsproduktionen, kan løses på en innovativ og omkostningseffektiv vis.

En analyse af biomassepotentialet i Region Midtjylland og på landsplan viste, at den nuværende udnyttelse af biomasse fra skov- og landbrug på ca. 16 PJ i Region Midtjylland og ca. 50 PJ i hele landet kan øges til hhv. ca. 45 og 147 PJ uden at gå på kompromis med landbrugets hovedrolle som fødevareproducent og skovbrugets hovedrolle som leverandør af gavn-

træ. Vurderes alene den potentielle udvidelse af landbrugets biomasseleverance viser analysen en udnyttelse på i dag ca. 7 PJ i Region Midtjylland og på ca. 24 PJ i hele landet, hvilket kan øges til hhv. ca. 34 og 115 PJ svarende til næsten 5 gange større biomasseudnyttelse. Landbruget i Region Midtjylland kan således alene levere mere biomasse til energi, end det samlede danske landbrug leverer i dag.

3. Summary

Biomass is the largest source of renewable energy in the world and in Denmark too. This report describes the principles of nine different technologies used to produce energy from biomass, their development status, raw material requirements, environmental impact etc. The selection of the most suitable technology is strongly dependent on local conditions including raw material availability. The future economy of the different processes will depend on how successful the technological development will be, but also on the tax and duty policy applied by the government at the time and on the development in the price of both biomass and fossil fuels. Therefore, there is no single obvious best technology.

The environmental benefits and maximum energy yields achieved depend not only on the conversion technology chosen but equally on the choice of raw material or cropping system used to produce the raw material. As an example the utilisation in biogas plants of grass from permanent lowland pastures could remove nutrients from river valleys and thus contribute to a cleaner aquatic environment. The energy yielded in the biogas process is not as high as with a direct combustion of the biomass, but burning the remaining fibre fraction after degasification increases the energy yield and reduces nitrate leaching from agricultural land as the fibre fraction is not returned to the soil. A third example on the effect of cropping system is that on the basis of the same amount of energy produced by the growing of perennial energy crops (for example willow and miscanthus) instead of annual cereals will significantly reduce the total emission of greenhouse gases, while also reducing nitrate leaching.

The net energy yielded with a biomass production is highly dependent on the crops used and on exactly which product is regarded as the end product of the biomass. As a rough estimate the following net energy yields can be achieved (energy consumption for cultivation and conversion has been deducted) for a production of:

- willow woodchips or wholecrop cereals — 150 GJ/ha
- biogas from grass-clover — 60 GJ/ha
- ethanol and lignin[3] from wholecrop cereals — 45 GJ/ha
- ethanol from wheat grain — 20 GJ/ha
- rapeseed oil or biodiesel — 15 GJ/ha

[3] Lignin is extracted during the process and its energy content utilised in combustion.

It should be remembered that the utilisation of grass-clover also produces a nitrogen fertilizer[4], the use of rapeseed and biodiesel produces straw and rape cake (and glycerine in a biodiesel production), while an ethanol production based on cereals also produces an animal fodder. It is nevertheless clear that a production of refined biomass products for the transport sector achieves a substantially lower energy yield per hectare with the present technology than the production of raw materials for the CHP sector. There is thus a significant challenge for the technological development to increase the efficiency in the conversion of biofuels in order to replace oil, which from a resource and political aspect is the most vulnerable fossil fuel.

The production of ethanol based on lignocellulose (the socalled second generation process) and the production of dimethylether (or other synthetic fuel) via thermal gasification of biomass are technologies that potentially can produce biofuels with a high energy yield. At EU level, considerable research and development funds are therefore assigned to advancing these technologies to a commercial level. Both technologies, however, require large central plants and therefore large investments.

Technologies, which are deemed suitable for a decentralised utilisation and have a greater chance of technological breakthrough within a shorter space of time, may be of interest from a regional development perspective. These technologies may, for example, be biogas, Stirling engines and the utilisation of raw rapeseed oil. By good integration in local structures and with agricultural and environmental aspects, a number of derived benefits can be achieved that will be able to more or less outweigh the large-scale and high-tech advantages of the 'large' technologies.

The commercial sector in Region Midtjylland specialises in the manufacture of foods, clothing and furniture and also in energy and the environment. The latter area, combined with the medical and health areas, are those exhibiting the strongest growth in Denmark. There is thus a large potential in Region Midtjylland for further development of the energy and environment sector, not least in close collaboration with the food sector, so that the stricter environmental regulations in agriculture can be met in an innovative and cost-effective way.

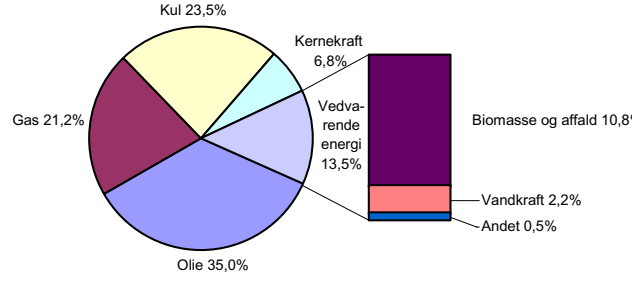
An analysis of the biomass potential in Region Midtjylland and at national level shows that the current utilisation of biomass from forests and agriculture of, respectively, 16 and 50 PJ, can be increased to, respectively, approx. 45 and 147 PJ without compromising the main role of agriculture as a food producer and forestry as a timber producer. The analysis of the potential increase of the biomass production from agriculture alone shows a current utilisation of approx. 7 PJ in Region Midtjylland and 24 PJ for the country as a whole, which can be increased to, respectively, 34 and 115 PJ, corresponding to a nearly five-fold increase in the utilisation of biomass. The agricultural sector in Region Midtjylland is thus on its own able to deliver more biomass for energy than the total Danish agricultural sector currently produce.

[4] Legumes fix nitrogen from the air. After biogas treatment, the nitrogen can be utilised as a fertiliser. This saves energy as the synthetic manufacture of nitrogen fertiliser requires energy equivalent to a little more than one litre of oil.

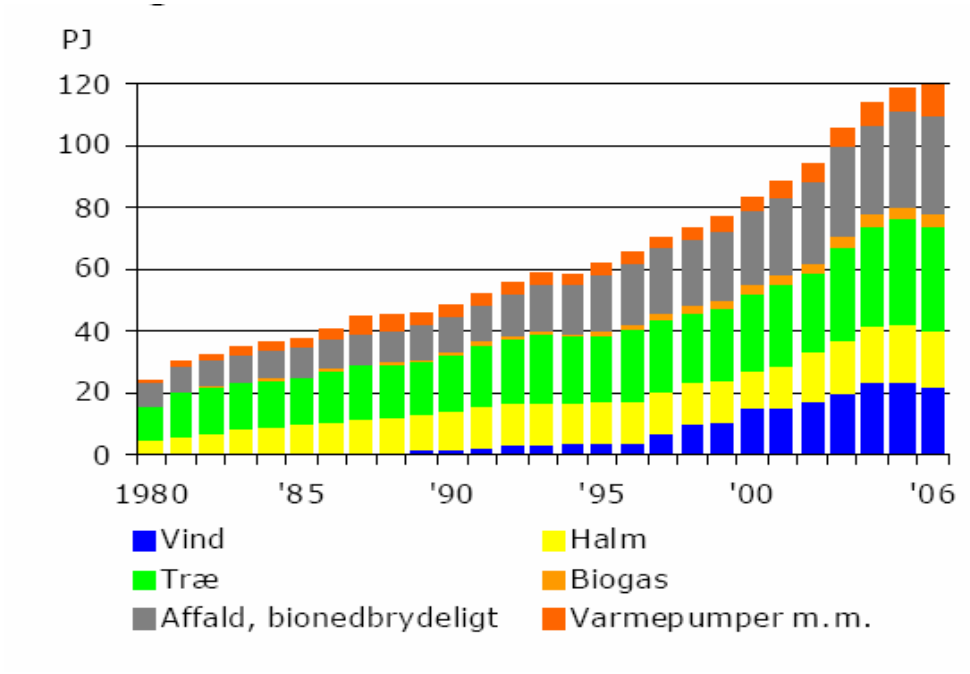
4. Biomasseenergi i Danmark og internationalt

Både på verdensplan og i Danmark er biomasse langt den største kilde til vedvarende energi (figur 2 og 3). I Danmark udgjorde produktionen af vedvarende energi i 2006 ca. 14%, hvortil kommer en import, således at knap 16% af det samlede energiforbrug udgjordes af vedvarende energi (Energistyrelsen, 2007). Biomassens andel af den vedvarende energi var 46%, mens bionedbrydeligt affald, der ofte også defineres som biomasse, udgjorde 24% og vind 20%. I EU som gennemsnit udgør biomasse inklusiv organisk affald kun ca. 4% af den totale energiforsyning, og Danmark ligger med ca. 12% betydeligt over EU's gennemsnit (Transport- og Energiministeren, 2006).

Halm og træ udgør (bortset fra affald) de største kilder til bioenergi i Danmark (figur 3). De umiddelbart tilgængelige ressourcer af træ og affald udnyttes næsten fuldt ud til energi, mens der ligger et stort uudnyttet biomassepotentiale i halm og ikke mindst i husdyrgødning, hvoraf i dag under 5% udnyttes til energi (se analyse i kapitel 8). Dertil kommer muligheden for dyrkning af biomasse til energi, som i dag kun sker i begrænset omfang (90-100.000 ha raps til biodiesel og godt 3.000 ha energipil o.l.). Biomasse handles i stigende grad internationalt. Al den dansk producerede biodiesel eksporteres således, og der importeredes i 2006 træpiller, -flis og brænde med et samlet energiindhold på næsten 16 PJ (Energistyrelsen, 2007).



Figur 2. Biomasses andel af verdens energiforbrug (IEA Renewables Information, 2004)



Figur 3. Produktion af vedvarende energi i Danmark (Energistyrelsen, 2007)

Øget energiproduktion fra biomasse kan ske via øget udnyttelse af halm og husdyrgødning ved at udnytte noget af den nuværende landbrugsproduktion til energi (fx græs, korn, raps eller sukkerroer til produktion af biodrivmidler) eller ved at dyrke deciderede energiafgrøder på noget af den landbrugsjord, som i dag bruges til at producere korn til eksport. Endelig er det også en potentiel mulighed at udnytte akvatisk biomasse (havalger o.l.) eller at importere biomasse.

Der er således ingen absolutte grænser for hvor stor en del af det danske energiforbrug, der kan dækkes ud fra biomasse. Et scenario for, hvor meget biomasseenergi dansk landbrug kan levere uden at gå på kompromis med sin hovedrolle som fødevareproducent, er opstillet sidst i rapporten, og angiver et potentiale på en 5-doblet energileverance i forhold til den nuværende udnyttelse af halm og biogas.

Regeringen vurderede i juni 2005, at biomasse endnu ofte ikke kan betale sig samfundsøkonomisk, selvom miljømæssige fordele indregnes (Regeringen, 2005). Ved stigende oliepriser (som jo har været tilfældet siden juni 2005) og stigende CO_2-priser vil en række biomasseteknologier dog blive konkurrencedygtige (Energistyrelsen, 2005a).

Men samtidigt vurderes det politisk vigtigt allerede nu at mindske afhængigheden af fossil energi, ligesom udnyttelse af vedvarende energi kan være afgørende for at kunne opfylde vores Kyoto-forpligtelse. Bl.a. derfor er faste biobrændsler fritaget fra energi- og CO_2-afgift, så-

ledes at biomasse for private forbrugere er økonomisk fordelagtigt fx ved anvendelse af træpillefyr. Politiske vedtagelser bidrager ligeledes til at indfase biomasse, selvom det endnu ikke er snævert økonomisk rentabelt. Et eksempel herpå er biomassehandlingsplanen, der pålægger de danske elproducenter årligt at indfyre 1,2 mio. tons biomasse.

På den anden side finder Regeringen, at biobrændstoffer p.t. ikke er omkostningseffektive, idet deres fordele købes for dyrt. I dag udnyttes biomassen mere omkostningseffektivt til produktion af el og varme, hvilket tjener de samme grundlæggende formål som biobrændstoffer til transport: At forbedre energiforsyningssikkerheden, reducere CO_2-udslippet og gavne landdistrikterne (Transport- og Energiministeren, 2006). På den baggrund er Danmarks vejledende målsætning for anvendelse af biobrændstoffer sat til kun 0,1%. Regeringen har dog i 2006 valgt fremover at opprioritere forskningsindsatsen i udvikling af flydende biobrændstoffer og vil desuden i begyndelsen af 2008 fremsætte lovforslag om, at biobrændstoffer, som opfylder EU's kommende bæredygtighedskriterier, skal udgøre 5,75 % af al benzin og diesel til transportformål fra 1. januar 2010. Målsætningen skal realiseres ved påbud til olieselskaberne (Transport- og Energiministeriet, 2007).

Den mangeårige fokus på udvikling af vedvarende energi i Danmark har skabt grundlag for en stor eksport af energiteknologi, og fra 1992 til 2005 er værdien steget fra 5 til 32 mia. kr. årligt (Energistyrelsen, 2006). Hermed udgør energiteknologiens andel af den samlede danske eksport nu 7,1%. Selvom vindmøllerne udgør en stor andel heraf, er eksport af biomasseteknologi også af væsentlig betydning og har et stort udviklingspotentiale (Nielsen, 2005). Dansk biomasseteknologi er på en række områder internationalt i front, og et væsentligt argument for en satsning på forskning og udvikling på området er således muligheden for teknologieksport til et eksponentielt stigende verdensmarked.

5. De enkelte teknologier

5.1. Direkte afbrænding til varme og kraftvarme

5.1.1. *Hvordan udnyttes direkte afbrænding?*

Afbrænding af biomasse for at opnå varme er den ældste og mest velkendte udnyttelsesmetode. Simpel teknologi er stadig meget udbredt i form af brændeovne og -fyr (brænde bidrager med over 4 gange så meget energi som biogas). Der er dog sket et stort arbejde i de seneste år med at forbedre energiudnyttelsen og minimere emissionerne fra disse små, decentrale enheder. Virkningsgraden for brændefyr er således steget fra under 50% for godt 10 år siden til i dag ca. 90% for de mest effektive fyr (www.teknologisk.dk/energi/5614).

Træpillefyr er en anden decentral teknologi til varmeproduktion, som har gennemgået en kraftig teknisk udvikling og opnået en stor markedsandel i de seneste år. De nyeste træpillefyr kan drives med næsten så lidt pasning som oliefyr (Skøtt, 2006a) og giver for den enkelte forbruger en betydelig besparelse i forhold til fyring med olie. Der er et vist energiforbrug til pillepresning, men det udgør alene få procent af træets energiindhold (tabel 2), og træpiller er nemmere at transportere og opbevare end træflis og brænde. Bemærk i øvrigt i tabel 2, at der generelt er et lavere energiforbrug til produktion af de faste biobrændsler end til fossile brændsler.

Tabel 2. Energiforbrug til produktion af brændsler i forhold til deres nedre brændværdi. (Energistyrelsen, 2001a)

	Energiforbrug til fremskaffelse (MJ/ton)	**Energi til frembringelse i % af brændslets indhold**
Naturgas	2840	5,8
Olie	4617	11,4
Kul	1764	6,7
Halm	410	2,8
Flis	308	3,3
Træpiller, produceret i DK	626	3,6
Træpiller, importerede	787	4,5

Decentral kraftvarmeproduktion er vanskelig at opnå økonomi i ved traditionel dampteknologi, og der arbejdes derfor med at udvikle forgasningsteknologier hertil (se afsnit 5.2). Helt små, decentrale kraftvarmeanlæg (gårdanlæg, landsbyvarme) har hidtil ikke været aktuelt, fordi kraftproduktionen kræver mere styring og pasning. Der er dog udviklet enkelte decentrale anlæg baseret på den såkaldte Stirling-teknologi, der er meget robust og dermed ikke kræver megen pasning. Selvom el-virkningsgraden af Stirling-motorer er noget mindre end for centrale kraftvarmeanlæg, har det værdi at kunne omsætte en del af energien ved decentral varmeproduktion til elektricitet.

På større centrale fjernvarmeanlæg og ikke mindst på kraftvarmeanlæg er ligeledes sket en kraftig teknologiudvikling, som har bidraget til at øge virkningsgraden og reducere omkostningerne. Danmark har været det land i verden, som har fokuseret mest på at udnytte halm til kraftvarme. Det er en vanskelig opgave, fordi halm er et aggressivt brændsel, der ved de høje temperaturer, der kræves for opvarmning af damp til elfremstilling, kan forårsage kraftig korrosion af kedlerne. Det er lykkedes at udvikle fuldskala halmfyrede kraftvarmeanlæg, der fungerer tilfredsstillende, og som kan bidrage til teknologieksport (Energistyrelsen, 2005a).

5.1.2. *Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for direkte afbrænding*

Varme- og kraftvarmeteknologier er fuldt kommercielt udviklede og tilgængelige i mange forskellige størrelser og tekniske niveauer. Samtidig foregår naturligvis en kontinuert udvikling og optimering, der dog ikke indebærer væsentlige teknologispring. En undtagelse er arbejdet med at udnytte den såkaldte Stirlingmotor til decentral kraftvarmeproduktion helt ned til gårdanlægsstørrelse. Firmaet Stirling Danmark (www.stirling.dk) har modtaget midler fra en række fonde for at etablere verdens første kommercielle produktion af biomassefyrede Stirlingmotorer.

Der er allerede en stor omsætning af kedler og udstyr til kraftvarmeproduktion ud fra biomasse og et stabilt stigende marked. Danmark har et internationalt forspring indenfor fyring med halm. Der er mulighed for at udvikle andre nicher indenfor området fx decentral kraftvarmeproduktion, som har et potentiale for udbredelse i landdistrikterne. Ved at sælge ikke bare lavværdig biomasse, men den færdige energivare (varme, el eller gas), kan primærlandbruget inddrage et nyt forretningsområde.

5.1.3. *Råvaregrundlag til direkte afbrænding*

Til direkte biomasseafbrænding anvendes faste og forholdsvis tørre brændsler, såsom træ, træpiller og halm. Træ kan dog afbrændes med op til 50-60% vand i fjernvarmeanlæg, og hvis der er installeret røggaskondensering, genindvindes den energi, der går til at fordampe det høje vandindhold. De lokalt tilgængelige ressourcer af træ og halm kan suppleres med import (hvilket i høj grad er tilfældet med træpiller) eller med dyrkning af deciderede energiafgrøder.

Fiberfraktionen fra husdyrgødning (eller evt. hele gødningen) er en potentiel råvare til afbrænding, som er kommet i fokus i forbindelse med planerne om bygning af et stort biogasanlæg ved Måbjerg. Det har tidligere ikke været lovligt at afbrænde husdyrgødning (eller dele heraf), men nylige lovændringer har gjort det muligt.

Da fast biomasse oftest har en ret lav volumenvægt samt et vist vandindhold og dermed lav energitæthed, er transport over lange afstande belastende for trafiksystemet og reducerer energigevinsten. Det vil derfor være fornuftigt at placere kraftvarmeværker så tæt på biomasseressourcerne som muligt, men samtidig skal de naturligvis placeres tæt på varmeforbrugerne.

5.1.4. *Miljøeffekter af direkte afbrænding*

Nettoenergiudbytte og -CO_2-fortrængning er forholdsvis højt ved udnyttelse af overskudsbiomasse eller afbrænding af hele afgrøder. Det hænger også sammen med, at forbruget af procesenergi ved fremstilling af varme og el er lavt. Størrelsen af CO_2-fortrængningen afhænger dog af, om der fortrænges kul, olie eller naturgas.

Afbrænding af biomasse fra jordbruget vil påvirke kulstofbalancen i jorden. Således vil afbrænding af halm frem for nedmuldning på marken reducere jordens kulstofindhold (Schjønning, 2004). Dette bør indregnes i en samlet drivhusgasbalance for hele kæden fra jordbrugsproduktion til energiudnyttelse, såvel som emissionen af andre drivhusgasser i jordbruget. Dyrkning af flerårige energiafgrøder, hvor jordstrukturen ikke brydes op årligt i forbindelse med jordbearbejdning, giver ikke anledning til reduktion i jordens indhold af kulstof. Det er tværtimod muligt, at dyrkningen kan bidrage til en opbygning af kulstof i jorden (Olesen et al., 2001).

Partikelemission ved afbrænding af biomasse i anlæg uden avanceret styring og uden røgrensning kan være et alvorligt problem, således som det er påvist med brændeovne (Glasius et al., 2004). Det er derfor vigtigt at instruere brugerne i korrekt fyringspraksis for at minimere problemet. På større biomassefyrede anlæg er der installeret avanceret røgrensning til opfangning af partikler og til NO_x-reduktion.

Asken fra forbrændingen indeholder dels næringsstoffer, som det vil være værdifuldt at returnere til jordbruget. Men asken indeholder også tungmetaller, til tider i en mængde som overskrider grænseværdierne i "bioaskebekendtgørelsen", således at det er nødvendigt at deponere asken. Tungmetalkoncentrationerne er højest i flyveaske og mindst i bundaske, som derfor oftest kan udspredes i jordbruget. Ved deponering af tungemetalholdig flyveaske trækkes uønskede tungmetaller ud af dyrkningssystemerne. Det vil specielt være en fordel m.h.t. cadmium, idet indholdet af dette tungmetal i fødevarer ligger meget tæt på maksimumværdierne. Denne proces er dog først optimal i det øjeblik, tungmetallerne fra asken kan genanvendes i stedet for at skulle deponeres. Det er teknisk muligt, men praktiseres endnu ikke.

5.1.5. *Økonomi ved direkte afbrænding*

Afbrænding af biomasse til kraftvarmeproduktion er fritaget for energi- og CO_2-afgift hvilket betyder, at biomasse er betydelig billigere end fossilt brændsel - ikke mindst for private forbrugere. Der er til gengæld også større anlægs- og pasningsomkostninger forbundet med at udnytte biomasse.

5.1.6. *Fordele og ulemper ved direkte afbrænding*

Fordele

- Kommercielt tilgængelig teknologi
- Privatøkonomisk konkurrencedygtig
- Højt nettoenergiudbytte

Ulemper

- Kan ikke udnyttes i transportsektoren (elbiler dog en mulighed)
- Ofte høje emissioner fra små anlæg (brændeovne)
- Kan reducere dyrkningsjordens kulstofindhold

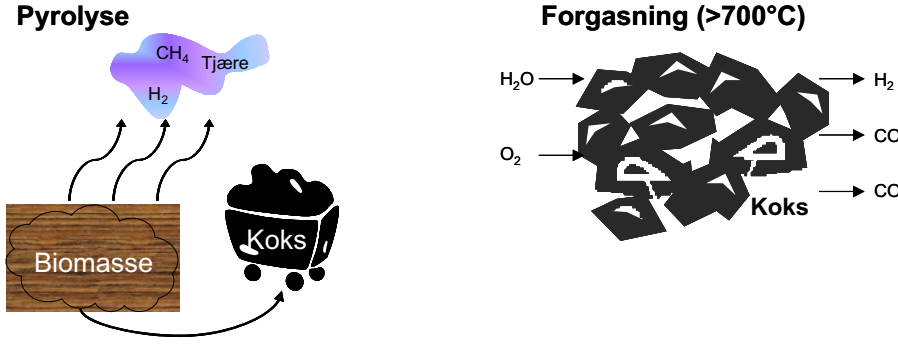
5.2. Termisk forgasning

5.2.1. *Hvordan udnyttes termisk forgasning?*

Termisk forgasning er en gammelkendt proces (f.eks. gengasgeneratorer på biler under 2. verdenskrig), hvor den flygtige gasformige del af et fast brændsel adskilles fra en fast kulholdig koksdel. I første del af processen, der også kaldes for pyrolyse (Figur 4), opvarmes organisk materiale uden tilstedeværelse af ilt. Ved den efterfølgende termiske forgasning opvarmes den dannede tjære og koks yderligere til høj temperatur (700-2000°C). Derved omdannes organisk materiale til en brændbar gas, der primært består af brint, kulmonoxid, metan og kuldioxid samt tjære.

Gassen kan efterfølgende anvendes i motor/generatoranlæg, der producerer elektricitet og varme. I større anlæg kan gassen endvidere anvendes i gasturbine, hvor der kan opnås en relativ høj el-virkningsgrad. Ved rensning og forædling af gassen vil den kunne anvendes til motorbrændstof (se afsnit 5.5).

Målet med at forgasse biomasse er bl.a. at kunne opnå en højere el-virkningsgrad og at fjerne nogle af de uønskede stoffer i biomassen inden forbrændingen (fx klor og alkalimetaller, der forårsager korrosion).



Figur 4. Princip ved pyrolyse (iltfri opvarmning) og efterfølgende termisk forgasning af biomasse

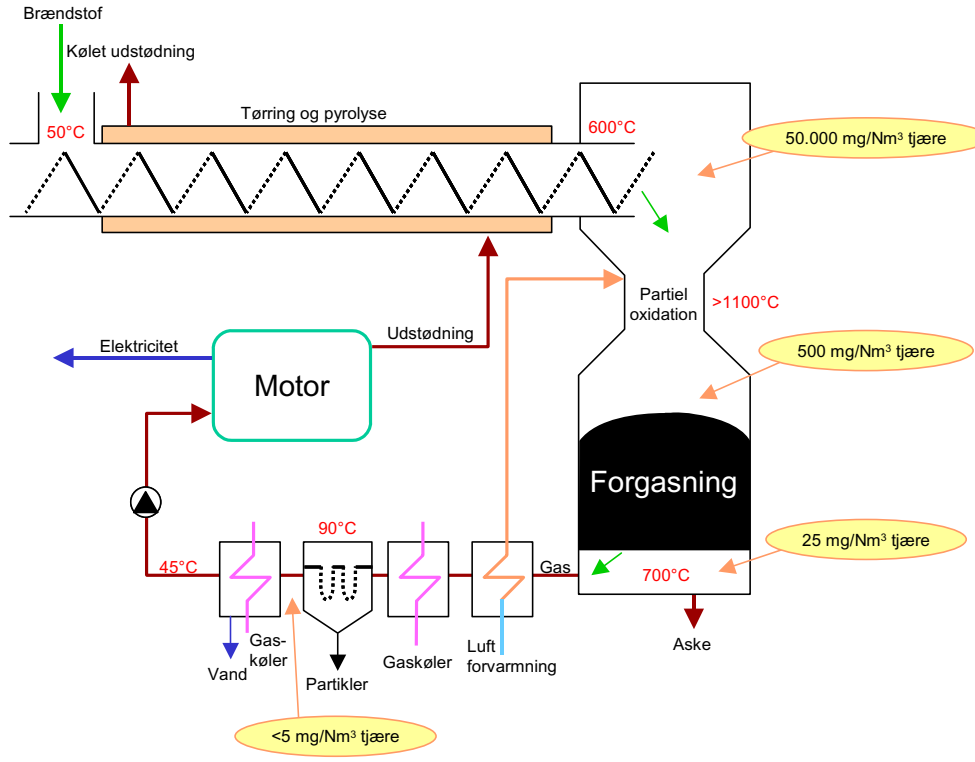
Forgasning kan foregå ved tre processer afhængig af gassens strømningsretning i forhold til brændslet:

- Medstrømsforgasning
- Modstrømsforgasning
- Tværstrømsforgasning

Ved med- og modstrømsprocesser bevæger brændstoffet sig i relativ groft forarbejdet tilstand i tyngdekraftens retning, og gassen i med- el. modstrøm hermed.

Tværstrømsprocessen kan foregå med entrained-bed eller fluid-bed, hvoraf kun den sidste er udviklet til omsætning af biomasse. Fluid-bed processen er baseret på et fint pulveriseret brændsel, som opblandes med et bed-materiale, som fx sand, og gennemblæses af en gas, hvorved der opnås en cirkulerende el. boblende bevægelse af materialet. Brændslet er derfor frit opblandet i forgasningsgassen.

På Danmarks Tekniske Universitet (DTU) er der udviklet en to-trinsforgasser, der sigter på decentral kraftvarme (Figur 5). Sammenlignet med de fleste andre forgasningsprocesser, har totrinsprocessen de fordele, at den producerer en praktisk talt tjærefri gas og har høj energieffektivitet (Henriksen, 2004).



Figur 5. Princip for to-trinsforgasser til biomasse udviklet ved DTU. Pyrolysen sker i snegl, hvor temperaturen gradvist øges (fra www.bgg.mek.dtu.dk/research/twostage)

Med henblik på tilsatsfyring med biomasse i kraftværkskedler er der udviklet en såkaldt "Lav-temperatur cirkulerende fluid-bed" proces (LT-CFB). Fordelen ved denne proces er, at den i stor udstrækning tilbageholder de uorganiske bestanddele fra biomassen, som er uønsket i kraftværkskedler uden brug af kompliceret gasrensningsudstyr (Henriksen, 2004). Den relativt lave proces-temperatur kan også gøre det lettere efterfølgende at udnytte næringsstoffer i asken.

5.2.2. *Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for termisk forgasning*

Forgasning er stadig en teknologi på demonstrations- og udviklingsstadiet, og der findes kun få kommercielle anlæg i Danmark. Teknikken er stadig relativ dyr, især i lille skala. Der er dog forventning til, at teknikken vil blive udbredt i fremtiden (Skøtt, 2007). Forgasning kan også blive grundlag for produktion af brint eller brintbærere til brændselsceller i fremtiden (se afsnit 5.3).

I Danmark findes der primært forgassere af med- og modstrømstypen (fast-bed) i størrelser fra <2-10 MW indfyret effekt. Produktgassen anvendes til motordrift, hvilket er muligt, når gassen er renset for tjære eller partikler, og brændværdien er tilstrækkelig høj. Udviklingsind-

satsen for forgasningsanlæg er koncentreret om at finde metoder, der kan forbedre gaskvaliteten til indfyring i gasmotorer. Endvidere ønskes automatiseringsniveauet på forgasseren øget og anlægget billiggjort.

I Skive har man netop opført Europas største forgasningsanlæg til el og varmeproduktion i forbindelse med et fjernvarmeanlæg. Anlægget er på 24 MW af fluid-bed typen og skal fødes med træpiller (Skøtt, 2006b).

Termisk forgasning har potentiale til behandling af husdyrgødning, hvorved kvælstof afbrændes og i asken findes de øvrige næringsstoffer i koncentreret form. De er dermed billigere at transportere og kan åbne mulighed for lettere eksport af næringsstoffer fra husdyrtætte områder. Firmaet Samson Bimatech i Bjerringbro har udviklet en teknik til varmeproduktion ved termisk forgasning af fiberfraktionen fra separeret gylle (personlig komm. Steffen Nørgaard, 2007).

5.2.3. *Råvaregrundlag for termisk forgasning*

Til termisk forgasning kan anvendes et bredt spektrum af faste biomasser som træ/træflis, halm og fast husdyrgødning. Forgasning har hidtil mest været anvendt til træ og halm, men prøveanlæg med processen "Lav Temperatur Cirkulerende Fluid Bed" (LT-CFB) har vist sig velegnet til behandling af husdyrgødning (Stoholm, 2005). Det kræver dog, at husdyrgødningen tørres før forgasningen.

5.2.4. *Miljøeffekter af termisk forgasning*

Nettoenergiudbytte og -CO_2-fortrængning er forholdsvis høje ved udnyttelse af overskudsbiomasse eller afbrænding af hele afgrøder. Det hænger sammen med, at forbruget af procesenergi ved fremstilling af varme og el er lavt.

Emissionen af partikler, PAH og tjære fra forgasningsanlæg er lav. Der kan være problemer med høj NO_x og CO emission, men det kan løses med brug af passende forbrændingsteknik og evt. anvendelse af katalysatorteknik.

Ved termisk forgasning udnyttes al kulstof, og man kan således påvirke landbrugsjordens kulstofindhold negativt - se nærmere beskrivelse i afsnit 5.1.4.

5.2.5. *Økonomi i termisk forgasning*

Termisk forgasning er stadig en relativ dyr teknik i forhold til traditionel forbrændingsteknik (Egsgaard et al., 2003). Teknikken har dog et potentiale for at blive rentabel, idet elvirkningsgraden kan øges og problemer med kedeltæring, der ofte er et problem ved anvendelse af biomasse til traditionel forbrænding, kan reduceres.

5.2.6. *Fordele og ulemper ved termisk forgasning*

Fordele

- Giver højere elvirkningsgrad end direkte afbrænding
- Næsten alle former for fast biomasse kan udnyttes til forgasning
- Der er mindre problemer med kedeltæring end ved traditionel forbrænding
- Den dannede koks har et lavt indhold af tjære og PAH og næringsstofferne kan relativt let genanvendes som gødning

Ulemper

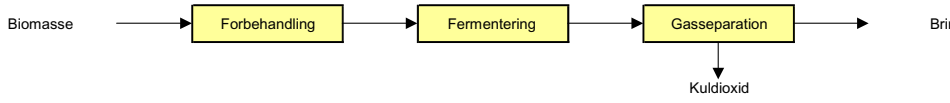
- Metoden er stadig relativ dyr
- Teknikken har givet mange problemer under udviklingen
- Kan reducere dyrkningsjordens kulstofindhold

5.3. Omsætning af biomasse til brint

5.3.1. *Hvordan omsættes biomasse til brint?*

Der er store forventninger til brint som en vigtig fremtidig energibærer, der effektivt kan omsættes til el og varme i brændselsceller i biler, huse, mobiltelefoner osv. Brint tænkes bl.a. produceret ud fra strøm fra vindmøller, når der er overskudsproduktion. Men der er også muligheder for at producere brint el. brintbærende stoffer (fx metanol eller metan) ud fra biomasse. Der arbejdes med en række forskellige procesveje dels biologiske, dels termokemiske (Mogensen et al., 2004).

Ren brint kan produceres biologisk ved omsætning af biomasse ved hjælp af bakterier og/eller alger. Nogle mikroorganismer kan udnytte lys som energikilde til processen, mens andre henter procesenergien fra biomassen. Termokemisk omsætning kan ske ved en termisk forgasning, hvorfra brinten kan oprenses. Der vil altid være et vist energitab ved omsætningen.



Figur 6. Skematisk procesforløb for produktion af brint ved fermentering med mikroorganismer

Da ren brint kan være vanskelig at lagre, kan det være relevant at producere brintbærende stoffer, der kan anvendes direkte i brændselsceller. Brintbærere kan være metan, metanol eller dimethylether (DME), som kan produceres ved bioforgasning (se afsnit 5.4) eller ved termisk forgasning af biomasse (se afsnit 5.2) og efterfølgende katalytisk syntese (se afsnit 5.5). De brintbærende stoffer kan så omdannes til brint på en "brinttankstation", men de kan også bruges direkte i nogle typer brændselsceller.

Brintproduktion kan således foregå på centrale eller decentrale anlæg. Brændselsceller til omsætning af brint fungerer i princippet ligesom et batteri, der dog ikke skal lades op, men tilføres brændstof i form af brint eller brintbærende stoffer. Ved omsætning af ren brint dannes elektricitet og vanddamp. I princippet kan denne omsætning ske med meget høje elvirkningsgrader, men i praksis er det svært at opnå meget over 50% virkningsgrad. Der forskes intensivt i udvikling af brændselsceller, og der arbejdes i flere spor bl.a. i lavtemperatur- og højtemperaturceller (Teknologirådet, 2004).

5.3.2. *Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for omsætning af biomasse til brint*

Brintteknologien som sådan er endnu ikke kommercielt tilgængelig i større omfang. Men der satses meget store forsknings- og udviklingsmidler på at opnå de landvindinger, som kan indfri teknologiens potentiale. Et stort ønske er at kunne inddrage vedvarende energi som råvare til brintfremstilling på en effektiv måde. Omsætning af biomasse til brint vil bidrage til at opgradere biomassens anvendelsesmuligheder bl.a. til transportsektoren. Dette er dog stadig på forsknings- og udviklingsstadiet, hvor bl.a. effektiviteten i omsætningen forsøges øget.

Et par eksempler på den igangværende forskning er:

- DTU og COWI deltager i et EU-projekt, hvor sammenbygning af forgasningsanlæg og SOFC-brintceller har til formål at øge elvirkningsgraden for biomasse til omkring 50% (www.biocellus.de)
- DTU og Novozymes vil udvikle et bio-katalytisk raffinaderikoncept med støtte fra det Strategiske Forskningsråd. I konceptet omdannes biomasse såsom halm, husdyrgødning og energiafgrøder til brint, etanol og metan ved biologiske fermenteringsprocesser. Etanol og metan kan herefter omdannes til brint i katalytiske processer. Ved at kombinere bioteknologiske og kemiske processer ønskes opnået en mere effektiv omdannelse af biomasse til brint, end der kan opnås ved de enkelte processer alene

5.3.3. *Råvaregrundlag for omsætning til brint*

Da brint kan produceres både i en våd proces ved mikrobiologisk omsætning og ved termisk forgasning, kan i princippet alle typer biomasse omsættes til brint. Afgørende for råvarevalget bliver hvilke processpor, der kan udvikles mest effektivt set i relation til pris, tilgængelighed og miljøprofil for råvaren.

5.3.4. *Miljøeffekter ved omsætning af biomasse til brint*

Omsætningen af brint til energi er i sig selv miljøneutral, idet der kun udledes vand fra processen. En miljøvurdering af brintproduktionen vil dels afhænge af, hvor effektivt processerne kan udvikles, hvilke affaldsprodukter der genereres, og af miljøprofilen for de råvarer som udnyttes til brintfremstillingen. Når de første fuldskalaanlæg til brintproduktion planlægges, er det vigtigt at gennemføre en miljøvurdering af forskellige kombinationer af råvarer og processer.

5.3.5. *Økonomi ved omsætning af biomasse til brint*

Fremstilling af brint ud fra biomasse er endnu langt fra at være konkurrencedygtig med brint fremstillet ud fra naturgas, men kan konkurrere med brint fremstillet ud fra el (tabel 3). De igangværende forskningsaktiviteter skulle gerne reducere fremstillingsprisen i fremtiden.

Tabel 3. Produktionspriser for brint (Energiindhold: 1 l benzin= 0,28 kg brint) (Energistyrelsen, 2005b)

	Naturgas (reformering store anlæg)	**El fra nettet (elektrolyse)**	**Vindkraft (elektrolyse)**	**Biomasse (gasificering)**
Brint omkostninger - ekskl. distribution	7,5 kr./kg	28 kr./kg	45-60kr./kg	22-30 kr./kg

5.3.6. *Fordele og ulemper ved omsætning af biomasse til brint*

Fordele

- Brint fremstillet ud fra biomasse bidrager til at inddrage vedvarende energi i "brintsamfundet"
- Brint har mange forskellige anvendelsesmuligheder, bl.a. i transportsektoren
- Bredt råvaregrundlag

Ulemper

- Processerne er stadig på forsknings- og udviklingsstadiet
- Uvist om processerne kan udvikles tilstrækkelig økonomisk konkurrencedygtige

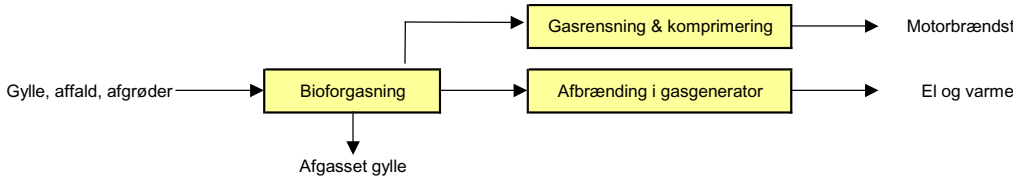
5.4. Biogas

5.4.1. *Hvordan udnyttes biogas?*

Ved lagring af husdyrgødning og andet organisk materiale under iltfrie (anaerobe) forhold dannes bl.a. gasserne metan og kuldioxid. Denne blanding af gasser kaldes også for biogas.

Metangasudviklingen sker under medvirken af forskellige typer mikroorganismer. Først sker en nedbrydning af organisk materiale til mere simple forbindelser, der derefter kan udnyttes af specialiserede metan-producerende bakterier. Processen er temperaturafhængig, og det er nødvendigt at opvarme materialet for at få processen til at forløbe tilstrækkelig hurtigt. Man skelner mellem mesofil drift (30-40°C) og termofil drift (50-55°C) af biogasanlæg.

Det er nemmest at håndtere flydende materiale ved biogasproduktion, da det kan omrøres og pumpes, og gylle og spildvandsslam udgør som regel grundsubstansen ved biogasproduktion i Danmark.



Figur 7. Skematisk procesforløb for produktion af biogas

Biogasreaktoren, der er den opvarmede beholder, hvori gasudviklingen sker, tilføres som regel løbende nyt materiale (rågylle) samtidig med, at der løbende fjernes afgasset gylle (”flow-system”). Der findes dog også anlæg hvor reaktoren først tømmes og derefter fyldes op (”batch-system”). De metanproducerende bakterier er følsomme overfor ændringer i råmaterialets sammensætning og temperatur, og det er vigtigt at skabe et stabilt miljø i biogasreaktoren for at opretholde en høj gasproduktion. Det sker nemmest i et flow-system.

Biogassen anvendes som regel til varmeproduktion eller kombineret el- og varmeproduktion. El-produktion kan ske med gasdrevne motorer, der driver en generator. Der vil altid være en betydelig varmeproduktion, da motorgeneratoren skal køles. En vis del af varmeproduktionen anvendes til opvarmning af reaktoren. Den bedste energiudnyttelse fås, hvor overskudsvarmen kan udnyttes året rundt, f.eks. i fjernvarmeanlæg.

Det er også muligt at bruge biogas til køretøjer efter en rensning og komprimering af gassen. Det kræver dog et ekstra energiforbrug at komprimere gassen, og det er forholdsvist dyrt. I Sverige gennemføres denne opgradering dog, således at man på en række tankstationer kan købe biogas.

Der skelnes mellem biogas-gårdanlæg og -fællesanlæg. Fællesanlæg får leveret husdyrgødning fra flere landbrugsbedrifter og er normalt større anlæg.



Figur 8. Biogas-gårdanlæg med kombineret gaslager og gylletank

Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for biogasproduktion

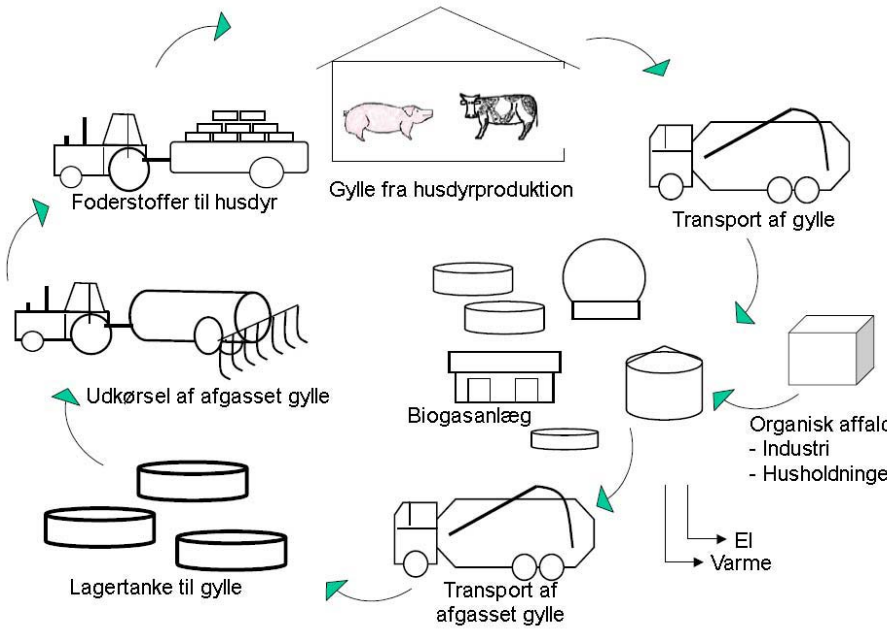
I 2005 fandtes omkring 50 gårdanlæg i Danmark og 20 biogas-fællesanlæg (figur 9). Derudover findes ca. 100 biogasanlæg i forbindelse med rensningsanlæg og ca. 10 industribiogasanlæg. Energiproduktionen på disse anlæg var i 2004 på 3,7 PJ (Tabel 4). Det er dog stadig under 5% af gyllen, der udnyttes til biogasproduktion.



Figur 9. Placering af biogasfællesanlæg i Danmark 2005

De eksisterende anlæg er i dag i stand til at aftage hovedparten af den mængde organisk affald, der er tilgængelig i Danmark og som det er hensigtsmæssigt at bruge i biogasanlæg. Da det organiske affald er vigtigt for at få økonomien til at hænge sammen i dagens biogasanlæg, vil det ved fremtidig udvidelse af kapaciteten være nødvendigt at finde alternative råvarer (fx dyrkede afgrøder) eller at udvikle metoder, der kan give en højere gasudvikling fra husdyrgødningen alene (Tafdrup, 2006). Hvis der skal opnås højere energiudbytte af husdyrgødningen, er det nødvendigt at opnå større nedbrydning af fiberresten i gødningen, fx ved fysisk og kemisk behandling før afgasning.

Det vurderes, at omkring 50% af Danmarks husdyrgødningsproduktion vil kunne behandles på i alt 42 biogas fællesanlæg, idet det antages, at det vil være forsvarligt at transportere gyllen fra landbrugsbedrifter op til ca. 18 km fra biogasanlægget (Skøtt, 2005a).



Figur 10. Skitse af koncept for biogas fællesanlæg (Hjort-Gregersen, 2003)

Tabel 4. Energiindhold i biogas produceret i Danmark i 2004

	Direkte energiindhold [PJ]
Biogas fra deponi (losseplads)	0,58
Biogas fra slam	0,83
Biogas fra husdyrgødning	2,33
I alt	3,74

Kilde: Energistyrelsen. 2005b.

5.4.3. *Råvaregrundlag for biogasproduktion*

I Danmark er spildevand og gylle normalt det vigtigste udgangsmateriale ved biogasproduktion, men for at få økonomien i biogasanlæg til at hænge sammen, er det nødvendigt at tilføre andet organisk materiale til gylle. Nogle af de affaldstyper, der tilføres til biogasanlæg, er affald fra fødevareindustrien, fiskeaffald, mave-tarmindhold fra slagterier samt fedt og slam fra rensningsanlæg. En anden mulighed kan være at tilføre plantemateriale, fx kløvergræs eller ensilage.

Denne mulighed anvendes dog kun på et enkelt anlæg i Danmark i dag (Grøngas), men i Tyskland anvendes bl.a. majs og majsensilage som råvare i mange biogasanlæg.

5.4.4. *Miljøeffekter ved produktion af biogas*

Anvendelse af biogas fortrænger normalt afbrænding af fossilt brændstof. Den CO_2,der dannes ved afbrænding af biogas, ville under alle omstændigheder være dannet ved den efterfølgende omsætning af gødningen under lagring og i jorden. Det betyder samlet set, at emissionen af fossilt CO_2 reduceres ved biogasproduktion.

En anden vigtig drivhusgas er metan, der har en 21 gange højere drivhuseffekt end CO_2. Efter afgasning af gylle sker der en reduktion af metanemissionen fra gyllebeholderen. Denne reduktion er dog størst, når der er mulighed for efterafgasning af gyllen med opsamling af den metan, der dannes efter gødningen har forladt selve biogasreaktoren. Det er beregnet, at metanemissionen fra gyllelagre kan reduceres med 90% ved afgasning (Sommer et al., 2004). Omvendt skal man være meget opmærksom på at minimere gastabet i biogasanlægget, da et tab hurtigt kan reducere den positive drivhusgasbalance.

Efter udbringning af husdyrgødning øges dannelsen af drivhusgassen lattergas (N_2O) fra jorden. Lattergas har ca. 310 gange højere drivhuseffekt end CO_2. Biogasbehandling af gylle gør gødningen mere flydende og reducerer indholdet af let omsætteligt organisk stof. Begge forhold reducerer risikoen for lattergasemission omkring gyllestrenge og -klumper i jorden. Forsøg ved Danmarks JordbrugsForskning har vist 20-40% reduktion af lattergasemissionen efter afgasning af gylle (Petersen & Olesen, 2005).

Den nuværende biogasproduktion er beregnet til at reducere den samlede danske drivhusgasudledning med 0,15%, men hvis al gylle i Danmark afgasses, vurderes det at ville reducere den samlede danske drivhusgasudledning med 3% (Sommer et al, 2002).

Ved afgasning af gylle reduceres indholdet af organisk bundet kvælstof i gødningen og mindre kvælstof bindes på organisk form i jorden efter tilførsel. Det betyder, at en større andel af gyllens kvælstof kan udnyttes af den afgrøde, der gødes, og mindre organisk bundet kvælstof efterlades i jorden. Det organisk bundne kvælstof frigives løbende fra jorden, også i efterårs- og vinterperioden med overskudsnedbør. Nitratudvaskningen reduceres således ved anvendelse af afgasset gylle i forhold til ubehandlet gylle (Sørensen & Birkmose, 2002).

Biogas-fællesanlæg kan fungere som en fordelingscentral for husdyrgødning. Det giver således bedre mulighed for at omfordele husdyrgødningen fra bedrifter med for lille areal i forhold til husdyrhold til bedrifter, der kan aftage husdyrgødningen. På nogle anlæg er etableret gylleseparering, der giver mulighed for at transportere fosfor i mere koncentreret form over større afstande. Det kan specielt være en fordel i husdyrtætte områder, hvor det kan medvirke til opretholdelse af en høj husdyrproduktion med moderate tab af næringsstoffer til miljøet.

Omvendt skal man være opmærksom på, at det ekstra organiske affald, der oftest tilsættes til biogasanlæg, indeholder næringsstoffer, der kan bidrage til et forøget overskud i et område.

Ved afgasning af gylle nedbrydes en del af de ildelugtende forbindelser i gyllen, bl.a. organiske syrer som propansyre og smørsyre. Afgasset gylle har således en anden lugt, som er mindre ubehagelig. Ved efterfølgende lagring af afgasset gylle kan de ildelugtende forbindelser dog i nogen grad gendannes, og lugtreduktionen vil være afhængig af den efterfølgende lagring. Afgasset gylle trænger lettere ned i jorden, hvilket også reducerer lugten umiddelbart efter udbringning.

På trods af den lugtreducerende effekt af afgasning har det været vanskeligt at finde velegnede placeringer til nye biogasanlæg gennem de senere år, bl.a. fordi kommende naboer er nervøse for lugtgener fra anlægget. Det er også klart, at det kræver en indsats at undgå lugtgener fra den store koncentration af husdyrgødning og organisk affald, der håndteres på et anlæg. For at reducere lugtgener fra anlæg, er det sandsynligvis nødvendigt at sende lugtbelastet luft igennem biofiltre eller andre filtertyper.

5.4.5. *Økonomi i biogasproduktion*

Biogasanlæg opført før udgangen af 2007 får et tilskud ved at sikre en fast afsætningspris for el på 60 øre pr. kWh. Denne pris er fastsat for en 10-årig periode og falder derefter til 40 øre pr. kWh i yderligere 10 år. Prisen på biogas-el må forventes at falde på et tidspunkt, medmindre støtten forlænges eller energiprisen stiger. Derudover modtages indirekte støtte, idet varme fra biomasse er fritaget for energiafgift.

På trods af tilskuddet vurderes økonomien i biogasproduktion på fællesanlæggene ved udgangen af 2005 ikke særligt positivt for flertallet af de eksisterende anlæg (Skøtt, 2005b). På flere anlæg er der tendens til faldende indtægt, bl.a. p.g.a. øgede omkostninger til vedligeholdelse og indkøb af affald.

Foderudnyttelsen i husdyrproduktionen er gennem en årrække steget, bl.a. som følge af øget viden om optimal fodersammensætning. Det betyder, at gylle ikke har så højt et energiindhold i dag, som det havde tidligere, og dermed er gaspotentialet i gyllen faldet. Det bidrager således også til en forringet økonomi på biogasanlæg.

En samfundsøkonomisk analyse af biogasfællesanlæg (Nielsen et al., 2002) viste, at det er muligt at bygge og drive samfundsøkonomisk rentable biogasanlæg, hvis der suppleres med organisk industriaffald.
Anlæg, der ikke suppleres med organisk affald, fandtes derimod ikke samfundsmæssigt rentable.

Den store reduktion i drivhusgasemission, der opnås ved biogasbehandling af gylle, hvor metan afbrændes i stedet for at frigives til atmosfæren, værdisættes ikke til det enkelte biogasan-

læg. Samfundsøkonomisk er det beregnet, at biogasproduktion på fællesanlæg kan give CO_2-fortrængningsomkostninger under 0 kr., og ved mindre gunstige forudsætninger omkostninger på 0-150 kr./ton CO_2 (Nielsen et al. 2002), hvilket er langt lavere end for de fleste andre biomasseteknologier. Tilskuddet, der gives til biogasproduktion, kan således retfærdiggøres af de miljømæssige fordele, som afgasningen giver.

5.4.6. *Fordele og ulemper ved biogasproduktion*

Fordele

- Udnyttelse af energi i organisk materiale, som ellers er vanskeligt at udnytte (f.eks. med højt vandindhold)
- Næringsstoffer i gødning kan udnyttes bedre
- Særlig stor fortrængning af drivhusgasser
- Reduceret risiko for spredning af smitte og ukrudtsfrø (specielt fra termofile anlæg)
- Reduceret gyllelugt ved udbringning

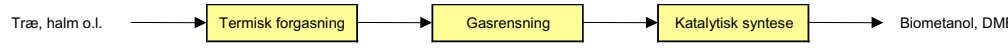
Ulemper

- Energiudbyttet ikke så stort som ved afbrænding
- Relativt store transportomkostninger ved produktion af biogas på store fællesanlæg
- Lugt omkring anlæggene kan være et problem

5.5. "Biomass to Liquid" (BtL)

5.5.1. *Hvordan udnyttes BtL-teknologien?*

Muligheden for at fremstille flydende brændstof ud fra lignocellulose-holdig biomasse bygger på længe kendt teknologi til at fremstille flydende brændstof ud fra naturgas eller ud fra syntesegas fra kul v.h.a. den såkaldte Fischer-Tropsch proces. BtL fremstilles nemlig ved først at forgasse biomassen og efter en rensning at syntetisere et flydende brændstof.



Figur 11. Skematisk procesforløb for "Biomass to Liquid"

Der er mange mulige procesveje, og slutproduktet kan fx være metanol eller dimethylether (DME). Processen er derfor meget fleksibel mht. at kunne udnyttes til andre fremtidige anvendelser. Fx vil både metanol og DME kunne fungere som brændstof til brændselsceller. I Danmark arbejdes mest med at udvikle DME, fordi Haldor Topsøe igennem en årrække har opnået stor ekspertise i at fremstille og udnytte DME ud fra naturgas (www.topsoe.com). DME kan i første omgang benyttes som dieselbrændstof, men det kræver dog en vis motortilpasning.

Produktion af BtL er en højteknologisk proces, hvor økonomien vil være meget skalaafhængig. Produktionsanlæg for BtL må således forventes at blive store centrale anlæg.

5.5.2. *Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for BtL*

Den samlede proces fra forgasning af biomassen til anvendelse af et flydende brændstof i køretøjer er endnu ikke kommercielt udviklet. Dele af processen er dog udviklet til kommercielt niveau, fx forgasning af biomasse (se afsnit 5.2) samt katalytisk syntese af naturgas til flydende brændsel. P.g.a. den høje kvalitet af BtL som brændstof og det brede råvaregrundlag til processen forventes den på EU-plan at komme til at stå for en væsentlig del af den fremtidige forsyning med flydende brændstoffer (European Commission, 2005). Verdens første kommercielle anlæg til produktion af 13.000 tons BtL-diesel årligt er planlagt færdiggjort i Tyskland i 2009.

5.5.3. *Råvaregrundlag for BtL*

Lignocelluloseholdige råvarer (træ, halm o.l.) er egnede til termisk forgasning, og BtL-processen giver således mulighed for at udnytte de store og forholdsvis billige ressourcer heraf til produktion af flydende brændstof. Det vil derfor i første omgang være den tekniske udvikling af processen samt procesøkonomien, der vil være begrænsende for dens udbredelse.

Halm er en vanskelig råvare at forgasse. Halm og andre "vanskelige" råvarer kan derfor først behandles i en pyrolyseproces, hvorved der opnås en pyrolyseolie, som kan forgasses. Ved pyrolyseprocessen mindskes volumen og vægt af råvaren, og det er derfor en mulighed at gennemføre pyrolysen decentralt og transportere pyrolyseolien til centrale forgasnings- og synteseværker (European Commission, 2005).

5.5.4. *Miljøeffekter ved produktion og anvendelse af BtL*

BtL kan potentielt opnå en høj miljøprofil sammenlignet med andre biodrivmidler p.g.a. muligheden for brug af råvarer, som er miljøvenlige i produktionen samt pga. den rene forbrænding af det syntetiske brændstof. Hvor høj en miljøprofil, der reelt kan opnås, vil dog afhænge af, hvor godt den tekniske udvikling og optimering af processen vil forløbe.

Ved termisk forgasning som baggrund for gassyntese til BtL udnyttes al kulstof, og man kan således påvirke landbrugsjordens kulstofindhold negativt - se nærmere beskrivelse i afsnit 5.1.4.

5.5.5. *Økonomi ved produktion af BtL*

Produktion af BtL er på det nuværende teknologiske udviklingsniveau stadig dyr, men det forventes, at fortsat teknologisk udvikling vil kunne gøre produktionen konkurrencedygtig med de andre teknologier til produktion af flydende brændstoffer.

5.5.6. *Fordele og ulemper ved BtL*

Fordele

- Produktion af flydende brændstof ud fra træ, halm o.l.
- Fleksibel proces fremtidssikret til nye teknologispor
- Meget rene brændstoffer med lave emissioner ved forbrænding

Ulemper

- Teknologien kræver endnu en del udvikling
- Procesøkonomi og samlet miljøprofil stadig usikker
- Kræver store centrale produktionsanlæg
- Kan kræve motormodifikationer

5.6. Etanol

Etanol kan fremstilles ud fra fossile brændstoffer, men også ud fra biologiske materialer. Afbrænding af fossile brændstoffer giver et nettobidrag til kuldioxid i atmosfæren og bidrager dermed til den menneskeskabte, globale opvarmning, hvorimod anvendelse af biologiske materialer kun bidrager i det omfang, der er anvendt fossile brændstoffer i fremstillingen.

Etanol fremstillet ud fra fornybare biologiske materialer kaldes bioetanol. Ved fremstillingen anvendes kulhydrater (sukker, stivelse, cellulose m.v.), der omsættes til etanol og kuldioxid.

Kulhydrater kan inddeles i to grupper:

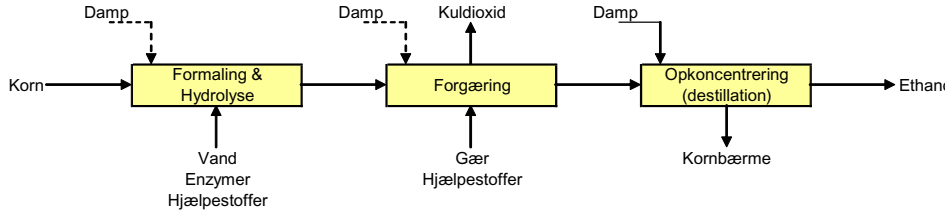
1. Let omsættelige kulhydrater (fx sukker og stivelse)
2. Svært omsættelige kulhydrater (lignocellulose).

Fremstilling af etanol ud fra sukker og stivelse sker med velkendte og kommercielle teknikker. I Brasilien foregår en meget stor og kosteffektiv produktion af etanol til energi på basis af sukkerrør, som det er vanskeligt at konkurrere med. Derfor har EU indført importtold på etanol. Etanol-fremstilling ud fra celluloseholdige råvarer (såkaldt 2. generationsteknologi) er derimod endnu ikke udviklet til et kommercielt niveau. I det følgende beskrives de to metoder derfor hver for sig.

Etanol kan også fremstilles på baggrund af industrielle biprodukter fra fremstilling af mejeriprodukter og papir, hvilket dog ikke bliver behandlet yderligere.

5.6.1. *Etanol ud fra sukker- og stivelseholdige råvarer*

5.6.1.1. Hvordan udnyttes etanol fra sukker og stivelse?



Figur 12. Skematisk procesforløb for fremstilling af etanol ud fra korn

I første procestrin formales kornet, og der tilsættes enzymer for at spalte stivelsen til forgærbart sukker. I næste trin tilsættes gær, der omsætter sukkeret til etanol og kuldioxid. Resultatet er en opløsning med omkring 10 procent etanol, som opkoncentreres ved destillation til typisk 96 volumenprocent etanol og en destillationsrest, kaldet kornbærme, med et højt proteinindhold. Kornbærme vil ofte blive tørret og solgt som dyrefoder. Tørret kornbærme ud fra majs kaldes ofte for DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles).

Af hensyn til størrelsesøkonomien produceres brændstof-etanol ud fra sukker og stivelse altid på store centrale anlæg.

5.6.1.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for produktion af etanol fra sukker og stivelse

Fremstilling af etanol ud fra sukker, melasse og korn til anvendelse som motorbrændstof er fuldt kommercielt udviklet og foregår overvejende på store, moderne og energieffektive anlæg.

I Danmark har flere anlæg været i støbeskeen rundt omkring i landet. Fx ansøgte Dong Energy om tilladelse til at opføre en bioetanolfabrik ved siden af kraftvarmeværket i Studstrup. Fabrikken skulle årligt omsætte 470.000 tons hvede til 140.000 tons etanol (ca. 175 mio. l), 175.000 tons tørret kornbærme og 175.000 tons CO_2. En placering ved siden af Studstrupværket skulle sikre damp fra kraftvarmeproduktionen og derved forbedre den totale energieffektivitet på anlægget. Anlægsinvesteringen var skønnet til ca. 750 mio. kr., og fabrikken skønnedes at ville give en merbeskæftigelse på 30 personer, og den afledte merbeskæftigelse i regionen skønnedes til 250 personer (Elsam, 2006). Projektet har dog ikke kunnet opnå miljøgodkendelse. Senest er annonceret at et lignende projekt igangsættes ved Grenå havn af en privat investorkreds med planer om anvendelse af 700.000 tons korn årligt og udnyttelse af procesvarme fra kraftvarmeværket i Grenå (Djursing, T., 2007).



Figur 13. Agroetanols fabrik i Norrköping i Sverige producerer etanol på basis af hvede

5.6.1.3. Råvaregrundlag for produktion af etanol

Råvarer er:

- melasse (restprodukt ved sukkerfremstilling)
- sukker (sukkerroer og sukkerrør)
- stivelse (fra kartofler, korn og majs)

Som råvare til en 1. generations etanolproduktion i Region Midtjylland er det mest oplagte valg korn af hvede eller byg.

5.6.1.4. Miljøeffekter ved produktion af etanol fra sukker og stivelse

Opkoncentreringen af etanolen er langt det mest energikrævende trin i fremstillingsprocessen (Galbe et al., 2002), idet der skal anvendes store mængder damp til destillationsprocessen. Miljøeffekter vil derfor afhænge meget af, om der er overskudsvarme til rådighed. Det betyder, at etanolfremstilling ideelt set skal integreres i den eksisterende energiproduktion og placeres ved siden af store kraftværker med potentiel overskudsvarme (Bentsen et al., 2006).

En anden vigtig faktor i vurdering af miljøeffekter er, hvilket brændstof etanol erstatter. Etanol i sig selv har en øvre brændværdi på 22,8 MJ pr. l, hvorimod benzin har 33,2 MJ pr. l. Det betyder, at ved anvendelse af etanol som brændstof uden iblanding af benzin, skal der ca. 1,5 l. etanol til at erstatte 1 l benzin. Men ved iblanding af mindre mængder etanol i benzin, for eksempel 5%, bevirker etanol, at forbrændingen i motorer forbedres (oktanforøgende egenskaber), hvorved 1 l etanol kan erstatte en tilsvarende mængde benzin (Laveskog, 1998; Nielsen & Wenzel, 2005). Erstatningsfaktoren er særdeles vigtig ved opstilling af energibalancer og CO_2-fortrængningsomkostninger.

Energibalancer og CO_2-fortrængningsomkostninger er særdeles vanskelige at beregne, idet de afhænger af mange forudsætninger. Eksempelvis er der beregnet energibalance ved dyrkning af vinterhvede på braklagte arealer uden anvendelse af kunstgødning og pesticider, men med tilførsel af husdyrgødning, der antages ikke at have nogen energiomkostning. Derved fandtes, at der kommer 3,3 gange mere energi ud, end der tilføres (Adamsen, 2000). Til sammenligning er der i en stor livscyklusanalyse af etanol fremstillet ud fra majskærner i USA, og hvor etanol anvendes i en 10% iblanding i benzin, fundet et output-inputforhold på 2,0 (Nielsen og Wenzel, 2005).

5.6.1.5. Økonomi i produktion af etanol fra sukker og stivelse

I en beregning udført for Sønderjysk Landboforening af Apsa Miljø er der for en nyopført fabrik skønnet en salgspris på 3,20 kr. pr. l etanol. Hovedforudsætningerne er (i kr. pr. l etanol): Tørret kornbærme, 0,73 (indtægt); hvede, 2,08 (800 kr. pr. ton); el og damp, 0,52, og kapitalomkostninger, 0,65. Udgifter til råvarer er således ca. 65% af fremstillingsprisen. De seneste prisstigninger på korn har således stor indflydelse på rentabiliteten.

5.6.1.6. Fordele og ulemper ved produktion af etanol fra sukker og stivelse

Fordele

- Velkendt teknologi
- Etanol iblandet benzin under 10% kan uden videre anvendes i benzinmotorer
- Det proteinholdige biprodukt kan erstatte importeret proteinfoder

Ulemper

- Kræver højværdige råvarer
- Stort energiforbrug i processen
- Kun svagt positiv energibalance

5.6.2. *Etanol ud fra celluloseholdige råvarer*

5.6.2.1. Hvordan udnyttes etanol fra celluloseholdige råvarer?

Udgangsmaterialerne er de såkaldte lignocelluloseholdige biomasser, som består af cellulose, hemicellulose, lignin (træstof) og kulhydrater. Cellulose består af glucose-enheder ligesom stivelse, men ved cellulose er de opbygget i lange fibre på en meget kompakt måde, som giver stor trækstyrke. Den kemiske opbygning medfører også, at de er meget resistente overfor kemisk og enzymatisk nedbrydning, og materialerne skal derfor oplukkes, inden de kan anvendes til etanolfremstilling.

Omkring fibrene er der hemicellulose og lignin. Lignin er ikke forgærbart, hvorimod hemicellulose er mere eller mindre forgærbart afhængig af dets kulhydratsammensætning. Eksempelvis er hemicellulose i nåletræ som gran og fyr nogenlunde forgærbart, imens hemicellulose i bøg, bagasse og halm ikke umiddelbart er forgærbart (Hayn et al., 1993).

Lignindelen er særdeles svær at omsætte mikrobielt og er af samme grund en vigtig bestanddel af humus i jord. Lignindelen vil gå mere eller mindre uændret igennem fremstillingsprocessen, hvorefter den typisk vil blive afvandet og tørret til anvendelse som fast brændsel i processen el. solgt fra.

Etanolproduktion på grundlag af celluloseholdige materialer er principielt den samme som ved stivelse (se figur 12), blot væsentlig mere kompliceret. Dels kræves der en kraftigere opslukning, dels vil den dannede etanolopløsning være tyndere, og begge dele bidrager til at øge omkostningerne markant. Endvidere kan hemicellulose som før nævnt ikke omsættes af almindelig gær, hvilket betyder, at der skal anvendes genmodificeret gær el. bakterier, der kan omsætte pentoser (sukkerstof der ikke kan forgæres af almindelig gær). Anvendelse af bakterier fordyrer processerne, idet bakterier er vanskelige at håndtere.

Af hensyn til størrelsesøkonomien forventes produktion af brændstof-etanol ud fra lignocellulose at finde sted på store centrale anlæg.

5.6.2.2. Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for etanolproduktion fra cellulose

Der er så vidt vides ikke bygget fuldskalaanlæg endnu, men der er et par konkrete projekter i USA og Mellemamerika, der er baseret på bagasse som råvare. Der foregår ihærdige forsknings- og udviklingsaktiviteter i adskillige lande. I USA er udvikling af biomassebaserede motorbrændstoffer højt prioriteret, og der tilføres særdeles store beløb til området. Eksempelvis har det amerikanske energiministerium finansieret Novozymes' udvikling af mere effektive og billige enzymer til at nedbryde cellulosedelen med ca. 15 mio. dollars. Der er planlagte anlæg i Canada og USA, men finansieringen er endnu ikke faldet på plads.

I Danmark har Elsam (nu DONG Energy) sammmen med bl.a. Forskningscenter Risø og Landbohøjskolen i flere år arbejdet med et stort udviklingsprojekt (IBUS), der integrerer etanolproduktion ud fra halm og kerner (eventuel som helsæd) med traditionel elproduktion på store anlæg. Dette vil give en bedre udnyttelse af energi, idet overskudsvarme kan indgå i etanolfremstillingen (Bentsen et al., 2006). Sammen med Statoil og Danisco har DONG planer om at etablere et demonstrationsanlæg ved Kalundborg.

Firmaet BioGasol ApS markedsfører en teknologi til etanolproduktion ud fra lignocellulose udviklet på DTU. Firmaet har planer om at opføre et demonstrationsanlæg på Bornholm med en kapacitet til produktion af 10 mio. l etanol årligt (www.biogasol.dk).

5.6.2.3. Råvaregrundlag for etanolproduktion fra cellulose

Råvarer kan være bagasse (restprodukt fra sukkerfremstilling ud fra sukkerrør), træ og halm. I Danmark er den mest oplagte råvare halm. Fiberfraktionen fra gylle er oftest inhomogen og indeholder en del aske, og er derfor næppe et godt råstof til etanolproduktion. Endelig kan det være relevant at udnytte helsæd af hvede eller majs til etanolproduktion, hvorved både de let-

omsættelige kulhydrater og den tungtomsættelige lignocellulose udnyttes (Bentsen et al., 2006).

P.g.a. de forholdsvis store håndteringsomkostninger ved bjærgning og transport af halm i Danmark, er det en dyr råvare sammenlignet med træaffald eller bagasse i andre lande, hvor råvarerne ofte vil være til stede i store mængder til lave priser. Det betyder, at en produktion i Danmark skal være særdeles omkostnings- og energieffektiv for at være konkurrencedygtig.

5.6.2.4. Miljøeffekter ved produktion af etanol fra cellulose

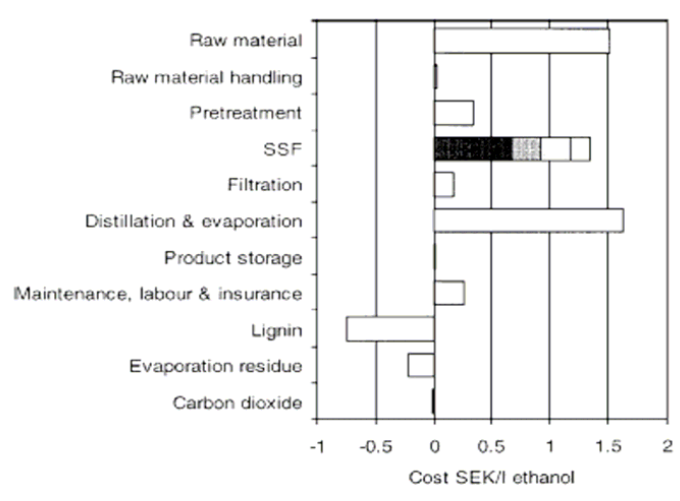
Der er store mængde af celluloseholdige restprodukter på verdensplan. I Danmark drejer det sig først og fremmest om overskudshalm og visse typer affald. Affald og overskudsprodukter tillægges oftest en lav energiomkostning i "produktionen", og dermed kan opnås klart positive energibalancer.

Lignocellulose-holdige afgrøder (fx pil og græsser) kan dyrkes mere miljøvenligt end stivelsesafgrøder (korn), idet produktionen kræver færre input samtidig med at jorderosion og nitratudvaskning reduceres (Perlack et al., 2005; Det Europæiske Miljøagentur, 2006).

Ved omsætning af cellulosen til etanol og afbrænding af ligninfraktionen udnyttes al kulstof, og man kan således påvirke landbrugsjordens kulstofindhold negativt - se nærmere beskrivelse i afsnit 5.1.4.

5.6.2.5. Økonomi i produktion af etanol fra cellulose

Det er svært at vurdere økonomien i fremstilling af etanol ud fra celluloseholdige råmaterialer, da det afhænger meget af kulhydratsammensætning i råvarerne, forbehandling, forsukring og forgæring samt ikke mindst opkoncentrering. I figur 14 er de totale omkostninger for en produktion ud fra træ neddelt. Råvare, forsukring (SSF) og forgæring samt opkoncentrering er store omkostningsposter.



Figur 14. Omkostninger til fremstilling af etanol ud fra træ (Galbe & Zacchi, 2002)

Ved anvendelse af halm som råvare er omsætning af hemicellulose af stor vigtighed for procesøkonomien. Såfremt hemicellulose anvendes til fremstilling af biogas, vil en realistisk produktionspris være 4,00 - 4,50 kr. pr. l etanol (Adamsen & Jensen, 1994). Såfremt 50% af hemicellulosen omsættes til etanol og resten til biogas vil produktionsprisen falde til ca. 3,50 kr. pr. l etanol.

Professor ved KVL, Claus Felby, har sammen med Jan Larsen fra Elsam Engineering patenteret en metode til at iblande enzymer med biomassen med mindre brug af vand. Derved forøges koncentration af etanol i opløsningen efter gæring, hvorved energiforbruget til opkoncentrering reduceres. Felby anser det for realistisk at nå en fremstillingspris på 3,30 kr. pr. l i løbet af 3 til 5 år.

Fremstillingspriserne skal selvfølgelig sammenlignes med fossile brændstoffers pris. Med en oliepris i nærheden af 70 dollar pr. tønde, er literprisen for benzin omkring 3,25 kr. ekskl. avancer, afgifter og moms.

Tabel 5. Forskellige analyser over fremstillingspriser for etanol ud fra cellulose

Råmateriale	Udbytte (kg råvare pr. l)	Biprodukter	Pris (kr./l)	Bemærkninger	Reference
Halm	6-7	Metan (biogas) & lignin (fast brændsel)	4,0 - 4,5	Prisestimater på hovedkomponenter samt generelle omkostninger til rørføring mv.	Adamsen og Jensen, 1994
Nåletræ	3,2	CO_2 & lignin (fast brændsel)	3,3	Prisestimater på større enkeltdele	von Sivers & Zacchi, 1993
Halm	3,6	Metan og lignin	2,0 - 2,8	Forskningsniveau	Thomsen & Ahring, 2001

5.6.2.6. Fordele og ulemper ved produktion af etanol fra cellulose

Fordele

- Etanol iblandet benzin under 10% kan uden videre anvendes i benzinmotorer
- Billige og miljøvenlige råvarer
- Verdens to største producenter af enzymer (Novozymes og Genencor) til etanolfremstilling er danskejede

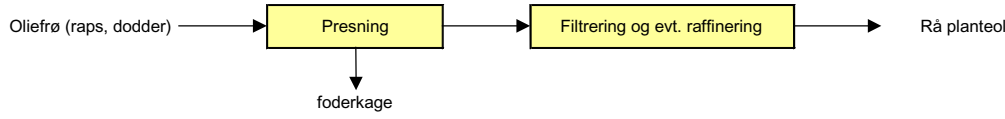
Ulemper

- Endnu ikke kommercielt færdigudviklet
- Kræver store anlæg og dermed store investeringer
- Kan reducere dyrkningsjordens kulstofindhold

5.7. Rå planteolie

5.7.1. *Hvordan udnyttes rå planteolie?*

Udnyttelse af rå planteolie i dieselmotorer eller i oliefyr er i princippet meget enkel og kan foregå decentralt: Olieplantefrø (i Danmark oftest raps) presses til olie og pressekage. Olien filtreres og anvendes direkte i dieselmotor eller oliefyr. Der sker således ikke nogen kemisk konvertering af olien som ved biodieselproduktion, og olien kan i princippet stadig bruges som spiseolie.



Figur 15. Skematisk procesforløb for udnyttelse af rå planteolie

Der er dog forskelle imellem de fysiske og kemiske egenskaber af dieselolie og rå planteolie, som betyder, at anvendelsen af planteolie ikke er helt så enkel. Først og fremmest er den rå planteolie tyktflydende ved lave temperaturer, hvilket kan kræve forvarmning af olien. Dieselbiler skal derfor konverteres til planteoliedrift og oliefyr kræver en særlig brænder samt evt. opvarmningsstav til olietanken for at kunne anvende rå planteolie.

Oliepresser kan fås i mange størrelser fra helt små decentrale snekkepresser (se figur 16), der kan presse ca. 30 kg frø i timen over større fællespresser til centrale anlæg med varmepresning og evt. kemisk el. enzymatisk ekstraktion af olien. De mindste presser kan presse ca. 30% af frøenes vægt ud som olie, mens større presser kan udnytte mere af de omkring 45% olie i frøene. Ved varmepresning ekstraheres dog også frøenes fosforindhold i olien, der derfor skal raffineres før anvendelse i motorer.

Presseresten af frøene (rapskage med et større eller mindre restindhold af olie) kan anvendes som proteinfoder til køer, svin eller fjerkræ.



Figur 16. Decentral presse til oliefrø med en kapacitet på ca. 30 kg frø i timen. Til højre rapskage og -olie

5.7.2. ***Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for udnyttelse af rå planteolie***
Teknisk set er anvendelsen af rå planteolie udviklet til kommercielt niveau og kan straks tages i anvendelse. Oliepresning foregår kommercielt på decentrale og centrale anlæg rundt omkring i landet. Konverteringskit til dieselmotorer kan bestilles fra det tyske firma Elsbett Motor (www.elsbett.com), der gennemfører ombygningskurser i Danmark og enkelte mekanikere

har opnået ekspertise i ombygningen (se fx www.dajolka.dk). Der antages at være ca. 200 ombyggede dieselbiler og enkelte traktorer i Danmark.

Planteoliebilerne udgør således stadig en meget lille andel, hvilket bl.a. hænger sammen med at man ikke kan tanke planteolie på danske tankstationer (det kan man mange steder i Tyskland, se www.pflanzenoeltankstellen.de), og at der opkræves samme energiafgift på planteolie som på diesel. Endvidere skal man være meget omhyggelig med at få en god oliekvalitet, da man ellers kan ødelægge motoren.

Så længe der ikke kan købes kvalitetssikret olie på almindelige tankstationer i Danmark, kan man næppe forvente, at en større andel af bilisterne vil konvertere deres biler. Det vil være mere realistisk i første omgang at indføre planteoliedrift i afgrænsede flåder, som fx offentlige busser og tog eller i landbrugets traktorer, hvor man ikke er afhængig af optankning rundt omkring i landet. På Samsø, der er dansk VE-Ø, har man planlagt at omlægge busdriften og så vidt muligt også private dieselbiler og traktorer til at køre på rå planteolie.

Ved bygning af Skive kommunes nye rådhus er det planlagt at producere el og varme bl.a. med dieselmotorer, som skal køre på rapsolie, og der forventes et årligt forbrug på ca. 100.000 l olie (Petersen, 2006).

5.7.3. *Råvaregrundlag for produktion af rå planteolie*

På verdensplan findes mange forskellige olieplanter, som kan bidrage med olie til transport. I Danmark er det stort set kun raps, der har været udnyttet til olieproduktion. Rapsdyrkning er velkendt og veludviklet i Danmark. Flere andre beslægtede afgrøder i korsblomstfamilien kan dog også benyttes, fx rybs, sennep eller dodder. Dodder kan måske være interessant at udvikle, fordi den synes at kræve færre input i form af sprøjtemidler og gødning end raps (Jørgensen & Dalgaard, 2004). Der bør gå 4-5 år mellem rapsafgrøder på samme mark, men det vurderes, at der kan dyrkes ca. dobbelt så meget raps som i 2006 i dansk landbrug uden at skabe sædskifteproblemer (Thalbitzer, 2006).

5.7.4. *Miljøeffekter ved udnyttelse af rå planteolie*

Ved anvendelse af den rå rapsolie opnås et større energiudbytte end ved biodieselproduktion, hvor glycerinindholdet fjernes, og der er et energiforbrug til konvertering af olien. Dermed opnås også en lidt større fortrængning af CO_2 og en bedre energibalance. Ifølge en analyse fra Nordisk Folkecenter for vedvarende energi opnås knap 3 gange så meget energi i rå rapsolie, som der benyttes ved produktionen af olien (Bugge, 2000; tabel 8). Dertil kommer energiindholdet i halmen og værdien af rapskagen.

Lattergas er en drivhusgas med en ca. 310 gange større drivhuseffekt pr. kg end CO_2. Lattergas frigives ved al jordbrugsdrift, men varierer meget fra mark til mark og år til år. Frigivelsen er blandt andet korreleret med tilførslen af kvælstofgødning, og derfor vil der ved opdyrkning af brakarealer ske en øget lattergasemission. Rapsdyrkning giver anledning til

relativt høje lattergasemissioner, og når disse indregnes i et samlet drivhusgasregnskab, reduceres biodiesels CO_2-fortrængning væsentligt (Lind et al, 1995; European Commission JRC et al., 2007).

Der findes desværre kun få sammenligninger af emissioner fra motorer med forskellige olieprodukter, og sammenligningen kompliceres af, at rå planteolie kræver en særlig motortype. En sammenligning af emissioner ved brug af hhv. diesel og rå planteolie i en Elsbett konverteret VW Golf viste ens emission af CO_2 men betydeligt mindre emission af andre stoffer ved brug af planteolie (se tabel 6). Det forklares bl.a. ved et meget lavt svovlindhold og et højt iltindhold i planteolie. Testen er dog gennemført på den gamle svovlholdige diesel, så der bør gennemføres nye tests, hvor der sammenlignes med svovlfattig diesel.

Tabel 6. Emissioner (g/km) ved drift af samme motor med hhv. diesel og planteolie (fra www.folkecenter.dk)

	CO	**T.HC**	**NO_x**	**CO_2**	**Partikler**
Diesel	1,00	0,35	0,53	148,4	0,12
Planteolie	0,58	0,13	0,43	148,2	0,07

Da planteolie er spiselig og ikke toksisk for planter el. vandorganismer, vil overgang fra brug af diesel minimere risikoen for uheldig påvirkning af miljøet ved håndtering og spild af brændstof. Antændelsespunktet er desuden betydeligt højere end for diesel, og dermed er risikoen for brand mindre.

Vinterraps er meget effektiv til at opfange nitrat fra den forudgående afgrøde i det efterår, hvor den sås. Til gengæld efterlades mere kvælstof på marken efter høst af raps end fra kornafgrøder, og derfor er udvaskningen *efter* rapsen ofte højere. Sammenlagt er der ikke meget forskel på udvaskningen fra korndyrkning og fra rapsdyrkning.

Raps kan dyrkes økologisk, men det sker kun i meget ringe omfang, da raps kræver meget gødning og er sårbar overfor skadedyr (Jørgensen & Dalgaard, 2004). Økologiske el. miljøvenlige dyrkningsmetoder for olieafgrøder kan dog udvikles og hjælpes på vej ved at inddrage nye olieplantearter eller ved at forædle rapsen til større modstandsdygtighed og bedre næringsstofudnyttelse. I USA er, v.h.a. bioteknologi, udviklet en rapsplante, som kun kræver ca. halvt så meget kvælstof som normalt (Rey et al., 2004).

5.7.5. *Økonomi ved produktion af rå planteolie*

Prisen på rå rapsolie (uden moms og afgifter) var i efteråret 2007 ca. 5 kr./l. Det var i samme størrelsesorden som prisen på dieselolie før afgift. Men både raps- og dieselprisen er stigende, så det er svært at vide, hvordan konkurrenceforholdet udvikler sig. Energiindholdet i rapsolie er 6-7% lavere end i dieselolie, men ofte opnås samme motorydelse ved de to brændsler pga. en mere effektiv forbrænding af planteolie.

5.7.6. *Fordele og ulemper ved udnyttelse af rå planteolie*

Fordele:

- Ugiftigt brændstof med bedre energiudbytte end biodiesel
- Lavteknologisk produktion med mulighed for decentral udnyttelse
- Konkurrencedygtigt ved nuværende oliepris

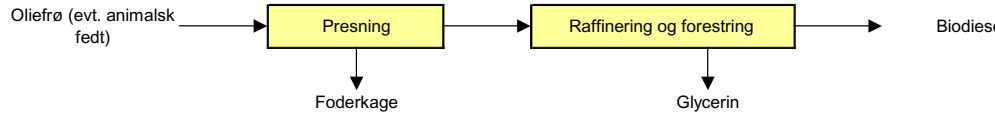
Ulemper

- Kræver motormodifikation
- Rapsdyrkning giver forholdsvis høj miljøbelastning
- Begrænset råvaregrundlag

5.8. Biodiesel

5.8.1. *Hvordan udnyttes biodiesel?*

Biodiesel er betegnelsen for biologisk baserede olier, der ved en kemisk konvertering (forestring og udtræk af oliens glycerinindhold) er tilnærmet de funktionelle egenskaber for almindelig diesel. Derfor kan de fleste dieselmotorer umiddelbart køre på biodiesel. Biodiesel produceres normalt på middelstore procesanlæg. For en nærmere beskrivelse af produktionen af planteolie se afsnit 5.7.



Figur 17. Skematisk procesforløb for fremstilling af biodiesel

5.8.2. *Kommercielt niveau og udviklingspotentialer for biodiesel*

Biodiesel er fuldt kommercielt udviklet og har i en årrække været anvendt i bilparkerne i en række europæiske lande. Specielt Tyskland, Frankrig og Tjekkiet har meget erfaring med biodieselanvendelse i praksis. I Danmark har der ligeledes foregået en kommerciel produktion af biodiesel i en årrække bl.a. på Emmelev Mølle (www.emmelev.dk). Men da Danmark ikke har givet skattelettelse af betydning på biodiesel, er hele den danske produktion blevet eksporteret til bl.a. Tyskland.



Fig. 18. Administrerende Direktør for Daka Biodiesel, Kjær Andreasen, fylder biodiesel produceret på basis af animalsk fedt på bilen

5.8.3. *Råvaregrundlag for produktion af biodiesel*

Biodiesel fremstilles oftest ud fra planteolie, og i Danmark er der tale om rapsolie. I de seneste år er en meget stor andel af det danske rapsareal gået til fremstilling af rapsolie til biodiesel med samtidig produktion af rapskage og glycerin (Dansk Landbrugsrådgivning skønner 70-80%). Der bør gå 4-5 år mellem rapsafgrøder på samme mark, men det vurderes, at der kan dyrkes ca. dobbelt så meget raps som i 2006 i dansk landbrug uden at skabe sædskifteproblemer (Thalbitzer, 2006).

Biodiesel kan også fremstilles ud fra animalsk fedt, og DAKA har gennemført forsøg med at udnytte fedtfraktionen fra slagteriaffald og døde dyr til biodiesel. På baggrund af de positive erfaringer hermed har DAKA i 2007 etableret et produktionsanlæg til ca. 50.000 tons biodiesel årligt på basis af animalsk fedt og med mulighed for at udvide produktionen til det dobbelte (www.dakabio-industries.dk).

5.8.4. *Miljøeffekter ved udnyttelse af biodiesel*

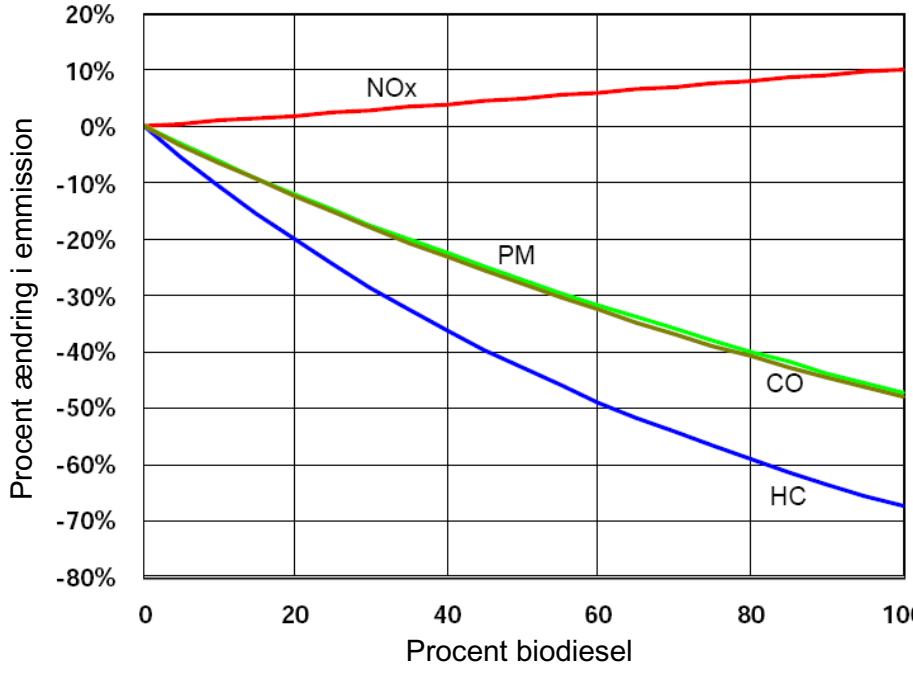
Ved anvendelse af den rå rapsolie opnås et større energiudbytte end ved biodieselproduktion, hvor glycerinindholdet fjernes, og der er et energiforbrug til konvertering af olien. Derfor er der også en lille forskel i fortrængning af CO_2 og i energibalancen for udnyttelse af biodiesel og rå planteolie. Ifølge en analyse af COWI (1997) opnås ca. 1,5 gange så meget energi i bio-

diesel, som der benyttes ved produktionen af olien (tabel 8). Dertil kommer energiindholdet i halmen samt værdien af glycerin og rapskage.

Lattergas er en drivhusgas med en ca. 310 gange større drivhuseffekt pr. kg end CO_2. Lattergas frigives ved al jordbrugsdrift, men varierer meget fra mark til mark og år til år. Frigivelsen er blandt andet korreleret med tilførslen af kvælstofgødning, og derfor vil der ved opdyrkning af brakarealer ske en øget lattergasemission. Rapsdyrkning giver anledning til relativt høje lattergasemissioner, og når disse indregnes i et samlet drivhusgasregnskab, reduceres biodiesels CO_2-fortrængning væsentligt (Lind et al, 1995; European Commission JRC et al., 2007).

Biodiesel benyttet i traditionelle dieselmotorer reducerer emissionen af reaktive kulbrinter (HC), kulilte (CO) og partikler (PM), mens emissionen af NO_x stiger (figur 19). Et nyt australsk studium viser, at udstødningsgas fra biodiesel er langt mindre skadelig for humane luftvejsceller end udstødningsgas fra fossil diesel (Ackland et al., 2007).

Miljøforhold omkring dyrkning af raps er behandlet i afsnit 5.7.4.



Figur 19. Emissioner fra tunge dieselkøretøjer ved stigende tilsætning af biodiesel (U.S. Environmental Protection Agency, 2002)

5.8.5. *Økonomi ved udnyttelse af biodiesel*

Den danske produktion af biodiesel eksporteres til vores nabolande, hvor biodiesel ikke beskattes i samme grad som i Danmark. I perioder har biodiesel med energiafgift næsten kunnet konkurrere med udsalgsprisen på almindelig diesel. Emmelev Mølle ønsker dog ikke p.t. at tage initiativ til et distributionssystem i Danmark p.g.a. usikkerheden om dieselprisen fremover. Andre mindre firmaer vil dog gerne levere biodiesel, så snart der er efterspørgsel (Skøtt, 2005c).

5.8.6. *Fordele og ulemper ved udnyttelse af biodiesel*

Fordele

- Biodiesel kan umiddelbart erstatte eller supplere fossilt baseret diesel
- Teknologien til fremstilling af biodiesel er kommerciel tilgængelig
- Lavere emissioner af luftforurenende stoffer end ved brug af fossil diesel
- Rapskage og glycerin opnås som biprodukter

Ulemper

- Kun svag positiv energi- og drivhusgasbalance
- Økonomien vanskelig uden afgiftslettelse
- Begrænset råvaregrundlag

6. Diskussion af samspil mellem teknologier, landbrugsproduktion og miljø

6.1. Samspil mellem teknologier

Der vil sandsynligvis kunne opnås økonomiske samt energi- og miljømæssige fordele ved at koordinere og samtænke forskellige energiteknologier. Eksempler herpå er allerede givet i de enkelte teknologiafsnit ovenfor, fx kombination af termisk forgasning af biomasse med gassyntese, således at der kan opnås et flydende brændstof. Et andet eksempel er biogasproduktion ud fra den let omsættelige del af gylle, hvorefter den tungt omsættelige del kan afbrændes el. forgasses, således som det planlægges i forbindelse med Måbjergværket.

Et tredje eksempel er det tidligere Elsams vision for produktion af "VEnzin", hvor produktion af el og varme tænkes integreret med produktion af etanol og metanol. Herved kan også elproduktionen fra vindmøller integreres, således at der ved overskudsproduktion kan dirigeres energi over til drivmiddelproduktion.

De forskellige biomasseenergiteknologier vil mere eller mindre konkurrere om de samme råvarer eller om den samme landressource til at producere biomassen på. Nogle teknologier vil dog være bedst egnede til at omsætte faste og relativt tørre brændsler, mens andre kan omsætte biomasse i en våd proces.

6.2. Samspil mellem energiproduktion, jordbrugsdrift og miljø

Udnyttelse af biomasse til energi involverer sektorerne skovbrug, landbrug, transport og energi. Det er derfor vigtigt at vurdere hele biomassekæder fra mark til energiprodukt for at sikre optimalt økonomisk samt energi- og miljømæssigt udbytte. Markedskræfterne kan til dels forventes at optimere det økonomiske udbytte, men da de involverede sektorer er kraftigt styrede af afgifter og tilskud, er det vigtigt at vurdere, hvilke skævvridninger disse medfører, og om de kan forventes ændret i fremtiden.

På miljøområdet er markedskræfterne til gengæld kun i meget begrænset omfang i stand til at optimere det miljømæssige udbytte af forskellige biomassekæder. Eksempelvis viser beregninger, at der kan være over 60% forskel i den samlede drivhusgaseffekt ved valg af to forskellige dyrkningssystemer til levering af den samme energimængde til kraftvarmeværker (se tabel 7). Det har p.t. ingen økonomisk betydning, men kan få det, idet Danmark har tiltrådt Kyoto-aftalens artikel om indregning af ændringer i dyrkningssystemernes kulstoflagring i jorden i vores nationale drivhusgasregnskab.

Tabel 7. Arealkrav samt årlig reduktion i udslip af drivhusgasser ved dyrkning af 5 PJ i energiafgrøder sammenlignet med udslippet ved dyrkning af almindelig korn til foder (Olesen & Jørgensen, 2001). For elefantgræs er regnet på to forskellige høsttidspunkter

	Triticale	*Elef. Nov.*	*Elef. April*
Arealkrav (ha)	32.000	25.000	33.000
	Kilotons CO_2-ækvivalenter		
Fossil fortrængning	285	285	285
Reduceret energiforbrug	5	3	18
Reduceret lattergasudledning	20	30	36
Kulstoflagring i jord	-45	37	108
Total drivhusgasreduktion	265	355	447

Valg af forskellige biomassekæder kan også få helt lokale effekter på vandmiljøet, her beskrevet med to eksempler:

1. Der kan være meget store forskelle i nitratudvaskningen fra de forskellige afgrøder, der kan dyrkes til energi. Den største skillelinje går mellem etårige og flerårige afgrøder. De flerårige afgrøders permanente og ofte dybe rodnet betyder, at der hele tiden er rødder, der kan optage det kvælstof der frigives, og nitratudvaskningen reduceres derfor. Der kan produceres ca. samme mængde energi pr. ha fra energikorn, pil eller elefantgræs, men på sandede jorder vil nitratudvaskningen være ca. 50 kg N/ha mindre ved dyrkning af de flerårige afgrøder (Jørgensen, 2004). Brug af efterafgrøder sammen med energikorn vil dog mindske forskellen.
2. I forbindelse med det store biogasprojekt ved Måbjergværket ønskes den resterende fiberfraktion afbrændt af hensyn til økonomien i projektet. Fiberfraktionen indeholder langsomt omsætteligt kvælstof og har et højt fosforindhold, hvilket betyder at afbrænding vil reducere totaltilførslen af næringsstoffer til området (Fødevareministeriet, 2005). Afbrænding af fiberfraktionen fra et biogasanlæg ved Måbjerg vil dermed også reducere næringsstofbelastningen af Ringkøbing Fjord.

   Man skal dog huske, at fiberfraktionen bidrager til at sikre indholdet af organisk stof (humus) i dyrkningsjorden, og ved afbrænding kan man risikere en mindre frugtbar jord på langt sigt (Jørgensen, 2008). Men fx ved at anvende flere efterafgrøder, som bidrager med organisk stof til jorden, kan jordens frugtbarhed bevares. Kvægejendomme med meget græs i sædskiftet sikrer i sig selv et højt indhold af organisk stof i jorden.

Som det fremgår vil en sammenligning af forskellige biomassekæders samlede fordele og ulemper kræve en analyse af effekter i hele kæden. De fleste analyser af bioenergiteknologier fokuserer alene på konverteringsteknologien, men effekter i jordbrugsproduktionen kan ændre afgørende på bundlinjen. På EU-plan er der etableret et omfattende well-to-wheel (kilde-til-hjul) regneværktøj til beregning af fortrængning af fossil energi og drivhusgasser for flydende brændstoffer (European Commission JRC et al., 2007). I Danmark har et tværministerielt udvalg i 2007 sendt et udkast til en tværgående analyse af en række drivmiddelteknologier i høring, og trods en række indvendinger fra høringsparterne, er det et vigtigt første skridt i at få opstillet gode sammenlignende analyser.

Mere begrænsede analyser af en snæver energibalance for energiafgrøder er dog gennemført for danske forhold og kan bidrage til en vurdering af, om de umiddelbart giver energiøkonomisk fornuft. I tabel 8 er samlet resultater fra forskellige energianalyser, der viser, at dyrkning af hele afgrøder til kraftvarme giver et klart positivt energioverskud, idet der oftest opnås 10-20 gange mere energi, end der indgår i produktion og transport til værk. Ved produktion af biodiesel eller rapsolie er energioverskuddet betydeligt mindre, men det skal ses i lyset af, at der erstattes en mere sparsom ressource (olie), og at der samtidig produceres rapskage, glycerin og halm. Samme argumentation gælder for produktion af etanol, og her har (Bentsen et al., 2006) beregnet energiværdien af de foderprodukter, som opnås ved etanolproduktion, hvorved energibalancen forbedres til 2.

Tabel 8. Typiske energiudbytter af forskellige energiafgrøder samt energiforbrug ved dyrkning og levering til værk. For raps og kløvergræs indgår desuden energiforbrug til opgradering til olie og biogas. For raps er dels regnet på produktion af biodiesel (RME), dels på rå rapsolie. Data stammer fra forskellige studier (Jørgensen & Kristensen, 1996; Jørgensen & Hannibal, 1996; COWI, 1997; Bugge, 2000; Bentsen et al., 2006)

	Pil til forbrænding	Elefantgræs til forbrænding	Vinterrug til forbrænding	Vinterraps (RME+ halm)	Vinterraps (olie + halm)	Kløvergræs til biogas	Hvede helsæd til etanol
Udbytte (t ts/ha)	9	9	10	2,7 (frø) 2,2 (strå)	2,7 (frø) 3,3 (strå)	8	10
Vandindhold % v. høst	50	10	15	9 (frø) 15 (strå)	9 (frø) 15 (strå)	83	15
Energiudbytte, GJ/ha (nedre brændværdi)	147	161	171	RME: 31 Kage+ glyc: 45 Halm: 38	Olie: 37 Kage:39 Halm:57	94 (direkte) 79 (ensileret)	Etanol: 80 Lignin: 29
Energiforbrug v. dyrkning, høst og transport til værk, GJ/ha	10	9	18	12	12	9 (direkte) 14 (ensileret)	16
Energiforbrug v. olie-, etanol- og gasproduktion, GJ/ha	-	-	-	11	2	17 (direkte) 15 (ensileret)	50
Totalt energiinput, GJ/ha	10	9	18	23	14	26 (direkte) 29 (ensileret)	66
Nettoenergiudbytte, GJ/ha	137	152	153	91	119	67 (direkte) 50 (ensileret)	43
Energibalance (energiudbytte/energiinput)	14	18	9	1,4 (kun RME) 3 (RME+ halm)	2,6 (kun olie) 7 (olie+ halm)	4 (direkte) 3 (ensileret)	1,7

7. Regionale aspekter

Region Midtjylland er en vigtig landbrugsregion med ca. 1/3 af Danmarks landbrugsareal og landbrugsbedrifter og en endnu højere andel af landets kvæg- og svinebedrifter. For den midtjyske region er der et stort uudnyttet potentiale i husdyrgødning til energiformål og i dyrkning af deciderede energiafgrøder, således som beregningerne i det følgende afsnit viser. Ved fornuftigt valg af råvarer og dyrkningssystem kan opnås en række indirekte miljøfordele, f.eks. reduceret udvaskning af næringsstoffer. Da Region Midtjylland tillige har stærke videnmiljøer på landbrugs- og miljøområdet, er det et område, hvor regionen har særlige muligheder for at blive en central aktør - også i international sammenhæng.

Opfyldelse af stigende miljøkrav (fx Vandrammedirektiv, Natura 2000 og Pesticidplanen) presser landbrugets produktionsmuligheder. Der er således behov for at udvikle produktionssystemer, der med minimale omkostninger kan reducere miljøpåvirkningen uden at landbrugsproduktionen reduceres tilsvarende. Energiproduktion i kombination med intelligente miljøløsninger kan blive et udviklingsområde, som kan bidrage til at fastholde beskæftigelse i de primære erhverv i landdistrikterne. Som tabel 9 viser, er energi- og miljøområdet allerede nu en sektor i kraftig udvikling, og der er grund til at tro, at denne udvikling vil fortsætte.

Tabel 9. Vækst i perioden 1999-2003 for udvalgte erhvervssektorer (Danmarks Statistik)

	Fuldtidsbeskæftigede	Omsætning	Eksport
Fødevarer	-4%	13%	17%
Møbler / beklædning	-6%	9%	17%
Energi / miljø	8%	36%	97%
Medico / sundhed	11%	32%	37%

Den midtjyske region har en relativ stor andel af små og mellemstore virksomheder i fremstillingssektoren. Regionens virksomheder har i forvejen en styrkeposition inden for eksempelvis forbrændingsteknologier til træ, halm og affald, spildevandsrensning og miljøteknologi til landbruget. For de to væksterhverv i tabel 9 har Region Midtjylland en særlig styrkeposition på energi og miljø, mens Hovedstadsregionen i højere grad er specialiseret på medico og sundhed (tabel 10).

Tabel 10. Indeks for beskæftigelsesmæssig specialisering i Region Midtjylland og i Region Hovedstaden (100 = landsgennemsnit. Fra Danmarks Statistik)

	Region Midtjylland	Region Hovedstaden
Fødevarer	112	49
Møbler / beklædning	155	67
Energi / miljø	144	53
Medico / sundhed	65	147

I forhold til den regionale erhvervsudvikling ligger der således et stort potentiale i at sikre, at det bliver regionens fremstillings- og servicevirksomheder, der bliver leverandører af den viden og det udstyr og teknologi, som skal bruges til f.eks. dyrkning, høst, forarbejdning og konvertering af biomasse til fremtidens energiformer. Udvikling af samlede koncepter for bæredygtig dyrkning, miljøbeskyttelse og konvertering kan i sig selv blive en eksportartikel.

Biomasse i form af træprodukter, halm og affald er allerede i dag den mest betydende kilde til vedvarende energi i Danmark. Biomasse anvendes imidlertid helt overvejende til produktion af varme og el ved afbrænding, hvor der på de fleste områder er tale om modne og fuldt kommercialiserede teknologier. Ressourcerne af husdyrgødning er dog i dag underudnyttet, og en række nye teknologier er under udvikling, som kan bidrage til at udnytte biomasse til flere formål - herunder i transportsektoren.

Region Midtjylland har høj dyretæthed og stor efterspørgsel efter "harmonijord", som dyrkning af energiafgrøder på brakarealer kan bidrage til at opfylde. Ved opdyrkning af brakarealer vil der ske en øget nitratudvaskning ved dyrkning af etårige afgrøder, mens ingen eller kun ringe ændring vil ske ved dyrkning af flerårige energiafgrøder (Jørgensen, 2004).

Afbrænding af fiberfraktionen fra husdyrgødning vil bidrage til at fjerne næringsstoffer fra området og dermed bidrage til at gøre det muligt at opretholde den høje dyretæthed samtidig med at næringsstoftabene til vandmiljøet skal reduceres i forbindelse med opfyldelsen af Vandrammedirektivet. Man bør dog samtidig notere sig, at afbrændingen vil reducere indholdet af kulstof i dyrkningsjorden, hvis ikke der ved andre tiltag (fx efterafgrøder) sikres en tilsvarende kulstoftilførsel til jorden.

Samlet set er de områder, der vurderes at have de største udviklingsperspektiver for Region Midtjylland:

- Landskabs- og miljømæssigt bæredygtigt udtræk af større mængder biomasse
- Øget udnyttelse af husdyrgødning til energiformål med fokus på afledte miljøforbedringer i landbruget
- Effektiv konvertering af biomasse til varme, el og transportbrændstof, idet der fokuseres på teknologispor med den bedste økonomi og miljøprofil vurderet på hele produktionskæden.

8. Potentielt energibidrag fra biomasse i Region Midtjylland og i Danmark

Biomasseressourcerne i Region Midtjylland og i hele landet er analyseret baseret på oplysninger i landsdækkende registre, såsom GLR, gødningsregnskaber og Danmarks Statistik. Der er skitseret et scenario for en kraftigt øget udnyttelse af biomasse til energi. Udover de kendte og allerede delvist udnyttede biomassekilder i halm, rapsolie, husdyrgødning og træ fra skovene er også givet et bud på det potentielle energiudbytte ved dyrkning af energiafgrøder og ved udnyttelse af ekstensive græsarealer på lavbundsjord.

Resultaterne er gengivet i tabellerne 11 og 12 og viser, at den nuværende udnyttelse af biomasse fra skov- og landbrug i Region Midtjylland og i hele landet på hhv. ca. 16 og 50 PJ kan øges til ca. 45 og 147 PJ uden at gå på kompromis med landbrugets hovedrolle som fødevareproducent og skovbrugets hovedrolle som leverandør af gavntræ. Det er alene landbrugets biomasseleverance, der udvides i scenariet, og analysen viser en potentiel udvidelse fra i dag ca. 7 PJ i Region Midtjylland og 24 PJ i hele landet til hhv. ca. 34 og 115 PJ. Det svarer til en ca. 5 gange større biomasseudnyttelse.

Beregningerne bygger på en række antagelser, som er beskrevet i de følgende afsnit. Der er ikke indregnet teknologiske landvindinger i form af fx øget biomasseudbytte som følge af forædling eller øget effektivitet i biogasprocessen. I fremtidige studier vil det være nyttigt at analysere betydningen af forskellige udviklingsscenarioer for landbrugspolitik, miljøkrav og klimaeffekter, såvel som at analysere de økonomiske aspekter af en øget biomasseleverance fra jordbruget.

Følgende 6 tiltag indgår i scenariet:

1. Dyrkning af højproduktive energiafgrøder
2. Udnyttelse af rapsolie til energi
3. Udnyttelse af halm til energi
4. Udnyttelse af træ fra skove, hegn og haver til energi
5. Udnyttelse af ekstensive græsarealer på lavbundsjord til biogas
6. Udnyttelse af husdyrgødning til energi

Tabel 11. Nuværende udnyttelse af biomasse til energi i Region Midtjylland samt et scenario for øget udnyttelse

Udnyttelses-procent		Tiltag	Region Midtjylland				
Nuvær-ende	Scenario		Potentiale	Udnyttet	Scenario	Udnyttet	Scenario
			1000 hektar			PJ	
		1. Energiafgrøder					
3%	50%	af udtagne arealer på højbund anvendes til energiafgrøder	4	1	17	0,2	2,7
0%	15%	af arealet med korn til modenhed anvendes til energiafgrøder	459	0	69	0,0	13,2
		2. Olieproduktion					
75%	100%	af rapsarealet udnyttes til energi	34	26	34	0,9	1,2
		3. Halm					
44%	80%	af halmproduktionen fra korn, der ikke anvendes til foder og strøelse udnyttes til energi	184	110	147	5,3	7,0
11%	80%	af halmproduktionen fra raps udnyttes til energi	34	4	27	0,1	1,0
		4. Skove, hegn og haver					
50%	75%	Skovarealet antages anvendt til tømmer, men tyndingshugsten anvendes til energi	188	188	188	4,5	6,8
100%	100%	En tilsvarende energimængde antages fra mindre skove, hegn og haver				4,5	4,5
		5. Græs					
0%	75%	af lavbundsareal med græs el. ekstensive afgrøder høstes til biogas	45	0	34	0,0	1,5
		6. Husdyrgødning	Mio. m^3 metan				
4%	75%	af husdyrgødning på stald anvendes til biogas	237	9	178	0,3	6,4
0%	75%	af fiberfraktion fra afgasset gylle afbrændes				0,0	0,8
Totalt potentiale (PJ)						15,8	45,0

Tabel 12. Nuværende udnyttelse af biomasse til energi i Danmark samt et scenario for øget udnyttelse

Udnyttelses-procent		Tiltag	Hele landet				
Nuvær-ende	Scenario		Potentiale	Udnyttet	Scenario	Udnyttet	Scenario
			1000 hektar			PJ	
		1. Energiafgrøder					
3%	50%	af udtagne arealer på højbund anvendes til energiafgrøder	114	3	57	0,5	9,1
0%	15%	af arealet med korn til modenhed anvendes til energiafgrøder	1.493	0	224	0,0	43,0
		2. Olieproduktion					
75%	100%	af rapsarealet udnyttes til energi	125	94	125	3,4	4,5
		3. Halm					
41%	80%	af halmproduktionen fra korn, der ikke anvendes til foder og strøelse udnyttes til energi	657	363	526	18,5	26,8
15%	80%	af halmproduktionen fra raps udnyttes til energi	125	18	100	0,7	3,9
		4. Skove, hegn og haver					
50%	75%	Skovarealet antages anvendt til tømmer, men tyndingshugsten anvendes til energi	529	529	529	12,7	19,1
100%	100%	En tilsvarende energimængde antages fra mindre skove, hegn og haver				12,7	12,7
		5. Græs					
0%	75%	af lavbundsareal med græs el. ekstensive afgrøder høstes til biogas	154	0	115	0,0	5,1
		6. Husdyrgødning	Mio. m^3 metan				
4%	75%	af husdyrgødning på stald anvendes til biogas	749	30	561	1,1	20,2
0%	75%	af fiberfraktion fra afgasset gylle afbrændes				0,0	2,5
Totalt potentiale (PJ)						49,6	146,8

8.1. Metodik ved beregning af biomassepotentiale

8.1.1. *Datakilder og opgørelser*

Den primære kilde til oplysning om arealet med forskellige afgrøder er oplysninger indberettet i forbindelse med landmændenes ansøgning om enkeltbetaling i 2006. Oplysningerne er udtrukket fra det Generelle LandbrugsRegister (GLR). Registeret indeholder ikke oplysning om, i hvilken region den enkelte mark er placeret, men oplysningerne kan via markbloknummer kobles til det landsdækkende markblokkort og dermed stedfæstes. Ved opgørelsen af Region Midtjylland er udvalgt de marker, der er placeret i markblokke, som ligger helt eller delvist indenfor regionsgrænsen, og markarealet er beregnet relativt i forhold til hvor stor en andel af blokken, der ligger i regionen. Tilsvarende gælder for beregningen af, hvor stor en del af afgrøderne, der er placeret på lavbund (tabel 13). Her er anvendt kort over lavbundsarealer fra DJF (www.djfgeodata.dk).

Mængden af husdyrgødning i Region Midtjylland og på landsplan er baseret på indberetninger i gødningsregnskaber i 2003. Der haves ikke nyere opgørelser fra gødningsregnskaberne fordelt på regioner, men det vurderes, at der kun er sket mindre ændringer i mængden af husdyrgødning fra 2003 til 2006.

Halm- og rapsudbytte pr. ha er beregnet på basis af oplysninger fra Danmarks Statistik, der alene findes opgjort på amtsniveau. Udbyttet for Region Midtjylland er således estimeret som et gennemsnit for amterne Århus, Viborg og Ringkøbing. Der indgår også mindre arealer fra det tidligere Vejle Amt i Region Midtjylland, mens dele af Århus og Viborg amter nu indgår i Region Nordjylland. Dette vurderes dog ikke at påvirke udbyttet pr. ha nævneværdigt. I det hele taget afviger landsudbyttet og det regionale udbytte kun lidt.

Man kan diskutere, for hvilken biomasseråvare energiindholdet skal indregnes i scenarioerne. Vi har valgt at følge Energistyrelsens metode, hvor faste brændslers energiindhold opgøres som nedre brændværdi af den høstede biomasse, og hvor biogaspotentialet beregnes som energiindholdet i biogassen og ikke i den husdyrgødning eller det græs, som tilsættes biogasanlægget. Metoden for raps afviger lidt fra Energistyrelsens metode, idet vi har opgjort energiindholdet i rå rapsolie, som kan anvendes direkte til fyring el. transport, mens Energistyrelsen opgør energiindholdet i biodiesel (forestret rapsolie).

Tabel 13. Landbrugsareal fordelt på regioner og høj-/lavbund (ha). Baseret på landbrugsarealer i enkeltbetalingsordningen 2006 og lavbundstemaet på www.djfgeodata.dk

Region	Samlet areal	Højbund	Lavbund	Både lavbund og humus
Nordjylland	514.818	348.178	166.640	43.530
Midtjylland	829.798	693.210	136.588	48.017
Syddanmark	827.664	708.946	118.718	38.161
Hovedstaden	105.104	93.701	11.403	2.153
Sjælland	491.404	446.554	44.850	11.731
Hele landet	*2.768.787*	*2.290.588*	*478.199*	*143.592*

8.1.2. *Tiltag 1. Energiafgrøder*

Energiafgrøder foreslås dyrket på to arealtyper - nemlig de tidligere brakarealer, som må dyrkes med non-food afgrøder (foreløbig for 2008 kan arealerne dyrkes med alle afgrøder, idet udtagningsforpligtelsen er ophævet), samt på arealer, hvor der nu dyrkes korn.

8.1.2.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi

Definitionen på brakarealer er efter reformen af landbrugspolitikken i 2005 ikke så klar, som den var tidligere. I tabel 14 er summeret de arealer, som i 2006 var braklagte el. braklignende samt de arealer, hvor der dyrkedes deciderede energiafgrøder. Braklagte arealer på lavbundsjorder er ikke medregnet, da de i stedet medregnes i tiltag 5. Udtagne arealer dyrket med non-food raps i år 2006 er heller ikke medregnet, da de indgår i tiltag 2. Endelig indgår udtagne arealer, der var omfattet af miljøordninger, samt naturarealer ikke, da de formodes ønsket bevaret udyrkede. Arealerne er medtaget, uanset hvilken støttekategori, de er anmeldt i under enkeltbetalingsordningen.

I alt er beregnet et "brakareal" (inklusive areal med deciderede energiafgrøder) på 34.000 ha i Region Midtjylland, hvoraf i 2006 ca. 3,4% dyrkedes med energiafgrøder. Arealet med korn til modenhed er for Region Midtjylland beregnet til 459.000 ha i år 2006.

Tabel 14. Brakarealer o.l. på højbundsjord i 2006 (ha). Non-food raps og udtagne arealer under natur- el. miljøordninger er ikke medtaget

Afgrødekategori	Afgrøde	Hele landet (ha)	Region Midtjylland (ha)
	El	14	2
	Lavskov	1.601	747
	Pil	1.499	348
	Poppel	56	25
Energiskov total		*3.171*	*1.121*
	Elefantgræs	64	17
	Rørgræs	12	0
Andre deciderede energiafgrøder total		*76*	*17*
	Brak – olieræddike	132	
	Brakmarker	105.816	31.857
	Spildfrø	4.277	935
	Vildtblanding	375	86
Græs og plantedække på udtagne højbundsmarker total		*110.600*	*32.879*
Totalareal tiltag 1a		113.847	34.017
Nuværende areal med deciderede energiafgrøder		3.247	1.138
Procent af arealpotentialet udnyttet		*2,85*	*3,35*

8.1.2.2. Scenario

Vi antager, at det vil være muligt at udnytte ca. 50% af "brakarealet" til energiafgrøder, idet det øvrige areal antages at være enten for dårligt arronderet, af for dårlig dyrkningskvalitet eller af andre grunde uegnet til produktion. Hvis udtagningsforpligtelsen ophæves udover 2008, vil dyrkningen af energiafgrøder skulle konkurrere med dyrkning af foder- og fødevareafgrøder.

Ifølge Danmarks Statistik (DS) har bruttoeksporten af korn fra Danmark i perioden 2001-2005 varieret mellem 10 og 20% af den samlede produktion. Vi antager derfor, at det vil være muligt at udnytte ca. 15% af korndyrkningsarealet til dyrkning af energiafgrøder uden at gå på kompromis med landbrugets hovedrolle som foder- og fødevareproducent.

8.1.2.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha

Ved dyrkning af energiafgrøder tænkes dyrket højproduktive afgrøder som fx majs, pil eller elefantgræs. Majsudbyttet har ifølge DS i de seneste år ligget på i gennemsnit 12-13 tons tørstof pr. ha. Pil og elefantgræs indgår ikke i DS's opgørelser. For pil er der som følge af forædling hos Svalöf Weibull sket en udbyttestigning i de seneste 10-20 år på 60-70%, og hos DJF er i markskala under ekstensive dyrkningsforhold høstet mellem 10 og 17 tons tørstof pr. ha over en 10-årig periode på god sandjord. Udbyttet af elefantgræs afhænger af høsttidspunktet, idet der om efteråret kan høstes ca. 15 tons tørstof med et højt vandindhold, og om foråret kan høstes ca. 10 tons tørstof af tørre strå.

På baggrund heraf er antaget et årligt udbytte ved dyrkning på brakjord, der antages at være af lav dyrkningsværdi, på 10 tons tørstof pr. ha og på almindelig omdriftsjord et udbytte på 12 tons tørstof pr. ha.

Man kan også vælge at udnytte hvede til fx etanolproduktion. Ifølge DS har det gennemsnitlige udbytte af hvedekerner + halm i Danmark varieret mellem 9 og 10 tons tørstof pr. ha i de senere år. Ved anvendelse af hvede til energi må således forventes 2-3 tons lavere tørstofudbytte pr. ha end antaget i nærværende scenario.

8.1.2.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen

Energiindholdet i tør biomasse (træ eller strå) ligger oftest mellem 18 og 19 GJ/ton (Larsen, 2001). Ved et vandindhold på 50% reduceres den nedre brændværdi pr. tons tørstof med ca. 2,5 GJ, svarende til fordampningsvarmen for 1 ton vand (Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1993). Her er derfor anvendt en brændværdi på 16 GJ/ton tørstof. Det vil selvfølgelig variere, alt efter hvilken afgrøde og høsttidspunkt der vælges, ligesom forskellige energiteknologier vil kunne udvinde mere eller mindre af det totale energiindhold i biomassens tørstof.

8.1.3. *Tiltag 2. Raps til energi*

8.1.3.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi

I Region Midtjylland dyrkedes i 2006 34.000 ha med raps. Det har ikke været muligt ud fra de generelle landbrugsstatistikker at fastlægge, hvor stor en andel der udnyttes til energi, hvilket primært vil sige fremstilling af biodiesel. Landbrugets Rådgivningscenter angiver, at 70-80% af rapsen i dag udnyttes til energi (Kristian Haldrup, pers. medd.). Her er derfor regnet med 75% udnyttelse til energi i dag.

8.1.3.2. Scenario

I scenarioet antager vi, at olien fra hele rapsarealet udnyttes til energi, hvilket i givet fald betyder at udnyttelsen til fødevareformål ophører. Rapskagen (presseresten efter olieudvinding) anvendes som et proteinfoder, og energiindholdet heraf er ikke indregnet.

8.1.3.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha

Rapsudbyttet ifølge DS lå i gennemsnit af 2001-2005 for Århus, Viborg og Ringkøbing Amter på 3,0 tons pr. ha med 8% vandindhold. Heraf kan udvindes 25-40% olie, alt efter hvilken ekstraktionsmetode, der anvendes (mindst udbytte ved koldpresning, hvor en del af olieindholdet efterlades i rapskagen). Her er regnet med udvinding af 33% olie fra frø med 92% tørstofindhold. På landsplan var frøudbyttet 3,1 tons pr. ha.

8.1.3.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen

Energiindholdet i rå rapsolie er angivet til 35 GJ/ton ifølge Bjerg (2000).

8.1.4. *Tiltag 3. Halm til energi*

Anvendelsen af halm til energi er opgjort særskilt for korn og for raps, da den nuværende anvendelse er forskellig og den potentielle anvendelse af halmen derfor også kan blive forskellig.

8.1.4.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi

Som angivet ovenfor dyrkes i Region Midtjylland 459.000 ha korn og 34.000 ha raps. Ifølge Danmarks statistik udnyttes 20-25% af halmen fra arealet med korn til modenhed i dag til energiproduktion (tabel 15). Afhængig af udbytte og vejrforhold i det enkelte år bliver 34-42 % af halmen ikke bjerget. Andelen, der ikke bjerges, var lavere i de tre amter, der indgår i Region Midtjylland end for landet som helhed. En mindre del af halm fra rapsarealet anvendes ligeledes til fyring - ca. 11% på landsplan og 13% i de tre amter.

Tabel 15. Anvendelse af halm fra korn og raps - gennemsnit 2002-2005. Danmarks Statistik

	Gennemsnit 2002-2005				2006
	Hele landet	**De tre amter**	**Hele landet**	**De tre amter**	**Region Midtjylland**
	Procent		1000 ha		1000 ha
Korn					
Til fyring	24%	24%	367	112	
Foder og strøelse	41%	45%	612	209	
Ikke bjerget	35%	31%	524	145	
Korn i alt			*1503*	*466*	*459*
Kornhalm til fyring i procent af halm, der ikke anvendes til foder eller strøelse	41%	44%			
Raps					
Til fyring	11%	14%	12	5	
Foder og strøelse	3%	3%	3	1	
Ikke bjerget	86%	83%	91	27	
Raps i alt			*106*	*32*	*34*

8.1.4.2. Scenario

Mængden af halm til rådighed for energiudnyttelse reduceres med den del af kornarealet, der omlægges til energiafgrøder i tiltag 1. Et dyrkningsareal, der producerer en halmmængde svarende til det gennemsnitlige forbrug til foder og strøelse i 2002-2005, er beregnet og fratrukket totalarealet for at beregne et potentielt areal til energiudnyttelse. Kornarealet til fyring udgjorde i gennemsnit for årene 2002-2005 41% af den del af kornarealet, der ikke blev anvendt til foder el. strøelse (tabel 15).

I scenarioet er det antaget, at 80% af den potentielle halmmængde til energi udnyttes.

8.1.4.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha

Halmudbyttet fra korn lå ifølge DS i gennemsnit af 2001-2005 for Århus, Viborg og Ringkøbing Amter på 3,4 tons pr. ha med 15% vandindhold, hvilket svarer til 2,8 tons tørstof. På landsplan var udbyttet 3,5 tons halm pr. ha svarende til 3,0 tons tørstof. Halmudbyttet fra raps i gennemsnit af 2001-2005 for Århus, Viborg og Ringkøbing Amter var på 2,6 tons pr. ha med 15% vandindhold, hvilket svarer til 2,2 tons tørstof. På landsplan var udbyttet 2,7 tons halm pr. ha svarende til 2,3 tons tørstof.

8.1.4.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen

Halm indsamles og anvendes oftest med et lavt vandindhold på omkring 15%, ved hvilket der er en nedre brændværdi på ca. 14,5 GJ/ton, som er den værdi, der benyttes i Energistyrelsens energistatistik. Det kan omregnes til en brændværdi pr. tons tørstof på ca. 17 GJ/ton, som anvendes her. Denne er således lidt højere end for energiafgrøder i tiltag 1, hvor der er regnet med et højere vandindhold og dermed en lavere nedre brændværdi.

8.1.5. *Tiltag 4. Brændsel fra skove, hegn og haver*

8.1.5.1. Arealpotentiale

Opgørelsen af træressourcen er meget vanskelig af flere grunde: 1) Skovstatistikken inddrager ikke godt nok mindre skove, 2) hegn og haver bidrager med en betydelig, men dårligt kvantificeret, ressource, 3) og endelig foregår meget af brændehugsten ad ganske uofficielle kanaler.

Ifølge Forskningscenter for Skov & Landskab giver AIS-statistikken fra DMU et bedre udtryk for skovarealet end DS, idet flere mindre skovarealer indgår (Vivian Kvist Johansen, pers. medd.). En GIS-analyse, baseret på arealer registreret som skov i AIS, giver for hele landet et skovareal, der er 10% større end i DS. Vi har regnet videre med arealet beregnet i AIS – i alt 188.000 ha for Region Midtjylland, hvilket udgør 36% af landets skovareal ifølge AIS. Dertil kommer arealet med hegn og haver.

8.1.5.2. Scenario

Energistyrelsen vurderer, at den danske træressource allerede er stort set fuldt udnyttet (www.en s.dk/sw17120.asp), men der er af ovennævnte grunde en del usikkerhed knyttet til vurderingen. Dansk Skovforening mener dog, at det vil være muligt næsten at fordoble udtaget af energi fra skovene (Morten Thorøe, Pers. medd., september 2007). Vi antager på den baggrund i scenarioet en 50% stigning i udnyttelsen af træ fra skovene.

8.1.5.3. Beregningsfaktorer for udbytte pr. ha

Baseret på oplysninger fra Forskningscenter for Skov & Landskab er tidligere regnet med et udtræk af energibiomasse fra skov på årligt 1,5 tons tørstof pr. ha, idet skoven i øvrigt primært antages udnyttet til produktion af gavntræ (Jørgensen et al., 2004). Ved øget udtræk i scenarioet antages 2,25 tons tørstof pr. ha udnyttet til energi.

Ved kombination af skovstatistikken (DS) og det forskellige energiindhold pr. rummeter i hhv. skovflis og brænde (Evald, 2006) vurderes det, at ca. halvdelen af energien fra skov udnyttes som flis og halvdelen som brænde. Ifølge Evald (2006) udnyttes i Danmark næsten dobbelt så meget brænde fra hegn og haver som fra skovene. For at tage højde for ressourcen fra hegn og haver ansættes derfor et energiudbytte herfra svarende til energiudbyttet fra skovene. Vi har ingen baggrund for at vurdere potentialet for yderligere udnyttelse af træ fra hegn og haver, og det er sandsynligt at ressourcen er tæt på maksimal udnyttelse. Derfor er ikke indlagt en øget udnyttelse i scenarioet.

Den samlede Udnyttede træressource for landet beregnes dermed til 25,4 PJ, hvilket er tæt på de 25,1 PJ i indenlandsk produceret brænde og træflis angivet i energistatistik 2006.

8.1.5.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen

Brændværdien for træ sættes til 16 GJ/ton tørstof ifølge argumentationen under tiltag 1 og idet træ oftest bliver fyret med et vandindhold på 25-50%.

8.1.6. *Tiltag 5. Udnyttelse af græs på lavbundsjord til biogas*

8.1.6.1. Arealpotentiale og nuværende udnyttelse til energi

Ved opgørelsen af arealet med ekstensive afgrøder og permanent græs på lavbundsarealer er indgået de afgrødekategorier, der er nævnt i tabel 16. Fremover kan der tænkes at ske en stigende ekstensivering af lavbundsarealer i forbindelse med opfyldelsen af Vandrammedirektiv, Habitatdirektiv m.m. (Schou et al., 2007). Det kan betyde en forskydning mellem hvilke tiltag, der vil være mest relevante på lavbundsarealer, hvor der i dag dyrkes korn, raps e.a.

I alt er beregnet et potentielt areal til ekstensivering og udnyttelse til biogas på 45.000 ha i Region Midtjylland. Der sker i dag ikke nogen energiudnyttelse heraf.

Tabel 16. Areal med ekstensive afgrøder og permanent græs i omdrift på lavbundsjord (ha - 2006)

Arealtype	Hele landet	Region Midtjylland
20-årig udtagning	1.364	295
Miljøgræs brugt som udtagning	352	90
MVJ-udtagne arealer, der ikke er landbrugsarealer	51	8
Arealer med tilsagn om særlig støtte, som kan anvendes som udtagning. Total	*1.767*	*393*
Brakmarker	44.208	13.863
Spildfrø	1.462	323
Vildtblanding	141	38
Græs og plantedække på udtagne marker. Total	*45.811*	*14.224*
Miljøgræs MVJ-ordning 1 (80 N)	1.924	1.050
Miljøgræs MVJ-ordning 2 (0 N)	27.659	6.111
Perm. græs med lavt udbytte	18.524	5.589
Perm. græs med meget lavt udbytte	11.341	4.416
Perm. græs med normalt udbytte	36.280	10.128
Perm. græs og kløvergræs uden kvote	6.189	1.954
Perm. græs over 50% kløver omlagt mindst hvert 5. år	77	41
Perm. græs uden kløver omlagt mindst hvert 5. år	904	229
Perm. græs under 50% kløver omlagt mindst hvert 5. år	1.067	273
Græsafgrøder, permanent Total	*103.965*	*29.791*
Vildtagre	138	24
Naturarealer	30	10
Naturlignende arealer	1.928	461
Øvrige arealer Total	*2.096*	*495*
Hovedtotal	*153.639*	*44.903*

8.1.6.2. Scenario

Vi antager, at det vil være muligt at udnytte græs og anden plantevækst på 75% af det beregnede areal. Det kan dog bl.a. kræve udvikling af høstudstyr, der kan anvendes på fugtige arealer samt analyse af optimale høsttidspunkter, der tilgodeser både energiomsætning og naturhensyn.

8.1.6.3. Beregningsfaktorer for tørstofudbytte pr. ha

Ekstensive lavbundsarealer kan variere meget i næringsrigdom og dermed også i udbytte. På næringsrige enge er således høstet over 4 tons tørstof pr. ha i en længere periode (Nielsen & Hald, 2005a), mens der på gamle slætenge er registreret udbytter på ca. 2,5 tons pr. ha (Djurhuus, 1987). Hvis der kan accepteres en let gødskning af arealerne med særligt begrænsende næringsstoffer, kan udbytterne sandsynligvis holdes i den høje ende, således som det er set efter gødskning med K i vinasse på enge ved Fussingø (Nielsen & Hald, 2005b).
I scenarioet er regnet med et udbytte på 3,5 tons tørstof pr. ha.

8.1.6.4. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen

Den potentielle metanproduktion er sat til 0,35 m^3 metan pr. kg tørstof i enggræs. Det er lidt over de første gasudbytteanalyser fra enggræs gennemført ved DJF, som har givet 0,25-0,32 m^3 metan pr. kg tørstof (Henrik B. Møller, personlig medd.). Til gengæld er ikke indregnet den potentielle energiudnyttelse af fiberresten efter afgasning.

8.1.7. *Tiltag 6. Biogas fra husdyrgødning og afbrænding af afgassede gyllefibre*

8.1.7.1. Ressourcepotentiale og nuværende udnyttelse til energi

Mængden af husdyrgødning i Region Midtjylland og på landsplan er baseret på indberetninger i gødningsregnskaber i 2003 (tabel 17). Der haves ikke nyere opgørelser af gødningsregnskaberne fordelt på regioner, men det vurderes, at der kun er sket mindre ændringer i mængden af husdyrgødning fra 2003 til 2006. Husdyrgødningen er inddelt i forskellige gødningstyper. Fordelingen på regioner er sket ud fra placeringen af bedriftens arealer under antagelse af en ligelig fordeling af bedriftens gødning til arealerne. Ca. 3% af den udbragte gødning indgår ikke i beregningen - det drejer sig om anden husdyrgødning fra fjerkræ og pelsdyr, ajle og hvor gødningstypen ikke er angivet.

I gødningsregnskaberne angives mængden af kvælstof i de forskellige kategorier af husdyrgødning. Dette er omregnet til tørstof på basis af normtal for tørstof/N-forholdet i hver enkelt type af husdyrgødning (Poulsen et al., 2001).

Den nuværende biogasproduktion fra husdyrgødning er beregnet ud fra indberettede gylle- og gasmængder på de enkelte biogasanlæg til Energistyrelsen og rapporteret i "Dansk Bioenergi". Data for Region Midtjylland er sammenregnet af Per Alex Sørensen, Planenergi:

- Biogasproduktion fra anlæg i Midtjylland: 31,5 mio. m^3
- Heraf biogas fra husdyrgødning (46%): 14,3 mio. m^3
- Heraf metan (Det er antaget at biogassen indeholder 65% metan): 9,3 mio. m^3 metan.
- Energiindhold: 0,33 PJ

Det svarer til, at 3,9% af regionens husdyrgødning p.t. udnyttes til biogas.

Tabel 17. Udbragt husdyrgødning og potentiel metanproduktion fordelt på gødningstype (2003)

Gødningstype		Midt	DK	Midt	DK
	Fordelt relativt efter dyr på bedriften	Ton N udbragt		1000 m^3 Metan	
Kvæggylle		9.911	36.879	35.853	133.403
Svinegylle		16.410	49.410	55.138	166.018
Blandet gylle	Svin	7.119	17.331	23.920	58.232
	Kvæg	10.234	23.043	34.797	78.347
	Andre dyr	144	387	648	1.741
	Ingen dyr på bedriften	1.919	4.381	6.448	14.719
Fast gødning		1.476	5.695	10.430	40.247
Dybstrøelse		6.559	25.005	47.128	179.678
Anden husdyrgødning	Svin	2.601	8.882	8.323	28.422
	Kvæg	5.958	20.343	9.136	31.193
	Ingen dyr på bedriften	659	2.390	1.757	6.374
Afgasset biomasse	Oplyst fra biogasanlæg	0	0	9.300	30.000
I alt		*64.099*	*197.151*	*236.902*	*748.590*

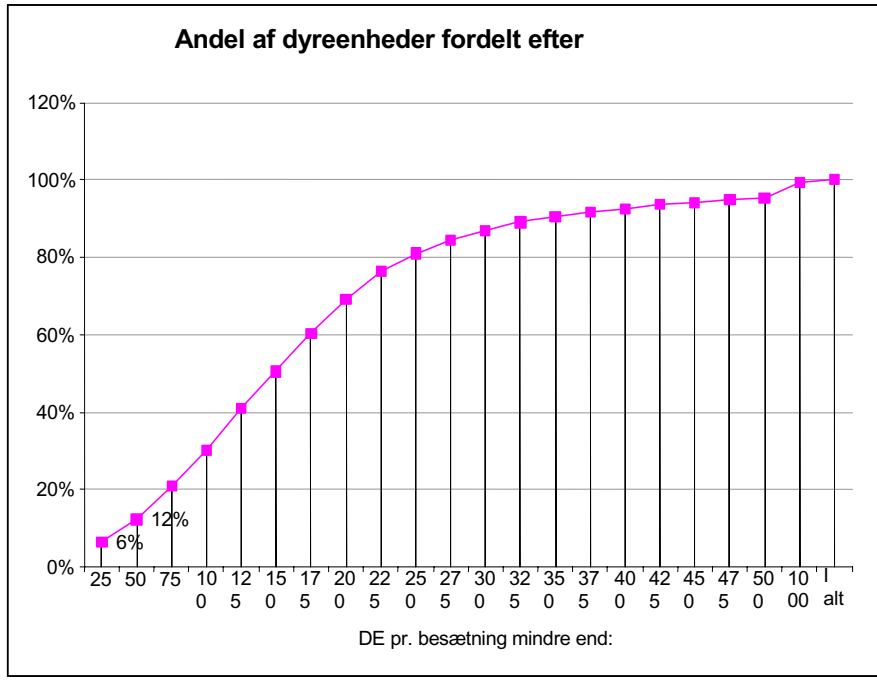
Den nuværende produktion af biogas fra husdyrgødning på landsplan er baseret på Energistyrelsen (2005a). Her opgøres energiproduktionen fra husdyrgødning inklusive organisk affald til 2,33 PJ (2004). Det antages, at 46% af energien, som beregnet for Midtjylland, stammer fra husdyrgødningen, hvilket svarer til 1,1 PJ (30.000 m^3 metan).

I gødningsregnskaberne for 2003 var antallet af dyreenheder på landsplan for kvæg på niveau med, hvad der er opgjort i Danmarks Statistik (0,39 DE/ha), mens dyreenheder for svin udgjorde 0,37 DE/ha mod 0,44 DE/ha i Danmarks Statistik.

En analyse af de af Plantedirektoratet kontrollerede gødningsregnskaber for 2003 viste, at svinebrug nedjusterede kvælstofudskillelsen i husdyrgødningen med 2,6 %, mens kvægbrugene nedjusterede med 1,4 % (Ruth Grant, DMU, pers. medd.). Der er ikke i opgørelsen taget hensyn hertil.

8.1.7.2. Scenario

Det er vurderet, at det potentielt vil være muligt at anvende 75% af den husdyrgødning, der afsættes på stald til biogasproduktion. Biogasproduktion vil normalt være mest rentabelt på større husdyrbedrifter eller ved etablering af fælles anlæg. En udnyttelse på 75% svarer til al gødningen fra bedrifter, der er større end 85 dyreenheder (Figur 20). Der sker løbende en betydelig strukturudvikling mod større bedrifter.



Figur 20. Fordeling af dyreenheder på besætningsstørrelse. En udnyttelse på 75% af husdyrgødningen i landet svarer til udnyttelse af gødningen fra alle dyreenheder på bedrifter med over 85 DE på samme lokalisering

8.1.7.3. Beregningsfaktorer for energiindhold i biomassen

På basis af den beregnede tørstofmængde beregnes den potentielle metanproduktion ud fra 0,2 m^3 metan pr. kg tørstof i kvæggødning og 0,3 m^3 metan pr. kg tørstof i svinegødning (Henrik B. Møller, DJF, personlig medd.). Metanproduktionen er beregnet ud fra, hvad der er muligt med den eksisterende teknologi. Metanproduktionen pr. kg gylle kan sandsynligvis øges i fremtiden ved forbedret behandling af gødningen (Møller, 2006; Tafdrup, 2006). Den mulighed er dog ikke indregnet i energipotentialet her, idet vi i stedet har valgt at beregne det potentielle energiudbytte ved afbrænding af den afgassede fiberfraktion. Energiindholdet i metan er 0,036 PJ/mio. m^3 metan.

Energiudbyttet ved afbrænding af husdyrgødning er meget afhængigt af tørstofindholdet. Ved lavt tørstofindhold er energiudbyttet lavere ved afbrænding end ved afgasning. Det er anslået, at det vil være mest realistisk at afbrænde gyllefibre efter en forudgående afgasning og separering i fiber- og væskefraktion. Den ekstra energimængde, der kan opnås ved afbrænding efter forudgående afgasning af husdyrgødning er beregnet til 0,6 GJ/ton fiber på basis af Sommer og Møller (2006). Dette afhænger som nævnt af tørstofindholdet i fibrene (nedre brændværdi), og det er antaget, at der kan opnås et tørstofindhold på 40% i gyllefibre (Sam-

son Bimatech A/S). Det er endvidere antaget, at det er muligt at fraseparere 60% af den afgassede gylles tørstof i en fiberfraktion, der kan afbrændes.

9. Referencer

Ackland, M.L., Zou, L., Freestone, D., van de Waasenburg, S. & Michalczyk, A.A., 2007. Diesel exhaust particulate matter induces multinucleate cells and zinc transporter-dependent apoptosis in human airway cells. Immunology and Cell Biology, 85, 617 - 622.

Adamsen, A.P., 2000. Anvendelse af braklagte arealer i Nordjylland til energiformål. APSA Miljø.

Adamsen, A.P. & Jensen, K. 1994. Teknisk-økonomisk vurdering af et anlæg til produktion af ethanol ud fra lignocellulosematerialer. Rapport udarbejdet af Bio-Ethanol A/S.

Bentsen, N.S., Felby, C. & Ipsen, K.H., 2006. Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark. Rapport fra IBUS-projektet.

Bjerg, J. 2000. Notat om energimæssig udnyttelse af rapsolie i oliefyr. Videnblad nr. 156, Videncenter for Halm og Flisfyring.

Bugge, J. 2000. Rapsolie til transport 1: Energibalance og CO_2-balance. Notat fra Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi.

COWI, 1997. EMBIO - Energistyrelsens model til økonomisk og miljømæssig vurdering af biobrændstoffer.

Djurhuus, J. 1987. Landbrugsmæssig udnyttelse af vandløbsnære arealer. Miljøministeriets projektundersøgelser 1986. Teknikerrapport nr. 23.

Djursing, T., 2007. Biobrændstof til hele Danmark skal flyde fra Grenå Havn. Ingeniøren 10/9 2007.

Det Europæiske Miljøagentur, 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA report 7/2006.

Egsgaard, H., Hansen U., Jensen, P.A., Glarborg, P. & Nielsen, C. 2003. Combustion and gasification technologies. Risø Energy Report 2, 35-39.

Elsam, 2006. Kornbaseret bioethanolproduktion på Studstrupsværket. Materiale præsenteret på et offentligt møde d. 6. april 2006.

Energistyrelsen, 2001. Drivhusgasemission ved tilvejebringelse af fossile brændsler og biomassebaserede brændsler til energiformål.

Energistyrelsen, 2005a. Energiteknologier - tekniske og økonomiske udviklingsperspektiver. Teknisk baggrundsrapport til Energistrategi 2025.

Energistyrelsen, 2005b. Brintteknologier - strategi for forskning, udvikling og demonstration i Danmark.

Energistyrelsen, 2006. Eksport af energiteknologi og energirådgivning i år 2004.

Energistyrelsen, 2007. Energistatistik 2006, www.ens.dk.

European Commission, 2005. Biomass - Green energy for Europe. EUR 21350, http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/biomass_en.pdf

European Commission JRC, Concawe & Eucar, 2007. Well-To-Wells analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. http://ies.jrc.ec.europa.eu/wtw.html

Evald, A. 2006. Brændeforbrug i Danmark. Rapport fra Force Technology.

Fødevareministeriet, 2005. Rapport fra arbejdsgruppen om afbrænding af fraktioner af husdyrgødning. www.fvm.dk.

Galbe, M. & Zacchi, G. 2002. A review of the production of ethanol from softwood. Appl. Microbiol. Biotechnol. 59: 618-628.

Glasius, M., Wåhlin, P. & Palmgren, F., 2004. Brændeovne forurener luften. DMU Nyt nr. 6.

Hayn, M., Steiner, W. Klinger, R., Steinmüller, H. Sinner, M. & Sterbauer, H. 1993. Basis research and pilot studies on the enzymatic conversion of lignocellulosics. I: Saddler, J.N. (red). Bioconversion of forest and agricultural plant residues.

Henriksen, U. 2004. Termisk forgasning af biomasse. Sammenfatning af aktiviteter på DTU. Ph.D.afhandling. Institut for Mekanik, Energi og konstruktion, DTU.

Hjort-Gregersen, K. 2003. Økonomien i biogasfællesanlæg. Udvikling og status medio 2002. Rapport nr. 150. Fødevareøkonomisk Institut.

Jørgensen, P.J. og Hannibal, E., 1996. Kløvergræs som energiafgrøde. Rapport til Energistyrelsen.

Jørgensen, U., 2004. Dyrkning af flerårige non-food afgrøder. I: Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. DJF rapport - Markbrug 103, 197-202.

Jørgensen, U., 2008. Hvad betyder en øget bioenergiproduktion for nitratudvaskning, jordens kulstofindhold og pesticidforbrug? Plantekongres 2008, 222-224.

Jørgensen, U. & Dalgaard, T., 2004. Energi i økologisk jordbrug. FØJO-rapport nr. 19.

Jørgensen, U., Dalgaard, T., Halberg, N., Møller, H.B. & Sommer, S.G., 2004. Energien leveres fra landbruget. MoMentum, 4, 14-17.

Jørgensen, U. & Kristensen, E.F., 1996. European Energy Crop Overview - Country report Denmark.

Laveskog, A. 1998. Inblandning av låga halter av alkoholer i bensin. I Egebäck, K.-E., Westerholm, R., Ahlvik, P. & Laveskog, A. Biodrivmedel. Utvärdering av emissionsmätningar och förslag till motorteknisk utveckling. KFB-Rapport 1998:2.

Larsen, M.G., 2001. Brændselsdata. Videnblad nr. 155 fra Videncenter for Halm- og Flisfyring.

Lind, A.M., Jørgensen, U. & Maag, M., 1995. N_2O-emission ved dyrkning af energiafgrøder. SP Rapport nr. 21.

Mogensen, M. Jensen, E.S. & Aasberg-Petersen, K., 2004. Technologies for producing hydrogen. I: Risø Energy Report 3.

Møller, H. B.2006. Højere gasudbytte fra husdyrgødning. Forskning i Bioenergi. 2006 ; nr. 12, s. 6-7.

Nielsen, K., 2005. Sektoranalyse for husdyrgødning og biomasseteknologi. Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation.

Nielsen, L. & Hald, A. B., 2005a. Udvikling af engens vegetation ved forskellige driftsstrategier. www.natlan.dk.

Nielsen, L. & Hald, A. B., 2005b. Næringsstofomsætning på humusjord med højt kvælstofniveau. www.natlan.dk.

Nielsen, L.H., Hjort-Gregersen, K., Thygesen, P. & Christensen, J. 2002. Samfundøkonomiske analyser af biogasfællesanlæg - med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser. Rapport nr. 136. Fødevareøkonomisk Institut.

Nielsen, P.H. & Wenzel, H., 2005. Environmental assessment of ethanol produced from corn starch and used as an alternative to conventional gasoline for car driving. Rapport fra DTU.

Olesen, J.E. & Jørgensen, U., 2001. En femtedel af Kyoto-aftalen kan klares med energiafgrøder. Dansk Bioenergi 56, 14-16.

Perlack, R.D, Wrigtht , L.L., Turhollow, A.F., Graham, R.L., Stokes, B.J. & Erbach, D.C., 2005. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply. U.S. Departments of Energy and Agriculture.

Petersen, M., 2006. Skive kommune bygger næsten CO_2 frit rådhus. Plantekongres 2006, 380.

Petersen, S.O. & Olesen, J.E. 2005. Betydning af gødningshåndtering for emission af lattergas. DJF Rapport Markbrug nr. 113, 41-51.

Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. & Sommer, S.G. 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning - normtal 2000. DJF-rapport nr. 36, 152 pp.

Regeringen, 2005. Energistrategi 2025 - Perspektiver frem mod 2025 og oplæg til handlingsplan for den fremtidige el-infrastruktur.

Rey, E., Lu, Z., Gallawa, P., Salameh, R., Theodoris, G. & Good, A., 2004. Engineering nitrogen use efficiency in crop plants. N2004 abstracts, 107-108.

Schjønning, P., 2004. Langtidseffekter af halmnedmuldning. Grøn Viden Markbrug nr. 295.

Schou., J.S., Kronvang, B., Birr-Pedersen, K., Jensen, P.L., Rubæk, G.H., Jørgensen, U. & Jacobsen, B., 2007. Virkemidler til realisering af målene i EU's Vandrammedirektiv. Faglig rapport fra DMU 625, 132 pp.

von Sivers, M. & Zacchi, G. 1993. Ethanol from wood – a techno-economical evaluation of the enzymatic hydrolysis process. Kemisk Apparatteknik. Lunds Tekniska Högskola.

Skøtt, T., 2005a. 42 biogasanlæg kan dække behovet. Dansk Bioenergi 84, 28-29.

Skøtt, T., 2005b. Svag tilbagegang for fællesanlæggene. Dansk Bioenergi 84, 24-25.

Skøtt, T., 2005c. Mens vi venter på regeringen. Dansk Bioenergi 83, 30-31.

Skøtt, T., 2006a. Fremtidens stokerfyr. Dansk Bioenergi 85, 21.

Skøtt, T., 2006b. Europas største forgasningsanlæg. Dansk Bioenergi nr. 85, 14-15.

Skøtt, T., 2007. Fokus på forgasning af biomasse. Forskning i Bioenergi nr. 20, 1-2.

Sommer, S. G. & Møller, H. B. 2006. Gylle - energi og gødning. Dansk Avls Nyt. April 2006. s. 6-8

Sommer, S.G., Petersen, S.O. & Møller, H.B. 2002. A new model for calculating the reduction in greenhouse gas emissions through anaerobic co-digestion of manure and organic waste. DIAS Report, Plant Production no. 81, 54-63.

Sommer, S.G., Petersen, S.O. & Møller, H.B. 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 69, 143-154.

Stoholm, P. 2005. Afbrænding eller forgasning. Forskning i Bioenergi nr. 11, 6-7.

Sørensen, P & Birkmose, T. 2002. Kvælstofudvaskning efter gødskning med afgasset gylle. Grøn Viden Markbrug 266.
Tafdrup, S. 2006. Biogasanlæg alene med gylle. Dansk BioEnergi 85, 26-28.
Teknologirådet 2004. Energikatalog – teknologier der udnytter vedvarende energi.
Thalbitzer, F., 2006. Rapsarealet kan fordobles i Danmark. Mark, Januar 2006, 10-13.
Thomsen, A.B. & Ahring, B.K. 2001. Nyt bioethanol koncept i Danmark. Skriftlig indlæg til høring i Energipolitisk Udvalg d. 2. maj 2001.
Transport- og Energiministeren, 2006. Energipolitisk redegørelse 2006.
Transport- og Energiministeriet, 2007. 5 ¾ pct. biobrændstoffer til transport fra 2010. Pressemeddelelse af 9. juli, www.trm.dk.
U.S. Environmental Protection Agency, 2002. A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions.
Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1993. Beregning af brændværdi ved forskellige vandindhold. Videnblad nr. 69.

RESUME

Når man skal vurdere potentialet i bioenergi skal der tages højde for komplekse samspil mellem biomasseproduktion, konverteringsteknologi og anvendelse af restprodukter. Denne rapport gennemgår 8 forskellige bioenergiteknologier – deres fordele og ulemper, råvarekrav m.m. Desuden diskuteres hvordan man bedst kombinerer landbrugs- og bioenergiproduktion, således at der kan opnås afledte miljøgevinster og en reel drivhusgasfortrængning.

Der er endvidere gennemført et scenario for, hvor meget bioenergi dansk landbrug kan levere. Beregningerne er baseret på en række databaser for arealanvendelse, husdyrbestand m.m., og er beregnet vha. GIS, således at bioenergipotentialet i et givet opland i Danmark kan beregnes. Det vil også være muligt i nye scenarioer at ændre forudsætningerne for afgrødevalg m.m.

En analyse for Region Midtjylland og for hele landet viste en udnyttelse af bioenergi fra landbruget på i dag ca. 7 PJ i Region Midtjylland og på ca. 24 PJ i hele landet, hvilket ifølge scenarioet kan øges til henholdsvis ca. 34 og 115 PJ svarende til næsten 5 gange større biomasseudnyttelse. Landbruget i Region Midtjylland kan således alene levere mere biomasse til energi, end det samlede danske landbrug leverer i dag.

MARKBRUG **HAVEBRUG** **HUSDYRBRUG**



Publikationen Grøn Viden udgives af Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF) ved Aarhus Universitet og udkommer i en have-, mark- og en husdyrbrugserie.
Læs mere om publikationerne på vores hjemmeside www.agrsci.au.dk