

Technical University of Denmark



Opgørelse af den danske biomasseressource til brug for fremstilling af biobrændstoffer til transportsektoren frem mod 2020

Blume, Steffen; Hauggaard-Nielsen, Henrik; Jensen, Erik Steen

Publication date:
2008

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Blume, S., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. S. (2008). Opgørelse af den danske biomasseressource til brug for fremstilling af biobrændstoffer til transportsektoren frem mod 2020. Roskilde: Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. (Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R; Nr. 1665(DA)).

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Opgørelse af den danske biomasse- ressource til brug for fremstilling af biobrændstoffer til transportsektoren frem mod 2020

Steffen Bertelsen Blume
Henrik Hauggaard-Nielsen
Erik Steen Jensen



Risø-R-1665(DA)

Forfatter: Steffen Blume, Henrik Hauggaard-Nielsen og Erik Steen Jensen

Titel: Opgørelse af den danske biomasseressource til brug for fremstilling af biobrændstoffer til transportsektoren frem mod 2020.

Afdeling: Program for Bioenergi og Biomasse

Sammendrag:

Landbrugssektoren vil komme til at spille en stadig større rolle for forsyning af samfundet med biobaserede produkter, og herunder biobrændstoffer som bioethanol og biodiesel. Men det er nødvendigt at identificere danske styrkepositioner og ressourcer for at give landbrugssektoren mulighed for at agere proaktivt og drage nytte af dette vækstområde. Af rapporten fremgår det, at der fra land- og skovbrug, samt følgeindustrier, er store muligheder for at levere biomasse til biobrændstofproduktion uden at det vil være på bekostning af fødevareproduktionen. Med rapportens antagelser for konverterbarhed, og betydelige usikkerheder på mængder og herunder udbyttepotentialer, viser beregninger at sektoren kan tilføre transportsektoren biobrændstoffer svarende til ca. 30 % af nuværende benzinformbrug, hvis vi benytter den ikke-bjergede halmressource. Ca. 10 % hvis vi benytter træbrændselsressourcen og ca. 6 % hvis vi benytter andre mere affaldsorienterede biomasseressourcer. Fiske- og slagteriaffald vil kunne dække ca. 9 % af det nuværende dieselforbrug. Øget afsætning af bioressourcer til energiformål skal betragtes som en del af den øvrige drift, og herunder politiske reguleringer som ex. EUs Natura 2000 direktiver. Forskellige afgrøders øvrige funktioner som fx. grundvandsbeskyttelse, biodiversitet, effekt på jordens frugtbarhed og herunder kulstoflagring skal tages med i vurderingen af relevante ressourcer. Der er ligeledes en række ressourcer, der i dag betragtes som affald, men som i fremtiden bør værdisættes højere.

Abstract

The agricultural sector will have an increasing role to play according to society needs for biobased products, including biofuels. However, it is necessary to point out national positions of strength in order to act proactive and gain the benefits for this growing market. It is clear from this report that both agriculture and forestry, and connected industries, have great possibilities to deliver biomass resources without decreasing the current food production. From the calculations in this report, including several assumptions concerning convertibility and uncertainties about yield potentials comparing, the sector can provide up to 30 % of the existing fossil fuel consumption in the transportation sector using cereal straw. Approximately, 10 % if the wood resources are utilized and about 6 % using more waste based biomasses. Fish and slaughterhouse waste can cover up to about 9 % of the present diesel consumption. However, increased sale of bioresources for bioenergy purposes require that this resource is validated as a part of the whole farm or forestry system including political regulations like for instance the EU Natura 2000 directives. Different crops have additional functions/effects like groundwater protection, biodiversity, soil fertility (including carbon sequestration) which needs to be included when validating such biomass crops. Furthermore, several biomass resources which are regarded as waste at present represent a much higher value, and needs to be addressed in such perspective.

Risø-R-1665(DA)
November 2008

ISSN 0106-2840
ISBN 978-87-550-3713-7

Kontrakt nr.:

Gruppens reg. nr.:
PSP 10081

Sponsorship:
Engestofte og Søholt Fonden

Forside:
Illustrationen udarbejdet til Konferencen "Biomasse og lokal energi-produktion - nu skal vi i gang, men hvordan?" afholdt 30. april 2008 på Risø DTU. Konferencen blev planlagt i tæt samarbejde med Risø DTU (Engestofte og Søholt Fonden), DS Håndværk og Industri (www.ds-net.dk) og VE-Net (www.ve-net.eu)

Sider: 60
Tabeller:
Referencer:

Afdelingen for Informationsservice
Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774004
bibl@risoe.dk
Fax 46774013
www.risoe.dtu.dk

Indhold

1 Indledning 5

- 1.1 Baggrund 5
- 1.2 Formål 8
- 1.3 Afgrænsning 8
- 1.4 Metode 9
 - 1.4.1 Beregning af teoretisk bioethanoludbytte 10

2 Biomasseressourcer fra landbruget 13

- 2.1 Afgrøderessourcen 13
 - 2.1.1 Nuværende anvendelse 16
 - 2.1.2 Afgrødernes biobrændstofpotentiale 18
- 2.2 Husdyrgødningsressourcen 25
- 2.3 Sidestrømme/restprodukter fra landbrugets følgeindustrier 26
 - 2.3.1 Slagteriaffald 27
 - 2.3.2 Restprodukter fra sukkerindustrien 27
 - 2.3.3 Restprodukter fra kartoffelmelsindustrien 28
 - 2.3.4 Restprodukter fra møllerierne 28
 - 2.3.5 Restprodukter fra bryggerierne 28
 - 2.3.6 Restprodukter fra mejerierne 29
- 2.4 Delkonklusion 29

3 Biomasseressourcer fra skovbrug 32

- 3.1 Skovens udbredelse og intensitet 32
- 3.2 Hugstens anvendelse 34
 - 3.2.1 Potentiel træbrændselsressource 34
- 3.3 Biobrændstofpotentiale fra træ 35
- 3.4 Delkonklusion 35

4 Øvrige biomasseressourcer 37

- 4.1 Husholdningsaffald 37
- 4.2 Spildevandsslam 37
- 4.3 Grønmasse fra frugt- og grønsagsproduktionen 38
- 4.4 Fiskeaffald 39
- 4.5 Restprodukter fra pektinindustrien 39
- 4.6 Fritureolie 40
- 4.7 Delkonklusion 40

5 Bæredygtig produktion af afgrøder til biobrændstoffer 43

- 5.1 Dieselforbrug 43
- 5.2 Gødningsbehov 44
- 5.3 Pesticidbehov 46
- 5.4 Delkonklusion 46

6 Diskussion 49

- 6.1 Teoretiske potentialer 49
- 6.2 Antagelser 50
- 6.3 Kraftvarme og/eller biobrændstoffer 51
- 6.4 Bioraffinaderi 52

7 Konklusion 53

8 Tak til 55

9 Kilder 56

Forord

Bioenergi betragtes som en af de bedste muligheder for på kort sigt at substituere fossile brændsler og reducere udledning af de menneskeskabte drivhusgasser. Det forventes, at landbrugssektoren vil komme til at spille en stadig større rolle for forsyning af samfundets med biomasseressourcer til disse formål.

Biobrændstoffer, fremstillet ud fra hele eller dele af diverse landbrugsafgrøder og -biprodukter kan være direkte erstatningsprodukter for transportsektorens nuværende forbrug af fossile brændstoffer. Priserne på konventionelle fossile brændstoffer (f.eks. benzin og dieselolie) er op til tredoblet inden for de seneste 4 år. Forsynings-sikkerheden med hensyn til brændstoffer spiller også en stadig større rolle i europæisk og international politik.

Forskellige biomasser til brug for produktion af biobrændstoffer skal integreres i den øvrige landbrugssektors produktion af foder og fødevarer og samtidig skal afsætning til et nyt marked, som bioenergi, ikke forgå med utilsigtede konsekvenser for ex. grundvandsbeskyttelse, jordkvalitet, biodiversitet i det dyrkede land (flora og fauna), landskabelige/rekreative kvaliteter m.fl.

Et andet meget væsentligt spørgsmål er også, i hvilket omfang der forefindes nationale biomasseressourcer til formålet? En opdateret opgørelse af danske biomasseressourcer er nødvendigt for at kunne vurdere potentialet for produktion af biobrændstoffer. Vi mangler viden om udviklingen i størrelsen og tilgængeligheden af biomasseressourcer til biobrændstoffer og andre energiformer, set i lyset af den stigende samfundsinteresse for øget energiforsyningssikkerhed og udvikling af vedvarende energiteknologier i kombination med andre udfordringer for samfundet, fx bedre beskyttelse af vandmiljø og naturarealer.

1 Indledning

I denne rapport beskrives hvorledes danske biomasseressourcer på bæredygtig vis potentielt vil kunne benyttes til fremstilling af biobrændstoffer frem mod 2020.

1.1 Baggrund

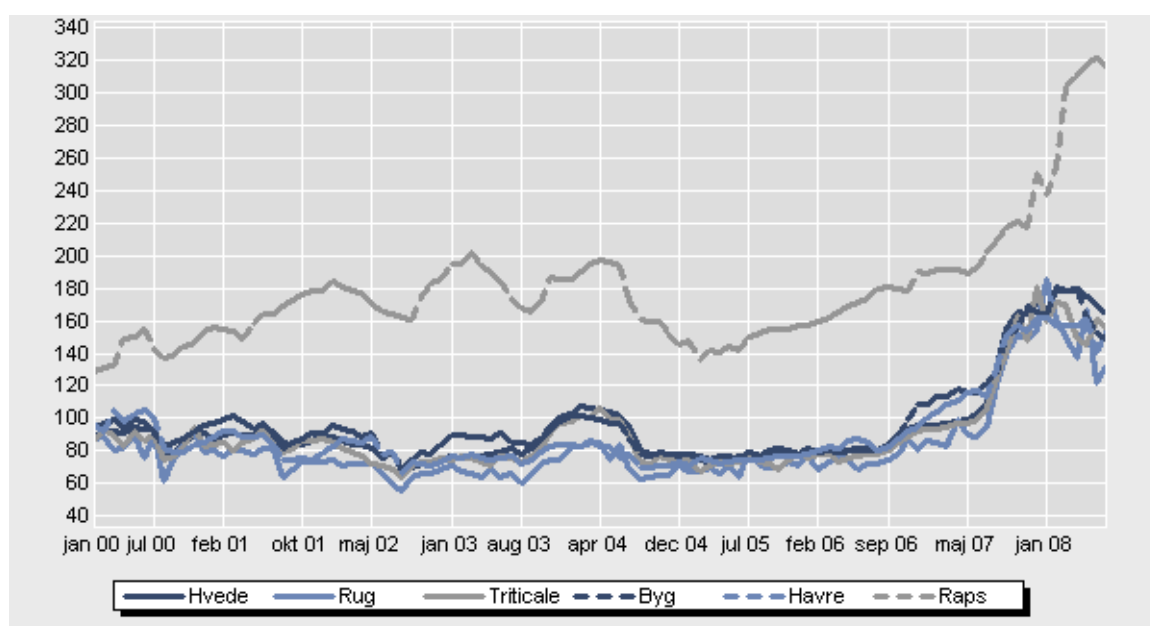
De Forenede Nationers (FN) klimapanel konkluderede i en hovedrapport fra 2007, at menneskeskabte klimaændringer har forårsaget øget udledning af drivhusgasser og stigende globale temperaturer. Især udledning af CO₂ er steget og nævnes som den største bidragsyder til klimaændringerne (IPPC 2007). Transportsektoren er ansvarlig for ca. 21 % af alle udledninger af drivhusgasser i den Europæiske Union (EU). Sektoren er den eneste, som ikke har reduceret udledningen af CO₂, men derimod har øget sit udslip (KOM 2006). I Danmark står transportsektoren for 19 % af CO₂-udledningen, og udledningen her har ligeledes været stigende (Fenger & Hansen 2001).

Det vurderes at der indenfor en kortere tidshorisont primært er to muligheder for at nedbringe CO₂-udledningen fra transportsektoren: i) Den første er at reducere forbruget af transportbrændstoffer ved enten at udskifte de nuværende transportmidler til nogle med et mindre brændstofforbrug, eller ved at begrænse transporten ved fx at lægge større afgifter på brændstofferne. Det er i den forbindelse vigtigt at pointere, at væksten i transportsektoren anses som et naturligt produkt af den øvrige samfundsudvikling, herunder globalisering og øget handel på tværs af landsgrænser/verdensdele. Det betyder, at en reduceret vækst kan få betydning for den generelle samfundsøkonomi. ii) Den anden mulighed for at nedbringe CO₂-udledningen i transportsektoren er at supplere eller erstatte de nuværende brændstoffer med biobrændstoffer, som kan nedsætte CO₂ emissionen (Larsen & Glejtrup 2006; Madsen *et al.* 2007). Biobrændstoffer er brændsler, som kan anvendes i stedet for eller sammenblandet med konventionelle brændstoffer og som fremstilles ved at behandle eller fermentere ikke-fossile biologiske kilder såsom planteolier, sukkerroer, korn og andre afgrøder samt organisk affaldsmateriale.

EU vedtog i år 2003 et biobrændstofdirektiv (EU 2003), som har til formål at fremme biobrændstoffer i transportsektoren. Biobrændstofdirektivet opfordrer medlemslandene til at sikre en minimumsandel af biobrændstoffer. Således skal biobrændstoffer allerede i år 2010 udgøre 5,75 % af alle brændstoffer, som markedsføres til transport (Cox & Chrisochoïdis 2003). På det Europæiske Råd den 8. og 9. marts 2007 vedtog EU's regeringsledere, at minimum 10 % af det samlede forbrug

af benzin og diesel til transport skal udgøres af biobrændstoffer. Dette bliver udmøntet i et nyt direktiv, som ved skrivende stund er under forhandling. Direktivudkastet lægger op til, at målet om 10 % biobrændstoffer skal være bindende, og at biobrændstofferne, for at kunne indgå i regnestykket, skal opfylde visse bæredygtighedskriterier (Com 2008). Biobrændstoffer synes at kunne tjene flere formål, idet de ikke kun er med til at reducere CO₂-udledningen, men også vil øge EU medlemsstaternes selvforsyningsgrad samt etablere en ny industri med muligheder for jobskabelse og øget aktivitet i landdistrikterne.

Imidlertid nævnes biobrændstoffer som en af årsagerne til de stigende råvare- og fødevarerpriser. Især prisen på majs, hvede og raps er steget voldsomt gennem de seneste to år (figur 1.1). Pga. en rekordstor høst i 2008 er priserne dog faldet i mindre grad, men ligger stadig forholdsvist højt. Råvareprisstigningerne påvirker fødevarerpriserne globalt. Værst går det udover befolkninger i tredje verdenslande, bl.a. fordi de benytter en langt højere andel af deres indkomst til fødevarer.



Figur 1.1 Salgspriser for udvalgte afgrøder i kr. pr. 100 kg (Danmarks Statistik 2008)

Ifølge OECD (2008) skyldes de høje fødevarerpriser primært en global underproduktion som følge af dårlig høst. Dertil kommer, at den stigende efterspørgsel for kød hos meget store befolkningsgrupper i bl.a. Kina og Indien er med til at øge efterspørgslen på korn. Korn, der tidligere har været tilgængeligt til fødevarerproduktion, afsættes nu i højere grad som foder til slagtesvinsproduktionen (FOI 2008).

OECD (2008) peger på at biobrændstofproduktionen formentlig på globalt plan kun haft en marginal indflydelse på fødevarerpriserne, men kan få større betydning så-

fremt anvendelsen af korn og majs til bioethanolproduktion øges. I fattige regioner kan biobrændstofproduktion dog være en af hovedårsagerne til fødevarerprisstigninger. De højere fødevarerpriser og frygten for yderligere prisstigninger har fået adskillige organisationer til at sætte spørgsmålstegn ved politikernes velvilje overfor biobrændstoffer. Adskillige kritikere hævder, at biobrændstofproduktion alene er skyld i fødevarerprisstigningerne på globalt plan, og at biobrændstofproduktion er etisk uforsvarligt.

For at undgå ovenstående konflikter forsøges udviklet teknologier til biobrændstoffremstilling, hvor det ikke er nødvendigt at anvende fødevarer som råvare. Eksempelvis kan den såkaldte anden generationsteknologi (2G) konvertere træ, halm og anden biomasse (lignocellulose råmaterialer) til bioethanol uden at det vil påvirke fødevarerforsyningen. Teknologien er stadigvæk under udvikling, men potentialet er der, da biomasse med begrænset eller ingen fødevarer værdi kan danne råvaregrundlaget. Imidlertid kritiseres også 2G-teknologien, da den ikke er ligeså effektiv til at udnytte biomassens totale energiindhold, som andre teknologier i bioenergisektoren som ex. direkte afbrænding til kraft-varmeproduktion. Biobrændstofindustrien vil konkurrere med både kraftvarmesektoren og biogassektoren om samme råvare og formentlig øge prisen på fx halm. Således er også biomasse uden fødevarer værdi en begrænset ressource, hvorfor vi er nødt til at prioritere, hvordan vi anvender den.

Wenzel (2008) anfører, at så længe kraftvarmesektoren er baseret på fossile brændsler, udnyttes rest-biomassen bedst i denne sektor. Hvis transportsektoren vil reducere sit CO₂-bidrag vha. biomasse, sker det ifølge Wenzel (2008) bedst ved først at udnytte biomassen i kraftvarmeverker, for derefter at overføre energi i form af el til elbiler. Biomassen anvendes herved indirekte som drivmiddel i transportsektoren. Andre påpeger det unikke i biomasse til andre formål som grønne kemikalier, biomaterialer mv. og vurderer, at afbrænding af et høj kvalitetsprodukt som biomasse fra dyrkningsarealet ikke kan forsvares. Afbrænding af organisk materiale bør foregå med affaldsressourcer, som vurderes ikke at kunne håndteres/forarbejdes til yderligere merværdiprodukter (Christensen 2008).

Regeringen har med sit nye energiforlig fritaget elbiler for afgifter til og med 2011, hvilket er ment som et incitament for at få bilister til at købe elbiler. Dong forventer, at der vil være 500.000 elbiler på de danske veje inden 2020, og at elbiler vil udgøre mindst 20 % af bilmarkedet (Dong 2008). Men selvom elbilerne i årene fremover viser sig at være en succes og bilkøbere i højere grad vælger elbiler, vurderes det, at der vil gå mange år (omkring 20 år) før den nuværende vognpark vil være skiftet ud med et eller flere alternativer som fx elbiler. Hvis Dongs forudsigelse holder stik vil

der således stadigvæk være mange biler tilbage, som kører på diesel og benzin. Derudover vurderes det, at eldrevne lastbilers kommercielle gennembrud vil tage endnu længere tid. Spørgsmålet er derfor om vi kan tillade os at vente med at reducere CO₂-udledninger indtil alternativer som ex. elbiler har indtaget en betydningsfuld del af den danske vognpark, eller om vi allerede nu bør tage handling ved at benytte biobrændstoffer som har den største effekt på udledningen af drivhusgasser.

1.2 Formål

Denne rapport's formål er at belyse hvilke biomasseressourcer, der vil være tilgængelige for biobrændstofproduktion uden at det vil påvirke fødevareproduktionen. Derudover har rapporten til formål at belyse mulige synergieffekter for skov- og landbrugssektoren ved anvendelse af forskellige biomasser til biobrændstoffer med inddragelse af både natur, miljø og landdistriktsudvikling. Til sidst vil rapporten fremføre konkrete anbefalinger omkring brug af danske biomasseressourcer som bæredygtige energibærere til transportsektoren frem mod 2020.

1.3 Afgrænsning

Den danske biomasseressource afgrænser sig til de ressourcer, som bliver produceret i Danmark. Undtagelsen er de råvarer, som indirekte indeholder betydelige mængder importerede ressourcer via fx foder og gødningsstoffer. I teorien kan alle biomasseressourcer anvendes som råmateriale til biobrændstofproduktion. Alle biomasseressourcer som vurderet til at have en realistisk relevans er tilstræbt beskrevet.

I denne rapport fokuseres kun på biobrændstofferne bioethanol og biodiesel, fordi disse vurderes at være reelt eneste alternativ til fossile transportbrændstoffer på kort sigt (2020). Andre biobrændstoftyper som biogas, methanol, DME, Fisher-Tropschs diesel, syntetisk benzin samt brint produceret på basis af biomasse kan dog komme til at spille en væsentlig rolle i fremtidens transportsektor. Men gennembruddet for disse teknologier vurderes ikke at ske indenfor en kortere årrække, samtidig med at implementering af ny infrastruktur sandsynligvis vil udskyde et egentlig gennembrud. Ligeledes vurderes el som drivmiddel ikke at få en særlig stor markedsandel frem mod 2020, da denne teknologi ligeledes skal videreudvikles bl.a. på batteridelen. Derudover kræves etablering af infrastruktur før el vil være et reelt alternativ som drivmiddel.

Derimod vil både bioethanol og biodiesel kunne substituere/supplere fossile transportbrændstoffer allerede i dag, idet disse biobrændstoffer i en vis grad kan benyttes i eksisterende vognpark. Denne antagelse indskrænker imidlertid råvaregrundlaget, idet ikke alle biomasseressourcer egner sig til bioethanol- eller biodieselproduktion. En betydelig ressource som husdyrgødning vil dog blive opgjort, grundet ressource-

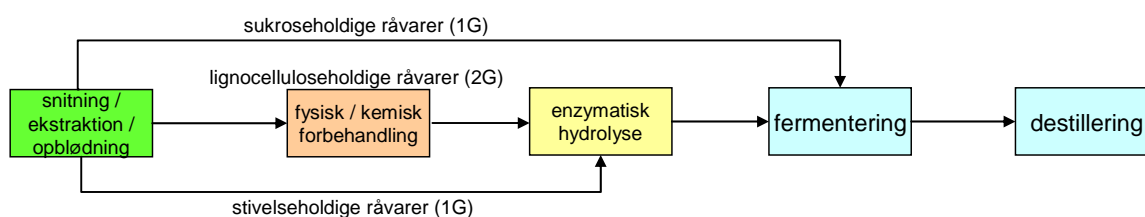
cens størrelse samt dets egnethed til biogas. Selvom biogas i denne rapport vurderes ikke at være et egnet transportdrivmiddel, frem mod 2020, kan det ikke udelukkes at teknologiske fremspring gør det muligt at anvende biogassen i transportsektoren (såvel som i naturgasnettet). Algeressourcen udelades dog, idet kvantitative estimater er vanskelige at foretages, samtidig med at kendskabet til alger som råvarer til biobrændstofproduktion på nuværende tidspunkt er forholdsvis begrænset.

1.4 Metode

Opgørelserne i denne rapport baseres på generelle offentlige data herunder data fra Danmarks Statistik, Dansk Landbrug. Imidlertid foreligger der ikke data for en del biomasseressourcer, hvor det så har været nødvendigt at estimere ressourcerne ud fra grønne regnskaber, virksomhedsoplysninger, oplysninger fra brancheorganisationer samt udtalelser fra fagkyndige personer.

Selvom det fra teknologiens side er mest relevant at angive biomasseressourcer i tørstofmængder og tørstofudbytter, er der i denne rapport valgt forskellige angivelser, idet friskvægt kan være en væsentlig faktor i forhold til transport og opbevaring af biomassen. Ved de senere beregninger af biobrændstofpotentialer er der taget højde for hhv. tør- og friskvægt.

Biobrændstofpotentialer beregnes på baggrund af aktuelle estimater på konvertering og teoretiske beregninger. Der skelnes mellem konvertering til biodiesel, som er en fuldt udviklet teknologi, og konvertering til bioethanol, hvor teknologien kun er delvist udviklet. Konvertering af bioethanol kan således deles op i førstegenerationsteknologi (1G), som er fuldt udviklet og kører på kommercielt plan i bl.a. Brasilien og USA, og andengenerationsteknologi (2G), som først skal videreudvikles primært ved opskalering fra demonstrationsanlæg til kommercielle anlæg.



Figur 1.2 Skematisk oversigt over konverteringsteknologier til bioethanol. Sukroholdige råvarer (fx sukkerroer) kan fermenteres direkte til ethanol, hvorimod stivelseholdige råvarer (fx hvedekerne) kræver tilsætning af enzymer (førstegenerations(1G)-teknologi). Konvertering af lignocelluloseholdige råvarer (fx halm) kræver alle fem processer, dvs. også fysisk/kemisk forbehandling (andengenerations(2G)-teknologi).

Valg af teknologi afgøres af råvarernes kulhydratsammensætning, som er meget varierende. Hvor 1G-teknologien kun kan konvertere typiske fødevareressourcer som majs- og hvedekerner, kan 2G-teknologien konvertere overskudsressourcer som halm, roetop,

græs, men også træ og en række restprodukter (figur 1.2). Det er derfor råvaregrundlaget der afgør hvilken konverteringsteknologi, der er bedst egnet.

Biodieseludbyttet er baseret på faktiske konverteringsudbytter, dvs. udbytter der er opnåelige med tilstedeværende teknologi. Derimod er bioethanoludbyttet baseret delvist på estimerede værdier fra laboratorium og demonstrationsanlæg, samt det potentielt teoretiske udbytte af C5-sukker fermentering (se afsnit 1.4.1.3). Det vil således kun i få tilfælde være muligt at opnå de angivne bioethanoludbytter med nuværende teknologi, men ved videreudvikling af 2G teknologien forventes det, at der indenfor en kortere tids-horizont vil ske en tilnærmelse til de angivne udbytter. Denne antagelse beror på et ønske om at sætte fokus på de forskellige tilgængelige biomassetyper som det primære. Metoden til beregning af teoretisk opnåelige bioethanoludbytter beskrives i det følgende.

1.4.1 Beregning af teoretisk bioethanoludbytte

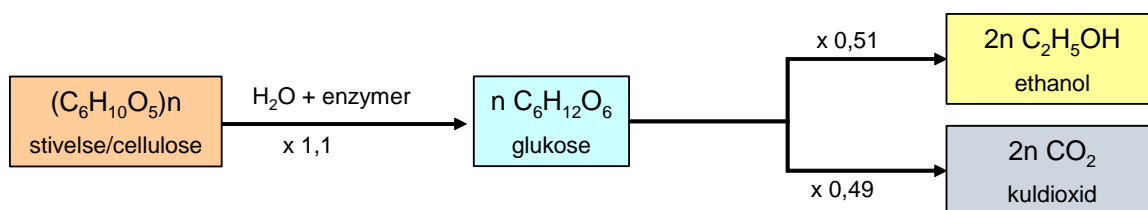
Biomassens indhold af kulhydrater er afgørende for at kunne beregne et teoretisk muligt bioethanoludbytte. Det er især kulhydraterne sukrose, stivelse, cellulose og hemicellulose, som danner grundlag for beregninger af teoretisk opnåeligt bioethanoludbytte.

1.4.1.1 Sukrose

Sukroseindholdet i råmaterialer angiver indholdet af sukker. Et sukrose molekyle består af et glukosemolekyle og et fruktosemolekyle. Ved konvertering af sukrose til ethanol spaltes glukose- og fruktosemolekylerne fra hinanden, hvorved der optages vand. Derfor skal sukroseandelen ganges med 1,05 ved beregning af glukoseindholdet. Herefter ganges med 0,51, som er gærens maksimale ydeevne ved fermentering til ethanol (Thomsen *et al.* 2003).

1.4.1.2 Stivelse

Også stivelse skal omdannes til glukose før det kan fermenteres til ethanol. Stivelse optager ligeledes vand (hydrolyse) ved omdannelse til glukose (figur 1.3).



Figur 1.3 Ved hydrolyse af stivelse og cellulose samt tilsætning af enzymer dannes glukose. Herefter fermenteres glukosen, hvilket resulterer i ethanol og kuldioxid (mod. e. Thomsen *et al.* 2003).

For at beregne glukoseindholdet skal stivelsesindholdet ganges med 1,1, fordi vandoptagelsen ved hydrolyse af cellulose er lidt større end vandoptagelsen ved hydrolyse af sukrose. Herefter ganges der tilsvarende sukroseberegningerne med 0,51 for gærens maksimale ydeevne (Thomsen *et al.* 2003).

1.4.1.3 Lignocellulose

Lignocellulose består af cellulose, hemicellulose samt lignin. Sidstnævnte kan ikke konverteres til ethanol, men vil efter konvertering af de to førstnævnte være et biprodukt, som har stor brændværdi (Thomsen *et al.* 2007). Cellulose er ligesom stivelse et C₆-sukker og det teoretiske bioethanoludbytte fra cellulose beregnes derfor på samme måde som ethanoludbyttet fra stivelse (figur 1.3). Hemicellulose derimod består bl.a. af xylose og arabinose, som er C₅-sukre. Ved hydrolyse skal hemicelluloseindholdet ganges med 1,136, fordi vandoptagelsen er større ved hydrolyse af hemicellulose i forhold til hydrolyse af sukrose og cellulose (hhv. afsnit 1.4.1.1 og 1.4.1.2). Herefter ganges som tidligere med 0,51 (gærs ydeevne), selvom gæring med denne ydelsesevne endnu kun er muligt i teorien for C₅-sukre grundet mangel på relevante mikroorganismer. Der er endnu ikke fundet eller udviklet en mikroorganisme, som kan konvertere xylose og arabinose med tilfredsstillende udbytter til følge. Dette er en af de væsentligste problemstillinger i 2G-teknologien (Hahn-Hägerdal *et al.* 2007; Thomsen *et al.* 2007). Med stor international fokus på forskning indenfor C₅ fermentering forventes denne problemstilling at være løst indenfor de kommende fem år. I denne rapport udregnes derfor som udgangspunkt det totale teoretiske bioethanoludbytte, for derved også at kunne tydeliggøre de forskellige biologiske ressourcers potentiale (refleksion heraf i afsnit 6).

1.4.1.4 Eksempel på beregning af teoretisk bioethanoludbytte

Et teoretisk bioethanoludbytte for en given afgrøde kan variere meget afhængigt af hvilke forudsætninger beregningerne baseres på. Der er således mange variable i disse beregninger, hvormed usikkerheden tilsvarende øges. Således bør alle teoretiske ethanoludbytter i denne rapport tages med forbehold, idet variationen i datagrundlaget kan være stor. Derfor gives et eksempel på beregning af teoretisk opnåelig ethanoludbytte, for både at vise metoden, men også at anskueliggøre usikkerheden.

Vinterhvede kan deles op i kerner og halm, der hver især kan konverteres til ethanol. Indholdet af kulhydrater af begge råvarer skal bruges for at beregne det teoretiske ethanoludbytte:

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| Hvedekernes indhold af sukrose | 11 g/kg tørstof |
| Hvedekernes indhold af stivelse | 618-705 g/kg tørstof |
| Hvedekernes indhold af cellulose | 20 g/kg tørstof |

Hvedekerners indhold af hemicellulose 61 g/kg tørstof

Da indholdet af kulhydrater kan variere tages der som regel udgangspunkt i middelværdien. Det teoretiske ethanoludbytte fra sukrose beregnes som (se afsnit 1.4.1.1):

$$11\text{g/kg} \times 1,05 \times 0,51 = 5,9 \text{ g/kg}$$

Herefter beregnes det teoretiske ethanoludbytte fra stivelse (se afsnit 1.4.1.2):

$$(618\text{g/kg} + 705\text{g/kg})/2 \times 1,1 \times 0,51 = 371 \text{ g/kg}$$

Teoretisk ethanoludbytte fra cellulose (se afsnit 1.4.1.3):

$$20\text{g/kg} \times 1,1 \times 0,51 = 11,2 \text{ g/kg}$$

Teoretisk ethanoludbytte fra hemicellulose (se afsnit 1.4.1.4):

$$61 \times 1,136 \times 0,51 = 35,3 \text{ g/kg}$$

$$\text{Total ethanolpotentiale fra hvedekerne} = 423,4 \text{ g/kg}$$

Hvedehalmens indhold af cellulose 250-300 g/kg tørstof

Hvedekerners indhold af hemicellulose 210-355 g/kg tørstof

Der tages igen udgangspunkt i middelværdierne. Teoretisk cellulose ethanoludbytte (afsnit 1.4.1.3):

$$(250\text{g/kg} + 300\text{g/kg})/2 \times 1,1 \times 0,51 = 154 \text{ g/kg}$$

Teoretisk ethanoludbytte fra hemicellulose (afsnit 1.4.1.4):

$$(210\text{g/kg} + 355\text{g/kg})/2 \times 1,136 \times 0,51 = 164 \text{ g/kg}$$

$$\text{Total ethanolpotentiale fra hvedehalm} = 318 \text{ g/kg}$$

Herefter er det muligt at beregne bioethanolpotentialet for vinterhvede per arealenhed. Der tages udgangspunkt i gennemsnitsudbytter fra Danmarks Statistik:

Kerneudbytte fra vinterhvede: 59,8 hkg/ha

Halmudbytte fra vinterhvede: 38,7 hkg/ha

Nu kan et gennemsnitligt ethanoludbytte per ha beregnes:

Kerner: $59,8 \text{ hkg/ha} \times 423,4 \text{ g/kg} = 2532 \text{ kg/ha}$

halm: $38,7 \text{ hkg/ha} \times 318 \text{ g/kg} = 1231 \text{ kg/ha}$

Total ethanolpotentiale fra hvede (1G+2G) = 3763 kg/ha

2 Biomasseressourcer fra landbruget

Biomasse fra landbruget kan være mange ting, idet begrebet dækker over både vegetabiliske og animalske primærprodukter samt de heraf afledte spildprodukter. I det følgende beskrives landbrugets biomasseressourcer samt tilgængeligheden heraf.

2.1 Afgrøderessourcen

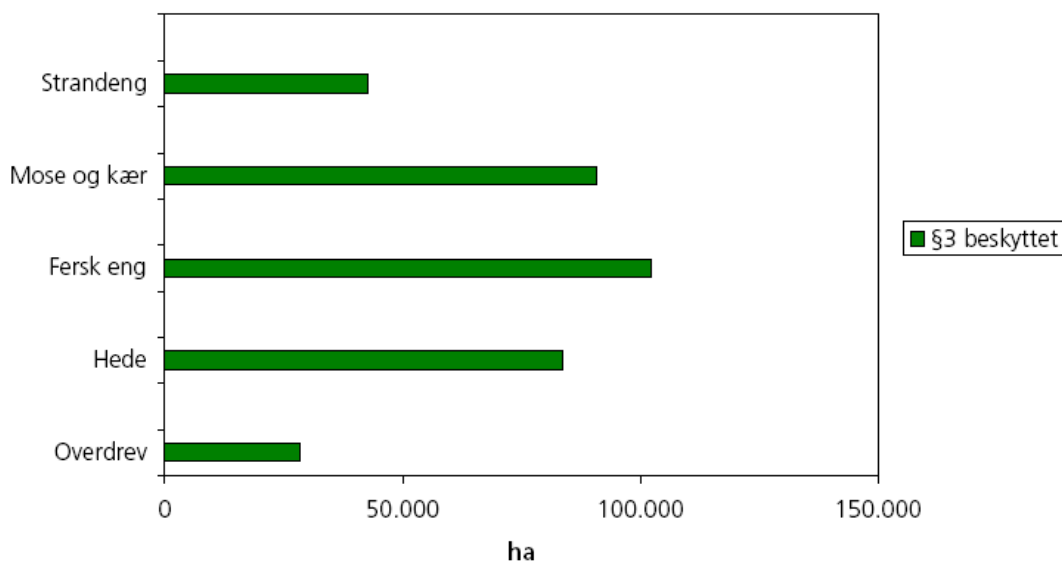
Den største biomasseressource i Danmark er afgrøderessourcen, som derfor også regnes for det væsentligste råmateriale på kort sigt til en eventuel biobrændstofindustri. Danmarks areal udgør 4,3 mio. ha (43.094 km²), hvoraf ca. 63 % svarende til 2,7 mio. ha er dyrket areal (Danmarks Statistik 2007). Det svarer til 0,5 ha landbrugsjord per indbygger i forhold til befolkningstætheden, hvilket er relativt højt i forhold til andre lande både inden- og udenfor EU.

Tablet 2.1 Afgrødesammensætningen i Danmark for 2007 (mod.e. Danmarks Statistik 2008a)

| Afgrødeart | Areal (ha) | I procent (%) |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|
| Korn | | 51,1 |
| Vårbyg | 457.408 | |
| Vinterbyg | 168.824 | |
| Vårhvede | 7.906 | |
| Vinterhvede | 683.764 | |
| Havre | 55.563 | |
| Rug | 30.047 | |
| Triticale + andre kornarter | 41.646 | |
| Industrifrø | | 6,4 |
| Vårraps | 1.030 | |
| Vinterraps | 178.812 | |
| Frø til udsæd | 87.262 | |
| Anden industrifrø | 172 | |
| Bælgsæd | | 0,2 |
| Ærter + anden bælgæd | 5.639 | |
| Rodfrugter | | 3,0 |
| Kartofler | 41.224 | |
| Sukkerroer + foderroer | 43.120 | |
| Grovfoder | | 16,7 |
| Græs + Kløver i omdrift | 262.429 | |
| Silomajs | 144.869 | |
| Korn og bælgæd til ensilering | 60.379 | |
| Lucerne | 3.682 | |
| Arealer uden for omdrift | | 13,5 |
| Permanent græs | 196.300 | |
| Braklagt eller udtaget areal | 184.449 | |
| I alt | 2.826.353 | |

På trods af Danmark har et stort landbrugsareal i forhold til indbyggertal bliver dyrkningsarealet forvaltet forholdsvis intensivt, hvilket skyldes eksporten af især svinekød. Husdyrproduktionen har således gennem mange år haft stor påvirkning på afgrødesammensætningen, idet over 73 % af landbrugsarealet anvendes til foderproduktion (Danmarks Statistik 2007). Som det fremgår af tabel 2.1 udgjorde kornafgrøder i år 2007 mere end halvdelen af dyrkningsarealet, hvorimod industrifrø herunder raps kun udgjorde omkring 6 % af arealet. Bælgsæd og rodfrugter udgør kun en mindre del af landbrugsarealet hvorimod grovfoder næsten udgør 1/6 af arealet (Danmarks Statistik 2008a). Af arealer uden for omdrift forventes brakarealet, som i 2007 var på 184.450 ha, at blive reduceret som følge af EU's ophævelse af brakordningen. En foreløbig opgørelse viser således, at ca. 50 % af brakarealet igen er taget i omdrift (DFFE 2008). Til gengæld forventes også en ekstensivering af arealer i omdrift som følge af Vandrammedirektivet. Forventningerne er, at ca. 75.000 ha skal udtages eller ekstensiveres (Eckholdt 2008).

Selvom arealet med permanent græs er angivet til kun at være 196.300 ha (tabel 2.1), forventes den reelle størrelse at være større. Men pga. arealernes beskaffenhed anvendes ikke alle til landbrugsformål og bliver således ikke indberettet til Direktoratet for Fødevarerhverv (DFFE). Hovedparten af de ekstensive arealer er omfattet af miljøbeskyttelseslovens (mbl.) § 3, der anfører, at der ikke må ske en ændring i eksisterende drift, dvs. at de som regel ikke må tages i omdrift.

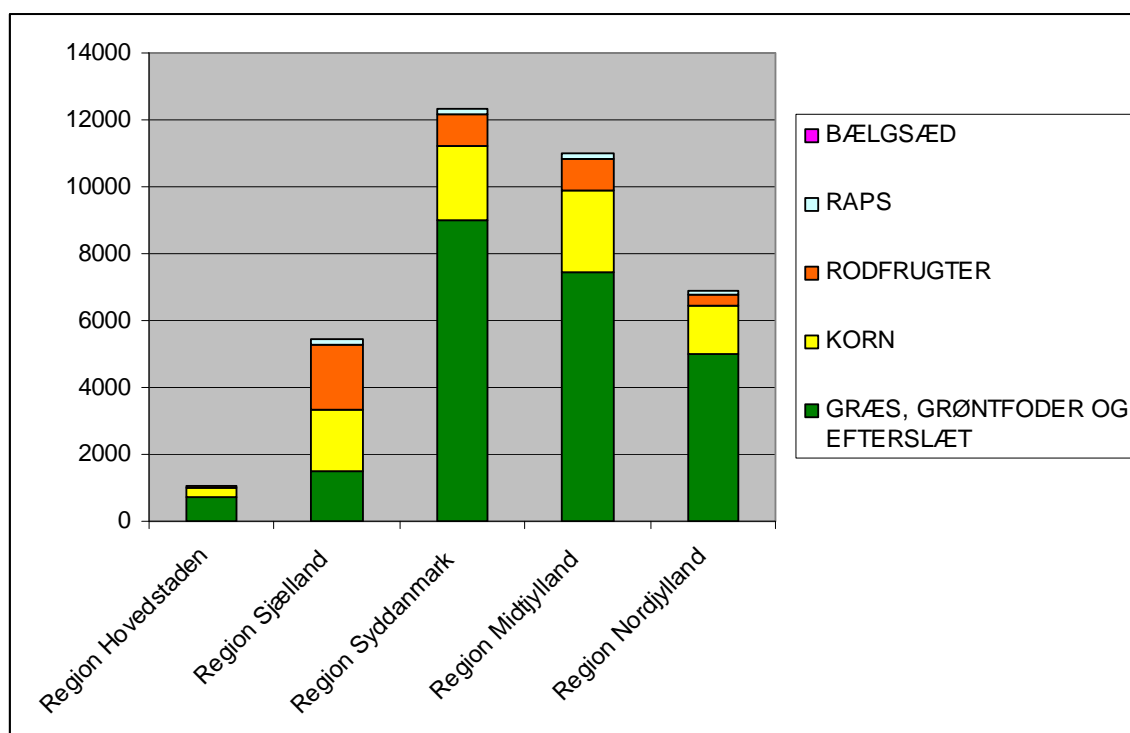


Figur 2.1 Paragraf 3-arealer fordelt på fem naturtyper (Buttenschøn 2007).

Ifølge Buttenschøn (2007) udgør § 3-arealer i alt ca. 343.000 ha (figur 2.1), hvoraf ca. 300.000 ha kræver ekstensiv drift eller naturpleje. For størstedelen af disse area-

ler er det nødvendigt med græsning eller høslæt for at fjerne så mange næringsstoffer som muligt. Mest ideelt for de fleste arealer er sen høslæt, da tidlig høslæt kan ødelægge ynglekuld og reder samt give en relativ artsfattig vegetation. Derudover vil græsning med husdyr efterlade husdyrgødning, som på en stor del af § 3-arealerne er uønsket. Ulempen ved sen høslæt er, at høets kvalitet er ringere og sjældent kan anvendes som foder (Buttenschøn 2007). Ressourcen fra sen høslæt vil derfor være en potentiel ressource til biobrændstofproduktion. I hvor høj grad det rent praktisk er muligt at tage høslæt fra § 3-arealer er usikkert, fordi ikke alle arealer er farbare eller af en tilstrækkelig stor størrelse. Næsten 100.000 ha er omfattet af miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger (MVJ), der ligger restriktioner på dyrkning af arealer. MVJ-tilsagnet kan fremover kun søges for arealer, der er beliggende i Natura 2000-udpegninger. En del af disse Natura 2000-udpegninger er også omfattet af mbl. § 3, hvorved der sker et vist overlap.

På baggrund af ovenstående antages det, at ca. 100.000 ha ekstensive arealer vil kunne levere biomasse til biobrændstofproduktionen. Biomasseudbyttet vil ikke være særlig højt, således antages det at det gennemsnitlige udbytte for disse arealer er omkring 2 t tørstof/ha. Dette vil medføre et samlet biobrændstofpotentiale på ca. 70 mio. kg bioethanol årligt.



Figur 2.2 Afgrødeproduktionen (eksklusiv afgrøderester) angivet i mio. kg for de fem regioner (Danmarks Statistik 2008). Bælgsæd repræsenterer primært markært, men også en smule hestebønne og lupin. Rodfrugter er kartofler og roer.

På det samlede landbrugsareal (2,7 mio. ha) blev der i 2007 høstet en afgrøderessource på godt 36 mio. ton friskvægt. Afgrøderessourcen er dog meget ulige fordelt idet hovedparten produceres i Vestdanmark dvs. Jylland og Fyn (figur 2.2). Men som det kan aflæses af figur 2.2 er forskellen størst for grovfoderafgrøder, der udgør en langt større del i Vestdanmarks afgrødesammensætning.

Udover halm (fra korn, raps og ært) udgøres afgrøderester også af roetop og kartoffeltop, hvor der dog ikke er lavet nationale opgørelser. Det er derfor nødvendigt at estimere en værdi. Ved et roetopudbytte på ca. 2 ton tørstof/ha og et samlet sukkerroearreal på 43.120 ha fås en samlet roetopressource på ca. 86 mio. kg. Ligeledes kunne det være relevant at estimere kartoffeltopressourcen, men da denne som regel nedvisnes via sprøjtning er ressourcen minimal og medregnes ikke i denne rapport.

Tablet 2.2 Danmarks halmproduktion i 2007 (Danmarks Statistik 2008c)

| Afgrøde | Halmproduktion (mio. kg) |
|-------------------|---------------------------------|
| Vinterhvede | 2465 |
| Vårhvede | 18.7 |
| Rug | 108.2 |
| Triticale | 119.9 |
| Vinterbyg | 470.8 |
| Vårbyg | 1236.6 |
| Havre og blandsæd | 187 |
| Vinterraps | 527.3 |
| Vårraps | 2.4 |
| Markærter | 7.8 |
| I alt | 5143.7 |

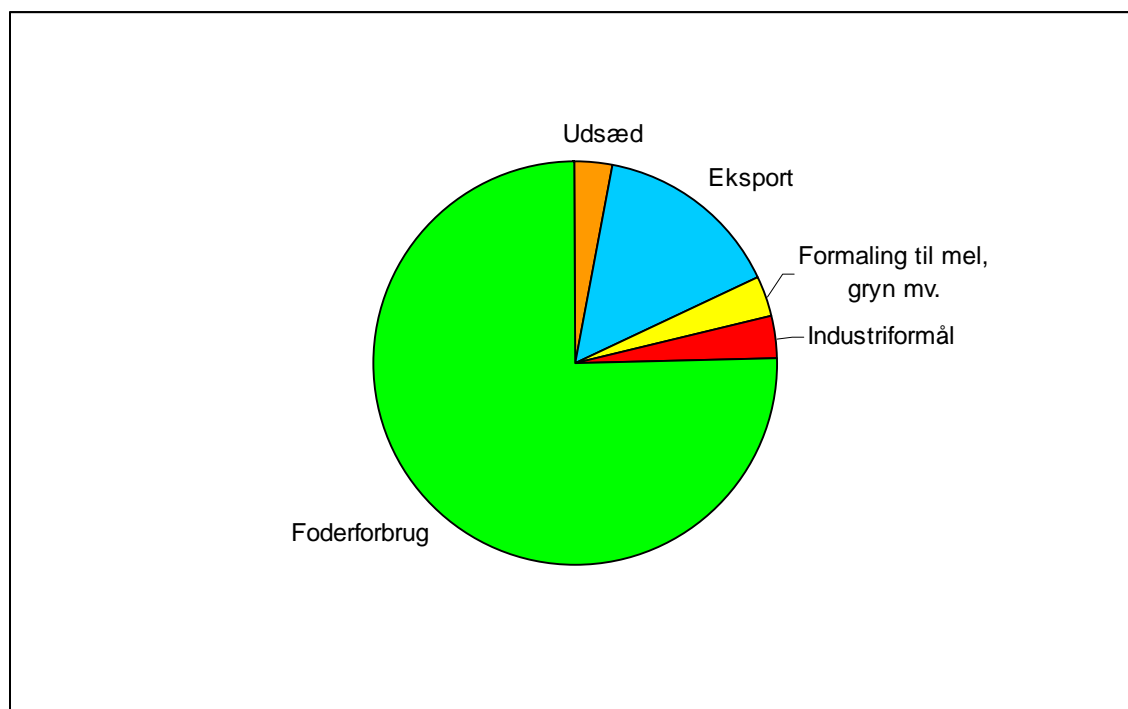
2.1.1 Nuværende anvendelse

Overordnet anvendes den danske afgrøderessource i dag til tre formål: Fødevarer, foder og energi. Derudover bliver en mindre del af afgrøderessourcen eksporteret, hvor især korn og raps udgør den største del. Til gengæld importeres også en del afgrøderessourcer, primært foderafgrøder (Danmarks Statistik 2008b).

Tilgængeligheden af den danske afgrøderessource er styret af markedsmekanismerne, og udbud/efterspørgsel afgør således hvorledes ressourcen anvendes. Selvom det på den baggrund ville være sandsynligt, at anvendelsen varierer fra år til år, har anvendelsen været forholdsvis ens gennem de seneste år. Dette skyldes at størstedelen af det danske dyrkningsareal forvaltes af husdyrproducenter, som typisk tilstræber at producere foder til eget forbrug.

Der foreligger ikke anvendelsesstatistik for alle afgrøder, men da korn er den mest dyrkede og anvendte afgrøde har Danmarks Statistik lavet en opgørelse over korns

anvendelse. Heraf fremgår det, at ca. 14 % af kornproduktionen eksporteres, ca. 76 % anvendes til foder og kun ca. 4 % af kornproduktionen anvendes til fødevarer (figur 2.3; Danmarks Statistik 2008b).

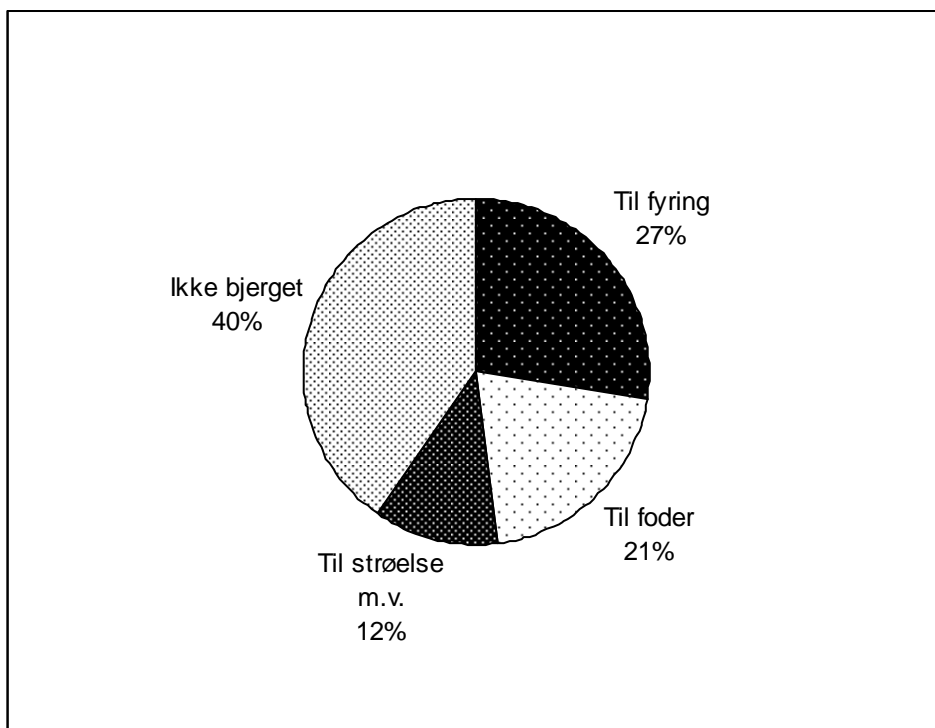


Figur 2.3 Anvendelse af den danske kornproduktion (Danmarks Statistik 2008b).

Også for halm er der lavet anvendelsesstatistik. Den samlede halmressource er på 5,1 mio. ton, hvoraf ca. 40 % ikke er bjærget. De resterende 60 % fordeler sig til fyring, fodring og strøelse (figur 2.4; Danmarks Statistik 2008c).

Af kartoflerne blev ca. 55 % anvendt til melproduktion, ca. 36 % anvendt til konsum og de resterende 9 % anvendtes som læggekartofler. 10 % af sukkerroerne anvendtes i år 2007 som foder, hvor de resterende 90 % blev leveret til sukkerfabrikkerne (Danmarks Statistik 2008a).

Afgrøderne silomajs, helsæd, bælg sæd, lucerne, permanent græs samt græs og kløver i omdrift kan alle betegnes som foderafgrøder, hvormed det kan antages, at størstedelen heraf anvendes som foder.



Figur 2.4 Anvendelse af den danske halmressource (Danmarks Statistik 2008c)

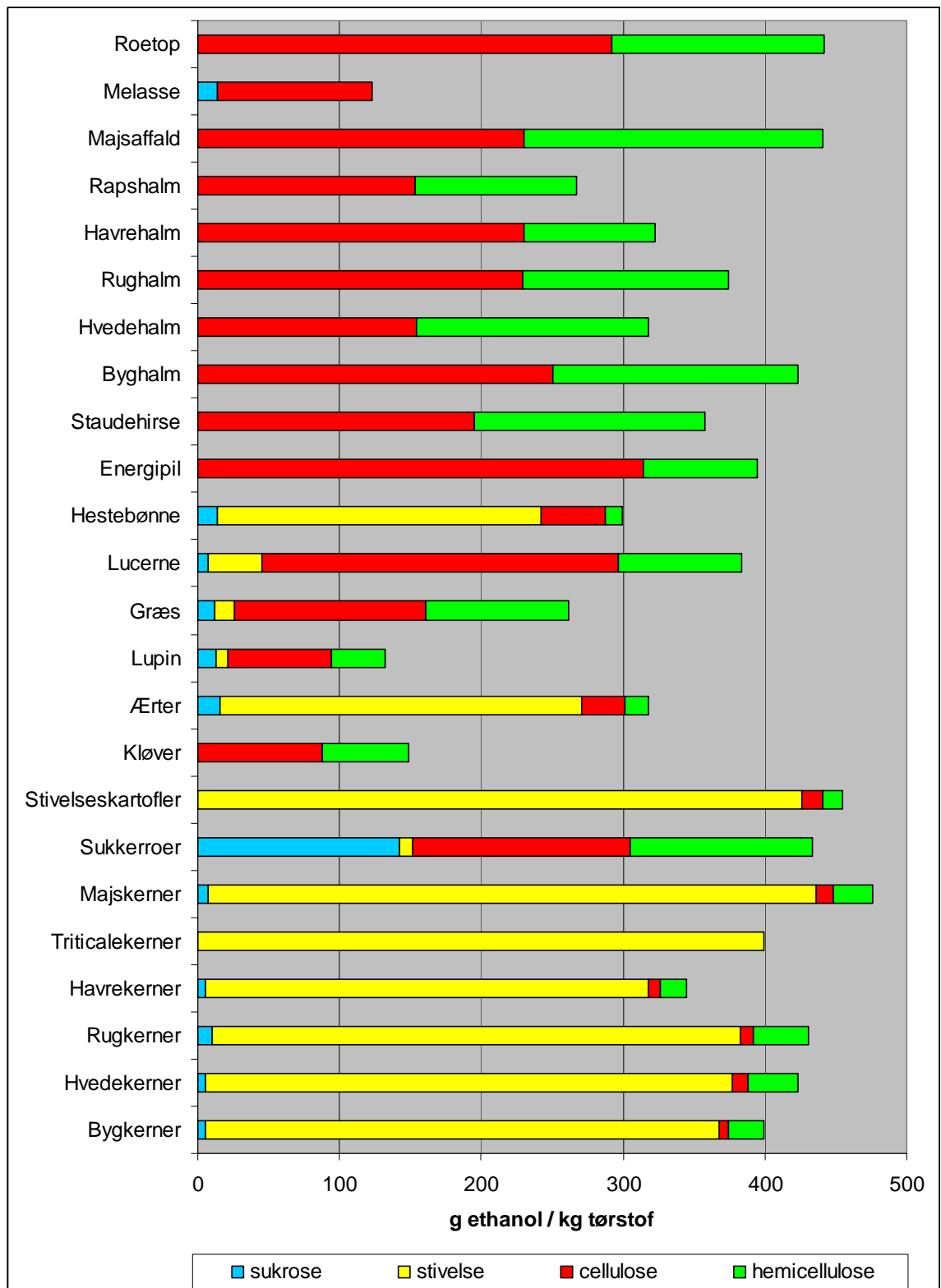
2.1.2 Afgrødernes biobrændstofpotentiale

I princippet vil alle afgrøder og alle former for biomasseressourcer være egnet til biobrændstofproduktion (bioethanolproduktion). De fleste afgrøder indeholder en stor andel kulhydrater (tabel 2.3) hvoraf alle kan konverteres til bioethanol (figur 2.5).

Tabel 2.3 Udvalgte råvarers indhold af kulhydrater (Blume 2008)

| | Sukrose | Stivelse | Cellulose | Hemicellulose |
|-----------------|---------|----------|-----------|---------------|
| Hvedekerne | <1 | 60-70 | 20 | 61 |
| Sukkerroer: rod | 16-27 | 18 | 27 | 22 |
| top | | | 50 | 20 |
| Lucerne | 13 | 7 | 14-45 | 10 |
| Pil | | | 45-56 | 13-14 |
| Hvedehalm | | | 25-30 | 21-36 |

Afgrødebiomassens indhold af kulhydrater er væsentlig i forhold til bioethanoludbyttet per kg tørstof, og vil således også være de karakteristika en biobrændstofindustri vil fokusere på. Men fra landbrugets side vil det være mere væsentligt at se på bioethanoludbyttet per ha for at kunne vælge en profitabel afgrøde. Der kan således være stor forskel på biobrændstofudbyttet (tabel 2.4).



Figur 2.5 Teoretisk opnåelig bioethanoludbytte for udvalgte afgrødebiomasser bestemt ud fra sukrose-, stivelse-, cellulose- og hemicelluloseindholdet (egne beregninger, se afsnit 1.4.1)

Tabel 2.4 Afgrødeudbytter samt teoretisk opnåelige biobrændstofudbytter per hektar. Under kategorien afgrødeudbytte betegner friskvægt den primære part af afgrøden (fx kerne) inkl. vandindhold, tørstof betegner friskvægt ekskl. vandindhold, og afgrøderester betegner den resterende del af planten (fx halm). Biobrændstofudbyttet er angivet i både kg/ha og L/ha, hvor førstnævnte er beregnet for både den primære afgrødedel og for afgrøderesten, hvorimod sidstnævnte er beregnet for hele afgrøden, men opdelt i bioethanol og bioethanol. ND = ikke bestemt (not determined)

| Afgrødeart | Afgrødeudbytte (hkg/ha) | | | Biobrændstofudbytte (kg/ha) | | Biobrændstofudbytte afgrøde + rest (L/ha) | |
|-------------|-------------------------|---------|-------------|-----------------------------|-------------|---|-----------|
| | friskvægt | tørstof | afgrøderest | afgrøde | afgrøderest | Bioethanol | Biodiesel |
| Vårbyg | 45,5 | 38,7 | 25,0 | 1.543 | 1.058 | 3.292 | |
| Vinterbyg | 56,5 | 48,0 | 31,1 | 1.916 | 1.316 | 4.091 | |
| Vårhvede | 36,2 | 30,8 | 18,2 | 1.378 | 681 | 2.607 | |
| Vinterhvede | 70,4 | 59,8 | 38,7 | 2.532 | 1.231 | 5.126 | |
| Rug | 47,3 | 40,2 | 37,9 | 1.733 | 1.417 | 3.988 | |
| Triticale | 49,3 | 41,9 | 39,4 | 1.672 | 1.474 | 3.982 | |
| Havre | 39,5 | 33,6 | 23,7 | 1.158 | 766 | 2.435 | |
| Majs | 110,0 | 93,5 | 35,0 | 4.451 | 1.544 | 7.587 | |
| Vårraps | 18,7 | 18,7 | 16,8 | 748 | 449 | 568 | 850 |
| Vinterraps | 34,9 | 34,9 | 31,4 | 1.396 | 838 | 1.061 | 1.586 |
| Sukkerroer | 559,0 | 122,9 | 72,0 | 5.326 | ND | 6.741 | |
| Kartofler | 397,0 | 99,2 | - | 4.513 | - | 5.786 | |
| Bælgsæd | 31,0 | 26,7 | 15,7 | 848 | ND | 1.073 | |
| Lucerne | 507,0 | 140,0 | | 5.376 | | 6.805 | |
| Græs | 429,0 | 130,0 | | 3.406 | | 4.311 | |
| Pil | | 100,0 | | 3.950 | | 5.000 | |

Ved udelukkende at se på biobrændstofudbyttepotentialet vil afgrøder som majs, sukkerroer og lucerne være de mest lovende, idet disse afgrøder teoretisk set vil medføre mere end 6000 L bioethanol per hektar. Det skal dog nævnes, at teknologien endnu ikke er færdigudviklet, og det derfor kræver videreudvikling før de ovennævnte udbyttepotentialer vil kunne opnås. Samtidig kræver frembringelse af fx majs og sukkerroer betydelige energiinputs i form af mekanisering, gødningstilførsel mv. hvilket principielt bør trækkes fra biobrændstofudbyttet således det bliver muligt at fremstille mere nettobaserede beregninger.

Adskillige faktorer gør, at kun en brøkdel af den danske afgrøderessource anvendes til biobrændstofproduktion: i) Prisen. Grundet stor efterspørgsel på afgrøder til både fødevarer og foder er afgrøder under nuværende forudsætninger ikke økonomisk rentable råvarer til bioethanolfremstilling. ii) Husdyrproduktionen, der ligger beslag på 73 % af landbrugsarealet, vil nødvendigvis afstå store mængder biomasse til biobrændstofproduktion, hvilket forstærkes yderligere af de stigende foderpriser. iii) Biobrændstofudbytte. Det endelige output er ikke højt nok i forhold til energiforbrug ved dyrkning. Afgrøder med lavt input og stort output efterlyses. iv) Teknologi. 2G-teknologi er endnu ikke fuldt udviklet; således arbejdes fortsat på opskalerede kom-

mercielle anlæg i drift. v) Etik. Der hersker modstand mod at bruge traditionelle fødevarer afgrøder samt landbrugsareal til biobrændstofproduktion.

Der er således mange barrierer ved anvendelse af afgrøder som råmateriale til biobrændstofproduktion. For at imødekomme en del af ovenstående punkter anbefales det at vurdere mulige relevante afgrøder til biobrændstofproduktion ud fra et princip om "også at have en anden funktion". I nedenstående fremhæves afgrøder, der udover at producere en råvare til biobrændstofproduktion også har andre nyttige funktioner i det biologiske kredsløb og/eller fødevarerforsyningen, således at det ikke alene betragtes som et konkurrenceforhold mellem fødevarer og biobrændstofproduktion:

2.1.2.1 Korn

Pga. den nuværende fødevarer mangel vurderes det ikke at være etisk forsvarligt at anvende kerner til bioethanolfremstilling. Derimod er det etisk forsvarligt at anvende halmen. Det er dog nødvendigt at vurdere konsekvenserne af forsat fjernelse af halmen for jordens frugtbarhed på længere sigt. Som tidligere nævnt bliver en stor del af halmressourcen allerede i dag afsat til kraftvarmeværker, men vil i fremtiden også kunne anvendes som råmateriale til 2G bioethanolanlæg. Dong Energy/Inbicon er i gang med at bygge et integreret demonstrationsanlæg (forventes færdig i 2009), som både producerer kraftvarme og bioethanol med halm som råvare (Inbicon 2008).

Det teoretiske bioethanoludbytte ligger i intervallet 300-400 g bioethanol/kg halm, hvis både cellulose og hemicellulose konverteres (figur 2.5). Hvis kun cellulosen konverteres, som det er tilfældet med fx DONG's kommende værk i Kalundborg, vil det teoretiske udbytte ligge omkring 150-200 g bioethanol/kg halm (Blume 2008). Men det skal understreges at hemicellulose (C5-sukker, se afsnit 1.4.1.3) i det omtalte koncept betragtes som et værdifuldt foder, og kan ekstraheres ud af halmen og sælges til husdyrbrugere som en analog til melasse. Dette vil tilmed give en større økonomisk robusthed, da indtjeningen ikke kun er afhængig af energipriser (brændstofpriser) men også priser på foder.

Halmressourcen er pga. det store kornareal i Danmark meget stor (5143,7 mio. kg; se tabel 2.2), men størstedelen af ressourcen bliver i dag afsat til enten fyring, fodring eller strøelse (se figur 2.4). Disse afsætningskanaler forventes ikke at blive mindre, hvormed kun den ikke-bjergede halmressource vil være tilgængelig for biobrændstofproduktion. Denne ressource er på 2074 mio. kg og kan medføre et teoretisk bioethanoludbytte på ca. 725 mio. kg. Både ressourcen og udbyttet er dog lidt optimistisk, da det for første vil være vanskeligt at bjærge hele halmressourcen og for det andet vil være i skarp konkurrence med kraftvarmeværker. Dertil bør igen

understreges, at bioethanolproduktionen i Kalundborg kun baseres på halmens cellulose, hvorfor bioethanoludbyttet der vil være lavere end det potentielle.

2.1.2.2 Sukkerroer

Under danske dyrkningsbetingelser er det vanskeligt at opnå større bioethanoludbytter per ha ved alternative energiafgrøder som pil, elefantgræs m.fl. end der opnås med sukkerroer. Derudover har roer en meget attraktiv kemisk sammensætning for den videre konvertering til energiformål. Produktion af bioethanol baseret på roer kræver væsentlig mindre konverteringsenergi sammenlignet med andre biomasseresourcer som fx halm. Ud fra et energimæssigt synspunkt har roen i forhold til andre afgrøder størst potentiale, den både giver et højt bioethanoludbytte, som primært opnås vha. 1G-teknologi. Roen er også en god vekselafrøde i de oftest kornrige sædskifter. Alligevel vælger vi i denne rapport at udelukke bioethanol fra roen fordi den principielt betragtes som fødevarekilde, og fordi dyrkningsarealet til fødevarer er en begrænsende faktor. Imidlertid vil roetoppen ofte kunne anvendes som råmateriale til bioethanolproduktion. Derudover fremkommer en restproduktressource fra sukkerindustrien (se afsnit 2.3.2), der også kan danne grundlag til bioethanolproduktion. Det er i øjeblikket igangværende forskningsaktiviteter omkring fleksible decentrale bioraffinaderier baseret på roer og anden grøn biomasse. Roetoppen har et teoretisk bioethanolpotentiale på 442g bioethanol/kg tørstof (figur 2.5). Den estimerede roetopressource på 86 mio. kg vil potentielt kunne bringe ca. 38 mio. kg bioethanol årligt, såfremt sukkerroearealet opretholdes.

2.1.2.3 Raps

Raps som råmateriale til biobrændstof har været meget omdiskuteret, da denne råvare og/eller dyrkningsareal ligeledes kan anvendes til fødevarerproduktion. Derudover er biobrændstofudbyttet pr ha forholdsvis lille, når der sammenlignes med andre afgrøder (Blume 2008). Til gengæld medfører biodieselproduktion af raps biproduktet rapskage, som er et højværdi proteinfoder til både kvæg og svin. Ca. 2/3 af rapsfrømassen kan efter olieekstraktion anvendes som foder. Udover biodiesel fås således også en foderproduktion svarende til 1,5 - 2,5 t rapskage/ha afhængig af frøudbytte (Easson *et al.* 2004). I forvejen har Danmark et stort forbrug af oliekgager herunder rapskager, men kun 1/6 er danskproduceret (Danmarks Statistik 2008d). Resten importeres i form af soja primært fra Sydamerika, hvor sojaproduktionen beslaglægger store landbrugsarealer, som kan hindre lokal selvforsyning og kan have meget negative konsekvenser for disse lokale økosystemer (Joensen & Semino 2004). Det vil således være etisk forsvarligt at anvende raps til biodieselproduktion, hvis biproduktet er så værdifuldt, at det kan frikøbe landbrugsareal i tredje verdenslande. Raps har

også en anden nyttig funktion i form af sine sædskifteegenskaber. Som det fremgår af tabel 2.1 udgør korn over halvdelen af dyrkningsarealet i Danmark. Raps vil på en bedrift med meget korn være en god sædskifteafgrøde med sanerende effekter i forhold til kornafgrøderne (Dansk Landbrugsrådgivning 2005). Biodieselfremstilling er forholdsvis simpel, og teknologien er således fuldt udviklet og tilgængelig. I Danmark har Emmelev A/S siden 1992 produceret biodiesel og har i dag en produktion på ca. 100 mio. L biodiesel/år, som dog primært eksporteres til Tyskland. Ved anvendelse af nuværende rapssorter fås et biodieseludbytte på ca. 455kg/ton rapssfrø (Simonsen 2007).

2.1.2.4 Flerårige afgrøder

Flerårige afgrøder som hamp, pil, poppel og elefantgræs har vist store potentialer i forhold til tørstofudbytter. Således vil visse pilearter kunne give et udbytte helt op til 70 ton tørstof/ha (Labrecque & Teodorescu 2003). Men udover at være lovende energiafgrøder har flerårige afgrøder også andre nyttige funktioner. Især pil er kendt for at kunne optage store mængder næringsstoffer men også tungmetaller og andre uønskede komponenter. Derfor vil flerårige afgrøder kunne anvendes i områder, hvor jorden enten ønskes oprenset af førnævnte stoffer eller være ideelt vækstmedie for fx spildevandsslam. Bioethanolpotentialet for elefantgræs er ikke kendt, men for pil vil et teoretisk udbytte på 395 g bioethanol/kg tørstof kunne opnås vha. 2G-teknologi (figur 2.5).

Andre flerårige græsmarksafgrøder indeholdende kvælstoffikserende afgrøder, som fx. lucerne og/eller kløver er også relevante at overveje. Muligheden for at benytte afgrøder der kan optage kvælstof fra luften kan overflødiggøre yderligere gødskning og samtidig give en gødningseffekt til efterfølgende afgrøder. Derved reduceres energiomkostninger i markdriften betydeligt. Der kan således opnås et højt udbytte uden brug af hjælpestoffer, og energiomkostninger ved dyrkning vil således være meget lave (Blume 2008). De kvælstoffikserende afgrøder er derudover ideelle vekselafgrøder. I et sædskifte er de både sanerende, hvad angår sygdomme og andre skadevoldere, men sørger også for gode vækstbetingelser for de efterfølgende afgrøder både vha. kvælstofforsyning og vha. sine strukturforbedrende egenskaber (Dansk Landbrugsrådgivning 2005).

Det teoretiske bioethanoludbytte for lucerne er 384 g bioethanol /kg tørstof, hvoraf ca. 45 g bioethanol /kg opnås vha. 1G-teknologi og de resterende 339 g bioethanol/kg opnås vha. 2G-teknologi (figur 2.5).

Eksemplerne på flerårige afgrøder kan også benyttes på mere ekstensive arealer for at løse specifikke problemstillinger som fx nitratudvaskning og/eller biodiversitet, rekreative formål mv.

2.1.2.5 Afgrøder i samdyrkning

De fleste afgrødearter dyrkes i renbestand, men der er også mulighed for samdyrkning af afgrødearter fx kløver/græs, rug/vikke, byg/ært m.fl. Ved samdyrkning fås adskillige synergieffekter fx dyrkningsstabilitet ved minimal input af hjælpestoffer som gødskning og sprøjtemidler, forsyning med atmosfærisk kvælstof til dyrknings-systemet via kvælstoffikserende afgrøder, større konkurrenceevne overfor ukrudt og skadegørere m.fl. (Jensen & Hauggaard-Nielsen 2003). Visse samdyrkningssystemer er ligeledes flerårige og har således lave energiomkostninger ved dyrkning. Det teoretiske bioethanoludbytte afhænger helt af sammensætningen af afgrøder, men skønnes at have samme størrelsesorden som lucerne dvs. ca. 300-400 g bioethanol/kg tørstof og vil ligeledes kunne benyttes til 2G-teknologi.

2.1.2.6 Efterafgrøder

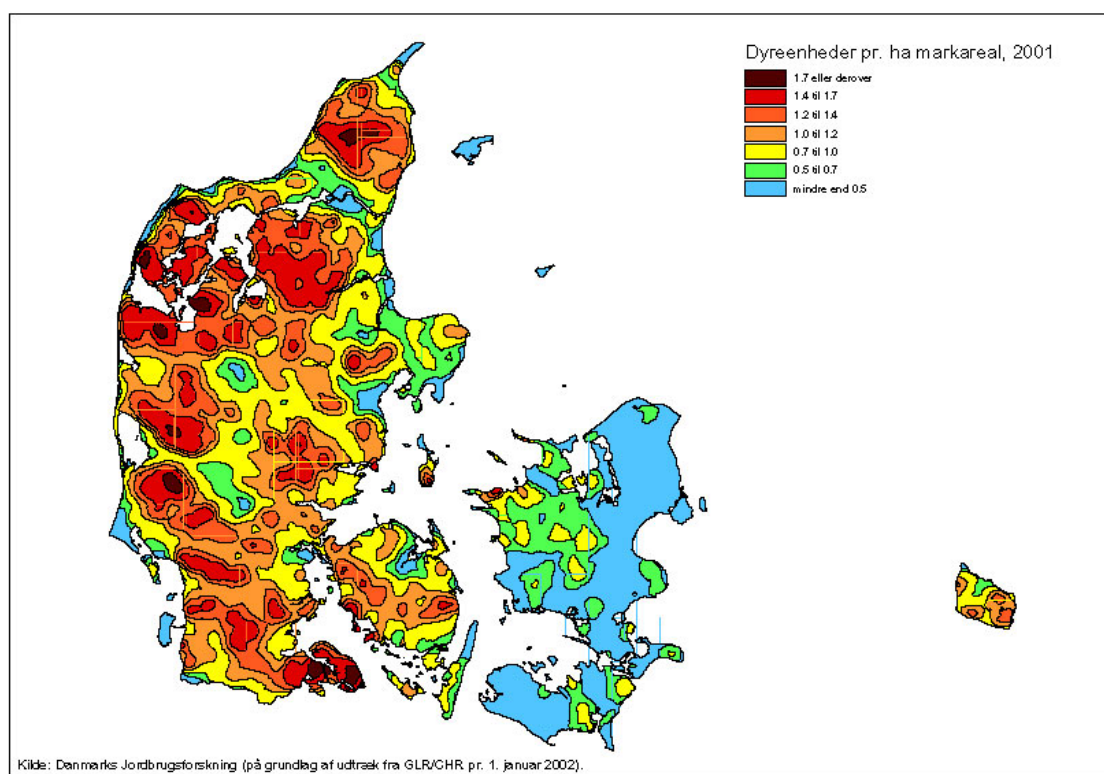
Det har været traditionel praksis, at efterlade jorden bar/udyrket efter høst af afgrøde indtil etablering af ny afgrøde. Imidlertid er denne dyrkningspraksis ikke hensigtsmæssig, da dette øger risikoen for udvaskning. Dette førte til Bekendtgørelse om plantedække¹, som påbyder primærproducenten at etablere plantedække (vintergrønne marker) herunder efterafgrøder på en del af bedriften. Efterafgrøder kan underopdeles i fangafgrøder og grøngødning. Fangafgrøder har til formål at opsamle kvælstof, som den forudgående afgrøde ikke har optaget eller har frigivet før høst. Kvælstoffet vil derved ikke blive udvasket, men komme den efterfølgende afgrøde til gode. Desuden vil fangafgrøden fiksere en del CO₂ i biomassen. Grøngødning har til formål at fiksere kvælstof, således at indholdet af jordens mineralske kvælstof øges til fordel for den efterfølgende afgrøde. Efterafgrøder kan etableres enten ved undersåning, således at efterafgrøden er veletableret ved høst af hovedafgrøden, eller den kan etableres umiddelbart efter høst af hovedafgrøden (Thorup-Kristensen et. al. 2003). Under nuværende praksis nedmuldes efterafgrøderne således at det optagne kvælstof mineraliseres og derved kommer den efterfølgende afgrøde til gode. I visse henseender kan det dog være en fordel at fraføre efterafgrøden. Denne biomasse vil potentielt kunne anvendes som råvare til biobrændstofproduktion. Det teoretiske

¹Bekendtgørelse nr. 975 af 25. september 2006 om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2006/2007, § 26, stk. 1-5 og bekendtgørelse nr. 906 af 16. juli 2007 om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2007/2008, som ændret ved bekendtgørelse nr. 188 af 14. marts 2008, §§ 26, 26a og 26b.

bioethanoludbytte for efterafgrøder er ikke estimeret, da der ikke foreligger kemisk sammensætning for de enkelte efterafgrødearter.

2.2 Husdyrgødningsressourcen

Husdyrgødning er i mange år blevet betragtet som en problematisk rest fra husdyrproduktionen, som kræver store investeringer i form af lagringskapacitet og som samtidig kan forvolde miljøskadelige virkninger på vandmiljøet. Landbrugets betydelige fokus på husdyrgødningen skyldes især harmonireglerne, som handler om hvor meget husdyrgødning, der må være på en bedrift eller snarere per arealenhed. Harmonireglerne er således med til at begrænse husdyrproduktionens størrelse, da en øget produktion vil medføre en øget husdyrgødningsressource. For at kunne øge husdyrproduktionen er det derfor nødvendigt enten at tilkøbe/forpagte jord eller at finde en anden afsætningsmulighed fx til en planteavler. Men det at finde andre afsætningskilder er vanskeligt, da husdyrtætheden i Danmark og især i Jylland er meget høj (figur 2.6), hvormed efterspørgslen på husdyrgødning kan være minimal på lokalt plan.



Figur 2.6 Husdyrtætheden i Danmark angivet i dyreenheder (DE) pr hektar (DJF 2002).

Transport af gødningen over længere afstande vil typisk være for bekostelig. Dertil kommer, at husdyrgødning kan være vanskeligere at håndtere i forhold til optimal forsyning til afgrøden, hvorfor handelsgødning til de nuværende priser som regel

bliver foretrukket af planteavlere/producenter uden husdyr. Således er gødskning med husdyrgødning for mange husdyrproducenter reelt den eneste mulighed for at bortskaffe husdyrgødningen. Men husdyrgødning kan også anvendes som råmateriale til bioenergiproduktion og i særdeleshed biogasproduktion. Hvis biogas på lidt længere sigt kan tilpasses transportsektoren, vil husdyrgødning være en potentiel råvare til biobrændstoffremstilling. Derfor er det relevant med en opgørelse over den danske husdyrgødningsressource samt vurdere potentialet til biobrændstoffer herfra. Der er ikke lavet statistik over den danske husdyrgødningsressource, men vha. data fra Danmarks Statistik og Århus Universitet er det muligt at estimere ressourcen for de mest relevante husdyr.

Tabel 2.3 Estimeret årlig husdyrgødningsressource (millioner tons friskvægt, egne beregninger baseret på data fra Danmarks Statistik 2008e, Poulsen et. al. 2001 og Jørgensen et al. 2008)

| Gødningstype | mio. ton |
|---------------------|-----------------|
| Svinegylle | 13 |
| Kvæggylle | 12 |
| Fast staldgødning | 1 |
| Dybstrøelse | 3 |
| Anden gødning | 3 |
| I alt | ~ 32 |

Den samlede husdyrgødningsressource er på ca. 32 mio. tons friskvægt pr år (tabel 2.3), hvilket er lidt mindre end afgrøderessourcen. Selvom begge ressourcer er angivet i friskvægt og derfor ikke direkte sammenlignelige i forhold til bioenergi potentiale, er bioenergi potentialet fra biogas meget stort. Imidlertid kan husdyrgødning kun fortrinsvist anvendes til enten biogas eller kraftvarme (afbrænding af fiberfraktionen). Hvis el bliver implementeret som drivmiddel i transportsektoren, kan husdyrgødning indirekte spille en betydningsfuld rolle gennem elproduktion fra biogas. Men da biogas i sig selv ikke vurderes at blive anvendt som transportbrændstof, vil husdyrgødning som råvaregrundlag, derfor ikke blive behandlet yderligere i denne rapport.

2.3 Sidestrømme/restprodukter fra landbrugets følgeindustrier

Da der som tidligere nævnt er stor efterspørgsel på biomasse er det vigtigt at inddrage alle biomasseresourcer, som er potentielle i forhold til biobrændstofproduktion. Dette gælder også affalds- og sidestrømme fra landbrugets følgeindustrier, som har stor interesse i at finde afsætningsmuligheder for disse ressourcer, således at indtjeningen og/eller selvforsyningsgraden kan øges. I det følgende gennemgås en række

potentielle ressourcer, som vurderes både på nationalt og regionalt plan at kunne få stor betydning for biobrændstofproduktionen.

2.3.1 Slagteriaffald

Husdyrproduktionen er som tidligere nævnt den mest betydningsfulde indtægtskilde i dansk landbrug. Især produktion af svinekød og mælkeprodukter udgør den største del. Som led i begge produktionsgrene har de danske slagterier stået for slagtning af både svin og kvæg.

Biprodukterne ved slagtning, slagteriaffald, er tidligere i vid udstrækning blevet anvendt til foder. Men forekomsten af kogalskab (BSE) har imidlertid fået EU til at stramme reglerne for at minimere risikoen for smitte. Det medførte, at der i dag er et generelt forbud om at anvende slagteriaffald til foderfremstilling for husdyr (med undtagelse af pelsdyr). EU's forordning 1774/2002 inddeler slagteriaffald i fire smitterisiko-kategorier, men definerer også anvendelsesmuligheder for alle fire kategorier. En stor del af den danske slagteriaffaldsressource må ikke anvendes til bioenergi (Hummelshøj & Bloch 2004). Slagteriaffald kan bruges som råmateriale til både biogas og biodieselfremstilling, men biogas bliver som tidligere nævnt ikke vurderet som fremtidens transportdrivmiddel i Danmark. Ifølge DAKA (2008) er den nationale slagteriaffaldsressource, som egner sig til biodieselproduktion, begrænset til ca. 100.000 ton animalsk fedt om året. Fra 1 kg animalsk fedt fås 1 kg biodiesel (Andreasen 2007). Dvs. potentialet for biodieselproduktion fra slagteriaffald er ca. 100.000 ton biodiesel pr år såfremt slagterierhvervets produktion i Danmark opretholdes.

2.3.2 Restprodukter fra sukkerindustrien

Danske landmænd har i mange år dyrket sukkerroer, som danner råvaregrundlag til sukkerproduktion. Sukkerroer til sukker har primært været dyrket på de mest lerede jorder, hvorfor sukkerfabrikkerne også blev placeret i disse egne. Danisco (tidl. De Danske Sukkerfabrikker) har i dag kun to fabrikker tilbage i Danmark. Disse er beliggende i Nakskov og Nykøbing F.

Også ved sukkerproduktion fremkommer restprodukter, som kan danne råvaregrundlag for biobrændstofproduktion. Restprodukter udgøres primært af roepulp og melasse. Roepulp afsættes i dag som kvægfoder, og melassen anvendes til alkoholfremstilling (Lindhoff 2008). Mængden af restprodukter varierer meget, og som følge af EU's sukkerreform er sukkerproduktionen i Danmark faldende. Men ifølge Lindhoff (2008) produceres ca. 100.000 ton roepulp samt 70.000 ton melasse per år i Danmark. Det teoretiske bioethanoludbytte er ikke estimeret for roepulp, men for melasse er det teoretiske udbytte ca. 124 g bioethanol/ kg tørstof, som kan opnås vha. 2G-teknologi (Blume 2008). Dvs. potentialet for bioethanolproduktion fra melasse er ca.

8.680 ton bioethanol om året, såfremt produktionen af sukker baseret på sukkerroer opretholdes. Potentialet for bioethanolproduktion baseret på roepulp skønnes at være i samme størrelsesorden.

2.3.3 Restprodukter fra kartoffelmelsindustrien

Ligesom sukkerindustrien medfører kartoffelmelsindustrien restprodukter, som kan danne råvaregrundlag til bioethanolfremstilling. Restprodukterne udgøres af kartoffelpulp, kartoffelfrugtsaft og kartoffelvaskevand. Kun pulpen er dog interessant i forhold til bioethanolfremstilling, fordi de to øvrige restprodukter har et meget lavt indhold af kulhydrater.

Der findes fire kartoffelmelsfabrikker i Danmark (Karup, Langholt, Brande og Toftlund), som tilsammen har en kartoffelpulppressource på ca. 100.000 ton per år (egne beregninger baseret på grønt regnskab fra de fire fabrikker). Kartoffelpulpen, som kun består af ca. 17 % tørstof, har et estimeret bioethanoludbytte på ca. 300-400 g bioethanol/kg tørstof (egne beregninger baseret på kemisk sammensætning), som kan opnås vha. 2G-teknologi. Dvs. potentialet for bioethanolproduktion baseret på kartoffelpulp er ca. 6.000 ton bioethanol om året, såfremt kartoffelproduktion oprettholdes.

2.3.4 Restprodukter fra møllerierne

Som det fremgår af afsnit 2.1 udgør korn mere end halvdelen af landbrugsarealet i Danmark. Kun ca. 4 % af kornproduktionen bliver dog anvendt til fødevarer. Således afsættes kun ca. 300 mio. kg kerne til formaling af en samlet kornproduktion på over 8 mia. kg (Danmarks Statistik 2008b).

Ved formaling af korn opstår restprodukterne klid, strømel og kim, som udgør ca. 20 % af kernerne (Rahbek 2008). Dvs. hvis der i alt anvendes 300 mio. kg kerne til formaling, kan det antages, at klid, strømel og kim ressourcen er i størrelsesorden 60 mio. kg.

Der er ikke beregnet teoretisk bioethanoludbytte for disse restprodukter, men de har sandsynligvis et højt indhold af cellulose samt hemicellulose, hvor 2G-teknologi er nødvendig. Potentialet for bioethanolproduktion baseret på klid, strømel og kim kan dog skønnes til at være ca. 2.000 ton bioethanol om året.

2.3.5 Restprodukter fra bryggerierne

Ved ølbrygning opstår restproduktet mask, som vil være egnet til bioethanolfremstilling. Carlsberg, som er dominerende ølproducent i Danmark, har en årlig maskproduktion på 74.000 ton med en tørstofprocent på 25 (Carlsberg 2007). De resterende bryggerier i Danmark vurderes tilsammen at have en maskproduktion på godt 60.000

ton (Søndergaard 2008). Mask indeholder primært lignocellulose, hvormed 2G-teknologi kan benyttes. Det teoretisk bioethanoludbytte for mask er ca. 300 g/kg mask (25 % tørstof). Anvendes den samlede maskressource som råvare til bioethanol ligger potentialet på 40 mio. kg bioethanol årligt.

2.3.6 Restprodukter fra mejerierne

Ved fremstilling af ost udskilles flydende valle, som er et biprodukt. For hvert kilogram ost, der produceres, dannes der ca. 9 liter valle. Størstedelen af denne valle tørres og bruges bl.a. som ingrediens i kager og kiks eller anvendes til dyrefoder. Valle består hovedsageligt af vand, men indeholder også laktose (mælkesukker), proteiner og mineraler. Vallen vil pga. laktoseindholdet også være potentiel råvare til bioethanolproduktion (Arla 2008). Det teoretisk bioethanoludbytte afhænger primært af laktoseindholdet, som er meget varierende fra mejeri til mejeri. Men det vurderes, at valle i gennemsnit har et laktoseindhold på 47 g/L, hvormed det teoretiske bioethanoludbytte vil være 24 g bioethanol / L valle (Thomsen 2008).

Den samlede osteproduktion i Danmark var i 2007 på 350 mio. kg (Mejeriforeningen 2008), hvormed den danske valleressource kan estimeres til ca. 3,15 mia. L. Dvs. hvis hele valleressourcen anvendes som råmateriale til bioethanolfremstilling fås et teoretisk udbytte på 75,6 mio. kg bioethanol årligt.

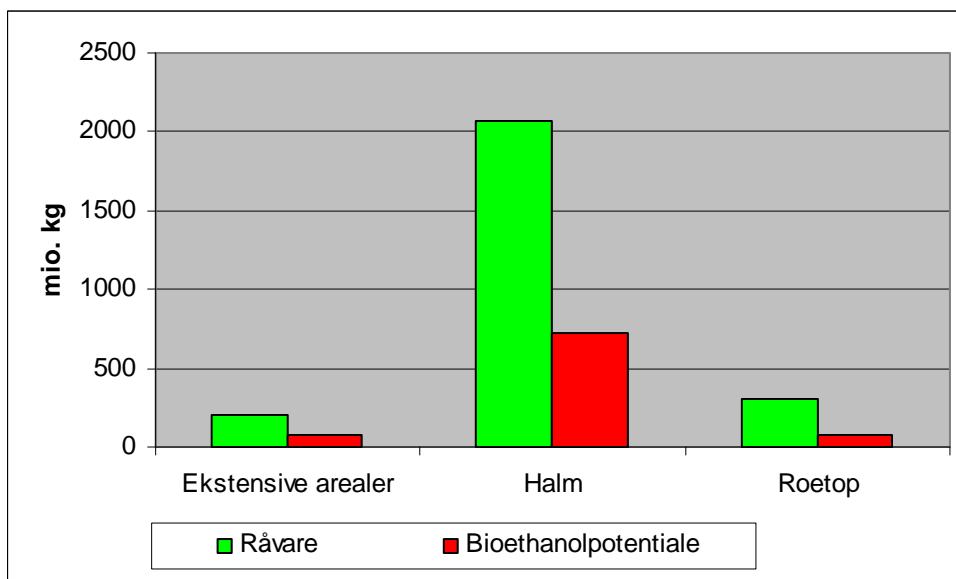
2.4 Delkonklusion

Biomasseressourcen fra landbrugssektoren udgøres primært af afgrødeproduktionen, men også husdyrgødningsressourcen og rest/affaldsprodukter fra landbrugets følgeindustrier udgør en væsentlig del. Imidlertid regnes husdyrgødning ikke som råvaregrundlag til biobrændstofproduktion frem mod 2020 (se afsnit 1.3).

Afgrødeproduktionens potentiale i forhold til biobrændstoffer er betydelig. Det kræver imidlertid, at en del af landbrugsarealet inddrages til dyrkning af energiafgrøder, hvilket der under nuværende forudsætninger ikke er potentiale i bl.a. fordi husdyrproduktionen beslaglægger store arealer til foderproduktion. Dvs. biomasse fra ekstensive arealer og afgrøderester er de eneste ressourcer landmanden vil kunne levere til en eventuel biobrændstofindustri, hvis det ikke skal berøre fødevarereproduktionen. Til gengæld vil disse ressourcer alene kunne imødekomme en betydelig del af transportsektorens brændstofforbrug (figur 2.7).

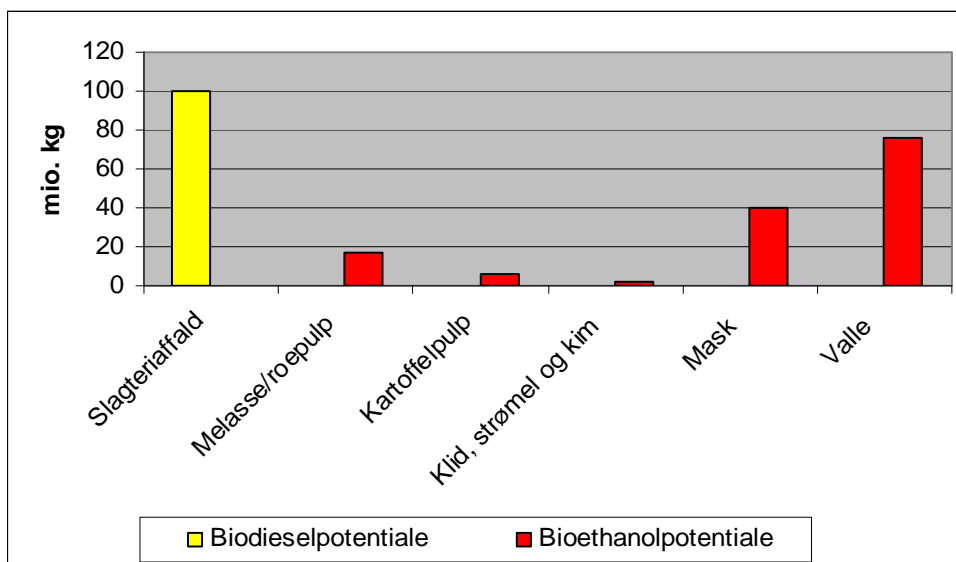
Landbrugets følgeindustrier genererer en række biprodukter, som vil være egnede råmaterialer til biobrændstofproduktion. Biprodukterne er som regel ressourcer, der ikke er stor efterspørgsel på. Visse biprodukter afsættes dog som værdifuldt husdyrfoder. Der vil således også kunne opstå konkurrence om enkelte biprodukter / overskudsressourcer. Overskudsressourcer fra følgeindustrien vil dog sammenlignet med

afgrøderne kun dække en mindre del af den nationale efterspørgsel på biobrændstoffer (figur 2.8).



Figur 2.7 Biobrændstoffpotentialet fra ekstensive arealer og afgrøderesterne halm og roetop.

Ud fra et mere lokalt synspunkt kan det dog være meget attraktivt at øge værdien af disse biprodukter ved at foretage eksempelvis konvertering til et biobrændstof til salg eller muligvis eget forbrug (selvforsyning).



Figur 2.8 Biobrændstoffpotentiale af biprodukter fra landbrugets følgeindustrier.

Mangel på fødevarer vil frem mod 2020 kræve, at afgrøder som kan anvendes til fødevarer ikke kommer til at danne et betydeligt grundlag for biobrændstoffremstilling. Det er således kun afgrøderessourcer til 2G, der vurderes at være interessante. Der bør stræbes efter at anvende afgrøde- og biproduktressourcer, som enten er i overskud eller har en anden samfundsnyttig funktion udover at danne råvaregrundlag til biobrændstofproduktion som fx grundvandsbeskyttelse, biodiversitet, rekreative formål mv. Det vurderes at der er store muligheder for at trække biomasseressourcer ud af landbruget uden at det vil få negative konsekvenser for fødevareproduktionen

3 Biomasseressourcer fra skovbrug

At lave en detaljeret opgørelse over den danske skovressource er ikke muligt for indværende rapport. Danmarks Statistik har i samarbejde med Skov- og Landskab (Københavns Universitet) samt Skov- og Naturstyrelsen for hvert tiende år foretaget en skovtælling, hvor alle landets skovejere indberetter oplysninger om deres skovdrift. Den seneste (og sidste) skovtælling fandt sted i år 2000 (Larsen 2008). Derfor vil det meste af den følgende skovressourceopgørelse være baseret på skovtællingen fra år 2000. I skrivende stund arbejder Skov og Landskab på at forbedre disse opgørelser, men data herfra er desværre endnu ikke tilgængelige for denne opgørelse.

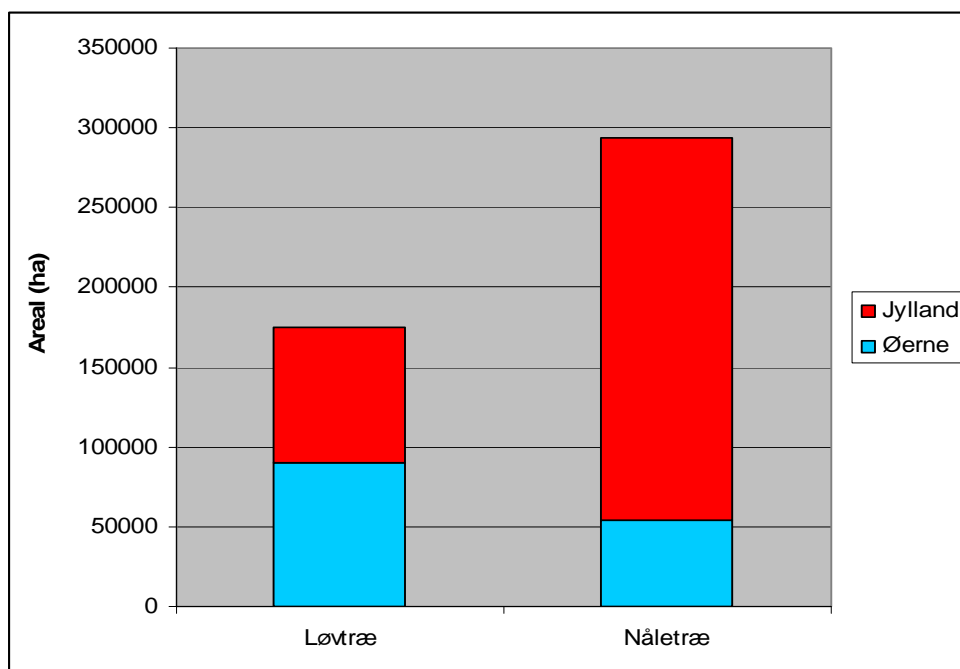
Danmark er fra naturens side et skovland, dvs. hele landet er beliggende i det såkaldte løvskovsbælte. Før menneskelige påvirkninger var hele landet således bevokset med skov. Men med menneskets udbredelse blev der fældet skov for at frigøre areal til landbrug. Det førte til, at der i begyndelsen af 1800-tallet kun var ca. 4 % skov tilbage. Herefter steg skovarealet igen ikke mindst pga. skovfredning og plantageanlæg. I dag er ca. 14 % af Danmarks areal dækket af skov, men vurderes at stige, efter at Folketinget i 1999 satte et mål, hvor skovarealet i løbet af en trægeneration (80-100 år) skal udgøre 20-25 % af Danmarks areal (Skov- og Naturstyrelsen 2002).

3.1 Skovens udbredelse og intensitet

Selvom Danmark som nævnt ovenfor er beliggende i løvskovsbæltet udgøres skovarealet primært af nåleskov. Ved skovtællingen i 2000 udgjorde nåleskov således 100.000 ha mere end løvtræsskov (figur 3.1).

Skovarealet udgjorde i år 2000 i alt 486.000 ha. Størstedelen af skovarealet i Jylland udgøres af nåletræ, hvorimod størstedelen af skovarealet på Øerne udgøres af løvtræsskov. Der er markante forskelle i omfanget af skovrejsning i de forskellige landsdele. Således tegner Jylland sig for 76 % af den samlede skovrejsning i perioden 1990-1999 (Larsen & Johannsen 2002). Det er derfor vanskeligt at estimere hvorledes skovarealet har ændret sig fra den sidste skovtælling frem til i dag.

I forbindelse med skovtællingen i år 2000 blev der foretaget et skøn over den samlede stående vedmasse. Vedmasseproduktionen er næsten proportional med skovarealet, hvormed nåletræer står for den største vedmasseproduktion. Selvom skovarealet gennem de seneste årtier har været stigende har hugsten været faldende (Larsen & Johannsen 2002). Af en samlet hugst på ca. 2,35 mio. m³ udgør nåletræer mere end 80 % af hugsten (tabel 3.1).



Figur 3.1 Areal for løvtræs- og nåletræsskov i hhv. Jylland og øerne (Larsen & Johannsen 2002).

Tablet 3.1 Det danske skovareals sammensætning, vedmasseproduktion samt hugst for anvendte træarter.

| Træart | Areal ¹ (1.000 ha) | Vedmasse i alt ¹ (mio. m ³) | Hugst ² (1.000 m ³) |
|------------------------|----------------------------------|---|---|
| Bøg | 80 | 18,1 | 219 |
| Eg | 43 | 4,7 | 149 |
| Ask | 13 | 1,3 | - |
| Ahorn | 9 | 1,2 | - |
| Andre løvtræer | 30 | 3,4 | 125 |
| <i>Løvtræer i alt</i> | <i>174</i> | <i>28,8</i> | <i>464</i> |
| Rødgran | 132 | 23,1 | - |
| Sitkagran | 34 | 6,3 | - |
| Nobilis | 12 | 1,2 | - |
| Nordmannsgran | 28 | 2,0 | - |
| Fyr | 48 | 5,7 | - |
| Andre nåletræarter | 39 | 7,4 | - |
| <i>Nåletræer i alt</i> | <i>294</i> | <i>45,5</i> | <i>1.885</i> |
| Alle træarter | 468 | 74,3 | 2.349,0 |

¹ Larsen & Johannsen 2002, ² Danmarks Statistik 2008

Den forventede gennemsnitlige årlige tilvækst i perioden 2000-2009 udgør i alt 4,9 mio. m³/år. Ved en gennemsnitlig årlig hugst på ca. 2,5 mio. m³ om året betyder dette, at en del af vedmassen ikke udnyttes. Således sker der en vedmasseopsparing i de danske skove på 1-2 mio. m³ per år (Larsen & Johannsen 2002).

3.2 Hugstens anvendelse

Af en samlet hugst på ca. 2,5 mio. m³/år afsættes halvdelen som gavntræ, dvs. møbler, tømmer mm. Den resterende del afsættes til brænde og energitræ (Danmarks Statistik 2008). Pga. af generel stigende efterspørgsel på biomasse er efterspørgslen på træ også steget. Dette påvirker dog ikke konkurrencen mellem afsætningskanalerne, fordi hovedparten af det træ, som afsættes til brænde og energitræ, ikke er egnet til gavntræ. Omvendt vil træ, som er egnet til gavntræ, ofte have så høj en pris, at det ikke vil være økonomisk attraktivt at anvende som brænde. Dvs. hvis der skal bruges mere træ til brænde og energi, er det nødvendigt at øge hugsten.

3.2.1 Potentiel træbrændselsressource

Da Danmarks skove rummer en samlet vedmasse på ca. 75 mio. m³, er der store muligheder for at øge hugsten af træ til energi (træbrændselsressource). De potentielle ressourcer af træbrændsler varierer betydeligt mellem regionerne. Således findes 70-75 % af den samlede træbrændselsressource i Vestdanmark.

Nord-Larsen og Heding (2003) har vha. tre forskellige scenarier forsøgt at estimere den potentielle træbrændselsressource, som primært består af skovflis og brænde. Scenarierne (S) adskiller sig ved stigende intensitet i udnyttelse af træbrændselsressourcerne.

1. Der hugges skovflis af hele træer i tidlige tyndinger i nåle- og løvtræsbevoksninger, hvor bevoksningsdiameteren ikke overstiger den kritiske udhugningsdiameter.
2. Som S1, men ved hovedskovning hugges der yderligere skovflis af den del af stamme- og grenmassen, hvis diameteren ikke overstiger en given aflægningsgrænse i både løv og nål.
3. Som S2, men der udnyttes også flis fra kombinerede tyndinger. Således aflægges gavntræ op til en given aflægningsgrænse, og herefter udnyttes topenden samt grenene til skovflis.

Den hidtidige intensitet i udnyttelsen af træbrændselsressourcen vurderes i vid udstrækning at ligne opgørelsens S1. Fastholdes den hidtidige praksis i fremtiden er den samlede potentielle træbrændselsressource beregnet til 915.000-1.286.000 m³/år hvoraf træflis udgør 585.000-999.000 m³/år. Men som følge af den stadigt stigende efterspørgsel efter træbrændsler er der interesse for en yderligere udnyttelse af den potentielle træbrændselsressource. Det vurderes således, at den fremtidige intensitet i udnyttelsen af træbrændslerne i gennemsnit vil afspejle S2. Under disse forudsætninger er den samlede potentielle træbrændselsressource beregnet til 1.063.000-

1.494.000 m³/år, hvoraf skovflis udgør 590.000-988.000 m³/år (Nord-Larsen & Heding 2003).

3.3 Biobrændstofpotentiale fra træ

Ved biobrændstofproduktion af både nåletræer og løvtræer er potentialet for konvertering til bioethanol interessant. Det er ligesom biomasse fra afgrøder indholdet og sammensætningen af kulhydrater, som bestemmer det teoretisk opnåelige bioethanoludbytte. Der kan være stor variation i indholdet af kulhydrat fra træart til træart, og det ville derfor være relevant at angive kulhydratindholdet for alle træarter. Men dette ville være for omfattende, bl.a. fordi der ikke foreligger data for kemisk sammensætning af alle træarter. For at konvertere træbiomasse til bioethanol vil det derfor være nødvendigt med 2G-teknologi.

Løvtræ har et teoretisk biobrændstofudbytte på 565 kg bioethanol/ton træbiomasse. Potentialet for nåletræ er lidt mindre, da det teoretiske udbytte kun er på 437 kg bioethanol/ton træbiomasse. Det nationale potentiale for biobrændstof baseret på træressourcer afhænger af hugstintensiteten. Men hvis det antages, at den årlige træbrændselsressource er på ca. 1 mio. m³, hvoraf nåletræ og løvtræ udgør hhv. 80 og 20 % (se tabel 3.1), vil dette give et bioethanolpotentiale på hhv. 168 og 73 mio. kg bioethanol².

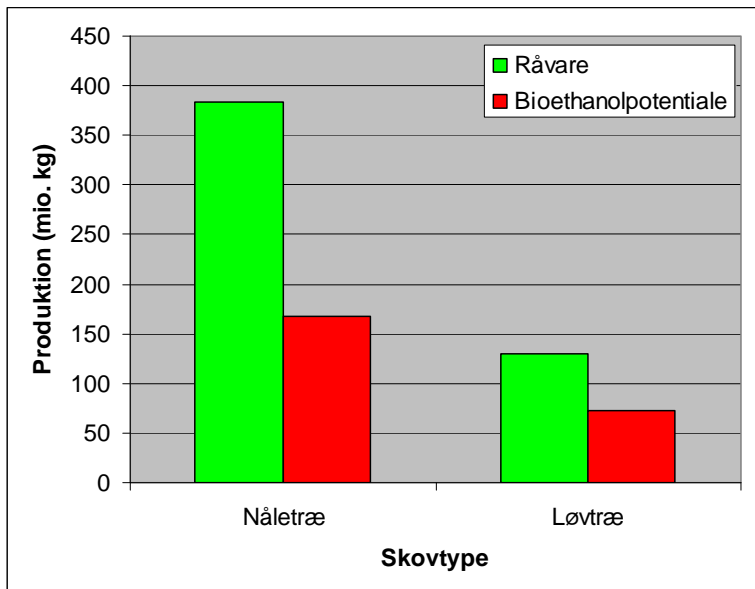
Udover et højt udbyttepotentiale for bioethanol vil træ som råmateriale medføre et værdifuldt restprodukt ved bioethanolfremstilling. Træ indeholder således også store mængder lignin, som ikke kan konverteres til flydende biobrændstof, men til gengæld udgør et brændsel med høj brændværdi til fx kraftvarmeproduktion eller et produkt til at forbedre jordens indhold af organisk stof.

3.4 Delkonklusion

Biomasseressourcen fra skovbrug er enorm og synes at blive større eftersom der sker en vedmasseopsparing. Imidlertid er en del af denne vedmasseopsparing tilsigtet, idet skovarelet ønskes øget. Derfor er det heller ikke aktuelt at rydde arealer med skov for at imødekomme efterspørgslen på biomasse til især biobrændstofproduktion. Samtidig udgør skoven og skovrejsning et betydeligt bidrag til kulstoflagring, som er væsentligt i forhold til drivhusgasser og klimaændringer. Skovrejsning vil således forbedre betingelserne for både natur, miljø og ikke mindst klima, men dette skal opvejes i forhold til efterspørgslen på anden biomasse til fx fødevarerektoren. Balancen mellem natur og produktion er igen helt central, om end meget vanskelig at skabe, da der er mange interessenter.

² Der regnes med densitet for nåletræ på 480 kg/m³ og for løvtræ på 650 kg/m³

Den årlige træbrændselsressource vurderes at kunne øges til ca. 1,5 mio. m³ uden at det vil reducere skovarealet. Dette er muligt alene ved at optimere udnyttelsesintensiteten fx ved at flise grene og kviste, der som regel under hugst bliver efterladt i skoven.



Figur 3.2 Råvareressource og bioethanolpotentiale fra nåle- og løvtræ ved en årlig hugstintensitet på 1 mio. m³.

Efterspørgslen på træbrændsler forventes dog øget fremover, hvorfor det vil være urealistisk at hele træbrændselsressourcen anvendes som råmateriale til biobrændstofproduktion. Hvis 1 mio. m³ af træbrændselsressourcen (hvilket svarer til nuværende træbrændselsressource) anvendes fås et teoretisk bioethanoludbytte på ca. 241 mio. kg (figur 3.2). Imidlertid vurderes træressourcen bedre udnyttet i kraftvarmesektoren, da konvertering af træ til bioethanol pt. ikke er en rentabel proces.

4 Øvrige biomasseressourcer

Biomasseressourcer fra landbrug og skovbrug udgør langt den største del af ressourcepotentialet i forhold til dansk biobrændstofproduktion (se afsnit 2 og 3). Andre biomasseressourcer vil på et nationalt plan derfor kun kunne spille en mindre rolle i forhold til biobrændstofproduktion. Alligevel er det væsentligt at medtage de øvrige biomasseressourcer, da de især på lokalt plan kan spille en større rolle i forhold til biobrændstofproduktion. Virksomheder med produktion af affald, som er velegnet til biobrændstofproduktion vil muligvis finde det interessant at producere ex. bioethanol til eget brug eller videresalg samtidig med produktion af el og varme for at øge selvforsyningsgraden. De enkelte lokale forhold og ikke mindst de teknologiske behov vil sætte rammebetingelserne for udnyttelsen af disse ”øvrige” biomasseressourcer herunder indsamling af ressourcer til centrale anlæg med de logistiske problemstillinger, som det kan indebære.

I det følgende beskrives øvrige biomasseressourcers potentiale og tilgængelighed i forhold til biobrændstofproduktion.

4.1 Husholdningsaffald

Selvom dele af husholdningsaffald ikke er biologisk, kategoriseres denne alligevel som biomasse grundet datatekniske årsager. Hvert år produceres ca. 3,2 mio. ton husholdningsaffald, hvoraf dagrenovation udgør 53 %. Udover dagrenovation består husholdningsaffald af storskrald og haveaffald, som typisk komposteres (Miljøstyrelsen 2008). I teorien kan alle affaldskilder anvendes som råmateriale til biobrændstofproduktion, og potentialet er meget stort. Således vil bioethanolproduktion baseret på dagrenovation kunne dække mere end 5 % af transportsektorens nuværende brændstofforbrug (Jakobsen & Langgaard 2007). Men pga. af en meget varieret sammensætning vil det i praksis være vanskeligt at målrette teknologien efter disse råvarer. Især dagrenovation og storskrald vil være vanskelige at forarbejde idet materialet indeholder en del komponenter, som ikke kan konverteres. Imidlertid vil haveaffald, der udelukkende består af nedbrydeligt biomasse, være et potentiel råmateriale, såfremt det bliver sorteret i hovedbestanddele eksempelvis jord, planter og træ.

4.2 Spildevandsslam

Også spildevandsslam udgør på nationalt plan en betydningsfuld ressource. Således produceres der årligt ca. 140.000 ton tørstof, hvoraf 50-60 % genanvendes som gødning i jordbrugssektoren. Den resterende del anvendes enten i biogasanlæg, forbræn-

des eller deponeres. Slambekendtgørelsen lægger restriktioner på brugen af spildevandsslam, da det kan indeholde miljøfremmede stoffer, der ikke må udbringes på landbrugsjord (Miljøstyrelsen 2008). Som biomasseressource minder spildevandsslam meget om husdyrgødning, og har således også som nævnt foroven gode egenskaber i forhold til biogasproduktion. Imidlertid vil spildevandsslam ligesom husdyrgødning (endnu) ikke kunne bruges som råmateriale til biodiesel- eller bioethanolproduktion, hvormed ressourcen ikke er videre relevant i forhold til potentiale-vurderingen i nærværende rapport.

4.3 Grønmasse fra frugt- og grønsagsproduktionen

Ved frugt- og grønsagsdyrkning fremkommer en betydelig ressource af restgrønmasse (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Areal, årlig produktion af grøntsager og frugt samt grønmasse angivet i friskvægt.

| | Areal ¹ (ha) | Produktion ¹ (ton) | Grønmasse ² (ton) |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Grøntsager, friland | | | ~5.000 |
| Ærter til konserver | 2.741 | 9.868 | |
| Hvidkål inkl. spidskål | 374 | 14.693 | |
| Rødkål | 172 | 7.438 | |
| Rødbeder | 200 | 6.394 | |
| Gulerødder | 1.585 | 69.098 | |
| Løg | 1.618 | 55.665 | |
| Salat | 450 | 8.071 | |
| Kinakål | 140 | 3.017 | |
| Blomkål | 338 | 4.496 | |
| Broccoli | 224 | 1.127 | |
| Porrer | 359 | 5.631 | |
| Grøntsager, væksthuis | | | ~1.000 |
| Tomat | 46 | 17.639 | |
| Agurk | 40 | 16.751 | |
| Salat | 15 | 2.127 | |
| Champignon | 56 | 10.946 | |
| Kernefrugt | | | ~500 |
| Æbler | 1.812 | 37.485 | |
| Pærer | 465 | 9.537 | |
| Bær, busk- og stenfrugt | | | ~1.500 |
| Surkirsebær | 2.167 | 17.802 | |
| Solbær | 1.855 | 9.220 | |
| Ribs | 348 | 1.924 | |
| Jordbær | 1.135 | 7.529 | |
| I alt | 13.399 | 306.590 | ~8.000 |

¹ Danmarks Statistik 2007 ² skøn baseret på personlig kommunikation med Daverkosen (2008)

Grønmassens beskaffenhed samt udbytte er meget varierende, da det alt efter art er meget forskelligt, hvad der kan betegnes som restbiomasse. For de fleste grøntsag-

sarter sker den første frasortering allerede i marken, hvor den efterladte grønmasse nedmuldes og derved gøder den efterfølgende afgrøde. Men også på pakkecentralerne sker en frasortering af grønmasse, som indsamles og typisk afsættes som husdyrfoder. Grønmasse fra frugtproduktion er i forhold til grønmasse fra grøntsagsproduktionen en meget mindre ressource, da det som regel kun er den sælgelige frugt, som plukkes, og at der derved ikke opstår en stor restbiomasse. Den danske grønmasse-ressource afhænger af grøntsagsproduktionen i Danmark, som har været nedadgående gennem de seneste år. Der forefindes ikke en opgørelse over den danske grønmasse-ressource, hvorfor det er nødvendigt at beregne et estimat ud fra det dyrkede areal med grønsager (tabel 4.1).

Biobrændstofpotentialer fra grønmasse er vanskeligt at bestemme, da sammensætningen er meget forskellig. Men hvis det nu antages, at grønmasse har en gennemsnitlig plantesammensætning og derfor giver et gennemsnitligt bioethanoludbytte per kg tørstof, vil dette svare til ca. 300 g bioethanol / kg grønmasse. Herved kan det samlede biobrændstofpotentialer for grønmasse estimeres til 2 mio. kg per år.

4.4 Fiskeaffald

Danmark har pga. sin geografi med store kyststrækninger i forhold til landareal haft tradition for at være et land med meget fiskeri. Fiskeri udgør stadigvæk en stor del af Danmarks industri, men har været aftagende gennem de seneste årtier.

Udskæring af fisk medfører en affaldsressource, der indeholder animalsk fedt og derfor vurderes egnet som råvare til især biodieselfremstilling. Den samlede ressource af biprodukter (fiskemel, -ensilage og -affald) ligger på ca. 617 mio. kg om året (Danmarks Statistik 2008), hvoraf fiskeaffald vurderes at udgøre ca. 157 mio. kg (Årsstatistik 2006). Fra 1 kg fiskeaffald er det muligt at fremstille 0,88 kg biodiesel (Piccolo 2008). Dvs. at produktionspotentialer for biodiesel baseret på fiskeaffald er omkring 138 mio. kg om året.

4.5 Restprodukter fra pektinindustrien

En virksomhed i Danmark (CP Kelco) producerer pektin baseret på importerede citrusskaller. Efter ekstraktion af pektin og carrageenan efterlades citrusskaller og tangrester, som vurderes egnede til bioethanolfremstilling. Citrusskallerne afsættes i dag som husdyrfoder hvorimod tangrester spredes som jordforbedringsmiddel på landbrugsjord dog med dispensation (Lyngsi 2008). Ressourcen af citrusskaller og tangrester er hhv. 70.000 ton (friskvægt)³ og 8-9.000 ton (friskvægt)⁴ om året (An-

³ Pektinresterne har et tørstofindhold på ca. 17 % (Andersen 2008)

⁴ Carrageenanresterne har et tørstofindhold på ca. 25 % (Andersen 2008)

dersen 2008). Udbyttepotentialet for begge restprodukter er ca. 280 g bioethanol per kg tørstof. Dvs. bioethanolpotentialet for hele ressourcen er ca. 3.350 ton bioethanol fra pektinresterne og 630 ton fra carrageenanresterne.

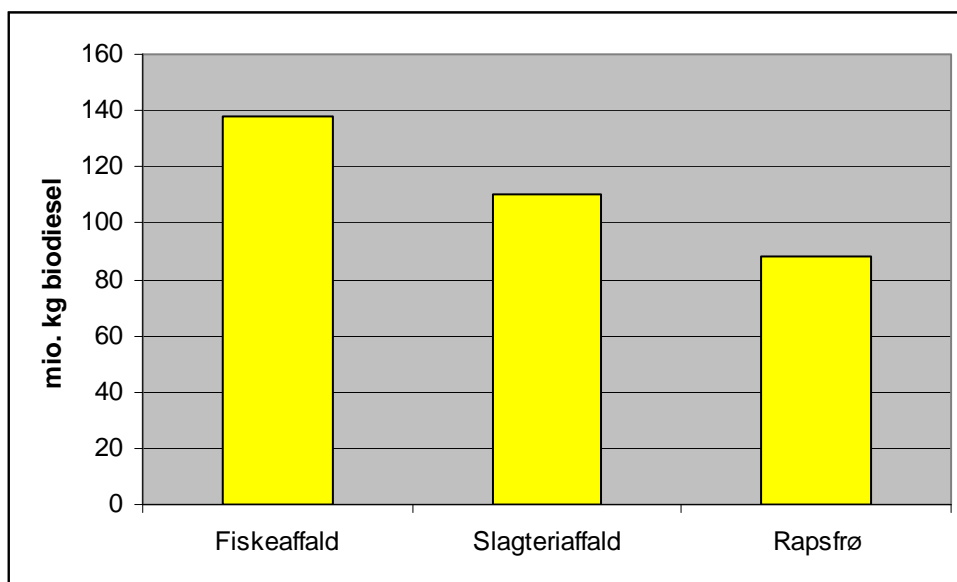
4.6 Fritureolie

Ved friturestegning af diverse madvarer anvendes planteolie, som skal skiftes med jævne mellemrum afhængig af brugsintensiteten. Den kasserede fritureolie er således et affaldsprodukt, som dog har været brugt som brændsel i oliefyr. Men fitureolien kan også anvendes som transportbrændstof, hvilket dog kræver en proces, hvor fitureolien konverteres til biodiesel. Udbyttepotentialet ligger på ca. 80 %; dvs. af 1 L fitureolie kan der produceres 0,8 L biodiesel (Boesen 2008).

Der foreligger ikke en national opgørelse over fitureolieressourcen, og det kan være svært at estimere/skønne ressourcen, idet det drejer sig om mange små portioner fra storkøkkener, kantiner, restaurationer, grillbarer mv. Det vil derfor på nuværende tidspunkt ikke udgøre en betydelig nationale ressource, men det kan ikke udelukkes at lokale tiltage kunne være interessante.

4.7 Delkonklusion

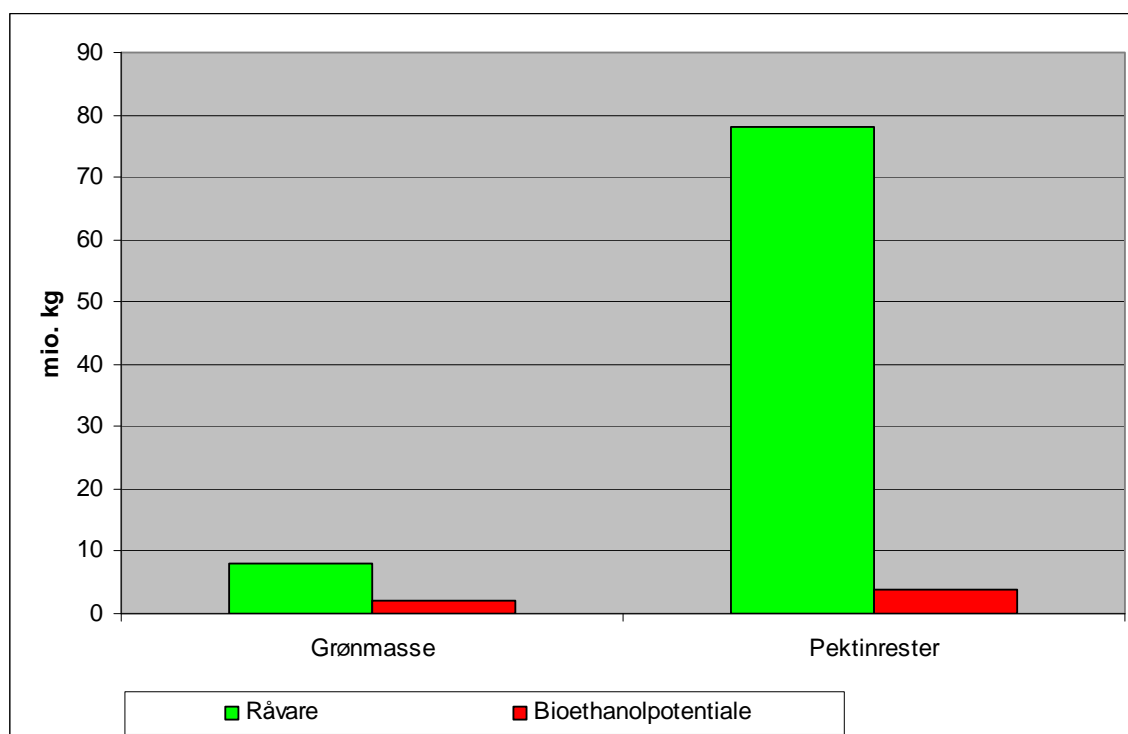
Selvom de øvrige biomasseressourcer ikke er i samme størrelsesorden som ressourcer fra land- og skovbrug, kan ovennævnte ressourcer vise sig at spille en stor lokal eller måske regional rolle, især fordi de ofte betragtes som affald (figur 4.1).



Figur 4.1 Råvareressource og biodieselpotentiale for fiskeaffald sammenlignet med potentialet fra slagteriaffald og den aktuelle produktion af rapsdiesel.

Typisk for disse ressourcer er at de kun findes i små mængder over hele landet, hvorfor det vil være nødvendigt med mindre konverteringsanlæg og muligvis også at samle ressourcerne centralt for at opnå en rentabel drift. Dette gælder dog ikke fiskeaffald, som er en ressource der kan sammenlignes med slagteriaffald. Både fordi den er i samme størrelsesorden, men også fordi den består af animalsk fedt, der kan konverteres til biodiesel (figur 4.1). Biodieselpotentialet af fiskeaffald er stort, og ville kunne imødekomme en betydningsfuld del af dieselforbruget i Danmark. Imidlertid er der i forvejen gode afsætningskanaler for fiskeaffald, hvorfor etablering af en reel biodieselproduktion vurderes til at være lav.

For grønmasse er den samlede ressource forholdsvis lille, hvormed det vil være nødvendigt at samle ressourcen centralt. Imidlertid vurderes det, at biobrændstofproduktion baseret alene på grønmasse ikke vil være rentabel også fordi sammensætningen er meget varierende, hvorfor denne ressource ikke umiddelbar vil være egnet. Grønmasseressourcen vil eventuelt være bedre udnyttet som råvare i lokale biogasanlæg.



Figur 4.2 Råvareresource og bioethanolpotentiale fra grønmasse samt restprodukter fra pektinindustrien.

Derimod vil bioethanolproduktion baseret på pektinrester have stor potentiale, især fordi denne ressource findes ét sted. Selvom bioethanolpotentialet kun er omkring 4 mio. kg vurderes denne produktion rentabel, især hvis den placeres i forbindelse med pektinproduktionen.

Ressourcer som husholdningsaffald og spildevandsslam vurderes ikke at være egnede råmaterialer til biobrændstofproduktion, men mere relevante i forhold til biogas- og kraftvarmeproduktion. Fritureolie er en oplagt ressource til biodieselfremstilling. Imidlertid er denne ressource forholdsvis lille og meget spredt, hvorfor en central indsamling vil være nødvendig.

5 Bæredygtig produktion af afgrøder til biobrændstoffer

EU lægger i sit direktivforslag af 23. januar 2008 op til at biobrændstoffer skal opfylde visse bæredygtighedskriterier for at kunne indgå i kravet om 10 % biobrændstoffer i 2020. Bæredygtighedskriterierne er i skrivende stund ikke fastsatte, men et kriterium er at biobrændstoffer skal reducere drivhusgasudslippet med mindst 35 % (Com 2008)⁵.

Bæredygtighed kan defineres på mange måder i mange forskellige relationer, men som regel tages der udgangspunkt i Brundtland-kommissionens definition: Bæredygtighed er en udvikling, som opfylder de nuværende generationers behov uden at bringe fremtidige generationers mulighed for at opfylde deres behov i fare (Brundtland-kommissionen 1987). Biobrændstoffer betegnes ofte for bæredygtige, fordi de i forhold til fossile transportbrændstoffer er en vedvarende energikilde, og derfor udleder mindre CO₂. Men biobrændstoffer bør også vurderes i forhold til forbrug af fossil energi både under dyrkning og under konvertering. Derudover kan eventuelle rest-/biprodukter fra biobrændstofproduktion vise sig væsentlige i forhold til den endelige bæredygtighedsvurdering.

I denne rapport arbejdes ud fra det standpunkt, at biomasser der benyttes til biobrændstoffer ikke må forårsage belastning af natur og miljø. Det vil således ikke være bæredygtigt at basere biobrændstofproduktion på afgrøder, som har et stort behov for maskinarbejde (diesel), gødning, pesticider, da det giver en ringe drivhusgasbalance men også kan skade natur, miljø og diversitet. Specifik energi input/output krav til forskellige råvare vil dog ikke fastlægges. Sådanne præcise målsætninger kunne dog formuleres, sammen med fx specifikke drivhusgasreduktionskrav (35% i EU's direktivforslag for vedvarende energi (VE-direktivet) fra januar 2008) fra jord til "bord(motor)".

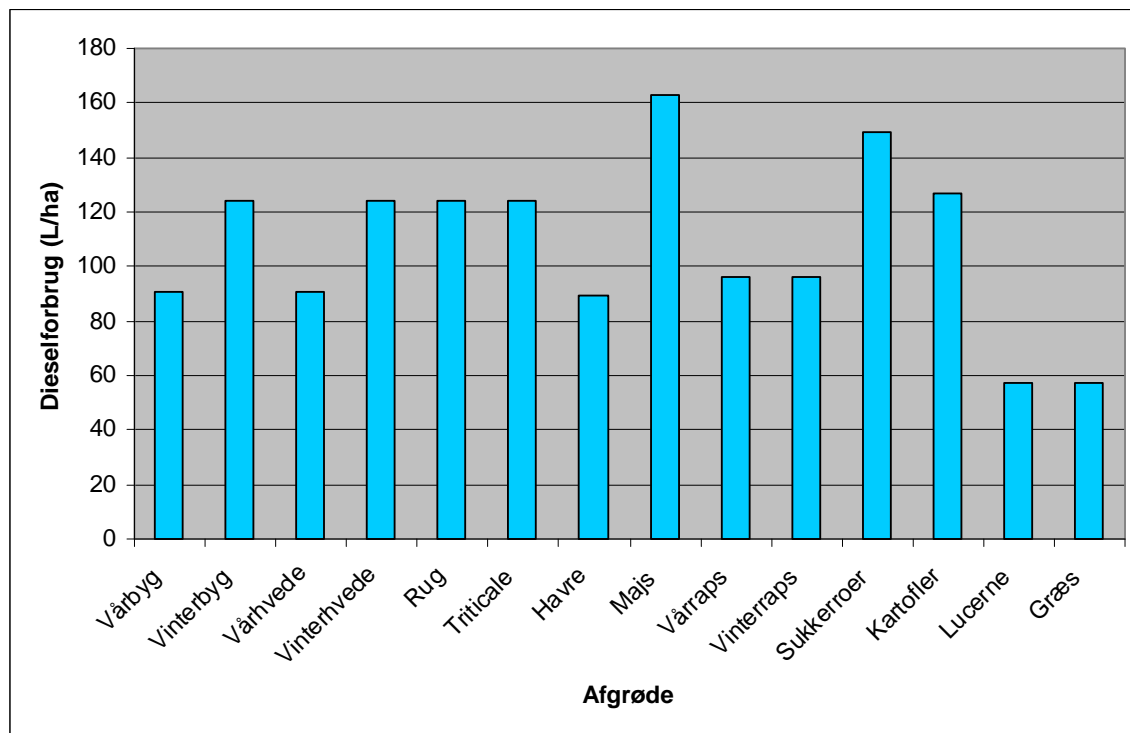
5.1 Dieselforbrug

Landbrugets samlede dieselforbrug udgør ca. 500 mio. liter om året, hvilket svarer til 63 % af landbrugets samlede energiforbrug (Dansk Landbrug 2006). Derfor er dieselforbruget ved afgrødedyrkning en væsentlig faktor i forhold til påvirkning af miljøet, da brug af fossile brændstoffer medvirker til drivhusgasemissioner.

Dieselforbruget ved afgrødedyrkning omfatter markoperationer som jordbearbejdning (herunder pløjning, tromling, harvning), såning, gødsning (både handelsgød-

⁵ Den danske klimaminister arbejder på at få reduktionskravet sat op til 50 %.

ning og husdyrgødning), kalkning, sprøjtning, høst, halmpresning, transport og lading/håndtering. Dieselforbruget varierer meget alt afhængig af hvilken afgrødeart der dyrkes. Således er dieselforbruget ved dyrkning af majs, kartofler og sukkerroer over dobbelt så stort som ved lucerne og græs i omdrift (figur 5.1).



Figur 5.1 Dieselforbrug for udvalgte afgrødearter på en middelhjord (Dalgaard 2007)

Lokale forhold, tilgængeligt maskineri, kundskabsniveau hos den enkelte landmand mv. vil dog være faktorer som har indflydelse for forbruget. Der findes samtidig forskellige former for reduceret jordbearbejdning (fx jordbearbejdning uden pløjning), som kan reducere dieselforbruget i betydningsfuld grad. For visse afgrødearter lader reduceret jordbearbejdning sig bedre honorere end andre, hvormed variationen i dieselforbruget kan være mindre. Også jordtype har stor indflydelse på dieselforbruget, idet bearbejdning af lerjorde kræver mere diesel end bearbejdning af sandjorde.

5.2 Gødningsbehov

Afgrødearternes gødningsbehov har ligeledes stor indflydelse på natur, miljø og diversitet. Både handels- og husdyrgødning kan forårsage alvorlige miljøskader, når der enten overgødskes, eller planterne ikke kan optage næringsstofferne (Andersen *et al.* 1999). Kvælstof er meget mobilt og kan således relativt let udvaskes til grundvand. Både fosfor og kvælstof kan via erosion og emission være årsagen til iltsvind i overfladevand og i sidste ende resultere i fiskedød (Christensen *et al.* 2004). Derud-

over kan øget kvælstofniveau i naturbiotoper være med til at forringe vækstbetingelser for visse sjældne arter. Ikke mindst kan udledning af kvælstof i drikkevandsoplande medføre overskridelse af grænseværdier, hvormed boringer må lukkes.

Gødning kan således via udledning have negativ effekt på natur og miljø, men allerede i fremstilling af især handelsgødning påvirkes miljøet negativt, idet processen er meget energikrævende (tabel 5.1). Herved sker der et udslip af kuldioxid og lattergas, som er den mest potente drivhusgas. Det vil således ikke gavne klimaet at benytte biobrændstoffer, som er baseret på afgrøder med stort handelsgødningsforbrug.

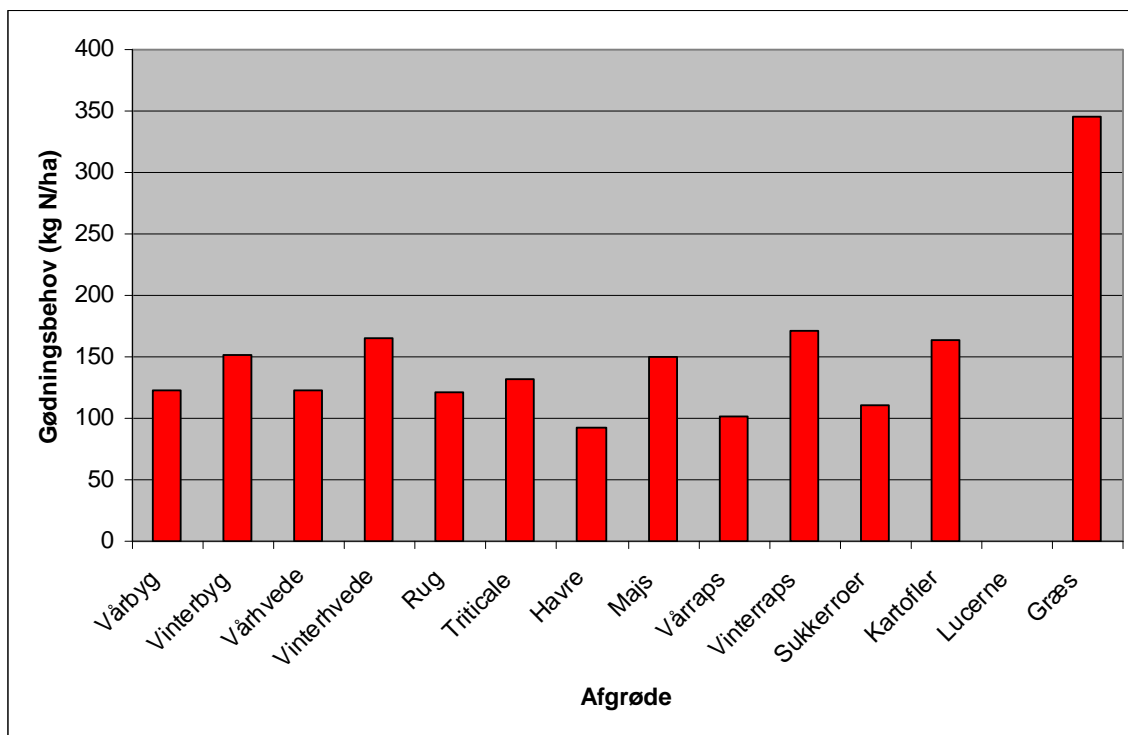
Tabel 5.1 Energiforbrug ved fremstilling af kvælstof(N)-, fosfor(P)- og kalium(K)-gødninger (Dalgaard *et al.* 2001).

| Gødning | Energiforbrug ved fremstilling (MJ kg ⁻¹) |
|---------|---|
| N | 50 |
| P | 12 |
| K | 7 |

Men også husdyrgødning er energikrævende i ”fremstillingsprocessen”, idet den indirekte repræsenterer en betydelig mængde energi, fordi både husdyr (især svin og kvæg) ikke kan udnytte den totale energi, der er akkumuleret i foderet (Kristensen *et al.* 2003). Husdyrfoder indeholder således et indirekte energiinput fra dyrkning af afgrøderne samt eventuel transport til husdyrproduktionen. I den forbindelse bør nævnes, at 90 % af det foderprotein, som benyttes af danske husdyrproducenter, importeres primært via sojabønner fra USA og Sydamerika (Dansk Landbrug 2007). I forbindelse med produktionen af husdyrgødning sker der ligeledes et udslip af drivhusgasser, idet specielt kvæg udleder betydelige mængder metan via deres omsætning af foder i vommen.

Selvom handelsgødning er et primærprodukt og husdyrgødning kan betragtes som et ”affalds”-produkt kan gødningstyperne sammenlignes i forbindelse med miljø og naturspørgsmål. Dvs. uanset om der tildeles handels- eller husdyrgødning vil der være et pres på miljøet.

Imidlertid er der stor forskel på afgrøders tildeling/behov for gødning (figur 5.2), hvor især salgsafgrøder som vinterhvede, vinterraps og kartofler tildeles mest gødning. Græs i omdrift har den højeste norm, bl.a. fordi græsmarker typisk anvendes til græssende husdyr, som efterlader sig gødning. Kvælstoffikserende afgrøder som lucerne og kløver har derimod mindre behov for gødning, fordi de selv er i stand til at forsyne sig med kvælstof.



Figur 5.2 Gødningsbehov for udvalgte afgrødearter dyrket på en sandblandet lerjord. Gødningsbehovet er baseret på Plantedirektoratets kvælstofnormer (Pdir 2006), der foreskriver hvor meget gødning, der maksimalt må tildeles hver afgrøde. Normerne differencieret i forhold til jordtype, hvor en afgrøde typisk må tildeles mere kvælstof når den dyrkes på lerjord end når den dyrkes på sandjord.

5.3 Pesticidbehov

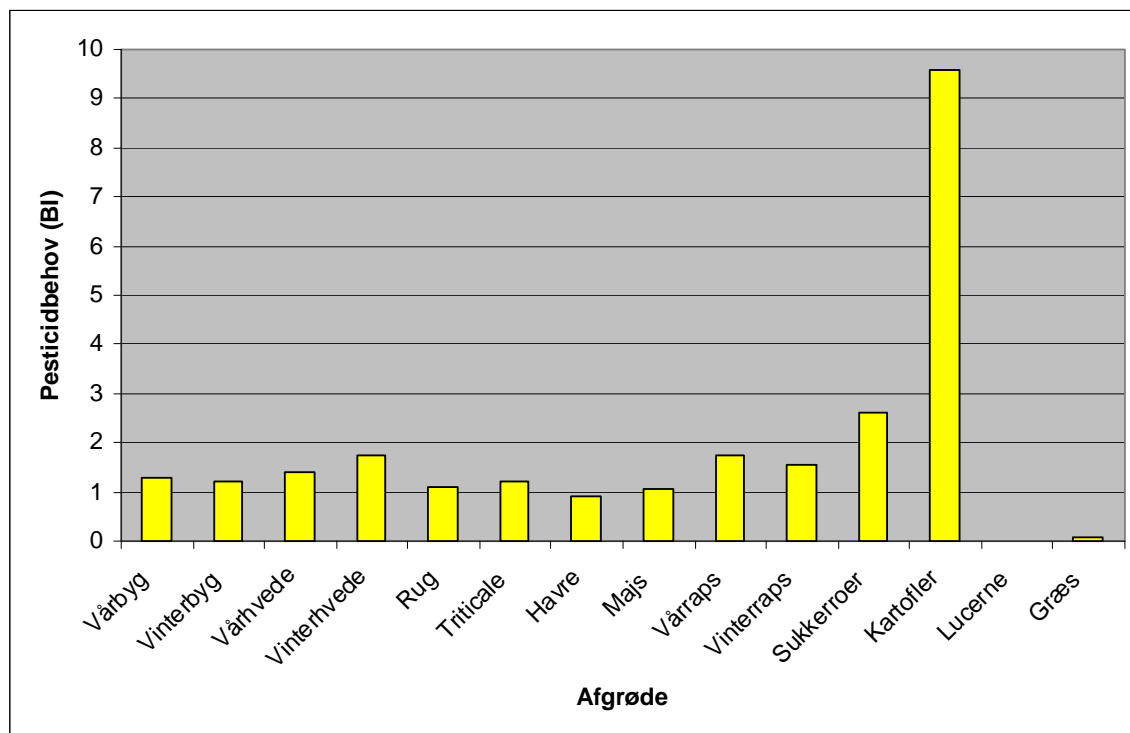
Selvom pesticider ikke er nær så energikrævende i fremstillingsprocessen sammenlignet med gødning (forbrug pr ha), kan brugen af pesticider have en stor effekt på natur og miljø. Ligesom kvælstof kan pesticider udvaskes og derved forurene grundvand. Derudover kan pesticider påvirke livscyklus hos både planter og dyr (Kjær *et al.* 2007). Sprøjtning med pesticider har gennem mange år været praktiseret for at bekæmpe ukrudt, skadedyr eller svampe, der således ikke reducerer udbyttet.

Pesticidbehovet varierer meget og afhænger af afgrødearten, hvor især kartofler har et stort forbrug. Derimod har afgrøderne lucerne og græs et minimalt behov (figur 5.3), idet disse afgrødearter er meget konkurrencesterke.

5.4 Delkonklusion

Hvis det bliver relevant at vælge en afgrøde frem for en anden som potentiel råvare til biobrændstofproduktion vil en bæredygtighedsvurdering af de forskellige afgrødearter være nødvendig. Formålet med biobrændstoffer er bl.a. at reducere drivhusgasemissioner, men et forkert afgrødevalg til biobrændstofproduktion kan medføre at

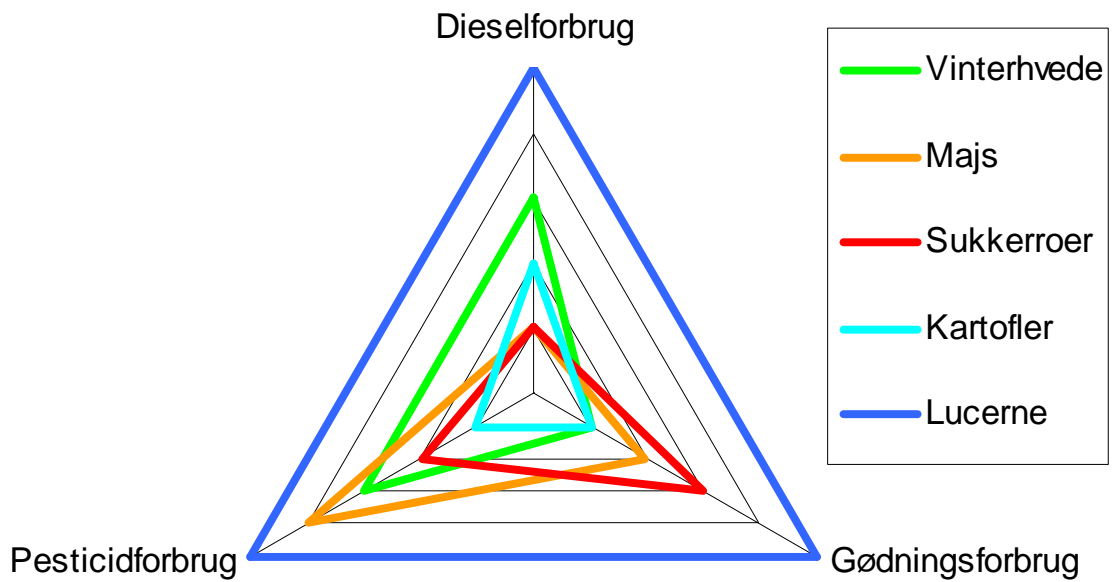
reduktioner er ubetydelige samtidig med at natur og miljø kan påvirkes negativt i bestræbelserne på at opnå et højt udbytte per hektar.



Figur 5.3 Pesticidbehov for udvalgte afgrøder. Behandlingsindeks (BI) er et vejledende måltal, som er skønnet tilstrækkelig under gennemsnitlige forhold (Dansk Landbrugsrådgivning 2004).

Derfor vil det ikke være bæredygtigt at basere biobrændstofproduktioner på afgrøder som kartofler, majs, sukkerroer, der ved nuværende dyrkningsform har et stort forbrug af diesel, gødning og pesticider (figur 5.4). Derimod kan flerårige og kvælstoffikserende afgrøder som lucerne og kløver(græs) være en bæredygtig løsning, da de har et minimalt forbrug af diesel, gødning og pesticider.

En bæredygtighedsvalidering som vist i figur 5.4 kunne være relevant ved stillingtagen omkring afgrødevalg. Dette er især relevant ved udarbejdelse af fx direktivet, hvor biobrændstoffer skal opfylde visse bæredygtighedskrav for at kunne indgå i det nationale biobrændstofregnskab.



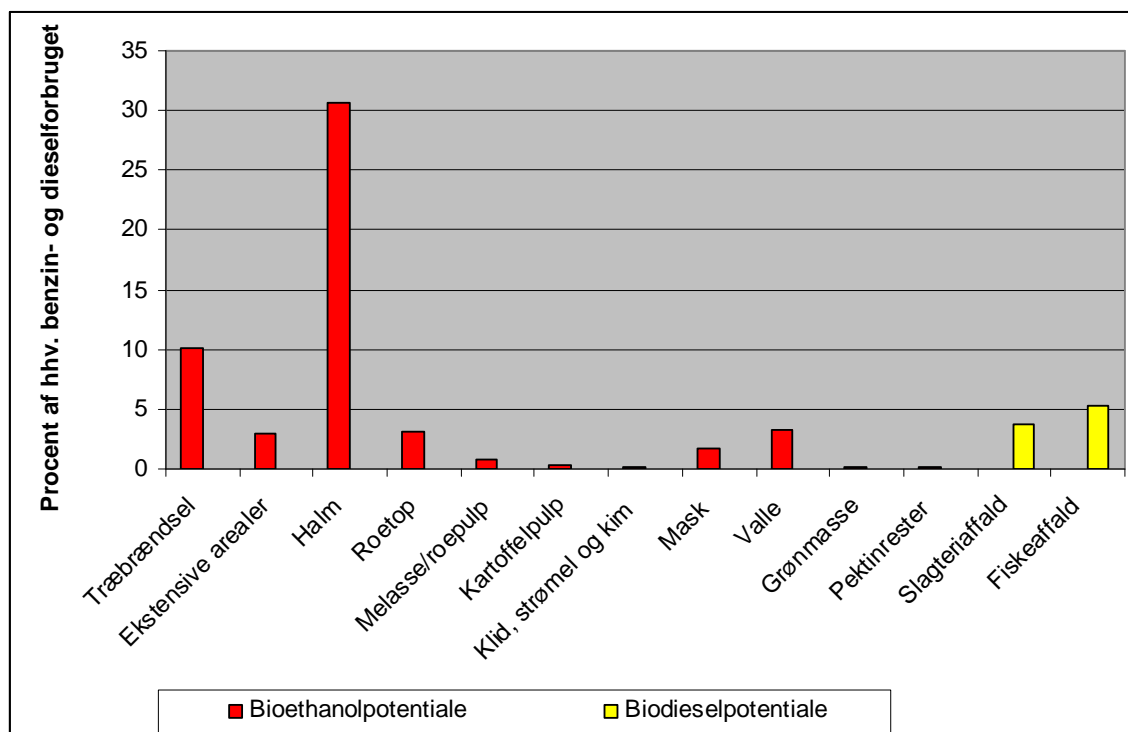
Figur 5.4 Bæredygtighedsvalidering af fem udvalgte afgrødearter baseret på diesel-, pesticid- og gødningsforbrug. Størrelsen på trekanten angiver bæredygtigheden ved dyrkning af afgrøderne. Dvs. afgrøde med størst trekant er mest bæredygtig.

6 Diskussion

Landbrugssektoren vil komme til at spille en stadig større rolle for forsyning af samfundet med biobaserede produkter, og herunder biobrændstoffer som bioethanol og biodiesel. Energiforsyningen til transportsektoren, og andre sektorer i øvrigt, er i forandring i disse år. Der er tale om et markant paradigmeskifte fra et system baseret på fossil energi til et system, der skal implementere andre og mere vedvarende energiløsninger. Det tager tid. Men det vurderes at være meget nødvendigt at identificere danske styrkepositioner og ressourcer for at give landbrugssektoren mulighed for at agere proaktivt og drage nytte af dette forventelige vækstområde.

6.1 Teoretiske potentialer

De anførte teoretiske potentialer for både bioethanol og biodiesel produceret ud fra danske råvarer beror på en række antagelser (se afsnit 1.3). Ud fra disse står det klart, at landbrugssektoren kan tilføre transportsektoren betydelige mængder biobrændstoffer svarende til ca. 30 % af nuværende benzinformbrug hvis vi benytter den ikke-bjærgede halmressource, ca. 10 % hvis vi benytter træbrændselsressourcen og ca. 6 % hvis vi benytter andre mere affaldsorienterede biomasseressourcer. Fiske- og slagteriaffald vil kunne dække ca. 9 % af det nuværende dieselforbrug (figur 6.1).



Figur 6.1 Biomasseressourcernes potentialer i forhold til nuværende forbrug af hhv. benzin og diesel.

Af rapporten fremgår det således tydeligt, at der for skovbruget, landbruget og skov- og landbrugsfølgendeindustrier er muligt at levere signifikante mængder biomasse til biobrændstofproduktion uden at det vil ske på bekostning af fødevarerproduktion (herunder foderproduktion). Endvidere er potentialet fra disse ressourcer sammenlagt stort, da ressourcerne ville kunne dække op til 50 % af benzinforsbruget og 9 % af dieselforsbruget (ekskl. rapsdiesel).

Hvis en del af dyrkningsarealet tilmed inddrages vil potentialet være endnu større. Dog bør inddragelse af dyrkningsareal ske med omtanke, således energiafgrøderne foruden energiproduktion også har en anden nyttig funktion (se afsnit 2.1.2). Derudover bør dyrkning af afgrøder til biobrændstofproduktion ske under hensyntagen til natur, miljø og diversitet. Samtidig vil der være et maksimum for fraførsel af afgrøderester fra dyrkningsarealet, i henhold til jordens frugtbarhed på længere sigt. Eksempelvis kan halm vise sig at være en vigtig fosfor og kalium kilde, hvis kunstgødning med disse næringsstoffer på længere sigt antages reduceret.

Som tidligere beskrevet (se afsnit 1) er biobrændstofproduktion i Danmark yderst begrænset, sammenlignet med andre lande i EU som fx Sverige, Tyskland og Spanien. I USA startede massive investeringer i 2005, da den amerikanske regering gennemførte en lov, som krævede at raffinaderierne blandede biobrændstof med benzin. Samtidig valgte den amerikanske regering at støtte op om branchen økonomisk. Det amerikanske landbrug har i dag en betydelig indtjening fra ikke bare salg af foder og fødevarer, men også råvarer, primært majs-kerner til 1G bioethanol, til energiformål. På nuværende tidspunkt er der ikke noget dansk biobrændstofmarked, og eksempelvis den danske produceret biodiesel eksporteres (se afsnit 2). Den danske regering vil muligvis lancere krav om, at der skal tilsættes to procent (senere 5,75 %) bioethanol til benzinen i Danmark i forbindelse med de nuværende energiforhandlinger. Men det er sandsynligt at det kommer til at bestå af importeret 1G bioethanol fra ex. Brasilien, og ikke indvirke betydeligt på afsætningen af den danske biomasseressource.

6.2 Antagelser

De beregnede bioethanolpotentialer (figur 6.1) er foretaget ud fra den antagelse at både C5- og C6-sukre kan konverteres (se afsnit 1.3). Imidlertid er konverteringen af C5-sukre endnu ikke fuldt udviklet, og i den videnskabelige verden er der begyndt at rejse tvivl om, hvor realistisk det er at forvente et gennembrud indenfor de næste fem år (se afsnit 1.4). Hvis vi således antager at disse C5-sukre går til andre formål end bioethanol vil de anførte biomasseressourcer alligevel kunne dække 20-30% af benzinforsbruget ud fra cellulosebaseret ethanol. Konvertering af C5-sukre vil selvfølgelig medføre et højere bioethanoludbytte per biomasse enhed, og derfor bruges til at

diskutere teknologiens effektivitet mv. Men spørgsmålet er, om disse procestrin ikke vil vise sig for energimæssige omkostningsfulde? Måske vil andre fx grønne kemikalieprodukter frembragt med udgangspunkt i C5-sukre som råvare være mere interessante at satse på, som nyligt påpeget af Novozymes forskningsdirektør Per Falholt (Ingeniøren 2008) med udgangspunkt i amerikanernes betydelige investeringer i fremstilling af diverse kemikalier fra biomasse.

Samtidig skal det også påpeges at 2G-teknologier (se kap 1.3) endnu ikke kan betragtes som værende fuldt kommercielt udviklet. Det bedste bud, også internationalt, er Dong Energy og deres IBUS-koncept med brug af halm til at udvinde bioethanol hvorefter restbiomassen henholdsvis benyttes til foder og/eller gødning samt forbrændes og anvendes til at producere el. Et demonstrationsanlæg forventes etableret i 2009 ved Asnæsværket, Kalundborg. Et fuldt opskaleret kommercielt anlæg vil efterfølgende tage 3-5 år at etablere.

Nye energiløsninger og herunder alternative brændstoffer beror på forskning og udvikling, og dermed usikkerheder og risici for investorer og øvrige aktører. Men det er vigtigt at pointere, at udviklingen af biobrændstofteknologier bør betragtes som gennembrud for øget brug af biomasse til energiformål og materialer. Biobrændstoffer som bioethanol og biodiesel er blot nogle af de første produkter der kan afsættes kommercielt, og i et vist omfang. Hele forarbejdningen og oplukningen af fx lignocellulose biomasse (se afsnit 1) er banebrydende for andre produkter og markeder.

6.3 Kraftvarme og/eller biobrændstoffer

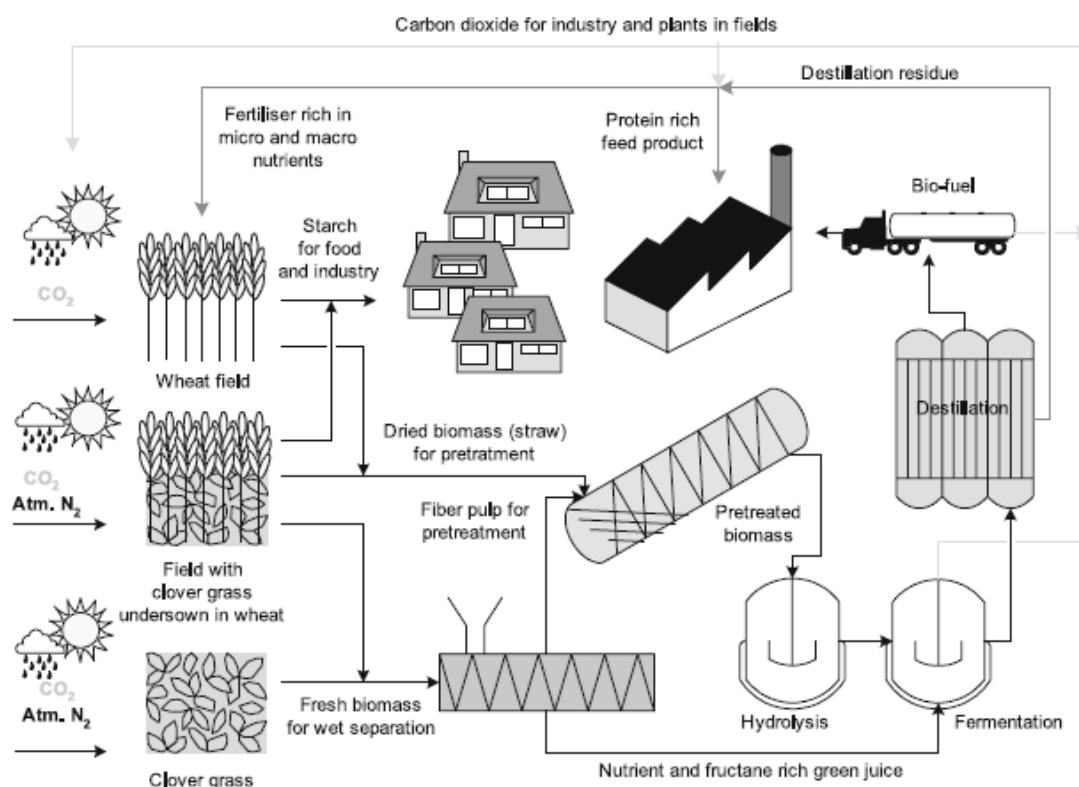
Betydelige mængder af landbrugets halmressourcer afsættes allerede i dag til kraftvarmeværker (figur 2.4) bl.a. som følge af biomasseaftalen (Energistyrelsen 2008b), der tilskynder kraftvarmeværker at øge anvendelsen af biomasse. På nuværende tidspunkt betragtes halm som den mest tilgængelige og mest håndterlige biomasseresource som landbruget stiller til rådighed for samfundet, og halmen har samtidig været prisbilligt at fremskaffe for kraftvarmeværkerne. Det betyder at der er en række logistik og håndteringsspørgsmål vedrørende tørre råvarer som halm, der allerede er etableret i dele af erhvervet. Det har afgørende betydning for, hvorledes andre råvarer (figur 2.6 og 4.2) kan gøres attraktive at tilbyde fremtidige markeder.

For et fremtidig marked med øget fokus på vedvarende energiløsninger, ud fra miljø- og klimabetragtninger, men også simple markedsmekanismer styret af relativt høje priser på fossil energi, kan halm vise sig at være for værdifuld at benytte til direkte afbrænding i henhold til sukkerindhold og øvrige anvendelsesmuligheder. Som det fremgår af kapitel 3 er træbrændselsressourcen eksempelvis ikke fuldt udnyttet, i og med, at der sker en vedmasseopsparing. Træ har en unik høj brændværdi, og ved

øget anvendelse til kraftvarme vil halmressourcen frigøres til andre formål, der udnytter halmens egenskaber mere optimalt.

6.4 Bioraffinaderi

Bioraffinaderi er et produktionskoncept, der udnytter den indgående biologiske råvare maksimalt, og giver konkurrencemæssige fordele gennem et værdiforøgende produktionskoncept. Risø DTU har udarbejdet modeller for bioraffinaderi løsninger baseret på aktuelle laboratoriedata med brug af eksempelvis korn undersået med kløvergræs som udlæg (figur 6.2). I et sådant koncept vil kerner fra kornafgrøden sælges til traditionelle fødevareformål og halm og kløvergræs indgå i en bioraffinering med produktion af bioethanol, foder og gødning.



Figur 6.2 Risø DTU koncept for et decentralt bioraffinaderi for produktion af biobrændstoffer fra hvedehalm og kløvergræs med stor fokus på bæredygtighed, nærhed og recirkulering (Fra Thomsen & Haugaard-Nielsen 2007)

Det handler om at udnytte biomassen, som bør betragtes som en begrænsende ressource, mere komplet end vi på nuværende tidspunkt har fundet nødvendigt. Fx vil halm rent energimæssigt være bedst anvendt i kraftvarmeværker, fordi her opnås den højeste energieffektivitet. Imidlertid er halm også et vigtigt gødningsmiddel og jordstrukturforbedrende, som er egenskaber, der ikke tilgodeses ved halmafbrænding.

Hvis halm derimod anvendes i et bioraffinaderi, vil der være restprodukter med højt mineralsk indhold, som kan tilbageføres til jorden, og dermed gøde / opretholde jordens dyrkningskvalitet.

Visse biomasseressourcer vil på nationalt plan ikke kunne spille en større rolle i forhold til biobrændstofproduktion (figur 6.1). Men på regional og lokal plan kan disse ressourcer spille en central rolle. Det vil typisk være ressourcer, som forefindes koncentreret i en region, og derfor ikke skal transporteres over store afstande, hvis en evt. biobrændstofproduktion placeres i denne region. Imidlertid vil det være usikkert at etablere en biobrændstofproduktion, som udelukkende baseres på en lokal råvare. Derfor vil der være store fordele ved industriel symbiose, hvor en virksomhed med affaldsressourcen etablerer en biobrændstofproduktion, som baseres på affaldsressourcen. Et godt eksempel herpå er DAKA Biodiesel, som er i symbiose med danske slagterier. Pektinfabrikken CP Kelco kunne have et lignende potentiale. Lokal biobrændstofproduktion giver også mulighed for virksomheder og muligvis mindre samfund at øge selvforsyningsgraden. Fluktuerende brændstofpriser og potentiel trussel på forsyningssikkerheden øger incitamentet til selv at fremstille brændstof.

Planter indeholder et utal af stoffer som kan anvendes som udgangspunkt for bioraffinering og konvertering og hermed erstatte petrokemiske produkter. Biomasse indikerer en alt for generaliseret term for en meget diverse råvaregruppe. Derfor bør de opgjorte biomasseressourcer (figur 6.1) måske i fremtiden snarere betragtes som en række forskelligartede råvarer som kan være brugbare for en række slutprodukter snarere end kun at debattere biobrændstoffer til transportsektoren og/eller direkte afbrænding.

Igen, set fra et erhvervssynspunkt, kan potentialet for nye markeder for en række biomasseprodukter betragtes ud fra en hypotese om at industrien er ved at løbe tør for råvare. Den oliebaseerede industrielle revolution er under stor forandring, og forskellige biomasser vil som de nye råvarer stige i værdi. Globalt vil der i stigende grad udvikles en mere biobaseret økonomi.

7 Konklusion

Den danske natur og herunder dyrkningsareal har en række formål, lige fra rekreative oplevelser, traditionel produktion af foder og fødevarer samt nu også energi, materialer og kemikalier. Øget efterspørgsel vil betyde konkurrence om landområder, for jorden kommer til at afgøre, hvor mange råstoffer der er til rådighed. Hertil kommer, at andre faktorer som skovrejsning og ekstensivering af arealer i naturfølsomme områder også lægger beslag på potentielle landbrugsarealer.

Landbrugserhvervet udvikler sig hele tiden i henhold til markedet og herunder politiske reguleringer. Nationale politikker som fx pesticidhandlingsplan I og II samt pesticidplan 2004-2009 fra hhv. 1986, 2000 og 2003 har sat mål for pesticidanvendelsen i landbruget (Miljøstyrelsen 2000). EU påvirker også nuværende landbrugspraksis via fx de såkaldte Natura 2000 direktiver, hvor der pålægges restriktioner på arealer beliggende i internationale naturbeskyttelsesområder (KOM 2000). Disse politiske foranstaltninger er med til at sætte en øvre grænse for afgrødeproduktion og er derfor med til at begrænse landbrugets samlede produktion.

Alligevel betragtes landbrugets muligheder for at drage nytte af en mere biobaseret økonomisk udvikling som store. Men det kræver at biomasse betragtes en smule anderledes end mange gør i dag. Med hensyn til plantebiomasse bliver det nødvendigt at kunne inddrage plantearternes øvrige funktioner som fx grundvandsbeskyttelse, biodiversitet, kulstoflagring mv. Mange af de udfordringer landbrugserhvervet står overfor, jf. fx de nævnte politiske tiltag, kræver større brug af sådanne biologiske værktøjer. Med øget afsætning til bioenergi og -materialer kan det samtidig vise sig muligt at opnå rentabilitet ved ændring af nuværende meget kornrige og ensidige sædskifter. Samtidig er der en række ressourcer, der i dag betragtes som affald, men som i fremtiden bør værdisættes anderledes højt.

Dele af landbruget kan drage stor nytte af disse nye afsætningsmuligheder for øget indtjening og beskæftigelse, og landbrugserhvervet som helhed kan styrke sin rolle som forvaltere af dansk natur og miljø.

8 Tak til

En stor tak til Engestofte og Søholt Fonden for støtte til dette arbejde med opgørelse af danske biomasseressourcer. Indeværende rapport repræsenterer et bidrag til øget national viden således der kan opstilles kvalificerede scenarier og nationale handlingsplaner for udnyttelse og eventuel øget produktion af relevante biomasseressourcer til energiformål, og herunder biobrændstoffer. En større viden om betydning af øget anvendelse af biomasseressourcer og dens konvertering til biobrændstoffer og andre energiformål vurderes fortsat, at have stor betydning for udviklingen af danske erhvervskompetencer indenfor området.

Vi vil også gerne takke Seniorforsker Mette Hedegaard Thomsen, Risø DTU, for råd og vejledning omkring beregningstekniske detaljer vedrørende primært potentiel ethanoludbytte fra de mange forskellige biomasseressourcer.

Sidst, men ikke mindst, vil vi gerne takke de forskellige virksomheder vi har ringet til for deres åbenhed og hjælpsomhed vedrørende informationer og data om deres restprodukter. Ingen nævnt, ingen glemt.

9 Kilder

- Andersen, S. (2008): Personlig meddelelse. CP Kelco, Ved Banen 16, 4623 Køge, Telefon: 56 16 58 96.
- Andreasen, K. (2007): Personlig meddelelse. Adm. direktør, Daka Biodiesel, Bragesvej 18, 4100 Ringsted, Telefon: 76 74 51 11.
- Boesen, L. (2008): Personlig meddelelse. Frituredyt.dk.
- Buttenschøn, R.M. (2007): Græsning og høslæt i naturplejen. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen og Center for Skov, Landskab og Planlægning, Københavns Universitet.
- Carlsberg (2007): Grønt Regnskab 2006. Carlsberg Bryggerierne København og Tønder- Fredericia Bryggeri, Carlsberg Danmark A/S.
- Christensen, C.H. (2008): The Renewable Chemical Industry: Optimal Use of Biomass Resources. Oplæg til åben konference: Samspillet mellem fødevarer, energi og klima.
- Com (2008): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Commission of the European Communities.
- Cox, P. & M.Chrisochidis (2003): Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2003/30/EF af 8. maj 2003 om fremme af anvendelsen af biobrændstoffer og andre fornyelige brændstoffer til transport. *Den Europæiske Unions Tidende*. 17/5-2003, pp. 42-46.
- Danmarks Statistik (2007): Landbrug 2006. Statistik om landbrug, gartneri og skovbrug.
- Danmarks Statistik (2008a): *Afgrøder efter enhed, afgrøde og tid*, [online]. Danmarks Statistik [citeret d. 22. maj 2008]. Tilgængeligt på Internet: www.statistikbanken.dk/AFG
- Danmarks Statistik (2008b): *Anvendelse af korn efter oprindelse, periode, tid, type og afgrøde*, [online] Danmarks Statistik [citeret d. 22. maj 2008]. Tilgængeligt på Internet: www.statistikbanken.dk/KORN

Danmarks Statistik (2008c): *Halmudbytte og halmanvendelse efter enhed, afgrøde, område, tid og anvendelse*, [online] Danmarks Statistik [citeret d. 22. maj 2008].

Tilgængeligt på Internet: www.statistikbanken.dk/HALM1

Danmarks Statistik (2008d): *Hugsten i skove og plantager i Danmark efter areal, område, træsort og tid*, [online]. Danmarks Statistik [citeret d. 22. maj 2008]. Til-

gængeligt på Internet: www.statistikbanken.dk/HUG

Danmarks Statistik (2008e): *Husdyrbestanden efter art, enhed, afgrøde, område og tid*, [online]. Danmarks Statistik [citeret d. 22. maj 2008]. Tilgængeligt på Internet:

www.statistikbanken.dk/HDYR1

Danmarks Statistik (2008f): *Høstresultat efter enhed, afgrøde, område og tid*, [online]. Danmarks Statistik [citeret d. 22. maj 2008]. Tilgængeligt på Internet:

www.statistikbanken.dk/HST77

Dansk Landbrugsrådgivning (2005): *Sædskiftevejledning. Dyrkningsvejledning*, [online]. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret. [citeret d. 7. maj 2008]. Tilgængeligt på Internet: www.lr.dk/dyrkn

Daverkosen, S. (2008): Personlig meddelelse. Konsulent, Aarstiderne A/S.

DFFE (2008): Opgørelse over anmeldte landbrugsarealer i ansøgningerne om landbrugsstøtte for 2008. Direktoratet for FødevareErhverv.

Dong (2008): Udtalelse fra direktør Anders Eldrup i Jyllands Posten den 27. marts 2008.

Easson, D.L., V.B.Woods & E.G.A.Forbes (2004): *Potential of cropping for liquid biofuels in Northern Ireland –An evaluation of the market for biofuels in Northern Ireland, considering the EU Directive on the Promotion of Biofuels for Transport (2003/30/EC)*. Global Research Unit, AFBI Hillsborough.

Eckholdt, A. (2008): Vandrammedirektivet – et spil med mange ubekendte. Jord og Viden nr. 2. pp. 6-9.

Energistyrelsen (2008a): Alternative drivmidler i transportsektoren. Rapport fra den tværministerielle arbejdsgruppe om alternative drivmidler til transportsektoren.

Energistyrelsen.

Energistyrelsen (2008b): Aftale mellem regeringen, Det Konservative Folkeparti, Venstre og Socialistisk Folkeparti om øget anvendelse af biomasse i energiforsyningen og til industrielle formål, [online]. Tilgængeligt på Internet:

<http://www.ens.dk/sw13380.asp>

- EU (2003): Europa-parlamentets og Rådets direktiv 2003/30/EF af 8. maj 2003 om fremme af anvendelsen af biobrændstoffer og andre fornyelige brændstoffer til transport. Den Europæiske Unions Tidende L 123/42.
- Fenger, J. & O.S.Hansen (2001): *CO₂ udslippet i Danmark og resten af verden*, [online]. DMU. [citeret 7. marts 2007]. Tilgængeligt på Internet:
<http://www.dmu.dk/Forstå+miljøet/Luft/CO2+ven+eller+fjende/CO2+udslippet+i+Danmark+og+resten+af+verden.htm#Produktion>
- FOI (2008): Hvorfor opstod krisen og hvordan løser vi den? Fødevareøkonomisk Institut.
- Hahn-Hägerdal, B., M.Galbe, M.F.Gorwa-Grauslund, G.Lidén & G.Zacchi (2007): Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residue of today. *TRENDS in Biotechnology*. Vol. 24, No. 12, pp. 549-555.
- Ingeniøren (2008): Bioøkonomi: Al magt til landmanden igen. Artikel i Ingeniøren d. 24. oktober 2008.
- IPPC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, [online]. Intergovernmental Panel on Climate Change. [citeret 1. marts 2007]. Tilgængelig på Internet: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/docs/WG1AR4_SPM_Approved_05Feb.pdf>
- Jakobsen, M.G. & I.Langgaard (2007): Fra affald til bioethanol – Forslag til alternativ udnyttelse og håndtering af affald til energiformål. Speciale. Institut for Miljø, Teknologi og Samfund, Roskilde Universitetscenter.
- Jørgensen, U., Dalgaard, T., Kristensen, E.S. (2005) Biomass energy in organic farming—the potential role of short rotation coppice. *Biomass and Bioenergy* 28 (2005) 237–248
- Jørgensen, U., P.Sørensen, A.P.Adamsen & I.T.Kristensen (2008): Energi fra biomasse – Ressourcer og teknologier vurderet i et regionalt perspektiv. DJF Markbrug nr. 134. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet.
- Larsen, P.H. & V.K.Johannsen (2002): Skove og plantager 2000. Danmarks Statistik, Skov & Landskab og Skov- og Naturstyrelsen. Danmarks Statistiks trykkeri, København.
- Larsen, P.H. (2008): Personlig meddelelse. Fuldmægtig. Danmarks Statistik, Sejrøgade 11, 2100 København Ø, Telefon:39 17 38 63.

- Lindhoff, L. (2008): Personlig meddelelse. Vice President, Danisco Sugar, Langebrogade 1, 1001 København, Telefon: 32 66 25 11.
- Miljøstyrelsen (2008): Affaldskilder, [online] www.mst.dk/Affald/Affaldskilder/
- Mitchell, D. (2008): A Note on Rising Food Prices. Development Prospects Group, The World Bank. Policy Research Working Paper No. 4682.
- Nord-Larsen, T. & N.Heding (2003): Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha – opgørelse og prognose 2002. Dansk Skovbrugs Tidsskrift, bind 88, Nr. 1, s. 1-72.
- OECD-FAO (2008): OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017. Organisation for Economic co-operation and development og Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Poulsen, H.D., C.F.Børsting, H.B.Rom & S.G.Sommer (2001): Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. DJF-rapport nr. 36.
- Pdir (2007): Årlig redegørelse – Gødningsregnskaber m.m. Statistik 2003/2004. Plantedirektoratet.
- Piccolo, P. (2008): Aquatic Biofuels. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Rahbek, G. (2008): Personlig meddelelse. Valsemøllen A/S, Havnegade 58, 6701 Esbjerg, telefon: 76 10 33 00.
- Skov- og Naturstyrelsen (2002): Danmarks nationale skovprogram, [online] Miljøministeriet. Tilgængeligt på Internet http://www2.skovognatur.dk/udgivelser/2002/87-7279-452-6/danmarks_nationale_skovprogram.pdf
- Søndergaard, T (2008): Personlig meddelelse. Proceschef, Carlsberg Breweries A/S, Ny Carlsbergvej 100, 1760 København V.
- Thomsen, A.B., C.Medina & B.Ahring (2003): Biotechnology in ethanol production. I: H.Larsen, J.Kossmann & L.S.Petersen (eds.) *Risø Energy Report 2. New and emerging bioenergy technologies*. Risø National Laboratory. pp. 40-44
- Thomsen, MH, A Thygesen & A.B.Thomsen (2007): Hydrothermal treatment of wheat straw at pilot plant scale using a three-step reactor system aiming at improved hemicellulose recovery and low lignin hydrolysis. Ikke publiceret.
- Thomsen, MH (2008): Personlig meddelelse. Seniorforsker, Risø DTU.

Thomsen, MH & H Haugaard-Nielsen (2008): Sustainable bioethanol production combining biorefinary principles using combined raw materials from wheat under-sown with clover-grass. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* Vol. 35: 303–311

Thorup-Kristensen, K, J Magid & LS Jensen (2003): Catch Crops and Green Manures as Biological Tools in Nitrogen Management in Temperate Zones. *Advances in Agronomy* Vol. 79: 227-302.

Tsoumis, GT (1991): *Science and Technology of wood – Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Wenzel, H (2008): Metoder til påvisning af sammenhænge mellem produktionsmetoder og miljø/klimabelastninger. Oplæg til åben konference: Samspelet mellem fødevarer, energi og klima.

