

Bioethanol i den danske transportsektor

Bioethanol in the Danish transportation sector



Udarbejdet af gruppe 14, hus 13.2:

Andreas Møller-Nybye

Anine Svendsen Kimer

Glennie Olsen

Rasmus Dahl

Stine Raith Richter

Vejleder: Rikke Lybæk

Første semesterprojekt
Naturvidenskabelig Basisuddannelse
Roskilde Universitetscenter
Efteråret 2006

Abstract

Since the world's fossil fuel resources are limited there is need for alternative fuel sources, as for example renewable energy. This could be bioethanol. Bioethanol is produced from crops containing sugar, starch or lignocelluloses. This energy source will be more consistent, because it is produced from organic material. The most accessible crops in Denmark are wheat, where the sugar is easily fermented, and straws which contain lignocelluloses. The advantage in using bioethanol is that it produces less contamination than fossil fuels. It is CO₂-neutral and can contribute to a cleaner environment especially in the transportation sector.

The problem we have chosen to address is:

Which form of bioethanol production is the best to reduce the energy consumption and CO₂-contamination in the Danish transportation sector? And what are the possibilities of a conversion of this?

We have chosen to describe the research methodology in producing bioethanol and discuss the environmental consequences of bioethanol production. Furthermore we have interviewed people with expertise in different production methods of bioethanol, and analyzed reports on future alternative fuels in Europe with focus on “cradle-to-grave” analysis.

In the first generation technology growing of crops has only one purpose; the production of bioethanol. Whereas in the second generation technology it is a residual product, which is used in the production and the residual product from this production can be used in combined heat-and-power and as animal feed. As a result second generation technology is best suited for the reduction of CO₂-contamination and to reduce the consumption of energy.

We have concluded that the first generation technology is the most promising way to start a market for bioethanol in Denmark and afterwards the most environmental beneficial way is by changing the production into second generation technology.

In Denmark it would be possible to convert gas stations and refineries to cope with admixing of ethanol to gasoline. However this will require a onetime cost for conversion, improvement and cleaning of reservoirs and tank lorries. Flexi Fuel Vehicles are already existing.

Resumé

Da verdens fossile energi er ved at slippe op, er der behov for alternative brændstoffer, såsom vedvarende energikilder. Dette kunne være bioethanol. Bioethanol produceres ud fra sukker- og stivelseholdige råvarer samt råvarer, der indeholder lignocellulose. Derfor vil denne energikilde ikke blive udtømt, på samme måde som fossile brændsler. I Danmark vil oplagte råvarer være kornsorter som fx hvede, hvor sukkeret er let tilgængeligt, eller halm som er et restprodukt fra landbruget, som indeholder lignocellulose. Bioethanol har også den fordel at det ikke forurener lige så meget som fossile brændstoffer, da det er CO₂-neutralt, og derved kan bidrage til et renere miljø, specielt i transportsektoren.

Vi har valgt at arbejde ud fra følgende problemformulering:

Hvilken form for produktion af bioethanol er den bedste til at nedsætte energiforbrug og CO₂-udslip i den danske transportsektor? Og hvad er mulighederne for en omstilling af denne?

Vores metode har været at beskrive de grundlæggende processer i fremstilling af bioethanol, og vurdere miljømæssige konsekvenser af bioethanolproduktionen. Vi har foretaget interviews med ekspertpersoner indenfor de forskellige områder af bioethanolfremstilling, og analyseret litteratur om fremtidens miljøforbedrende brændsler til transportsektoren i Europa, fokuseret på ”vugge-til-grav” analyser.

Indenfor 1. generationsteknologien er dyrkning af en afgrøde kun til ét formål, nemlig til produktion af bioethanol. Hvorimod indenfor 2. generationsteknologien er der tale om et restprodukt, der bruges både til ethanolproduktion, ligesom restproduktet herfra igen kan benyttes til enten kraftvarme eller dyrefoder. Derfor er 2. generationsteknologien bedst egnet til at reducere CO₂-udslippet og energiforbruget.

Vi har diskuteret os frem til, at der er behov for 1. generationsteknologi for at få startet et marked for bioethanol i Danmark, og derefter miljømæssigt mere forsvarligt at gå over til 2. generationsteknologi. Vi mener, at det i Danmark vil være muligt at omstille tankstationer og raffinaderisektoren til at kunne håndtere iblanding af ethanol i benzin. Dette vil dog kræve en engangsudgift til omstilling, udbygning og rensning af tanke og tankbiler. Der findes køretøjer, der allerede kan køre på bioethanol, de såkaldte Flexi Fuel-biler.

Indholdsfortegnelse.

1 Indledning.....	6
1.1 Forsyningssikkerhed.....	6
1.2 CO2 og drivhuseffekt.....	7
1.2.1 Fremtidige konsekvenser.....	9
1.3 Kyoto.....	10
1.4 Brændstofdirektivet.....	11
1.5 Flexi Fuel Vehicles (FFV).....	11
1.6 Introduktion til 1. og 2. generationsteknologi.....	11
1.7 Danmarks bioethanol-situation.....	12
1.8 Problemformulering.....	13
1.9 Uddybning af problemformulering samt afgrænsning.....	13
1.10 Semesterbindingen.....	14
1.11 Målgruppe.....	14
2 Metode.....	14
2.1 Litteraturstudier og interviews.....	15
2.2 Etablering af en produktionskædetilgang.....	15
2.3 Præsentation af interviewpersoner og deres erhvervsrelation.....	16
2.3.1 Peter Nissen.....	16
2.3.2 Benedikte Kiær.....	16
2.3.3 Maria Junghans.....	17
2.4 Opbygning af rapporten og indhold af kapitler.....	17
3 Teori.....	19
3.1 Fremstilling af bioethanol.....	19
3.2 Procesbeskrivelse.....	21
3.2.1 Glucose.....	21
3.2.2 Teori om lignocellulose.....	25
3.2.3 Forbehandling af stivelsesholdige råvarer, her korn.....	25
3.2.4 Forbehandling af lignocelluloseholdige råvarer, her halm.....	26
3.2.5 Enzymer.....	28
3.2.6 Gæring.....	31
3.2.7 Destillation.....	33
3.3 Opsamling.....	34
3.4 Præsentation af anlæg.....	35
3.4.1 Bio-Energipark Tønder – et 1. generationsanlæg.....	35
3.4.2 IBUS - 1. og 2. generationsanlæg.....	36
3.4.3 MaxiFuel – et 2. generationsanlæg.....	38
3.4.4 NRG-anlægget – et videreudviklet 2. generationsanlæg.....	39
3.5 Opsamling.....	40
4 Analyse og diskussion.....	41
4.1 Første del af problemformuleringen.....	41
4.1.1 CO2-besparelse ved henholdsvis 1. og 2. generationsbioethanolproduktion.....	41
4.1.2 Energi-regnskab.....	44
4.2 Anden del af problemformuleringen: Hvorledes omstilles transportsektoren?.....	48
4.2.1 FFV og tankstationer.....	48
4.2.2 Danmarks situation.....	49
4.2.3 Hvilken type anlæg skal fremmes?.....	51
5 Konklusion.....	53

6 Perspektivering.....	54
Litteraturliste.....	55
Figurliste.....	59
Bilag 1 –Tabel fra Danmarks Statistik.....	61
Bilag 2 –Sammenfatning af interview med Peter Nissen.....	62
Bilag 3 –Interview med Benedikte Kiær.....	64
Bilag 4 –Interview med Maria Junghans.....	67

1 Indledning

Det følgende kapitel er tænkt som et temaafsnit, derefter følger problemformuleringen. Efter problemformuleringen følger en afgrænsning og uddybning af problemformuleringen. Kapitlet afsluttes med en redegørelse for, hvorledes rapporten opfylder semesterbindingen for 1. semester, og hvilken målgruppe rapporten henvender sig til.

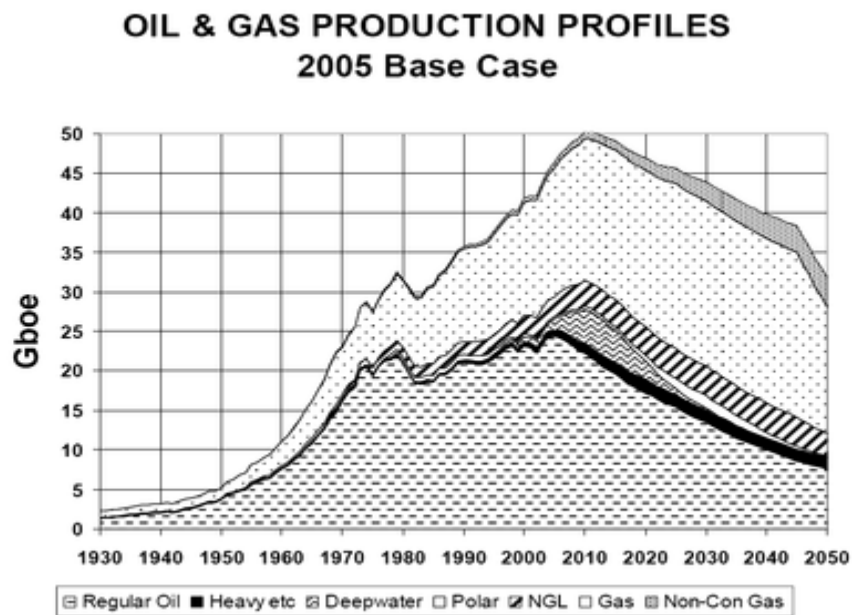
1.1 Forsyningssikkerhed

Siden den industrielle revolution i slutningen af det 19. århundrede er der sket et velfærdsboom med støt stigende velfærd og forbrug. Med velfærdsboomet i 1950-1960'erne steg kravet til forsyningen af råvarer - ikke mindst olie. Markedet flød i fossile brændstoffer, hvilket betød at priserne blev holdt i bund og forbruget fortsatte.¹ Men da OPEC-landene, en forening af hovedsageligt mellemøstlige olieproducerende lande, i starten af 70'erne blev enige om at producere mindre olie så priserne efterfølgende steg, opstod den berømte oliekrise.² USA var nærmest selvforsynende på dette tidspunkt, men resten af den vestlige verden blev hårdt ramt. Den vestlige verdens afhængighed af Mellemøsten blev pludselig åbenlys og oliekrisen satte en stopper for den enorme økonomiske udvikling. Eftersom USA kort efter indså, at deres oliereserver var begrænsede, var hele den vestlige verden opmærksom på afhængigheden. Det resulterede i, at flere lande selv søgte efter olie, industrien tænkte på energibesparelser, og nationalstaterne søgte alternative energikilder til olien, som fx naturgas, kul og vedvarende energi, alt sammen for at øge uafhængigheden af Mellemøsten og sikre energiforsyningssikkerheden.³

¹ Økonoministeriet (1997)

² Oliekrisen.dk (2006)

³ Teknologi-rådet (2004)



Figur 1: Det seneste bud fra ASPO Dr. Colin Campbell på hvornår produktionen af olie og gas topper (Januar 2006).
 Figuren viser fremtidige produktioner af fossile brændsler, både regulær olie, naturgas udvundet både på land og i polare og dybvandsområder. Pointen er, at alle produktioner er for nedadgående, hvilket selvfølgelig hænger tæt sammen med de resterende reserver.

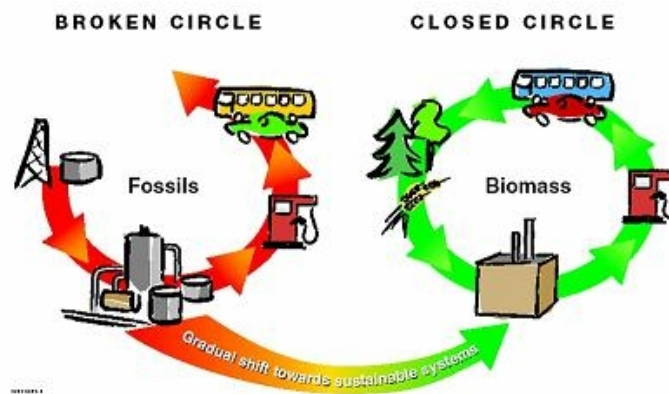
Siden er hele problematikken om den forøgede drivhuseffekt også blevet et omdrejningspunkt i energi-debatten. Verdens population stiger og stiger, og befolkningsrige lande som Kina og Indien er i voldsom vækst. Dette sikrer flere folk velfærd og muligvis et forbrug, der vil sidestille dem med de vestlige CO₂-syndere. Man regner med at Kina i 2009 vil overhale USA i CO₂-udledning.⁴ At oliereserverne er nedadgående, som det kan ses på figur 1, og at flere og flere bekymrer sig for Jordens stigende temperaturer, medfører øget interesse til de alternative energikilder, fx biomasse.

1.2 CO₂ og drivhuseffekt

Biomasse er CO₂-neutralt, da det består af organisk materiale, så CO₂-udledningen vil svare til den mængde, der er optaget under plantens vækst. Hvis man ser på den venstre cirkel på figur 2, kan man se at cirklen brydes. Dette skyldes at ved brug af de fossile brændstoffer, udledes der CO₂, som ikke for nylig har været cirkuleret i luften. Cirklen til højre på figur 2 er derimod en lukket cirkel, da man ved brug af biomasse til brændstof, kun udleder den CO₂, som planten allerede har optaget fra luften ved fotosyntese.⁵

⁴ Miljøministeriet (2006)

⁵ Risø nyt nr. 2 (2001)



Figur 2: den brudte og den lukkede cirkel indenfor CO₂-udslip.

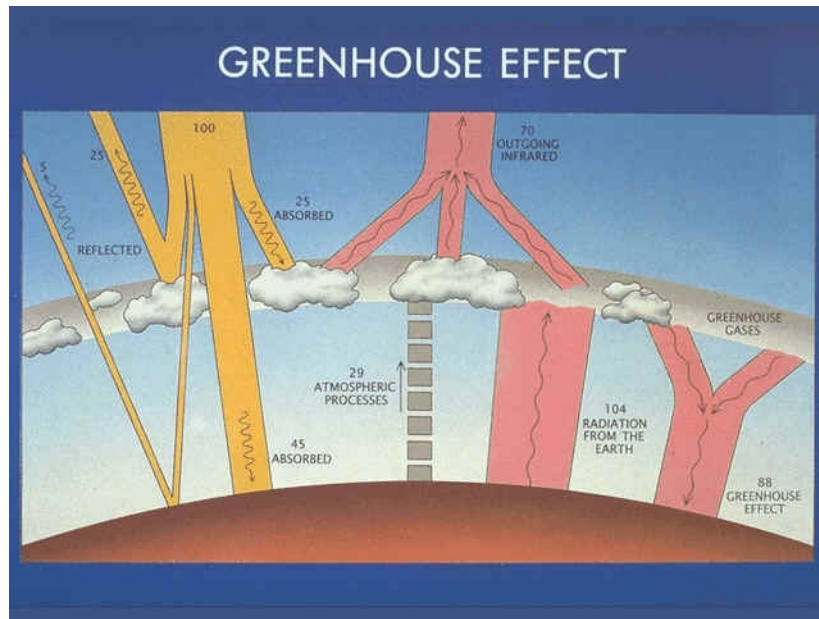
Den brudte cirkel er afbrænding af fossile brændsler, her udledes der CO₂, der har ophobet sig i mange tusind år.

Den lukkede cirkel er afbrænding af biomasse. Ved afbrænding udledes der kun det CO₂ planten har optaget i sin levetid og andre planter igen ville kunne nå at optage på deres levetid.

Den helt store miljøgevinst ved biomasse er muligheden for at reducere udledningen af drivhusgasser. Der er meget omtale om problemet med drivhuseffekten. Man burde egentlig sige problemet om den forøgede drivhuseffekt eller den forøgede udledning af drivhusgasser, der er med til at øge drivhuseffekten.

Når Jorden rammes af sollys, reflekteres en del af lyset tilbage i atmosfæren i form af varmestråling. Dele af denne varmestråling bliver holdt tilbage af drivhusgasser og varmer på den måde atmosfæren op. Den forøgede drivhuseffekt sker, når vi lukker ekstra drivhusgasser ud i atmosfæren. Som det også ses på figur 3, så bliver laget af drivhusgasser kraftigere, ”drivhuset” bliver mere effektivt, og Jorden bliver varmere. Drivhusgasser er CO₂, CFC-gasser (klor-fluor-kulstof-forbindelser), kvælstofilter (NO_x'er), metan (CH₄) og ozon (O₃). Vanddamp er også en drivhusgas, der som bekendt optræder i form af skyer.⁶

⁶ Danmarks miljøundersøgelse (2005)



Figur 3: Princippet i drivhuseffekt.

Sollyset rammer Jorden i form af ultraviolet stråling. Noget af strålingen reflekterer via albedoeffekten, mens andet bliver absorberet af Jorden. Jorden udsender så infrarød stråling, hvor dele af det bliver reflekteret via drivhusgasserne. Hvis drivhusgaslaget er for kraftigt, reflekteres en større del af de infrarøde stråler og resulterer i en højere temperatur på Jorden.

Dette beskyttende lag er med til at holde på varmen, ligesom man kender det fra et drivhus. Deraf kommer navnet drivhuseffekten, som er et ganske naturligt og ikke mindst vigtigt fænomen. Uden det ville temperaturen være ca. 33 grader koldere.⁷

1.2.1 Fremtidige konsekvenser

Jordens gennemsnitlige overfladetemperatur er øget med omkring 0,6 grader siden midten af 1800-tallet og omkring 0,4 grader gennem de seneste 50 år.⁸

Mange af de luftarter, der sendes ud i atmosfæren af det moderne industrisamfund, er drivhusgasser. Den vigtigste er kuldioxid eller kultveilte (CO_2), der udgør ca. 0,4 promille af Jordens atmosfære. Denne luftart forekommer naturligt i atmosfæren, men koncentrationen er vokset med ca. 30 % siden den industrielle revolution i midten af forrige århundrede.⁹

⁷ DMI (2004)

⁸ DMI (2004)

⁹ DMI (2004)

Nogle forskere mener, at det ikke kun er menneskeskabt, at temperaturen stiger globalt, men også en naturlig klimaændring. Fakta er dog, at det under alle omstændigheder vil få kolossale konsekvenser hvad angår både dyr og planter, men også mennesker.

Præcis hvad der vil ske er meget svært at sige pga. de utrolig mange faktorer, der spiller ind, men voldsomme naturkatastrofer og hungersnød er bare nogle af de ting, som frygtes.

CO₂ er den vigtigste menneskeudledte drivhusgas. CO₂ indgår naturligt i Jordens økosystem med fotosyntese og respiration. Det er en meget fin balance, som er ved at blive ødelagt. Hver gang fossile brændstoffer som kul og olie afbrændes på kraftværker og i biler, udledes der CO₂. Det samme sker hvis et træ brænder. Dens store forskel er bare, at et træ igennem dets levetid optager store mængder CO₂. Derfor er afbrændingen af træet CO₂-neutralt. I modsætning til træet, tilføres CO₂ udefra til det lukkede system når fossile brændstoffer forbrændes.

1.3 Kyoto

Kyoto-protokollen er en aftale, der skal være med til at reducere udslippet af drivhusgasser, som består af en hovedgruppe med CO₂ (carbon dioxid, kuldioxid), CH₄ (methan) og N₂O (dinitrogenoxid, lattergas) og en anden gruppe bestående af HFC-gasser (hydrogenfluorkarboner), PFC-gasser (halogenerede fluorkarboner) og SF₆ (svovlhexafluorid). Kyoto-protokollen blev vedtaget af 84 lande i december 1997. Protokollen trådte dog først i kraft d. 16. februar 2006, efter at Rusland som det sidste nødvendige land ratificerede protokollen november 2004.¹⁰

Den generelle målsætning er at få udledningen af drivhusgasser ned på et niveau, som er 8 % under basisåret 1990 (i nogen tilfælde er der valgt et andet basisår) samlet set i Europa. Der er indlagt geografiske og industrielle faktorer til udregning af et lands målsætning. På grund af denne bestemmelse er der forskel på, hvor mange procent det enkelte land er forpligtet til.

Danmark har i perioden 2008-2012 forpligtet sig til at skulle reducere udledningen af drivhusgasser med 21 % i forhold til niveauet i 1990.¹¹

Den lavere udledning af drivhusgasser skal ske over tidsperioden 2008-2012, hvor lande skal have foretaget forebyggende/indledende forberedelse og vist forbedringer inden 2005.¹²

¹⁰ Miljøministeriet (2005)

¹¹ Miljøministeriet (2005)

¹² Maple Leaf (2005)

Der er indgået en aftale om et strafsystem for de lande, der ikke når deres kvote, hvor landet skal have forbedret sin indsats inden næste periode, ikke blot til den først aftalte sats, men med yderligere sænkning af udledningen.¹³

1.4 Brændstofdirektivet

I forbindelse med en reduktion i udledningen af drivhusgasser har EU taget initiativ til et direktiv med målsætninger for alle EU-lande om indførsel af biobrændstof i transportsektoren. Brændstofdirektivet har som mål, at 5,75 % af transportsektorens brændstoffer i energiprocent skal bestå af biobrændstoffer i 2010. Dette indebærer bioethanol og bio-ETBE, som er en ether fremstillet af bioethanol. Denne ether vil kunne erstatte det hidtil brugte stof MTBE, som tilsættes benzinen for at hæve oktantallet i blyfri benzin. Det har nemlig vist sig, at MTBE kan forurene grundvandet kraftigt og er hormonforstyrrende.¹⁴

1.5 Flexi Fuel Vehicles (FFV)

En måde til at opnå biobrændstofdirektivet på er at indføre de såkaldte Flexi Fuel-biler. Der produceres rundt omkring i verden Flexi Fuel-biler, der vha. en speciel Flexi Fuel-motor kan køre på en blanding af benzin og bioethanol i blandingsforhold fra 0 til 85 % bioethanol.¹⁵ Hvis der i Danmark skal opnås en større produktion og forbrug, er indførelse af E85 (en blanding af 85 % ethanol, 15 % benzin) sideløbende med større salg af Flexi Fuel-biler oplagt.

1.6 Introduktion til 1. og 2. generationsteknologi

Bioethanol er ethanol udvundet fra biomasse.¹⁶ Der er utallige måder at udvinde bioethanol på, og der forskes ihærdigt i Danmark netop indenfor dette felt. Groft sagt kan udvindingsmetoderne opdeles i to kategorier; 1. og 2. generation.

Indenfor 1. generationsteknologi fremstilles bioethanol af afgrøder, som er sukker- og stivelseholdige fx majs og korn. Dette er en åbenlys brugbar metode, når man har

¹³ Kyoto protokollen (1999)

¹⁴ Biobrændstofdirektivet (2003)

¹⁵ Ford Motor Company (2006)

¹⁶ Renewable Energy (2004)

landbrugsarealerne til det. Fx i USA er fremstilling af ethanol udfra majs boomet inden for de sidste par år, og i Brasilien har man brugt sukkerrør til at fremstille bioethanol siden 1975. Men der er visse problemer ved 1. generationsteknologien. Dels har afgrøderne andre anvendelser, fx til fødevarer og foder, og dels kan der sættes spørgsmålstegn ved, om det er etisk forsvarligt at bruge fødevarer som energi til vores biler, når en meget stor andel af jordens befolkning sulter.¹⁷

En fordel ved 1. generation er, at sukkeret er lettere tilgængeligt. Processen er efterhånden velafprøvet, hvilket gør produktionen billigere.

Inden for 2. generation bruger man lignocelluloseholdige produkter. Det kan fx være halm, papiraffald eller organisk affald. Der er dog også ulemper ved 2. generationsteknologien. Lignin er bindemiddel i planternes struktur, da den holder sammen på cellulose og hemicellulosekæderne. Ligninen er et meget stærkt bindemiddel og dette komplicerer udvindingen af glucose til ethanolproduktionen. Der vil blive redegjort for dette senere i teorikapitlet. Indtil videre har processen været meget dyr, men forskningsresultater fra både BioGasol og Elsams samarbejde med Risø viser, at nye teknologier er på vej frem. Yderligere følger i teorikapitlet. Den største fordel ved 2. generation er, at man ikke behøver at bruge afgrøder, der er spiselige for mennesker og dyr, og at det samtidigt er muligt at udvikle dyrefoder.

1.7 Danmarks bioethanol-situation

Der er endnu ingen fuldt etablerede anlæg, der er klar til at gå ind på det danske marked med en bæredygtig bioethanolproduktion. Der er rundt omkring i landet flere pilotanlæg i gang og fabrikker på tegnebordet. De nok mest omtalte pilotanlæg er IBUS og MaxiFuel, derudover findes der Tønder Biofuel og NRG anlægget. Disse anlæg vil blive præsenteret yderligere i teorikapitlet.

Udover pilotanlæggene er der en udvikling i gang indenfor enzymindustrien i Danmark til forbedring af ethanolprocessen. De største i Danmark er Novozymes, der har et etableret marked for enzymer i USA, og Danisco med aktiemajoritet i Genencor, der har et marked i Tyskland.

Danmarks mål for brugen af biobrændstof var i 2005 på 0 %. Dette meddeltes EU-kommissionen d. 1. juli 2004. Til samme tidspunkt var EU's samlede mål 2 %. Regeringen begrundede dette med, at Danmark satser på at styrke forskningen og udviklingen, med henblik på billigere og mere miljøvenlige biobrændstoffer, herunder biobrændstoffer produceret på halm og andre

¹⁷ Dansk kemi nr. 2 (2005)

affaldsprodukter. Regeringen mente ikke, at dette resultat kunne nås til det fastsatte tidspunkt. Udviklingen af biobrændstofferne ville kræve store investeringer i lagring og håndtering af raffinaderier, depoter og tankstationer. Den danske regering har efter 2005, sat som mål at i december 2006 skal 0,1 % erstattes af biobrændstof. Dette vil de forsøge at opfylde ved at lade køretøjer i den kollektive trafik og køretøjer fra den offentlige sektor køre på biodiesel.¹⁸

På baggrund af de ovenstående afsnit har vi formuleret den følgende problemformulering.

1.8 Problemformulering

Hvilken form for produktion af bioethanol er den bedste til at nedsætte energiforbrug og CO₂-udslip i den danske transportsektor? Og hvad er mulighederne for en omstilling af denne?

1.9 Uddybning af problemformulering samt afgrænsning

Som tidligere nævnt siges det, at bioethanol er CO₂-neutralt. Men er det nu også det? For at kunne producere bioethanol, skal der tilføres energi til processen - et såkaldt energi-input. Denne energi bruges fx når landmanden sår, gøder og høster kornet ved hjælp af maskiner, der fx kører på diesel. Derved bliver den samlede CO₂-udledning ikke 100 % neutral, afhængig af hvilken produktionsteknologi der bruges. Senere i processen bruges der igen energi, som fx når biomassen skal forarbejdes ved opvarmning. Denne energi kan fx komme fra elektricitet, som er fremstillet på et kulkraftværk. Derved tilføres der energi udefra, baseret på fossile brændstoffer, som påvirker energibalancen. Energi-outputtet er det arbejde slutproduktet kan udføre, fx hvor langt en bil kan køre på bioethanol. Det centrale ved energibalancen er, at der skal være et større energi-output end energi-input, da der ellers vil gå energi til spilde.¹⁹

Da der er mange forskellige råvarer, bioethanol kan fremstilles ud fra, har vi valgt at beskæftige os med fremstilling af bioethanol ud fra korn og halm. Dette gør vi på baggrund af, at vores emneområde omhandler transportsektoren i Danmark, og her er korn og halm en lettilgængelig afgrøde. Vi fravælger derved at beskæftige os med bioethanolproduktion fra afgrøder som sukkerrør, træflis og til dels majs, der er hovedbestanddelen i bioethanolproduktionen i henholdsvis Brasilien, Sverige og USA. Vi fravælger dog kun til dels majs, da vi i analysen af energibalancen vil inddrage studier, der er baseret på majs.

¹⁸ Transport- og miljøministeriet (2005)

¹⁹ Ethanol Energy Balance (2002)

Vi vil kort komme ind på de politiske og økonomiske aspekter ved fremstillingen af bioethanol, men det er ikke her vores primære fokus ligger.

Vi koncentrerer os om produktionen af bioethanol, herunder hvilke projekter og anlæg der er etableret i Danmark. Og beskæftiger os med anvendelsen af bioethanol med primært henblik på nedsættelse af CO₂-udslip og energianvendelse.

Vi vil ikke diskutere indenfor hvilken af teknologierne man får mest CO₂-besparelse for pengene. Der er utrolig mange faktorer, der spiller ind på prisen, og derfor har vi valgt at koncentrere os om CO₂- og energibesparelser, og ikke hvad en liter ethanol koster at producere med henholdsvis den ene eller den anden teknologi.

1.10 Semesterbindingen

Anvendelse af naturvidenskab i teknik og samfund.

Formålet med projektet i første semester er, at de studerende gennem arbejdet med et repræsentativt eksempel får erfaring med naturvidenskab som redskab i praktiske og samfundsmæssige sammenhæng.

Bioethanol har længe været i søgelyset som en alternativ energikilde, og udviklingen inden for netop dette område er ofte diskuteret i medier og af forskere. Der er også stor politisk debat, som sætter emnet i et endnu større samfundsfagligt perspektiv.

Derved er der et bredt politisk og miljømæssigt aspekt vedrørende bioethanol, som sætter emnet i et samfundsfagligt søgelys.

Det naturvidenskabelige aspekt kommer til udtryk gennem de kemiske processer i produktionen af bioethanol, som vi vil beskrive.

1.11 Målgruppe

Rapporten henvender sig til miljøinteresserede. For den fulde forståelse af første del af teorikapitlet, anbefales det dog at have en solid kemisk/biologisk baggrundsviden.

2 Metode

Metodekapitlet omhandler, hvilken metode der er anvendt. Derefter en præsentation af den analysemetode vi har anvendt i projektet, præsentation af interviewpersoner og deres erhvervsrelationer til bioethanol, og til slut hvordan rapporten er opbygget.

Følgende metodeelementer er anvendt:

2.1 Litteraturstudier og interviews

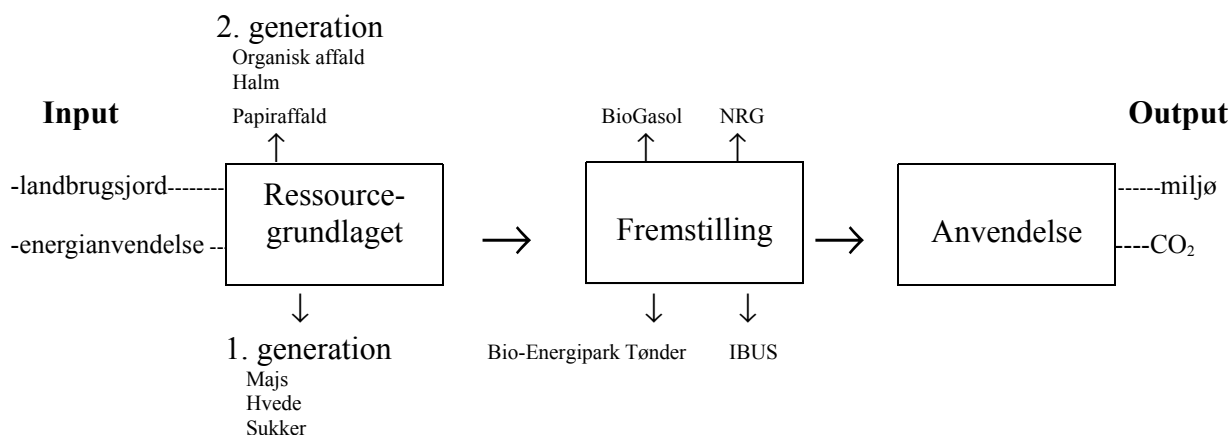
Projektrapporten er baseret på et litterært studie samt interviews. Vi har benyttet os af personlige interviews (Peter B. Nissen) og skriftlige interviews via e-mail-kommunikation (Maria Junghans fra Statoil og Benedikte Kiær fra BioGasol). Interviewene har været en del af informationen om Danmarks igangværende projekter indenfor bioethanol, der senere vil blive benyttet som baggrundsinformation, og interviewene bliver brugt i analyse- og diskussionskapitlet.

2.2 Etablering af en produktionskædetilgang

Vi har fokuseret på produktionsmetoder og miljøkonsekvenser ved opbygning af en analysemetode i projektet. På figur 4 ses tre kasser, som hver repræsenterer et led på bioethanolens vej fra afgrøde til afbrænding. I den første kasse betragtes produktionens start ved ressourcegrundlaget; her dyrkes afgrøden og høstes eller indsamles. Inputfaktorerne har indvirkning på vores vurdering af bioethanolen. Med dette menes i forhold til fx udledningen af CO₂. Når der dyrkes hvede indenfor 1. generation udledes der CO₂ ved fx såning, gødning, høst, lagring og transport.²⁰ Derudover er der ud fra kassen to lodrette pile der giver eksempler på hvilken biomasse, der kan bruges til udvinding. Den vandrette pil fører over til det næste led; selve fremstillingen af bioethanolen. Dette foregår på et anlæg, hvor der foretages forbehandling af afgrøden, gæring, destillation osv. De lodrette pile ud fra kasse nr. to viser nogle eksempler på anlæg i Danmark som enten er pilotanlæg eller blot projekter, der stadig er på tegnebordet. Den næste vandrette pil fører videre til det sidste led, nemlig anvendelsen af den færdige bioethanol. Outputtet er faktorer der kan diskuteres i forbindelse med afbrænding af bioethanolen i fx en bilmotor. Vi har i rapporten valgt primært at ligge fokus på CO₂ og ikke andre miljøkonsekvenser. Hvis man betragter de tre kasser, er det de to sidste der vægtes

²⁰ Tredje Semesters projekt – Bioethanol (2005)

mest, dog inddrages energianvendelsen i analysen. Landbrugsjorden og ressourcegrundlaget har vi valgt ikke at berøre yderligere.



Figur4: Ethanolens vej fra afgrøde til afbrænding. For yderligere information se tekst.

2.3 Præsentation af interviewpersoner og deres erhvervsrelation

2.3.1 Peter Nissen

Projektkoordinator for Tønder Biofuel, som Sønderjysk Landboforening har etableret. Projektet har bl.a. som mål at etablere en ny industri og et marked for biobrændstoffer i Danmark.²¹ Planen er at oprette en hel energi-park, som primært vil producere bioethanol, men også biodiesel og biogas. Råvarerne vil typisk bestå af hvede. Derved arbejder de først og fremmest indenfor 1. generationsteknologi. Men det er også planlagt at bruge slam og gylle til produktion af biogas. Sønderjysk Landboforening samarbejder med flere institutter og virksomheder i forbindelse med projektet. Bl.a. Risø, DTU og COWI.

Bioethanolprojektet står sådan set parat til opførelse, da en tysk investor er fundet, og grundlaget for projektet er blevet etableret af kommunen. Dog mangler staten at godkende rammebetingelserne. Rammebetingelser er love om afgifter (tvungen iblanding af bioethanol eller afgiftreduktion på bioethanol), som fx CO₂-afgiften. Altså betingelser som kun staten kan bestemme, og som kan danne grundlag for bioethanolmarkedet i Danmark.

²¹ Energikonferencen, Ingeniørforeningen i Danmark (2006)

2.3.2 Benedikte Kiær

Kommunikationsansvarlig i BioGasol, som er en dansk teknologivirksomhed. BioGasol arbejder med udvikling og salg af forskellige biobrændstoffer, primært bioethanol. Deres teknologi er af 2. generation, da bioethanolen produceres på baggrund af lignocellulose.²² I september 2006 indviedes pilotanlægget MaxiFuel, som er blevet stablet på benene gennem et samarbejde mellem offentlig forskning og erhvervslivet, bl.a. energistyrelsen, DTU samt den bioteknologiske virksomhed Novozymes, der fremstiller enzymer og mikroorganismer.^{23 24}

2.3.3 Maria Junghans

Kommunikationskoordinator hos Statoil. I slutningen af maj 2006 indførte olieselskabet den såkaldte Bio95, som indeholder fem procent ren bioethanol. Bio95 erstatter den blyfri 95. Statoil er det første selskab, der indfører bioethanol i Danmark.²⁵ Bioethanolen stammer fra flere forskellige steder. Ca. 70 % stammer fra lande i Europa så som Sverige og Frankrig, hvor de sidste 30 % er uvist hvor kommer fra.^{26 27}

2.4 Opbygning af rapporten og indhold af kapitler

På figur 5 ses den visuelle opbygning af rapporten og indhold af kapitler. Her følger en nærmere forklaring. I kapitel 1 (indledningen) præsenteres alle de emner, der har relevans for vores videre indførsel i projektet. Der er herunder berørt nogle emner vi senere har valgt at begrænse os fra at uddybe videre. I kapitel 2 (metoden) behandles opbygning af rapport, fremgangsmåde og interviewpersonerne præsenteres. Dette kapitel leder videre til kapitel 3 med teori og præsentation af anlægstyper, hvor forskellige produktionsmetoder inddrages, procesbeskrivelse hvor delprocesser beskrives, og videre til kapitel 4 (analyse og diskussion), hvor den erhvervede viden behandles. Heraf følger kapitel 5 (konklusionen), hvor vi vil komme med vores bud på den bedste løsning af problemet. Rapporten afsluttes med kapitel 6 (perspektivering).

²² Biogasol (2006)

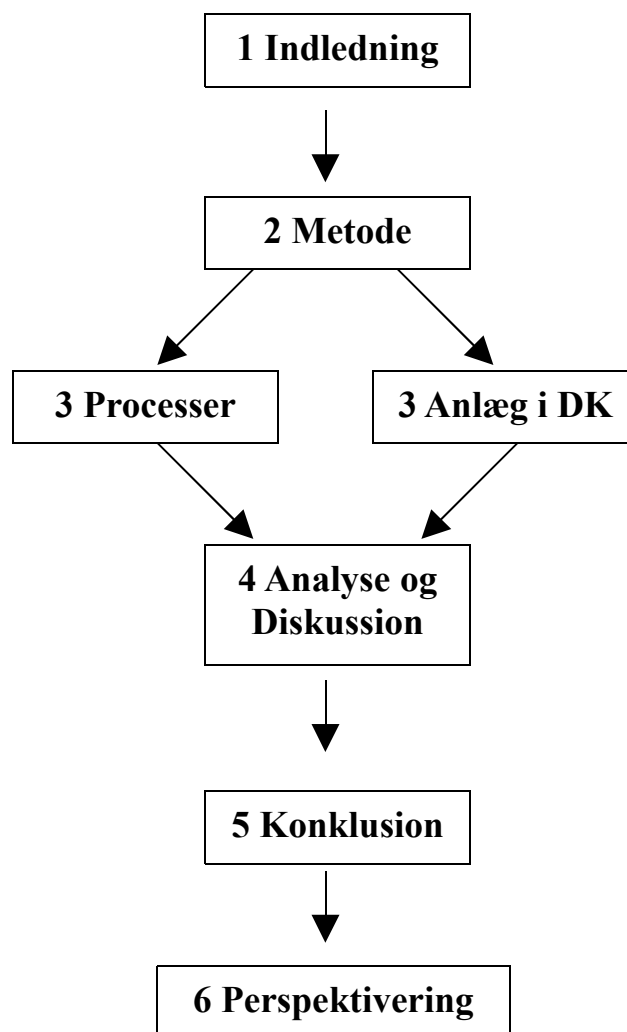
²³ FiB (2006)

²⁴ Novozymes (2006)

²⁵ Statoil detailhandel (2006)

²⁶ De uvisse 30 % af bioethanolen er købt på Rotterdammarkedet, hvor bioethanol fra forskellige producenter sælges fra den samme "beholder". Der er ingen krav om at produktet skal være mærket med oprindelsesland.

²⁷ Interview med Maria Junghans (2006)



Figur5: Billedlig beskrivelse af opbygning og indhold af kapitler i rapporten.

3 Teori

Dette kapitel indeholder to afsnit, et procesafsnit og et afsnit, der omhandler de anlæg og projekter, der er i gang i Danmark.

Først følger en generel beskrivelse af fremstilling af ethanol ud fra biomasse. I teorien gennemgås procesdelene af bioethanolfremstillingen. Den biologiske og kemiske detaljerigdom i procesafsnittet er til for at give en fuld forståelse af hele processen bag fremstillingen af bioethanol. Denne gennemgang bruges senere i analysekapitlet til at finde frem til hvilken teknologi, der kræver mest energi, samt hvilken teknologi der udleder mindst CO₂. Dette leder op til afsnittet vedrørende anlæg og projekter i Danmark.

3.1 Fremstilling af bioethanol

Processen kan opdeles i fire forskellige led²⁸:

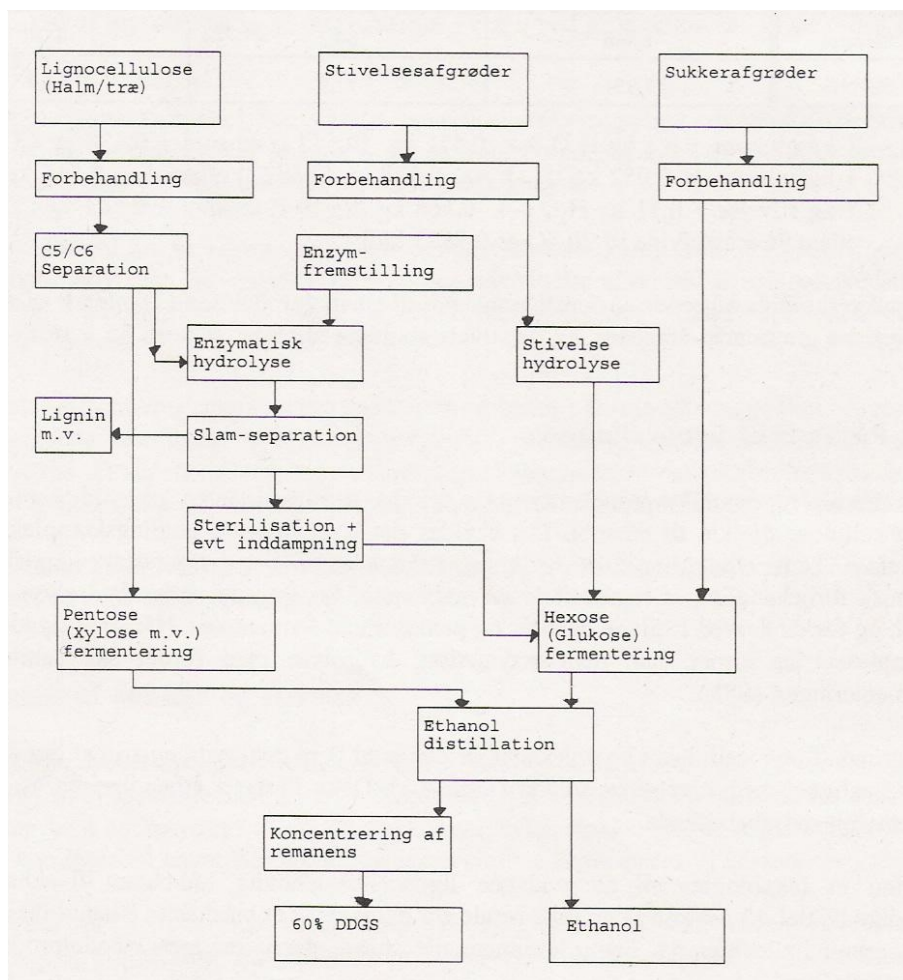
1. Mekanisk forbehandling
2. Hydrolyse
3. Fermentering
4. Destillation

De første to led er begge forbehandling af biomassen. Ved stivelsesholdige råvarer som fx korn, formales de enten ved tør- eller vådformaling.²⁹ Derefter følger en hydrolyse for at omdanne stivelsen til glucosemolekyler. Tredje led er fermentering, altså gæring. Det essentielle ved gæring er, at glucosen tilsat gær omdannes til kuldioxid og ethanol under anaerobe forhold.³⁰ Endeligt foretages en destillation. Figur 6 giver et overblik over de forskellige trin i nedbrydningen af lignocellulose, stivelse og sukker. Her ses det tydeligt, at der er en del flere procestrin ved nedbrydning af lignocellulose jf. det stærke bindemiddel lignin. De enkelte procestrin vil blive forklaret senere i dette kapitel.

²⁸ Ethanol i det grønne bioraffinaderi (1994)

²⁹ Dansk kemi nr. 2 (2005)

³⁰ The Biotechnology of Ethanol, Classical and future Applications (2001)

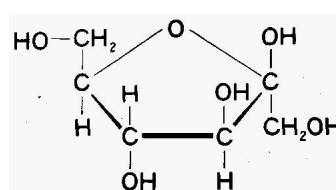
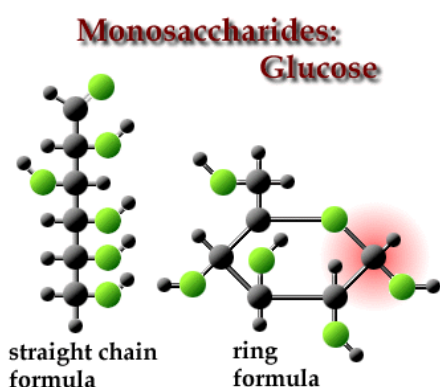


Figur 6: Oversigt over nedbrydningstrinnene af lignocellulose, stivelse og sukker

3.2 Procesbeskrivelse

3.2.1 Glucose³¹

Monosaccharid har en molekyleformel, der består af et multiplum af CH_2O som glucose, der har formelen $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, eksempler på monosaccharider ses på figur 7 og 8. Et monosaccharid kan enten være en aldose eller en ketose alt efter placeringen af carbonylgruppen, hvor dobbeltbindingen til oxygenmolekylet er enten endestillet (aldose) eller sidestillet (ketose).



Figur 8: Fructose

Fructose er opbygget af en femleddet ring, med forskellige sidegrupper på oversiden og undersiden. Hydroxidmolekylet bundet til andet karbonatom er den gruppe hvor fructose binder sig til glucose i sucrose.

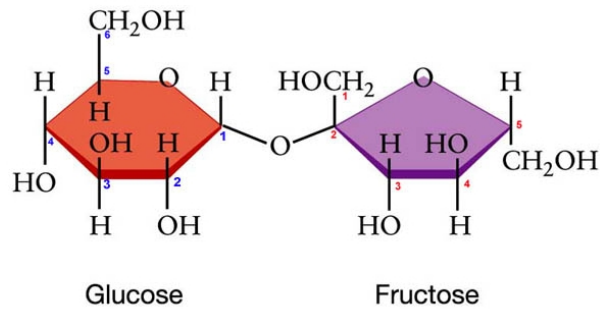
Figur 7: Glucose i en lige og ringform

Der er et hydrogenmolekyle mindre når glucose er på ringform.

Som det ses på figuren er der stor forskel på glucosemolekylets rummelige form.

Disaccharid er to monosaccharider, der er bundet sammen med en glycosidbinding, en kovalent binding, der er opstået ved hydrolyse. På figur 9 ses en af de bedst kendte disaccharider, som er sucrose (alm. sukker), der består af et glucosemolekyle og et fructosemolekyle, der er forbundet med en 1-2 glycosidbinding (tallene angiver hvilket carbon atombindingen løber fra).

³¹ Dette afsnit er udarbejdet ud fra BIOLOGY 7th edition (1995)



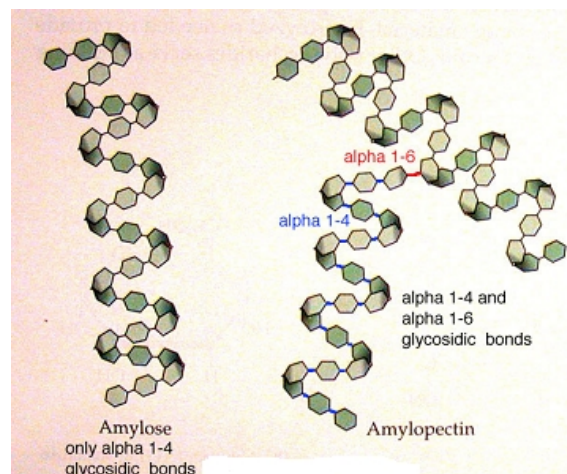
Figur 9: Sucrosemolekyle.

Et sucrosemolekyle består af et glucosmolekyle og et fructosmolekyle, der er bundet sammen med en 1-2 glycosidbinding.

På figuren ses hvordan carbonatomerne er nummereret på både glucose- og fructosmolekylet.

Polysaccharider er lange kæder af monosaccharider, fra et par hundrede til et par tusinde, bundet sammen af glycosidbindinger. Nogen polysaccharider lagres og hydrolyseres senere, når der er behov for energi.

Stivelse er den form planter lagre polysaccharider i. På figur 10 ses de to typer af stivelse; en uforgrenet og en forgrenet type. Den uforgrenede amylose består af α -glucosmolekyler, der er bundet sammen med 1-4 glycosidbindinger og vinklen imellem dem danner derved en polymer helix. De forgrenede typer af amylopectin består af α -glucose molekyler bundet med 1-4 glycosidbindinger, men også 1-6 glycosidbindinger, der går ud fra amylosekæden og danner en sidekæde.

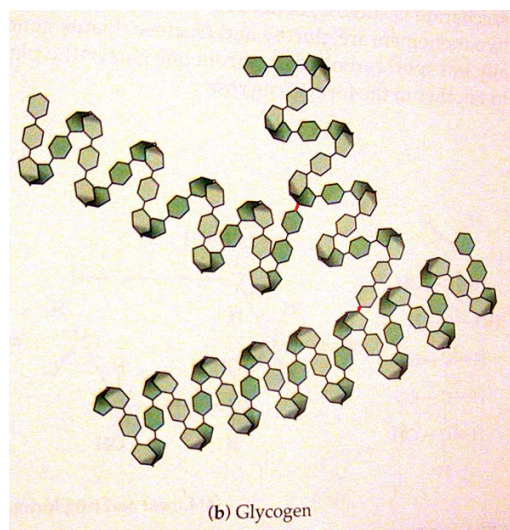


Figur 10: Amylose (uforgrenet stivelse) og amylopectin (forgrenet stivelse).

Her ses amylose som den uforgrenede helix og den er aldrig forgrenet.

Amylopectin er den forgrenede form, denne kan kun have få forgreninger.

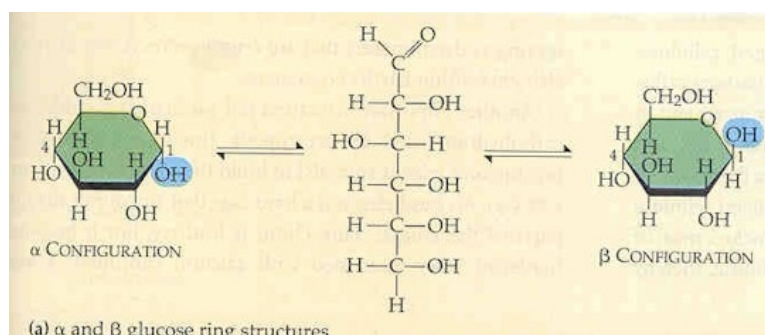
Tilsvarende lagrer dyr polysaccharider af glucose i form af glycogen, der er en meget forgrenet udgave af amylopectin.



Figur 11: Glycogen

*Glycogen er den form dyr lagre glucosemolekyler på.
Her er kæderne meget forgrenede og fylder derfor mere i vævet.*

Forskellen på α - og β -glucose er måden molekylet er foldet sammen i ringform, det vil sige om hydroxidmolekylet sidder oppe eller nede i forhold til ringen. Dette er illustreret på figur 12.

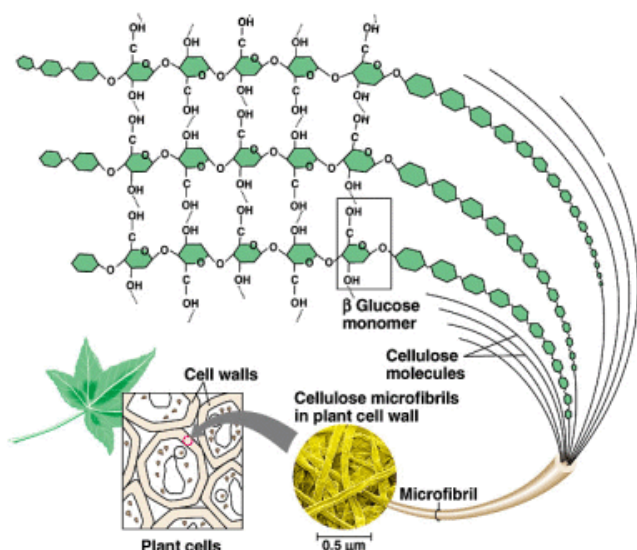


Figur 12: α - og β -glucose

*Her ses i midten et lige glucos molekyle, til venstre et α -glucosemolekyle og til højre β -glucosemolekyle.
Den hydroxidgruppe, der er til forskel på de to former er markeret.*

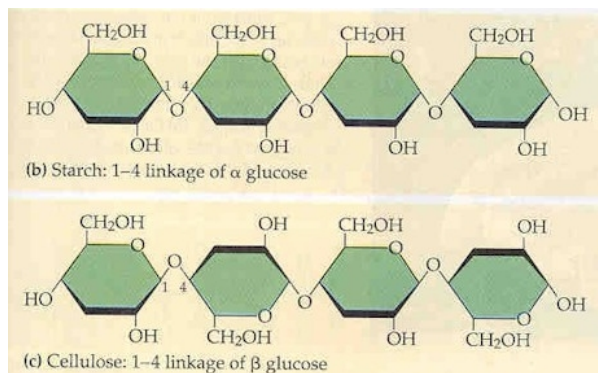
Polysaccharidet cellulose bruges i planternes cellevæg og afstiver planternes struktur. Ligesom stivelse, er cellulose kædet sammen med 1-4 glycosidbindinger, dog er disse mellem β -glucosemolekyler, der for at give en lige kæde sidder skiftevis i forhold til hinanden som det ses på figur 13. Dette gør, at stivelse og cellulose har forskellige rummelig opbygning. Stivelseskæder er helixformede, og cellulose er lange lige kæder. På grund af celluloses opbygning der gør, at der er en fri hydroxylgruppe, kan flere kæder ligge op af hinanden og lave hydrogenbindinger, der er med til at give cellulose sin holdbare og tætte struktur også kaldet microfibriller. Dette er illustreret på

figur 14. Derfor er cellulosen sværere tilgængelig for nedbrydning og komplicerer derved forbehandlingen i fremstilling af bioethanol.



Figur 13: Cellulosekæder i plantevæg

Her kan det ses hvordan cellulosekæderne ligger sig op af hinanden og danner hydrogenbindinger.



Figur 14: Forskellen på en stivelseskæde og en cellulosekæde

Øverst ses hvordan stivelse er bundet ensartet sammen med 1-4 glycosidbindinger mellem α -glucosemolekyler og nedenunder ses cellulose der sidder skiftevis i forhold til hinanden med 1-4 glycosidbindinger mellem β -glucosemolekyler.

Cellulosen i planter optræder på 2 forskellige måder: krystallinsk og amorf. At et stof optræder amorf betyder, at det optræder i en uordnet struktur i modsætning til et stof, der optræder krystallinsk, som har en meget mere organiseret struktur.

3.2.2 Teori om lignocellulose

Lignocellulose er hvad cellevæggene rundt om plantens celler består af. Strukturen af lignocellulose tilfører stivhed til planten.

Lignocellulose er en fællesbetegnelse for cellulose, hemicellulose og lignin. Mængden af cellulose, hemicellulose og lignin i lignocellulose samt opbygningen af lignin og hemicellulose, afhænger meget af hvilken plante, det er udvundet af. Fx indeholder nåletræ mere lignin og mindre hemicellulose end halm. Opbygningen af hemicellulosen i nåletræ er også anderledes ved, at den indeholder mest mannose og en smule xylose, hvorimod den i halm indeholder arabinose og xylose. Men generelt består lignocellulose af 30-50 % cellulose, 20-30 % hemicellulose og 15-30 % lignin. Cellulose består af op til 15.000 glucosemolekyler bundet sammen. Det, at det er en lineær, homogen polymer, vil sige, at glucosemolekylerne former en lang ensartet kæde uden nogen forgreninger. Hemicellulose er derimod en heterogen forgrenet polymer på op til 200 enheder. At det er heterogent vil sige, at kæden består af flere forskellige sukkermolekyler. I hemicellulose finder man fx arabinose, xylose, galactose, mannose og glucose. Derudover kan strukturen være yderligere ændret ved methylering eller acethylering.

Ligninen er en polymer sammensat af alkoholerne p-coumarylalkohol, coniferylalkohol og sinapylalkohol.³²

3.2.3 Forbehandling af stivelsesholdige råvarer, her korn

Før korn kan anvendes til ethanol fremstilling, må kulhydraterne, lagret i form af stivelse, blive gjort tilgængelig for enzymer og gærceller. Dette gøres ved at formale kornene. Der findes to forskellige metoder: vådformaling og tørformaling.

Ved vådformaling blandes kornet med vand og findeles, hvorved fibre, proteiner, kim og stivelse adskilles.

Ved tørformaling findeles kornene under tørre forhold og blandes op med vand efterfølgende. Blandingen varmes op til 65–90°C og tilsættes et varmostabil enzym (α -amylase), der hydrolyserer stivelsen. Ved en hydrolyse spaltes et organisk molekyle (i dette tilfælde stivelse) til to mindre molekyler ved tilsætning af vand. Herefter jet-koges blandingen. Dette er for at gøre mere stivelse tilgængeligt for α -amylasen. Jet-kogningen bevirker nemlig, at mere stivelse frigøres fra fibre og proteiner. Den højere temperatur ved jet-kogningen (105-120°C) inaktiverer dog α -amylasen.

³² Dansk kemi nr. 3 (2006)

Derfor tilsættes der endnu engang en portion α -amylase til blandingen, der nu kommer til at indeholde oligosaccharider. Oligosaccharider er kulhydrater, der består af to til ti monosaccharider.

Næste trin er at nedbryde oligosacchariderne til glucose, som gær kan omsætte til ethanol. Dette gøres med enzymet glucoamylase.³³

Der kan opstå et par komplikationer ved tørformaling pga. det høje niveau af tørstof. For det første kræves der en meget effektiv α -amylase, der er i stand til at nedsætte viskositeten (tykheden) af blandingen af malet korn og vand, så blandingen er i stand til at blive pumpet, jet-kogt mm.

Noget andet er, at det høje tørstofniveau bevirker, at der under fermenteringen i starten vil være en høj koncentration af monosaccharider og en følgende høj koncentration af ethanol i slutningen. Der kræves derfor en gærstamme, der er tolerant over for de høje koncentrationer, som kan frembringe osmotisk stress hos gærcellen.³⁴

3.2.4 Forbehandling af lignocelluloseholdige råvarer, her halm

Forbehandlingen af lignocellulose til monosaccharider er som sagt mere kompliceret end forbehandlingen af stivelse. Dette skyldes, at kulhydraterne er sværere at komme til. Lignocellulose består af cellulose, hemicellulose og lignin. Det er cellulosen og hemicellulosen, der er interessante, da det er dem, der kan nedbrydes til monosaccharider, der kan bruges til fermenteringen. Ligninen kan derimod ikke bruges. Derudover virker lignin som et beskyttende lag for cellulosen og hemicellulosen, der gør det svært at komme til cellulosen og hemicellulosen. Ligninen skal derfor først brydes op. Dette kan gøres på flere forskellige måder.

Først gøres halmen våd og snittes i 1-6 cm lange stykker, og herefter er der flere veje at gå. Man kan behandle halmen med fortyndet syre eller koncentreret syre. Med fortyndet syre behandles halmen ved en temperatur på 180-230°C. Med koncentreret syre kan behandlingen foregå ved stuetemperatur. Derudover kan den findelte halm behandles ved dampekspllosion, ammoniak-fryseekspllosion eller vådoxidering.

Ved dampekspllosion bliver det ituskåret halm varmet op sammen med damp til 160-250°C og under højt tryk. Herefter udlignes trykket hurtigt til atmosfærisk tryk, hvorved halmen bliver udsat for en eksplosiv dekomprimering. Dette nedbryder hemicellulosen og ligninen.

³³ Dansk kemi nr. 2 (2005)

³⁴ Dansk kemi nr. 2 (2005)

Ammoniakfryseeksplosion (AFEX) er i princippet det samme som dampekspllosion. Halmen udsættes for flydende ammoniak ved en temperatur på 90°C under højt tryk. Trykket udlignes igen hurtigt, hvorved der foregår en nedbrydning af hemicellulosen og ligninen.^{35 36}

Hos BioGasol benytter man sig af en vådoxidation. Den formalede halm blandes med vand og varmes op til 180°C under et iltryk på 12 bar. Dette får ligninen til at gå i stykker og det høje iltryk omdanner krystallinsk cellulose til amorf cellulose, som enzymerne kan nedbryde til monosaccharider.^{37 38} Der er selvfølgelig fordele og ulemper ved hver af metoderne både med hensyn til kompleksiteten og dannelsen af uønskede biprodukter.

Der bruges en lang række enzymer til nedbrydningen af den frigjorte cellulose og hemicellulose. De kan deles op i to hovedgrupper: cellulaser (der igen deles op i endo- og exoglucanaser) og hemicellulaser. Endoglucanaserne spalter tilfældige glucosidbindinger i cellulosekæden, og der frigøres derved flere ender, hvor exoglucanaserne kan fraspalte cellobioseenheder. Cellobiosen spaltes derefter til to glucosemolekyler med β -glucosidase.

Nedbrydningen af hemicellulose er i princippet det samme. Der kræves dog flere forskellige enzymer pga. hemicelluloses opbygning af mange forskellige kulhydrater. Endoenzymer spalter midt inde i kæderne, og exoenzymer fraspalter enheder i enderne. Fx ved halm, hvor hemicellulosen, som tidligere beskrevet, består mest af arabinose og xylose, vil man bruge endoarabinose, endoxylose, β -arabisidase og β -xylosidase.³⁹

³⁵ Bioresource Technology 83 (2001)

³⁶ The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials (2003)

³⁷ Dansk Miljøundersøgelse (2006)

³⁸ BioGasol (2006)

³⁹ Dansk kemi nr. 2 (2005)

3.2.5 Enzymer

3.2.5.1 Generelt om enzymer

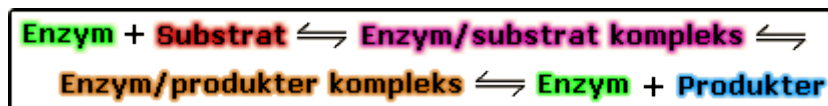
Enzymer virker som katalysatorer, dvs. et molekyle, der øger hastigheden af en proces, uden selv at blive opbrugt. Uden enzymer ville de biokemiske processer i levende organismer foregå så langsomt, at livet ikke ville kunne opretholdes. Enzymer kan både hjælpe med til at nedbryde og opbygge stoffer.

Enzymer er proteiner dannet af den levende celle, og består af aminosyrekæder og cofaktor, som er et slags hjælpemolekyle. Cofaktor kan fx være et uorganisk stof, som en metalion, eller det kan være et organisk stof som reagerer sammen med det stof, der skal omdannes - det såkaldte substrat. Det der bliver dannet kaldes for produktet.⁴⁰

Det der sker ved de biokemiske processer er, at enzymer sænker aktiveringsenergien. Hvis enzymet ikke er til stede, skal der tilføres meget mere energi, før processen kan forløbe. Der udløses lige meget energi med eller uden enzym, men med enzymet kan reaktionerne forløbe oftere.

Hvert enzym er designet til et specifikt formål. I menneskeceller finder man fx flere tusinde forskellige enzymer. Enzymer er specifikke på grund af deres opbygning. Deres struktur er tredimensionelle, og de er som nævnt kædet sammen med aminosyrer og cofaktorer, hvilket gør, at kun et bestemt substrat kan bindes til det pågældende enzym.

Enzymer kan opdeles i 2 funktionelle enheder, en bindingsdel og en katalyseringsdel. Figur 15 viser reaktionen. Bindingsdelen binder substratet og enzymet sammen, så der dannes et enzym/substrat-kompleks. Katalyseringsdelen sørger for, at den kemiske reaktion finder sted. I et kort øjeblik dannes der et enzym/produkt-kompleks, hvorefter der bliver dannet enzym og produkter. Enzymet bliver altså ikke omdannet, og kan bruges igen. Der bruges derfor kun en lille enzyemmængde i forhold til substratmængden.⁴¹



Figur 15: Reaktionsskema for enzymprocessen. Man kan her se, at enzymet ikke bliver omdannet, og derved kan bruges igen.

Foldningen af aminosyrekæderne er stærkt afhængige af det fysiske og kemiske miljø, hvilket vil sige, at enzymerne bedst fungerer ved bestemte temperaturer og pH-værdier.

⁴⁰ [Bioweb](#) (1999a)

⁴¹ [Bioweb](#) (1999b)

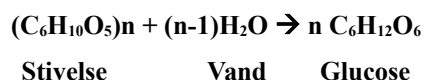
Enzymerne fremstilles ved at dyrke mikroorganismer i store lukkede tanke. Processen dertil er gæring/fermentering.⁴²

3.2.5.2 Nedbrydning af stivelse

For at kunne nedbryde de lange sukkerkæder tilsættes nogle enzymer. Enzymerne, som bruges i fx vaskemidler og til farvning af tekstiler, kan godt bruges i denne sammenhæng, men er ikke effektive nok. Man mangler et enzym, som passer specielt til nedbrydning af plantestoffer, så man får mest muligt ethanol ud af sine afgrøder.⁴³ Det danske firma Novozymes forsker i udviklingen af disse enzymer, og i 2005 lancerede de 3 nye enzymer, der er specielt udviklet til at effektivisere produktionen af ethanol fra hvede, rug og byg, som er de mest tilgængelige afgrøder i Danmark og resten af Europa. Uden brug af de nye enzymer skulle producenterne bruge en stor mængde vand og energi på at fortynde biomassen. Dette spares væk ved brug af Novozymes enzymer, da disse enzymer nedbryder de bestanddele som giver en tyk konsistens.⁴⁴

Stivelse er lange glucosekæder (polymerer), og består af en blanding af 2 forskellige glucosepolymerer; amylose, som er en uforgrenet kæde, og amylopectin, som er forgrenet.

Stivelsen kan hydrolyseres til glucose:



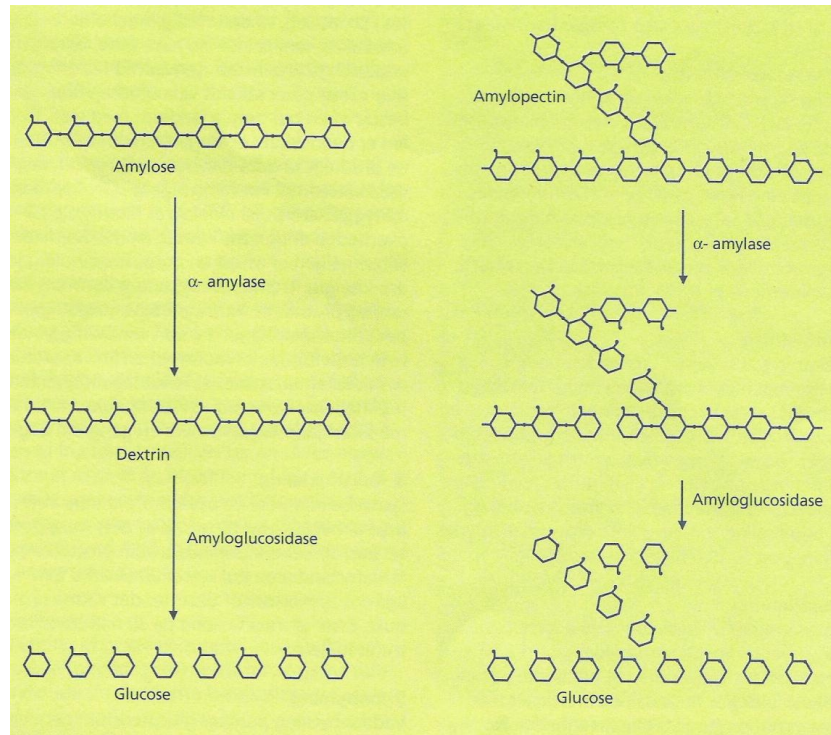
Stivelse-sukker-processen foregår i 2 trin, katalyseret ved hvert sit enzym. Først spaltes stivelsesmolekylerne med enzymet α -amylase til mindre kæder, kaldet dextriner. α -Amylasen er en endoglusidase, hvilket vil sige, at dette enzym ”klipper” inde i stivelseskæderne. Dog kan α -amylase kun hydrolysere α -1,4-bindinger. De enzymer, der bliver brugt i processen til at nedbryde stivelsen i afgrøden, og som gør afgrøden flydende, er primært α -amylase (α -1,4-glucan 4-glucanohydrolase). Dette er et enzym, der også findes i spyt. Dette enzym går ind og ødelægger amylose og amylosepektin-kæderne, som er det, stivelse består af. α -amylase går ind og splitter α -1,4-bindingerne op. Derefter tilsættes enzymet amyglucosidase, som skal fortsætte hydrolysen, og danne frie glucosemolekyler. Dette enzym er en exoglucosidase, som betyder, at enzymet ”klipper”

⁴² Fra stivelse til sukker (1993)

⁴³ Træ er miljø (2004)

⁴⁴ Novozymes (2006)

glucosemolekylerne af et efter et fra enden af dextrin-kæderne. Dette kan også ses på figur 16. Amyloglucosidasen kan, i modsætning til α -amylase, spalte forgreningerne (α -1,6-bindingerne) i amylopectin. De 2 enzymer, α -amylase og amyloglucosidase, har forskellige temperatur- og pH-optima, og reaktionsbetingelserne må justeres hermed.⁴⁵



Figur16: Viser enzymernes virkning på amylose- og amylopectin-kæderne.

Her ses enzymernes virkning på de 2 glucosekæder, amylose og amylopectrin.

Ved den uforgrenede amylose-kæde, går α -amylase ind og deler kæden til mindre dextriner.

Herefter går et andet enzym, amyloglucosidase ind og omdanner dextrinerne til glucose.

Samme proces foregår med nedbrydningen af den forgrenede amylopectrinkæde.

⁴⁵ Fra stivelse til sukker

3.2.6 Gæring

Den bedst kendte mikroorganisme til forgæring af glucose til ethanol er *S.cerevisiae* (*Saccharomyces cerevisiae* eller sukkersvamp) også kendt som bagegær. Denne kan godt omsætte hexoser men ikke pentoser, som hemicellulosen også indeholder. Man har forsøgt med modifikationer af *S.cerevisiae* på forskellige måder, men har kun fået 20-25 % udbytte af det industrielt mulige med ikke modificerede *S.cerevisiae*.⁴⁶

En ting der gør *Saccharomyces cerevisiae*-gærstammen speciel er, at den har tre sæt kromosomer. Dette gør, at den kan klare en forandring i et sæt kromosomer uden at det gør den store forskel, da den kan benytte de resterende to kromosomsæt, der er ubeskadiget. Dette giver en vis stabilitet i gærstammen over generationer. Det betyder dog ikke, at gærstammen ikke forandrer sig over generationer, det sker bare mere sjældent end hos andre mikroorganismer.⁴⁷

Der er indenfor forskellige gærstammer forskel på hvor tolerante gæren er overfor alkoholprocenten i den fremstillede ethanol, de fleste gærstammer kan klare op til 5 % andre helt op til 21 %.⁴⁸ For at øge alkoholprocenten destilleres den fremstillede ethanol.

Gær, der har ilt til rådighed, vil udføre respiration, ligesom os mennesker, da denne proces giver et langt bedre energiudbytte. Denne proces giver ikke alkohol, men vand, CO₂ og energi.

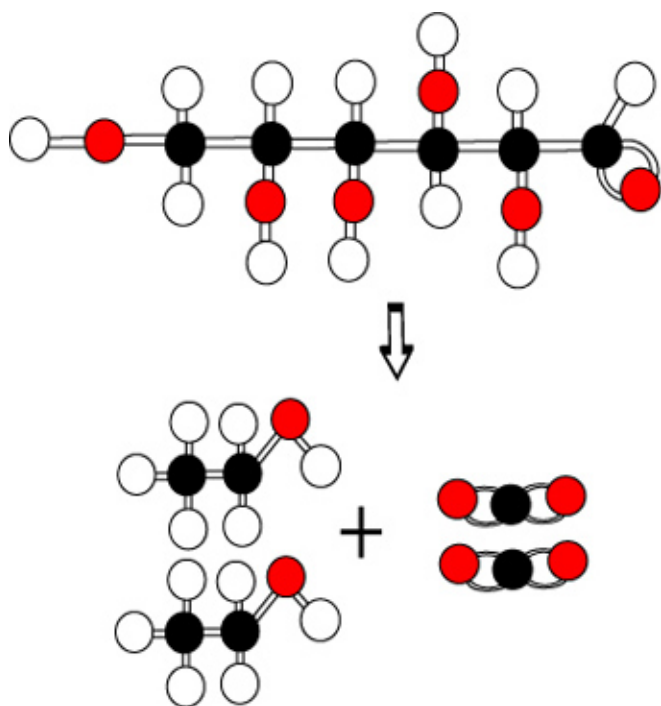
Ved gæring forbruger gæren også en lille del af sukkeret til vedligeholdelse, hvis der er ilt til stede, ellers foregår gæringen anaerobt, hvor gæren nedbryder pyruvat til ethanol og carbondioxid, dette kan ses på figur 17, processen sker ved hjælp af enzymet zymase, som gærcellerne udvikler.⁴⁹

⁴⁶ Dansk kemi nr. 2 (2005)

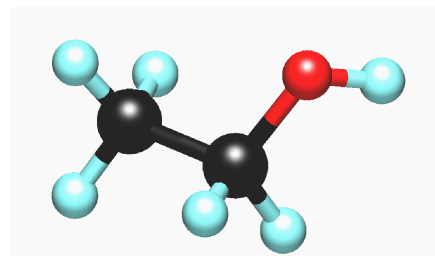
⁴⁷ GlocalBeer (2003)

⁴⁸ YoBrew (2006)

⁴⁹ Danske ølentusiaster (1998)



Figur 17: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$
Omdannelse af glucose til ethanol og carbondioxid vist med ball-and-stick model.



Figur 18: Ethanol CH_3CH_2OH .
Ethanol i rummelig ball-and-stick model

Der er to trin i gærens nedbrydning af pyruvat. Det første trin forløber ved hjælp af enzymet pyruvat decarboxylase, der omdanner pyruvat til en acetaldehyd og CO_2 . Til denne proces kræves der cofactoren *thiamine pyrophosphat*. I det andet trin reduceres acetaldehyden til ethanol af NADH. Denne proces bliver katalyseret af enzymet alcohol dehydrogenase.⁵⁰

Hemicellulose indeholder β -D-glucan, glucomannan, cellulose, arabinoxylan, arabinogalaktan og lidt protein. Pentoser består af 5-leddede carbon-kæder, og hexoser består af 6-leddede carbon-kæder (glucose).⁵¹

Fermentering eller forgæring kan enten gøres efter mest mulig af forsukringen har fundet sted (separat forsukring og gæring) eller ved at enzymer og mikroorganismer tilsættes næsten samtidig, da der skal være dannet en smule sukker inden gæren tilsættes, og udføre forsukringen og gæringen samtidig (simultan forsukring og gæring også kaldet SSF for Simultaneous Saccharification and Fermentation). Begge dele har fordele og ulemper ved separat forsukring, og ved gæring virker den dannede sukker som inhibitor for sukkerdannelsen, og der er risiko for osmotisk stress af gæren, da der er så højt sukkerindhold. Osmotisk stress kan dog også virke positivt ved, at gæren arbejder

⁵⁰ BIOCHEMISTRY (1995)

⁵¹ Dansk kemi nr. 3 (2005)

hurtigere. Ved simultan forsukring og gæring er ulempen, at enzymer og gæren arbejder bedst ved forskellig temperatur. I sidste ende, om man vælger separat eller simultan forsukring og gæring, er der i de fleste tilfælde ikke den store forskel i fremstillingen af ethanol over tid.⁵²

Ligesom der er risiko for øget osmotisk stress ved høj sukkerkoncentration, øges risiko for osmotisk stress også ved højt tørstofindhold.⁵³

Et af de tidligste laboratorier til studier af biologisk kemi blev opført i København i 1875 med støtte fra bryggerfamilien Jacobsen. Her blev gærstammen *Saccharomyces carlsbergensis* isoleret og er muligvis den mest benyttede gærstamme.⁵⁴

3.2.7 Destillation

Destillation er en kemisk teknik, man anvender til at adskille blandinger med forskellige kogepunkter. Når temperaturen i en væske øges, stiger dets damptryk. Når damptrykket af væsken når den samme værdi som den omgivende lufts damptryk, begynder væsken at koge, og omdannes derved til en gastilstand. Når gassen afkøles, kondenseres den til en væske. Det der sker, når en blanding af flere væsker destilleres, er, at den mest flygtige af væskerne fordamper først, og derved adskilles fra de mindre flygtige væsker.⁵⁵ Selve udvindingsprocessen af bioethanol sker på et raffinaderi. Her foregår 3 processer; destillation (adskillelse), konvertering (omdannelse) og efterbehandling.⁵⁶

⁵² Dansk kemi nr. 3 (2006)

⁵³ Dansk kemi nr. 3 (2006)

⁵⁴ GlocalBeer (2003)

⁵⁵ Kemiens Love (1988)

⁵⁶ Olie og benzin (1986)

3.3 Opsamling

Ved forbehandlingen ses den store forskel ved de to teknologier. Ved forbehandling af stivelsesholdige råvarer skal kornet formales og derefter er stivelsen tilgængelig for enzymer og gærceller. Ved lignocelluloseholdige råvarer skal man først have brudt ligninen. Dette kan fx gøres ved at udsætte halmen for vådoxidation. Enzymerne og gærcellerne kan herefter bearbejde cellulosen og hemicellulosen. De enzymer, der er tilgængelige på nuværende tidspunkt, giver ikke et optimalt udbytte. Der arbejdes på Novozymes i Danmark på at forbedre enzymerne.⁵⁷ Der benyttes kun en lille mængde enzymer til fremstillingen af ethanol, da enzymerne ikke bliver forbrugt i processen, men kun gør at reaktionen forløber oftere. I nedbrydningen af stivelse benyttes to enzymer: et til at nedbryde 1,4-bindinger og et til 1,6-bindinger i molekylerne.

Det væsentlige er processen, hvor afgrøden bliver nedbrudt til glucose. Herefter er processen stort set det samme for de to teknologier. Det er forholdsvis let at nedbryde afgrøden til glucose indenfor 1. generationsteknologi og denne teknologi er stort set færdigudviklet. I modsætning til 2. generationsteknologi hvor det er en mere besværlig proces. Det ville være let at konkludere, at 1. generationsteknologi er den bedste, og man derfor bør starte en produktion med denne. Den store fordel ved 2. generationsteknologi er dog, at man bruger affaldsprodukter, som giver et meget bedre fremtidsperspektiv for bioethanolmarkedet.

⁵⁷ Novozymes (2006)

3.4 Præsentation af anlæg

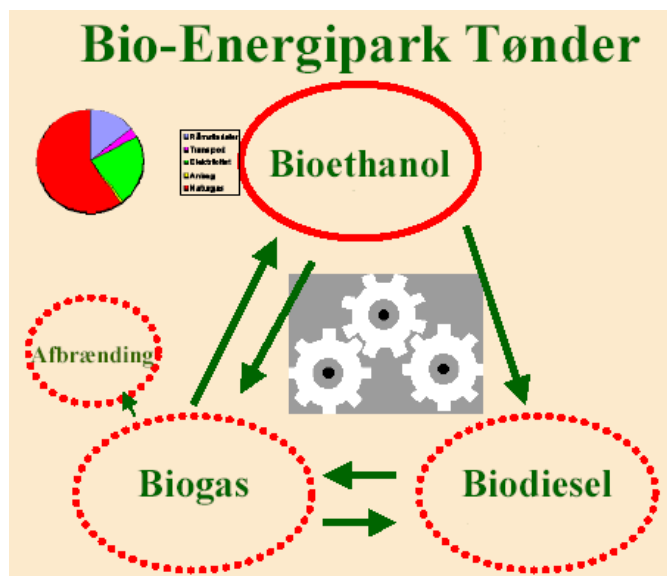
I dette afsnit tegnes et billede af hvilke bioethanolprojekter og –anlæg, der findes i Danmark på nuværende tidspunkt. Ingen fuldskalaanlæg er dog etablerede endnu. De enkelte anlægs og projekters styrke fremhæves, og der gives et bud på den bedste anlægstype indenfor bioethanolproduktion i fremtidens Danmark.

3.4.1 Bio-Energipark Tønder – et 1. generationsanlæg

I Bio-Energipark Tønder eller Tønder Biofuel vil man integrere produktionen af bioethanol, biodiesel og biogas. Dette vil sige, at man benytter de forskellige produkter til at levere den fornødne energi til den samlede produktion. Til at starte med benyttes der hos Bio-Energipark Tønder kun 1. generationsteknologi til fremstilling af bioethanol. Som det ses på figur 19 vil produktionen ikke være en ren bioethanolproduktion, men en integreret bioethanol-, biodiesel- og biogasproduktion. Restproduktet fra bioethanolproduktionen er DDGS (dried distillers grains with solubles), som er et proteinholdigt dyrefoder. Den ønskede kapacitet for anlægget er en produktion på 150.000 m³ bioethanol om året.⁵⁸ Målet med Bio-Energipark Tønder er at etablere en industri og et marked for bioethanol i Danmark og til eksport. Planen er at gå ud fra 1. generationsteknologi og senere udvide til 2. generationsteknologi, når en egentlig produktion er i gang, og der er opbygget et marked for handel med bioethanol.⁵⁹

⁵⁸ Tønder Biofuel (2006)

⁵⁹ Energikonferencen, Ingeniørforeningen i Danmark (2006)



Figur 19; Princippet i Bio-Energipark Tønder

I Bio-Energipark Tønder vil man integrere produktionen af bioethanol med produktion af biodiesel og biogas. Dette kan lade sig gøre ved, at de forskellige processer enten selv kan bidrage til videre produktion eller ved, at biprodukter kan benyttes. Dette kan ske ved, at methanolindholdet af dieselen bliver skiftet ud med ethanol, glycerin fra dieselen kan bruges i biogasproduktionen, og afbrændingen af biogas vil give el til bioethanolproduktionen.

Fordeling af produkt til markedet og produkt til eget forbrug vil ske sammenhængende med udbud og efterspørgsel på markedet.

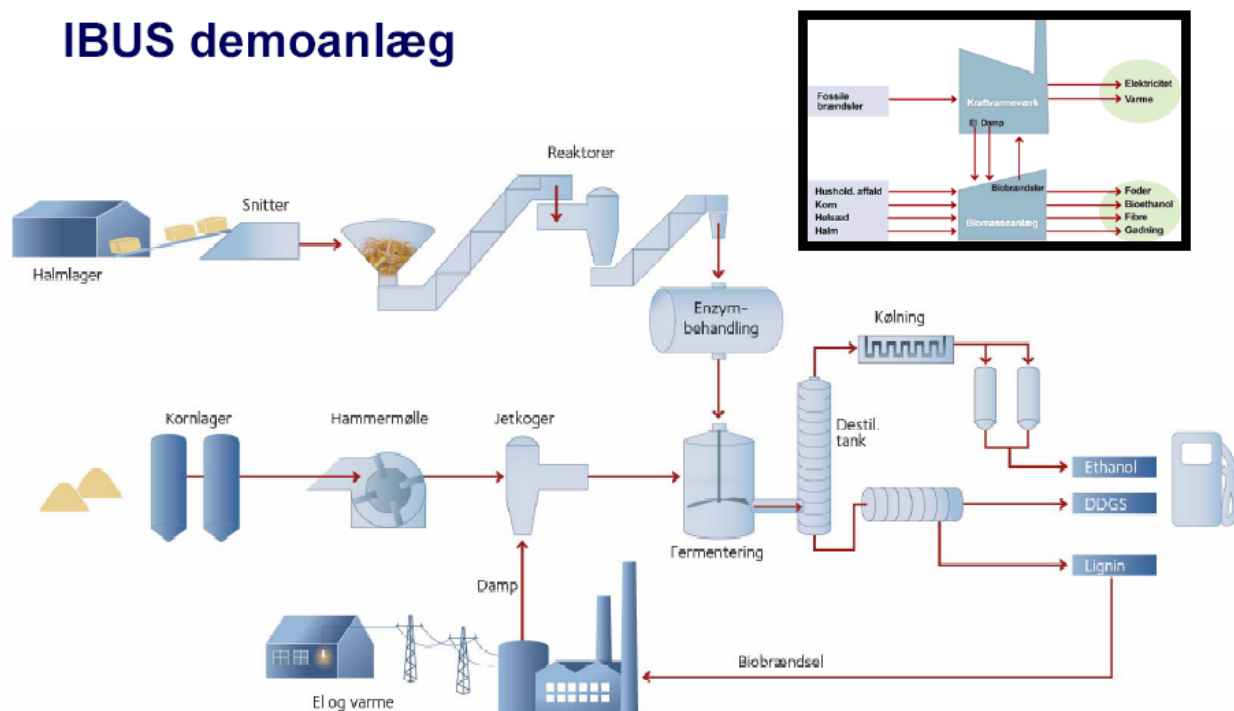
3.4.2 IBUS - 1. og 2. generationsanlæg

IBUS-anlægget (Integrated Biomass Utilisation System) støttes af Elsam, Sicco, DONG Energy og TMO Biotec (UK). Forsøgsanlægget er etableret i forbindelse med Fynsværket. Ved etableringen af IBUS-anlægget ønskes det, at biomasseanlægget lægges i forbindelse med et kraftvarmeværk, så de to anlægs restprodukter er til gavn for hinanden. Dette er illustreret på figur 20, hvor også input og output for begge processer er vist. Her optimeres processen ved at udvaske alkali fra det benyttede organiske affald. Dette forbedrer fyringsegenskaberne, da alkali ellers på længere sigt kan skade kraftvarmeværkets kedler. Det vand, der er blevet brugt til udvaskningen, bliver derefter brugt til bioethanolproduktion og produktion af dyrefoder. Egenskaberne hos de benyttede mikroorganismer ønskes optimeret til øget thermophili og derved både kan klare C5- og C6-sukre. IBUS-anlæggets koncept går ud på at integrere 1. og 2. generationsteknologier ved at bruge den viden, man har om 1. generation til at forøge produktionsniveauet i 2. generation.⁶⁰ Derved kan der slås kraftigt tvivl

⁶⁰ Elsam (2006)

om Benedikte Kiærs udtalelser i Bilag 4, bl.a.: ”... der er ringe synergi mellem 1. og 2. generationsteknologier.” Vi vender tilbage til disse udtalelser i analyse- og diskussionskapitlet. Det etablerede forsøgsanlæg har kapacitet til ét ton halm i timen. Senere ønskes opskalering til 20 ton.⁶¹

IBUS demoanlæg



Figur 20; Princippet i IBUS-anlægget.

På IBUS- anlægget vil man benytte både 1. og 2. generationsteknologi, idet man både benytter korn og helsæd, husholdningsaffald og halm.

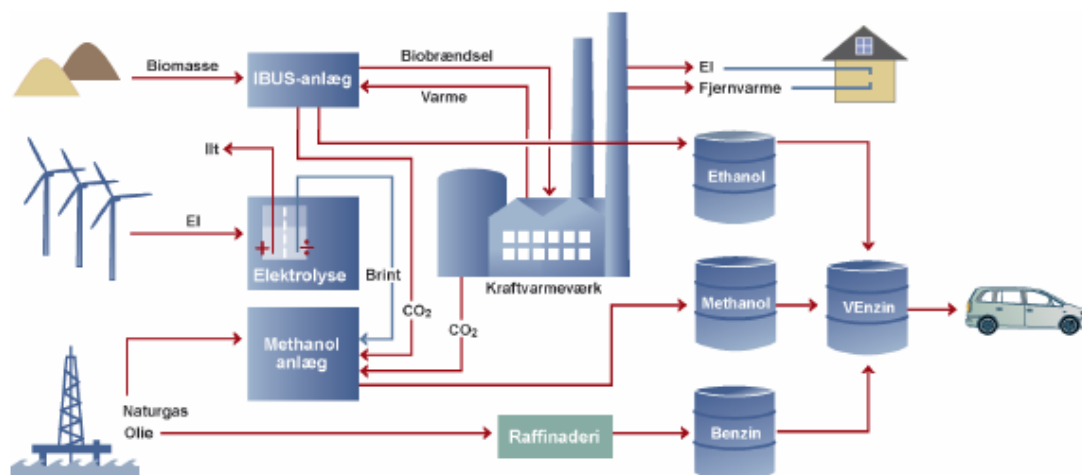
Den store forskel ved IBUS-anlægget er, at produktionen er integreret med et kraftvarmeverk. Dvs. at restproduktet fra bioethanolproduktionen (biobrændsler) går til kraftvarmeverket, der til gengæld leverer el og damp til biomasseanlægget. Dette er en fordel da biobrændslerne frem for fossile brændsler er CO₂ neutralt.

Udover biobrændsel til kraftvarmeverket vil der ud af bioethanolproduktionen selvfølgelig komme bioethanol, men også et restprodukt der vil kunne sælges, nemlig foder til landbrugsdyr, fibre og gødning.

Produktionsfordelingen af restprodukterne vil afhænge af efterspørgsel på markedet.

Et andet projekt af Elsam er VEnzin, hvor IBUS-anlægget indgår, der forsøger at inddrage og optimere alle energiproduktionskædens enkeltdele ved at kæde deres produktion sammen, så restprodukterne bliver udnyttet. Sammenhængen mellem de forskellige industrier ses på figur 21.

⁶¹ FiB (2005)



Figur21; Princippet for VEnzin-anlægget

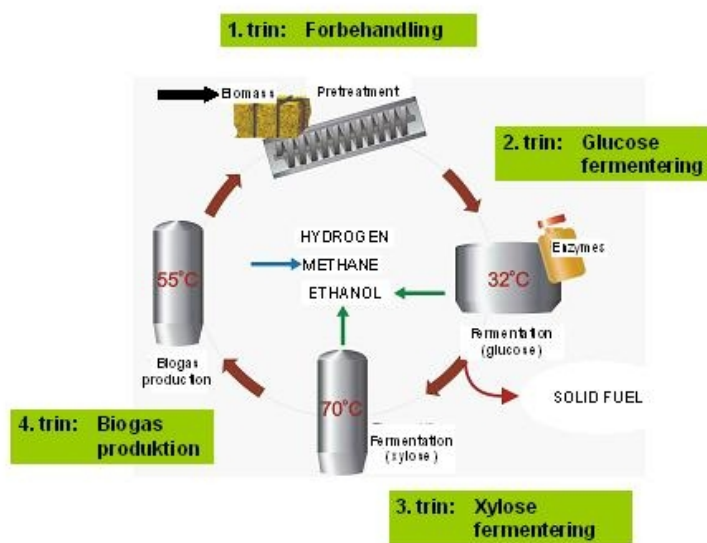
Med VEnzin-anlægget har Elsam videreudviklet IBUS-anlægget til at sammenkæde både biomasse-, el- og olieindustrien til ét stort sammenhængende produktudvekslingsanlæg, hvor hver industri har glæde af de andres produkter. Dette vil i sidste ende gavne miljøet, da den CO₂, der ellers undervejs ville blive udledt, bidrager til methanolproduktionen.

3.4.3 MaxiFuel – et 2. generationsanlæg

MaxiFuel-anlægget støttes af DTU, Novozymes, E2, Energinet.dk og Energiforsikringsprogrammet, og det er BioGasol på DTU i Lyngby, der står for anlægget. Her lægges vægt på 2. generationsteknologi. Man benytter kun halm til fremstilling af bioethanol. På anlægget fremstilles også metan og hydrogen samt et produkt til afbrænding. Som det ses på figur 22 sker forbehandlingen af halmen i 1. trin, så lignocellulosen bliver nemmere tilgængelig. I 2. trin tilsættes enzymer, der skal nedbryde lignocellulosen til glucose. I 3. trin sker xylosefermenteringen, og ethanolen udskilles og destilleres. I 4. trin produceres biogassen. Alt resterende spildevand sendes tilbage i anlægget. Dvs. alt kulstof bliver brugt. Dette er en stor økonomisk fordel, da spildevandet ikke skal sendes til rensning. Det er derudover muligt at regulere outputtet alt efter behov og efterspørgsel.⁶² Teamet bag BioGasol har på Island fundet nogle specielt termophile mikroorganismer, som effektivt kan fermentere xylose, der er en C5-sukker, ved højere temperatur (70° C i forhold til 30°C).⁶³

⁶² BioCentrum DTU (2006)

⁶³ Interview med BioGasol (2006)



Figur 22: Princippet i MaxiFuel-anlægget

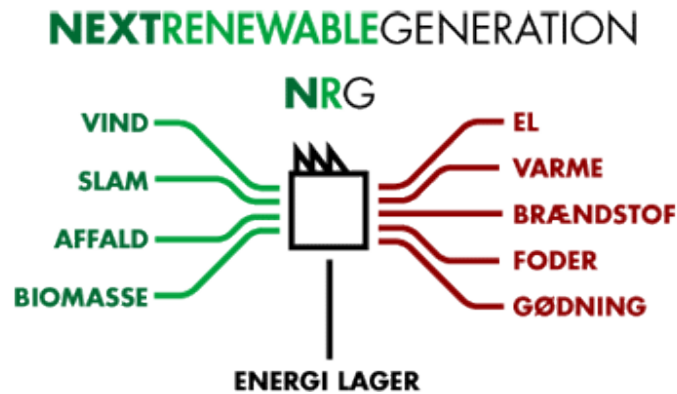
På MaxiFuel-anlægget produceres både hydrogen, methan og bioethanol, dette sker forskellige steder i procesanlægget. MaxiFuel er et rent 2. generationsteknologi-anlæg og behandler kun halm. Restproduktet fra 4. trin sendes tilbage i anlægget igen.

3.4.4 NRG-anlægget – et videreudviklet 2. generationsanlæg

NRG står for Next Renewable Generation, og er et projekt udviklet af Amagerforbrændingen og ELSAM, hvor man forsøger at løse de miljømæssige problemer i transportsektoren mht. CO₂-udslip. Projektet med NRG kombinerer og udvikler allerede kendte teknologier. I projektet indgår bioprocesser, sortering og forbrænding, så slutresultatet er brændstof til varme, el og transportformål. Metoden er en videre udvikling af 2. generationsteknologien.

Bioethanol udvindes af organiske materialer, og NRG's projekt går ud på, at omdanne husholdningsaffald til ethanol ved at tilsætte enzymer. Herved er man ikke afhængig af en bestemt råvare som fx hvede, men kan derimod udnytte organisk affald som energikilde. Figur 23 viser input og output i NRG anlægget. Anlægget fungerer således, at affald sammen med en væske, fx spildevandsslam, indføres i anlæggets kerne, hvorefter gæringen af massen starter. Når gæringen er færdig, er massen steril, og ethanol kan destilleres fra.⁶⁴

⁶⁴ Høring for Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg (2006)



Figur 23; input (venstre) og output (højre) fra NRG-anlægget.

Inputtene består af vind til dannelse af miljøvenlig el og slam, affald og biomasse til bioethanolproduktionen.

Slam, affald og biomasse bliver behandlet og omdannet til bioethanol, el og varme, foder, gødning og andet biobrændsel. Outputtene kan justeres afhængig af efterspørgslen.

3.5 Opsamling

Efter vores mening ligger der et brugbart potentiale i alle anlægstyperne gennemgået ovenfor. Tønder Biofuel kan med deres energipark skabe arbejdspladser og bruge nærområdets tilgængelige brakliggende arealer og disses efterfølgende afgrøder. Til gengæld har IBUS-anlægget den store fordel, at restprodukterne ikke kun består af DDGS, men også biobrændsel til afbrænding i et tilknyttet kraftvarmeværk. Det, der gør Maxifuel-anlægget forskellig fra IBUS-anlægget, er de termophile mikroorganismer, som gør, at man kan nedbryde hele biomasseinputtet. Men den helt banebrydende teknologi indføres med NRG-anlægget, hvor fordelene ligger i benyttelsen af organisk affald og spildevandsslam som input.

4 Analyse og diskussion

I dette kapitel vil vi analysere CO₂-regnskabet ud fra ”Well to Wheels”-studiet⁶⁵, som er en rapport omhandlende fremtidens brændstoffer til den europæiske transportsektor. Efterfølgende foretager vi egne beregninger af, hvor CO₂-besparende hver teknologi er. Vi analyserer også energiregnskabet, og til slut diskuterer vi hvilken teknologi, der er bedst. Ved at analysere CO₂- og energiregnskabet inddrager vi vores viden om produktionsprocessen fra teoriafsnittene, og vi svarer derved på første del af vores problemformulering. Anden del af problemformuleringen besvarer vi ved først at forklare hvilke praktiske foranstaltninger, der skal foretages for at omstille transportsektoren i Danmark. Derefter diskuterer vi Peter Nissen og Benedikte Kiærns meninger fra vores interviews, for derved at give vores egen mening om, hvilke tiltag der bør gøres, og hvilke anlæg der skal fremmes.

4.1 Første del af problemformuleringen

4.1.1 CO₂-besparelse ved henholdsvis 1. og 2. generationsbioethanolproduktion

	CO ₂ -besparelse
1. generation	-8% til 80% $\approx$ 30 %
2. generation	74% til 89% $\approx$ 80%

Tabel 1: Viser CO₂-besparelsen ved de 2 teknologier. Tallene stammer fra ”Well to wheels”-rapporten

Tabel 1 viser CO₂-besparelsen ved 1. generationsbioethanol samt 2. generationsbioethanol. Når man kigger på de forskellige former for bioethanol, ses det, at besparelsen er størst ved brug af fremstilling indenfor 2. generationsteknologi. Fremstillingen af 1. generationsbioethanol er dog den bedst afprøvede metode, og indtil videre den billigste metode til fremstilling af bioethanol, men der skal til denne produktion anvendes store mængder energi, før man har ren ethanol.

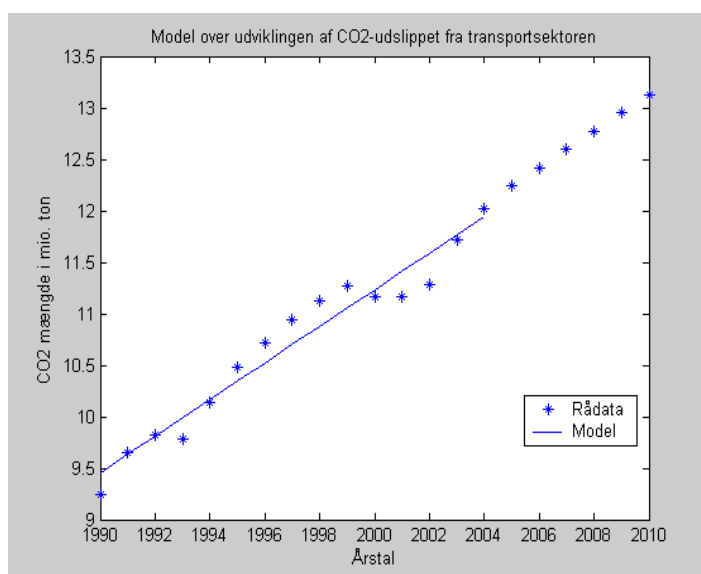
Som man kan se på tabel 1, er hverken fremstilling af bioethanol ved 1. eller 2. generationsteknologi 100 % CO₂-neutralt. Dette skyldes, at der bruges energi til hele processen, lige fra transport af råvaren til produktion af bioethanolen. Denne energi kommer fra fossile

⁶⁵ Well to Wheels (2005)

brændstoffer. Dette vil dog med tiden blive mindsket, da landbrugets maskiner efterhånden også kommer til at køre på bioethanol. Grunden, til at der bruges mere energi til fremstilling af bioethanol indenfor 1. generationsteknologi, er, at energien som bruges til at høste kornet, er et decideret led i fremstillingen. Hvorimod det ved produktion indenfor 2. generation ikke tælles med, da halm er et restprodukt, og energien alligevel bliver brugt til dyrkning og høstning af kornet. Ved 2. generation afbrændes restproduktet lignin, hvorved man får varme, der kan bruges i produktionen. CO₂-besparelsen ved 1. generation kan ligefrem blive negativ, hvis energien til processerne hentes fra afbrænding af brunkul. Brunkul er planterester, der ikke er blevet udsat for et stort nok tryk over en tilstrækkelig lang periode til at blive omdannet til rigtig kul.⁶⁶

Danmark har, som en del af EU, bundet sig til at erstatte 5,75 % af de fossile brændstoffer med biobrændstoffer i henhold til biobrændstofdirektivet, og målet skal være opfyldt i år 2010.

For at estimere hvor meget CO₂ der bliver udledt i år 2010 fra transportsektoren i Danmark, har vi selv udledt en matematisk model til disse beregninger. Dette har vi gjort ud fra målinger foretaget af Danmarks Statistik, gældende fra 1990-2004.⁶⁷



Målingerne, som kan ses på grafen ovenfor, viser CO₂-udslippet fra den samlede transportsektor i Danmark. Ud fra målingerne har vi antaget, at CO₂-mængden vil stige lineært efter år 2004. Vi har

⁶⁶ Naturplan (2006)

⁶⁷ Bilag 1

bestemt den bedste rette linje ved hjælp af det matematiske regneprogram MatLab. Vores fundne model er:

$$y = 0,1775x - 343,65,$$

hvor y er den samlede mængde CO₂ angivet i 1.000.000 ton og x er årstallet.

Ud fra vores model har vi beregnet værdien af CO₂ udslippet i år 2010 til at være:

$$0,1775 \cdot 2010 - 343,65 = 13,125 \text{ mio. ton}$$

Vi formoder, at CO₂-udslippet fra transportsektoren vil være 13,125 mio. ton ifølge vores model.

$$5,75 \% \text{ af CO}_2\text{-udslippet i år 2010 svarer til: } 13.125.000 \text{ ton} \cdot 0,0575 = 754.687,5 \text{ ton}$$

For at finde ud af hvor meget CO₂ man sparer, ved at bruge de forskellige produktionsformer, ganger vi de 754.687,5 ton med 30 % og 80 %, som er de procenttal henholdsvis 1. generation og 2. generation nedsætter CO₂-udslippet med i forhold til traditionel brændstof ifølge ”Well to wheels”-studiet. Resultaterne ses i tabel 2.

	Gennemsnitlig CO ₂ -besparelse i % i forhold til traditionel brændstof	CO ₂ -besparelse mio. ton
1. generations ethanol – 5,75 %	30 %	0,226 mio. ton
2. generations ethanol – 5,75 %	80 %	0,604 mio. ton

Tabel 2: CO₂ besparelse i Danmark, målt i ton, ved at udskifte 5,75 % med bioethanol

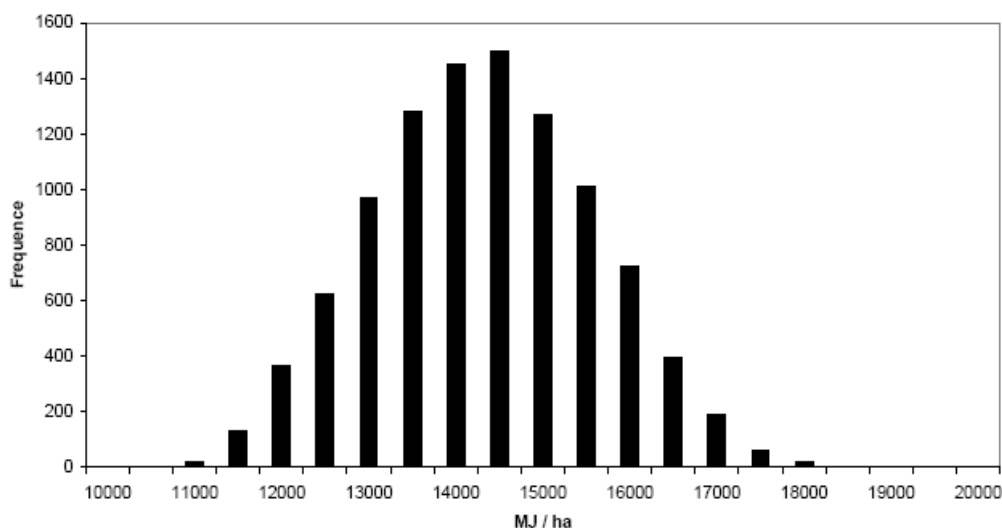
Ud fra vores udregninger og procentbesparelsen ses det, at bioethanol fremstillet ved 2. generationsteknologi er ca. 166 % eller over 2,6 gange mere CO₂-besparende end bioethanol fremstillet ved 1. generationsteknologi. Beregningerne baseres på den gennemsnitlige procentbesparelse ved de to teknologier. Hvis man derimod fremstiller bioethanol på den mest CO₂-besparende måde ved 1. generationsteknologi (80 % besparelse), vil dette være at foretrække frem for den mindst CO₂-besparende 2. generationsteknologi (74 % besparelse).

4.1.2 Energi-regnskab

I dette afsnit vil vi gennemgå energi-regnskabet i forbindelse med produktionen af bioethanol: fra kornet bliver sået, til det kommer ud i bilerne i form af bioethanol. Vi vil her sammenligne energibalancen for 1.- og 2. generationsteknologien.

Investeringen af energi i en produktion af 1. og 2. generationsbioethanol, starter allerede når kornet skal sås. Traktorerne, der kører på markerne, sår, gøder osv. og tilfører derved energi til energi-inputtet ved at køre på diesel. Gødningen, kunstgødning såvel som naturlig gødning i form af gylle, der bliver brugt til produktionen af korn, har også kostet energi at producere. Hvis kornet skal beskyttes mod skadedyr og sygdomme, skal det sprøjtes med pesticider, der igen koster energi at fremstille. Til sidst bruges der også energi til høstning og transport af biomassen til ethanolfabrikken.

På figur 24 er energiforbruget i forbindelse med dyrkningen af korn simuleret. I dette tilfælde er den energi, der er brugt på at lave landbrugsmaskinerne også medregnet samt elektricitetsforbrug i forbindelse med varme, lys og ventilation. I forbindelse med IBUS-anlægget estimerer man, at det mest sandsynlige energiforbrug til dyrkningen af vinter hvede vil være ca. 14.560 MJ/ha. Som det ses ud af figur 24, estimeres det minimale energi-input til 10.275 MJ/ha og det maksimale til 18.776 MJ/ha.⁶⁸



Figur 24: Det totale energiforbrug i forbindelse med dyrkning af korn.

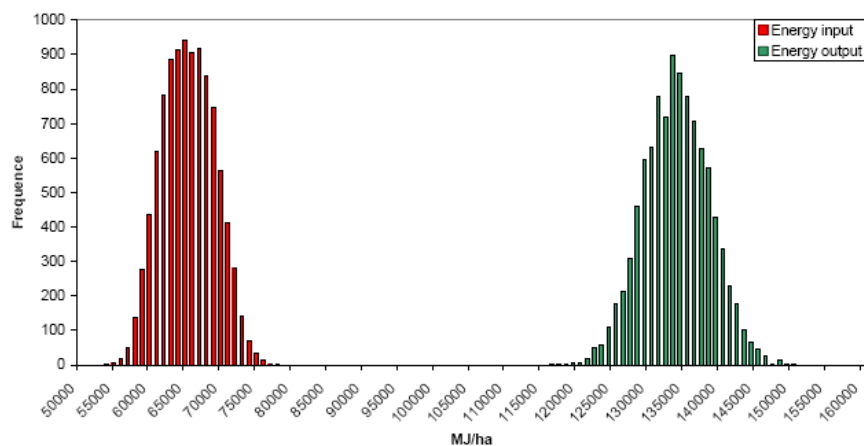
⁶⁸ Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark. (2006)

Det kan diskuteres om energien, der bliver brugt til at fremstille korn, som halm er et restprodukt af, skal medregnes i en energibalance for 2. generationsbioethanol. Vi vurderer, at energien man bruger i landbruget til at dyrke kornet, ikke skal medregnes i 2. generationsenergiregnskabet. Energien til at dyrke og høste kornet ville i alle tilfælde alligevel blive brugt. I IBUS-anlægget, som siges både at være et 1.- og 2. generationsanlæg, bruges, som allerede beskrevet, både korn og halm til fremstillingen af bioethanol, så derfor er det rimeligt at medtage energien til kornproduktionen her.

Udfordringen er nu at få lavet korn og halm om til bioethanol. Dette kan ikke lade sig gøre uden mere tilførsel af energi. Energien til at lave korn og halm om til bioethanol kommer hovedsagelig fra elektricitet og damp, men også fra tilsætningsstoffer i form af enzymer, vand og andre stoffer afhængig af hvilken forbehandlingsmetode, der er valgt. Der er energibesparelser at hente, hvis bioraffinaderiet integreres i et kraftværk, så der bruges damp til at drive turbinerne. I forbindelse med IBUS-anlægget regner man med at bruge 50.300 MJ/ha i processen, som laver korn og halm til bioethanol. I tilfældet med IBUS-anlægget er energiforbruget ved konstruktionen af selve bioraffinaderiet også indregnet. Dette synes vi måske er lidt overflødigt, da det er et engangs energi-input til bioethanolproduktionen.

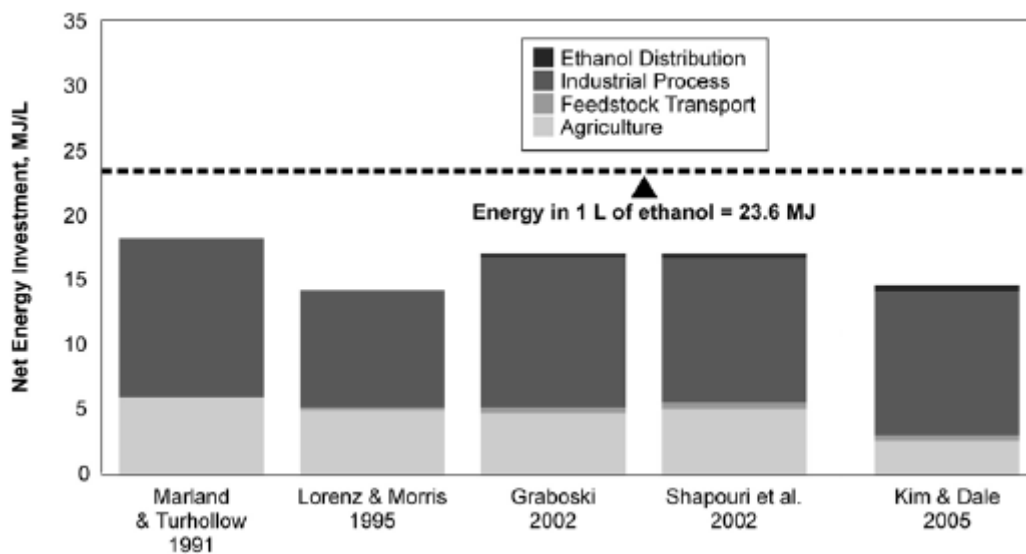
Det mest sandsynlige input af energi til bioethanolproduktion med IBUS-anlægget er 65.927 MJ/ha. Til sammenligning regner man med at få omkring 133.962 MJ/ha ud i den anden ende. Output-Input raten kan så beregnes ved Output i MJ/ha divideret med Input i MJ/ha til ca. 2,03. Det vil sige, at man får den investerede energi 2,03 gange tilbage igen.⁶⁹ En figur over energiinputtet og outputtet ses på figur 25.

⁶⁹ Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark. (2006)



Figur 25 viser 10.000 simulerede inputs og outputs i forbindelse med IBUS-anlægget.
Output-Input-raten findes ved at dividere output med input.

Nedenfor ses en sammenligning af 5 studier af hvor meget energiinput, der bruges på at producere en liter 1. generationsbioethanol fra majs, der svarer til 23,6 MJ. I beregningerne er der medtaget energiforbruget fra landbrug, transport af afgrøden, den industrielle proces og distributionen af ethanol.⁷⁰



Figur 26 viser en sammenligning af en række forskellige studier, der har beregnet energi inputtet i 1. generations bioethanol produktion.
Den stiplede linje viser energi outputtet af en liter bioethanol

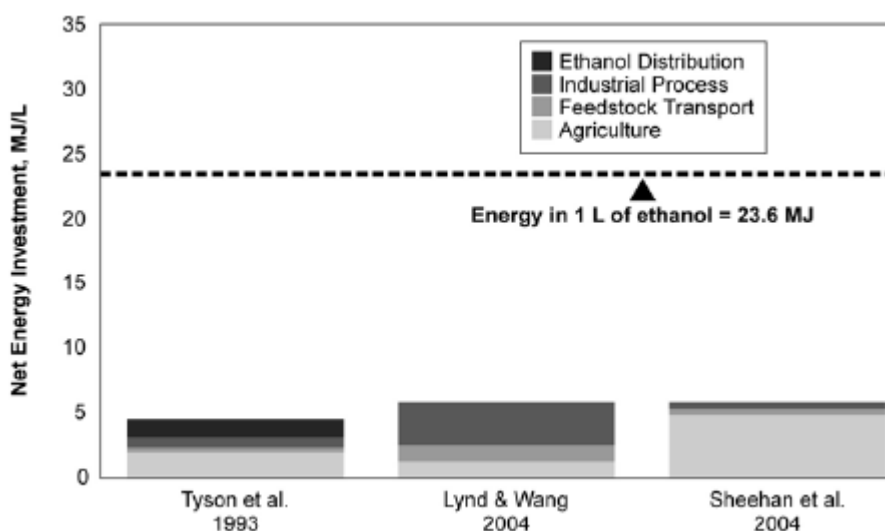
⁷⁰ Ethanol: Energy Well Spend, (2006)

Som man kan se, ligger energiinput-resultaterne fra alle studierne under energioutputtet. Gennemsnittet af energiinputtet for de 5 studier er ca. 16,2 MJ/L. Energibalancen for 1.

generationsbioethanol kan derved beregnes:
$$\frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{23,6 \text{ MJ/l}}{16,2 \text{ MJ/l}} = 1,46$$

Dette vil sige at der næsten kommer en halv gang mere energi ud, end der bliver brugt til produktionen.

Der er også udført 3 studier, som beregner energiinputtet for 2. generationsbioethanol, og som medtager de samme energiinput-faktorer som studierne ved 1. generation. Sammenligningen af disse studier, kan ses på figur 27 herunder.



Figur 27 viser en sammenligning af en række forskellige studier, der har beregnet energi-inputtet i 2. generationsbioethanolproduktion. Den stiplede linje viser energi-outputtet af en liter bioethanol.

Energiinput-resultaterne for disse studier ligger også under energioutputtet på 23,6 MJ/L. De 3 studier har et gennemsnits energiinput på ca. 5,2 MJ/L. Energibalancen for 2. generationsbioethanol

kan beregnes til:
$$\frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{23,6 \text{ MJ/l}}{5,2 \text{ MJ/l}} = 4,54$$

Ved at se på de 2 figurer 26 og 27 ses det, at der bliver brugt mere energi til dyrkning (agriculture) af afgrøder til 1. generation end ved 2. generation. Når man ser på energiforbruget i den industrielle proces for begge teknologier, kan man se, at der overraskende bliver brugt mindre energi ved 2. generationsteknologi end ved 1. generationsteknologi. Man skulle her tro, at der ville blive brugt

mindst den samme mængde energi til at udvinde det svært tilgængelige glucose. Dette skyldes, at der ved 2. generation er taget højde for, at restproduktet lignin, kan benyttes til afbrænding, og derved blive til ny energi, der kan bruges i produktionen. Flere modeller viser endda, at varmen fra afbrændingen af lignin overstiger den mængde varme, der er brug for i bioethanolproduktionen på bioraffinaderiet.^{71 72}

Ud fra beregningerne af de 2 energibalancer kan vi se, at ved 2. generationsbioethanol får man ca. 3 gange mere energi ud af ethanolen, end hvis man bruger 1. generationsbioethanol.

4.2 Anden del af problemformuleringen: Hvorledes omstilles transportsektoren?

4.2.1. FFV og tankstationer

Her diskuteres den praktiske del af omstillingen i forhold til biler og tankstationer.

Udslip af CO₂ fra transportsektoren er støt stigende, og det er derfor naturligt at komme med alternativer til de traditionelle biler.⁷³ Her er Flexi Fuel-biler et skridt i den rigtige retning. Flexi Fuel-bilen er kendetegnet ved en speciel motor, som kan køre på en blanding af benzin og bioethanol i blandingsforhold fra 0 til 85 % bioethanol.⁷⁴ En almindelig bilmotor kan køre på en iblanding af ethanol på op til 10 %. Den er dog ikke særlig god til at udnytte den højere ydeevne, som benzinen får fra ethanolen. Ved iblanding af ethanol øges oktantallet, og dette giver fordele, hvis motoren kan udnytte de ekstra hestekræfter. Samtidig kører bilen dog mindre på literen. Disse effekter vil udligne hinanden i kuperet terræn. Hvis man fx iblander 5 % ethanol i benzin vil oktantallet stige ca. 1,5.⁷⁵

Det specielle ved Flexi Fuel-motoren er, at alle slanger og motordele er belagt indvendigt med et specielt forhærdet metal fx teflon for at forhindre, at ethanolen skal ætse dele af motoren.⁷⁶ Derudover er der et forprogrammeret tændingssystem til de forskellige brændstoftyper, der selvreguleres alt efter indholdet af ethanol og benzin i tanken. Ydermere er cylinderblokkene

⁷¹ BioGasol (2006)

⁷² Energy Well Spent (2006)

⁷³ Århus mod motervejen (2006)

⁷⁴ Ford Motor Company (2006)

⁷⁵ Oliebranchen i Danmark (2006)

⁷⁶ Interview med Peter Nissen (2006)

specielt bygget, så de forvarmer, hvis der er temperaturer under -15°C , da ethanol er dårligere til at koldstarte.⁷⁷

Ved at benytte en Flexi Fuel-motor og lade bilen køre på E85 (85 % ethanol og 15 % benzin) kan CO₂-udslippet reduceres med op til 75 % og reducere udslippet af for eksempel NO_x i forhold til en bil, der kører på ren benzin.⁷⁸

For at indføre bioethanol på det danske marked, skal der bruges penge på landets tankstationer. Benzintankene kan indeholde lidt slam og vand, hvilket ikke er noget problem ved normal benzin. Men vand og slam kan medvirke til, at ethanol og benzin bliver faseopdelt, dvs opdeler sig i separate lag. Og dermed kan det rigtige blandingsforhold ikke garanteres. Det vurderes, at der skal bruges ca. 500 mio. kr. på at klargøre landets tankstationer.⁷⁹

4.2.2 Danmarks situation

I dette afsnit beskrives indledningsvis Sveriges erfaringer med bioethanol, for derefter at diskutere Danmarks situation ud fra de interviews, der er foretaget.

Sverige er som bekendt meget længere fremme end Danmark, når det gælder brugen af bioethanol i transportsektoren. De bruger 1. generationsteknologi med import af biomasse fra Brasilien.⁸⁰

Det skyldes flere ting. Først og fremmest har der været de nødvendige rammebetingelser for at indføre biobrændstof. Derfor har man fjernet afgiften på bioethanol til at blande i benzin og diesel. Desuden er der gratis parkeringspladser til de miljøvenlige biler. Det er med til at opfylde den svenske regerings mål fra 2005; at bryde afhængigheden af fossile brændstoffer i 2020.⁸¹

I 2006 består 15 % af salget af nye biler i Sverige af Flexi Fuel-biler.⁸² Samtidig stiger antallet af tankstationer, der tilbyder E85 støt. I 2005 nåede Sverige op på 300 E85-stationer. I juli 2007 skal tallet være 700 og i 2009 skal alle svenske tankstationer ifølge lov tilbyde E85.⁸³

Det er således stor opmærksomhed omkring biobrændstof i Sverige, og forbruget betyder, at Sverige er afhængig af import af fra Brasilien. Til gengæld mangler Sverige ikke meget for at leve

⁷⁷ Ford Motor Company (2006)

⁷⁸ Ford Sverige (2006)

⁷⁹ Oliebranchen i Danmark (2006)

⁸⁰ Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation (cbmi)(2006)

⁸¹ Miljø horisont (2006)

⁸² Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation (cbmi)(2006)

⁸³ Teknologi- rådet (2006)

op til biobrændstofdirektivet på 5,75 %. I 2005 bestod ca. 3 % af brændstoffet i transportsektoren af biobrændstof. EU-målet var kun på 2 %.⁸⁴

I Sverige har man for flere år siden indført bioethanol på markedet, og det er noget forbrugerne skal vænne sig til. Der går tid før viden om produktet bliver udbredt på markedet. Så selv om salget af Flexi Fuel-biler er stigende i Sverige, så viser erfaringen fra Danmarks naboland, at det tager tid at indføre bioethanol. Det underbygger Peter Nissens hypotese om, ”... Altså, vi vil aldrig blive de førende inden for bioethanol eller feltet bioenergi, hvis vi ikke fra politisk side får sat gang i 1. generations bioethanol produktion nu, ved at få de rigtige rammebetingelser.”⁸⁵

Ifølge Benedikte Kiær er ”løbet kørt for 1. generation.” Hun udtaler desuden i interviewet: ”Vores teknologi har ikke brug for 1. generationsanlæg (der er ringe synergi mellem 1. og 2. generations teknologier) – og den store fordel ved vores teknologi er, at bioethanol fra 2. generation er konkurrencedygtig med benzin – der er ikke brug for afgiftslettelser.”⁸⁶

Hun pointerer her, at 2. generationsteknologien ikke har brug for de rammebetingelser og ophævelse af afgifter, som er nødvendigt for, at 1. generation er konkurrencedygtig i forhold til fossile brændstoffer. Hun kan dog have en pointe i, at det er en kæmpe investering, der skal foretages i 1. generationsanlæg, hvis det inden for få år vil blive udkonkurreret af 2. generation. Specielt hvis det er sandt, at der er så ringe synergi, som hun hævder, således at det ikke er muligt senere at ombygge 1. generationsanlæg, så de er brugbare i 2. generationsproduktion. Men at IBUS-anlægget kombinerer 1.- og 2. generation, modbeviser Benedikte Kiærs postulat.

Vi har i første del af analysen vist, at der er langt større CO₂- og energibesparelser ved 2. generation end 1. generation. Men det er vel og mærke kun teoretiske udregninger. 2. generation er ikke sat i produktion endnu, og der er en del logistik og distribution, som skal gå i orden. Det tager tid, ligesom det tager tid at få indført ethanolen på markedet og vænne forbrugerne til det nye produkt. Det viser alle erfaringer fra Sverige.

Derfor er vi af den klare overbevisning at Statoils relativt succesfulde indførelse af Bio95 på danske benzinstationer, ikke kan bruges som eksempel, som Benedikte Kiær gør: ”Ligeså snart vi begynder at producere 2. generationsbioethanol i Danmark – så har Statoil vist os alle, at der ingen problemer er med at iblande bioethanol i benzinen – distribution og logistik løses hurtigt.”

⁸⁴ Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation (cbmi)(2006)

⁸⁵ Sammenfatning af interview med Peter Nissen (2006)

⁸⁶ Interview med BioGasol (2006)

På kort sigt skal det danske brændstofbrug, ifølge biobrændstofdirektivet i år 2010, bestå af 5,75 % biobrændsel. Benedikte Kiær udtaler selv: ”Vi arbejder for at påbegynde opførelsen af et demonstrationsanlæg i 2007. Og vores vurdering er, at vi kan se et fuldskalaanlæg i 2010.”

Dvs. at Danmark bliver nødt til at satse på 1. generation for at opfylde direktivet. Ellers ender vi med en kæmpe import af ethanol og samtidig har landene, som bidrager med ethanol, fået et kæmpe forspring. Peter Nissen mener at ”For at Europa kan nå det mål (5,75 %, red.), mangler der ca. 38 bioethanol anlæg i Europa.” Og der skal Danmark have del i lagkagen.

Således kan de eksporterende lande hele tiden være et skridt foran og i værste fald, når Danmark aldrig med i kapløbet. Hvis Danmark ikke ses som et af de førende lande, vil investorer evt. ikke støtte op om vores know-how inden for 2. generation, og vi får måske ikke selv glæde af vores forspring. Det er netop på det punkt, at Benedikte Kiær har manglende viden og forståelse. Det er ikke alene forskning i ny teknologi, det handler om. Det er også salg af et produkt. Peter Nissen sagde: ”Et problem ved at få sat gang i 2. generations-anlæg er, at man ikke vil få en investor til at spytte 700 mio. kr. i sådan et anlæg, der kun kan sælges som teori, og som ikke har noget at vise frem i praksis. Man kan ikke sælge noget, uden du har noget at vise frem og sige ’vi bruger det, teknikken den virker.’ Det er det bedste redskab til salg. Samme måde som vi har solgt vindmøller på.”⁸⁷

For at få Danmark og ikke mindst investorerne med i den kæmpe udvikling, der vil ske i energisektoren over de næste årtier, er det vigtigt, at vi er med fra start. Vi mener, at politikerne skal bane vejen, så rammebetingelserne kommer i orden. Derved er de rigtige rammer sat, så investorer er villige til at pumpe penge i udviklingen, og tankstationerne vil betale omkostningerne for at klargøre tankene til salg af bioethanol.

4.2.3 Hvilken type anlæg skal fremmes?

På samme måde som vi har vurderet 1. og 2. generationsteknologierne, vil vi her beskrive hvilket af de tidligere præsenteret anlæg, som efter vores vurdering er bedst fremtidssikret, og hvilket der er mest relevant i forhold til Danmarks nuværende situation. Dette er afhængigt af hvilken teknologi anlæggene benytter sig af, og hvor nødvendige rammebetingelser er for de respektive anlæg.

Hvis vi i Danmark selv vil dække det kommende behov for at opfylde biobrændstofdirektivet inden 2010, skal der snarest muligt en produktion af bioethanol i gang. Her ville Bio-Energipark Tønder

⁸⁷ Sammenfatning af interview med Peter Nissen (2006)

være et oplagt sted at starte, da projektet allerede er så godt som finansieret, og planer for opbyggelse af anlægget ligger klar, og teknologien er gennemprøvet. Den eneste forhindring på vejen til en produktion, er den svage politiske opbakning i form af manglende rammebetingelser. Fra politisk side er der udmeldt, at der satses på udvikling af 2. generationsteknologi. Vi mener dog at dette kan få lange fremtidsudsigter, da repræsentanter fra anlæggene selv, udtaler at der vil gå 5-10 år før en fuldskalaproduktion vil være igang.⁸⁸

Et andet godt alternativ er IBUS-anlægget, hvor begge teknologier er repræsenteret. Konceptet er blevet udviklet fra et pilotanlæg til et forsøgsanlæg, og den sammenkoblede teknologi virker gennemarbejdet. Skridtet til at udvikle et fuldskalaanlæg, virker ikke som noget, der først vil ske langt ud i fremtiden.

Hvis man fokuserer på miljømæssige fordele, er 2. generationsteknologien klart at foretrække. Fordelene ved en produktion som den på MaxiFuel-anlægget er, at udnyttelsen af inputtet er optimal for bioethanol-outputtet. I det lange løb vil det blive en billigere måde at producere bioethanol på. Ulempen her vil være, at der ikke er et output, der kan sendes tilbage til landbruget i form af dyrefoder. Dette vil kunne påvirke priserne på halm.

Hvis der skal tænkes længere ud i fremtiden vil et NRG-anlæg være at foretrække. Her er der tale om et anlæg, der ikke benytter rene restprodukter fra landbruget. Alligevel vil outputtet herfra, kunne indeholde både biobrændsel, el og varm og dyrefoder.

⁸⁸ Sammenfatning af interview med Peter Nissen (2006)

5 Konklusion

Her vil vi kort besvare vores problemformulering, som vi har fundet svar til ud fra vores rapport.

Den er som følger:

Hvilken form for produktion af bioethanol, er den bedste til at nedsætte energiforbrug og CO₂-udslip i den danske transportsektor? Og hvad er mulighederne for en omstilling af denne?

Vi mener, at 2. generation er at foretrække til nedsættelse af CO₂-udslip og energiforbrug frem for 1. generation. Dette skyldes, at ud fra CO₂- og energiregnskabet er 2. generations teknologien i gennemsnit 2,6 gange mere CO₂-besparende end 1. generationsteknologi. Når man ser på energiregnskabet, får man energien ca. 3 gange igen ved 2. generation, hvor man ved 1. generations teknologi kun får energien halvdelen gang igen i forhold til energiinputtet.

Det er muligt at omstille transportsektoren til bioethanol, da raffinaderier og tankbiler kan omstilles. Dette kræver bare en startinvestering. Samtidigt vil det være muligt at indføre Flexi Fuel-biler på det danske bilmarked, da teknologien findes i andre lande, fx i Sverige, og er afprøvede.

For at omstille transportsektoren mener vi, at Danmark skal i gang med en 1. generationsbioethanolproduktion. Dette skal ske, for at Danmark kan overholde de 2 aftaler, Kyoto-protokollen og biobrændstofdirektivet, hvor Danmark henholdsvis har bundet sig til, at nedsætte CO₂-udslippet med 21 % i 2012, og erstatte 5,75 % af fossile brændstoffer med biobrændsler i 2010. Derefter skal der ske en naturlig og flydende overgang fra 1. til 2. generation ved at implementere 2. generationsteknologi i eksisterende anlæg, i takt med at denne bliver udviklet. Et anlæg, der kan bruges til denne overgang, kunne fx være Bio-Energipark Tønder eller IBUS-anlægget. I fremtiden vil et anlæg som NRG på Amagerforbrændingen være at foretrække.

6 Perspektivering

Selve emnet bioethanol har adskillige aspekter. I dette projekt har vi primært koncentreret os om CO₂ og energi. Det er mange andre vinkler man kan se på bioethanol fra.

Der kunne lægges et meget mere erhvervsøkonomisk syn på emnet. Der kunne fx foretages cost-benefit analyser af 1. og 2. generationsanlæg. Dvs. belyse, hvor man får mest miljø og bioethanol for pengene. Man kunne også skrive ud fra en ren politisk vinkel, som nok bedst ville egne sig til et sambas-projekt. En problemstilling kunne være: Hvad sker der, hvis den danske regering fastholder sin 0 %-politik? En mere naturvidenskabelig indgang, kunne udforme sig som et forskningsprojekt indenfor enzymudvikling. Dette kunne være et forslag til et 2. semesters natbas-projekt.

Den stærke udvikling indenfor bioethanol gør, at det vil være relevant for projekter i fremtiden.

Vinklen på vores projekt er valgt ud fra egen interesse og semesterbindingen.

Litteraturliste

Bøger:

Boyle, G. (edit.) et al. (2004): Renewable Energy –Power for a sustainable future” (1. udgave) Oxford university press, Milton Keynes (s. 106-107)

Campbell, N.A. og Reece, J.B. (2005): ”Biology” (7. udgave) Pearson Benjamin Cummings, San Francisco (s. 69-74)

Davis, N., Gasking, H., Dr. M. Sherwood, Stevenson, R. og Upton, R. (1988) ”Videnskabens verden –Kemien i Love” (1. udgave) Bonniers bøger, København (s. 48 + 76-77)

Garrett, R.H. og Grisham, C.M (1995) ”BIOCHEMISTRY” (1. udgave) Saunders college publishing, Virginia (s. 591)

Ingwersen, J. (1986) ”Olie og Benzin” systime, Danmark (s. 71)

Kiel, P. (1994): ”Ethanol i det grønne bioraffinaderi” biomasseinstituttet, Danmark (s. 46-48)

Novo Nordisk (1993) ”Fra stivelse til sukker... -Forsøg med enzymer” (s. 4-7)

Oberthür, S. og Ott, H.E. (1999): ”The Kyoto Protocol -International Climate Policy for the 21st Century”(1. Udgave) Springer, New York.

Roehr, M. (2001): ”The Biotechnology of Ethanol – Classical and Future Application” (1. udgave) WILEY-VCH, Tyskland. (s. 14 + 89-106)

Artikler:

Luiz Pereira Ramos (2003): ”The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials”. Quim. Nova, Vol. 26, No. 6, s. 863-871. (2003).

Skøtt, T (2005): ”Indvielse af ethanolprojektet”, i FiB nr. 10

Skøtt, T. (2006): ”Dansk bioethanolanlæg indviet” s. 1-3, i FiB 3. årgang nr. 16

Sun, Y., Cheng, J. (2001): ”Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanolproduktion: a review” i Bioresource Technology 83 (2002) 1-11.

Rapporter:

Andress, D. et al. (2002): ”Ethanol Energy Balances” David Andress & Associates, Inc., Maryland

Bonden, J.S., Lyhne, M., Østegaard, M.P. (2005): ”Tredje semester projekt -Bioethanol” Syddansk Universitet, Esbjerg (s.28-29)

Hammerschlag, R. (2006): ” Ethanol: Energy Well Spent” Natural Resources Defense Council, USA (set den 13.12.06 på <http://www.nrdc.org/air/transportation/ethanol/ethanol.pdf>)

Internetsider:

Biobrændstofdirektivet/ Den Europæiske Unions Tidende (2003): "Europa -Parlamentets og Rådets Direktiv 2003/30/EF". www.ebb-eu.org/legis/OJ%20promotion%20DK.pdf (på internettet den 17.05.03)

BioCentrum DTU (2006): <http://www.biocentrum.dtu.dk/> (set på internettet december 2006)

Biogasol (2006): "Biogasol -Anden generation bioethanol". www.biogasol.dk (set på internettet september 2006)

Bioweb (1999a): "Hvad er enzymer?". http://www.bioweb.dk/bioemner/enzymer/enzym_hvader.html (på internettet den 19.09.99)

BioWeb (1999b): "Hvordan virker enzymer?". http://www.bioweb.dk/bioemner/enzymer/enzym_hvordan.html (på internettet den 19.09.99)

Center for Bioenergi og Miljøteknologisk Innovation (cbmi)(2006) "Brændstof: Sverige på vej mod usfhængighed". http://www.cbmi.dk/?page_id=84&menu_id=76&news_id=29 (på internettet den december 2006)

Danske ølentusiaster (1998): "Brygprocessen". <http://www.aie.dk/> (på internettet den 05.10.98)

Dansk Meteorologiske Institut (DMI)(2004): "Den menneskeskabte drivhuseffekt og global opvarmning". <http://www.dmi.dk/dmi/index/viden/drivhuseffekten.htm> (på internettet den 06.12.04)

Dansk Miljøundersøgelse (DMU nyt nr. 5)(2005): "De danske udslip af drivhusgasser steg i 2003". [http://www.dmu.dk/Udgivelser/DMUNyt+\(nyhedsbrev\)/DMUNyt+2005/DMUNyt+2005+nr.+5/emissioner+2003.htm](http://www.dmu.dk/Udgivelser/DMUNyt+(nyhedsbrev)/DMUNyt+2005/DMUNyt+2005+nr.+5/emissioner+2003.htm) (på internettet den 15.04.05)

Dansk Miljøundersøgelse (DMU)(2006):Miljøordbog –amorf" http://www2.dmu.dk/1_om_DMU/2_akt-proj/ordspec.asp?ID=10749 (på internettet den 24.01.06)

Dansk Kemi nr. 2 (2005): "Fremstilling af bioethanol –nutidens teknologi og fremtidens udfordringer". <http://www.techmedia.dk/files/pdf/dak/side26-29daknr2.pdf> (på internettet 2005)

Dansk Kemi nr. 3 (2005): "Enzymatiske hydrolyse af cellulose". <http://www.techmedia.dk/files/pdf/dak/side26-29dak32005.pdf> (på internettet 2005)

Dansk Kemi nr. 2 (2006): "Fra halm og affald til morgendagens brændstof til biler". <http://www.techmedia.dk/files/pdf/dak/2006/dak23-26.pdf> (på internettet 2006)

Dansk Kemi nr. 3 (2006): "Enzymatisk forflydning af biomasse ved højt tørstof". http://www.techmedia.dk/files/pdf/dak/2006/dak03_2006s28-31.pdf (på internettet 2006)

Elsam (2006): "IBUS konceptet" <http://ida.dk/NR/rdonlyres/61479039-D74D-4964-8E54-4139EB653A8A/0/IBUSkonceptet.pdf> (set på internettet december 2006)

Energikonferencen, Ingeniørforeningen i Danmark (2006): "Bio-energipark Tønder –Projekt Tønder Biofuel". http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/info-planter/bioenergi_seminar06_12_p_b_n.pps#6 (på internettet den 25.08.06)

European Petroleum Industry Association (European) (2005): "Well to wheels"
<http://www.europia.com/content/default.asp?PageID=209> (set på internettet december 2006)

Finansministeriet (2002): "3. Målsætning og instrumenter".
<http://www.fm.dk/1024/visPublikation.asp?artikelID=4184&soegningID=431571&soegeord=Kyoto>
(på internette den 15.11.02)

Ford Motor Company (2006): "Ford Flexes Its Flexi-Fuel Muscles in Europe"
http://media.ford.com/newsroom/feature_display.cfm?release=21457 (på internettet november 2006)

Ford Sverige (2006): "FlexiFuel". <http://www.ford.se/ie/flexifuel/-/-/-/-/-/> (set på internettet december 2006)

GlocalBeer (2003): "Gær og gæring".
http://www.glocalbeer.dk/encyklopaedi/gaering_lagring/index.htm (på internettet den 03.08.03)

Høring for Folketingets Miljø- og Planlægningsudvald (2006): "Miljøteknologi".
http://www.tekno.dk/pdf/hoeringer/p06_miljoeteknologi_hoeringsmappe.pdf (på internette den 21.02.06)

KVL og Elsam (2006): "Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark".
http://www.bioethanol.info/Publications/Energy%20Balance_bioethanol.pdf (set på internettet den 13.12.06)

Maple leaf (2005): "Understanding the Kyoto Protocol".
<http://www.mapleleafweb.com/features/environment/kyoto/06.html> (på internettet den 20.04.05)

Miljø horisont (2006): "Nordfynsk biodiesel til tyske mercedeser"
<http://www.miljohorisont.dk/hg/mh/artikel.nsf/0/MHEG6UAGXF> (på internettet den 19.04.06)

Miljøministeriet (2005): "Kyoto træder". <http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/DCB5A57D-F637-41FA-B3B8-312177D77B44/0/md12005s1415.pdf> (på internettet den 01.02.05)

Miljøministeriet (2006): "Magasin om natur og miljø – fremskridt for de fattigste i Klimakampen"
http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/40774037-B26A-40B8-8CBB-3C0AC61BBF29/0/MD6_2006.pdf (på internettet juni 2006)

Novozymes(2006): "Fakta" <http://www.novozymes.com/da/MainStructure/AboutUs/Facts/> (set på internettet november 2006)

Naturplan (2006): "Hvad er brunkul?". <http://www.naturplan.dk/temp/Momhoej/brunkul.pdf> (set på internettet den 18.12.06)

Novozymes (2006): ”Novozymes indgår udviklingssamarbejde om biomasse til biobrændstof i Kina”. <http://novozymes.com/da/MainStructure/PressAndPublications/PressRelease> (på internettet den 27.06.06)

Oliebranchen i Danmark(2006): www.oliebranchen.dk (set på internettet november 2006)

Oliekrisen.dk (2006): ”OPEC-landenes olieproduktion” <http://www.oliekrise.dk/?show=OPEC> (set på internettet december 2006)

Risø nyt 2 (2001): ”Nye dansk energieventyr på vej”.
<http://www.risoe.dk/rispubl/risnyt/risnytpdf/ris0201/risoe-2-2001s28-30.pdf> (på internettet 2001)

Staloil detailhandel (2006): ”Pressemeddelelse 31. maj 2006”.
<http://www.staloildetailhandel.dk/FrontServlet?s=sdh&state=article&articlename=article.1834887>
(på internettet 31.05.06)

Sønderjysk Landboforening (2006): ”Bio-Energipark Tønder –Det sønderjyske bioethanolprojekt og Tønder Biofuel”. www.toender-biofuel.dk/ (set på internettet september 2006)

Teknologi-rådet (2004): ”Når den billige olie slipper op”
http://www.tekno.dk/pdf/projekter/p04_Naar_den_billige_olie_slipper_op.pdf (på internettet april 2004)

Teknologi- rådet (2006): ”Afgang for grøn transport –skal Danmark med?”.
<http://www.tekno.dk/pdf/nummer220.pdf> (på internettet april 2006)

Transport- og miljøministeriet (2005): ”Notat af Europa -Parlamentets og Rådets Direktiv 2003/30/EF”. http://www.oliebranchen.dk/upload/notat_biosvar141105.pdf (på internettet den 14.11.05)

Træ er miljø (2004): ”Hæld et træ i tanken” og ”Træ kan blive et universalmateriale”.
<http://trae.dk/Dokument.asp?DokumentID=480> (på internettet den 10.12.04 og 07.03.05)

Wikipedia (2004): ”1970'ernes oliekriser”.
http://da.wikipedia.org/wiki/Oliekrise#OPEC_sl.C3.A5r_til (på internettet den 18.11.06)

YoBrew (2006): ”Glossary”. www.yobrew.co.uk (set på internettet september 2006)

Økonomiministeriet (1997): ”Produktiviteten”
http://www.oem.dk/publikationer/50aar/kap04_01.htm (på internettet december 1997)

Århus mod motorvejen (2006): ”10 argumenter mod motorvejen”.
http://www.hjortshoj.dk/motorvej/html/10_argumenter_mod.htm (set på internettet den 18.12.06)

Figurliste

Figur 1: Figur taget fra Wikipedia og tekst er udarbejdet fra <http://da.wikipedia.org/wiki/Oliekrise> (2004)

Figur 2 Brudt cirkel og lukket cirkel taget fra Biogasols hjemmeside

Figur 3: Princippet i drivhus effekt figuren er taget fra <http://see-the-sea.org/topics/pollution/air/green-house/GreenHse.jpg> og tekst er udarbejdet fra <http://www.drivhus.dk/Kort%20om/kortom1.html>

Figur 4: Ethanolens vej fra afgrøde til afbrænding. Egen tegning.

Figur 5: Billig beskrivelse af opbygning og indhold af kapitler i rapporten. Egen tegning.

Figur 6: Oversigt over nedbrydningsstrinnene af lignocellulose, stivelse og sukke taget fra Ethanol i det grønne bioraffinaderi (1994)

Figur 7: Glucose lige og i ring form taget fra <http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/SDgraphics/PSgraphics/Glucose.GIF>

Figur 8: Fructoset taget fra <http://www2.open.ed.jp/data/37561/01/1221system/images/fructose.jpg>

Figur 9: Sucrose molekyle taget fra <http://fig.cox.miami.edu/~cmallery/150/chemistry/sf7x17a.jpg>

Figur 10: Amylose (uforgrenet stivelse) og amylopectin (forgrenet stivelse) taget fra <http://academic.brooklyn.cuny.edu/biology/bio4fv/page/starch.html>

Figur 11: Glycogen taget fra <http://academic.brooklyn.cuny.edu/biology/bio4fv/page/glycogen.jpg>

Figur 12: α - og β -glucose taget fra <http://faculty.uca.edu/~johnc/starch%20and%20cellulose%20compared.jpg>

Figur 13: Cellulose kæder i plantevægen taget fra http://www.papiergeschiedenis.nl/images/technik/tech_stof_cellulose_01.gif

Figur 14: Forskellen på en stivelses kæde og en cellulose kæde taget fra <http://faculty.uca.edu/~johnc/starch%20and%20cellulose%20compared.jpg>

Figur 15: Reaktionsskema for enzymprocessen taget fra BioWeb (1999)

Figur 16: enzymernes virkning på amylose- og amylopectin-kæderne taget fra "Fra sukker til stivelse" (1993)

Figur 17: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$ Omdannelse af glucose til ethanol og carbondioxid. taget fra <http://www.emu.dk/gsk/fag/fys/ckf/fase1/1fokv/alkohol/fremstilling/index.html>

Figur 18: Ethanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. taget fra <http://www.tennoji-h.oku.ed.jp/tennoji/oka/2004/ethanol-b.gif>

Figur 19: Princippet i Bio-energipark Tønder taget fra [Energikonferencen, Ingeniørforeningen i Danmark](#) (2006)

Figur 20: Princippet i IBUS-anlægget.

Figur taget fra <http://websrv5.sdu.dk/bio/bionet/Pres0701105/Nielsen.pdf>

Figur 21: Princippet for VEnzin anlægget taget fra <http://websrv5.sdu.dk/bio/bionet/Pres0701105/Nielsen.pdf>

Figur 22: Princippet i MaxiFuel anlægget taget fra BioCentrum DTU (2006)

Figur 23: input (venstre) og output (højre) fra NRG-anlægget taget fra http://www.tekno.dk/pdf/hoeringer/p06_miljoeteknologi_hoeringsmappe.pdf

Figur 24: Det totale energiforbrug i forbindelse med dyrkning af korn taget fra Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark (2006)

Figur 25: Viser 10.000 simulerede input og output i forbindelse med IBUS-anlægget. taget fra Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark (2006)

Figur 26: Viser en sammenligning af en række studier,... taget fra Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark (2006)

Figur 27: Viser en sammenligning af en række studier,... taget fra Ethanol: Energy well Spent (2006)

Bilag 1 –Tabel fra Danmarks Statistik

Udslip fra transportsektoren efter stoftype, transportmåde og tid

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Kuldioxid (CO₂)															
Vejtransport	9 241,4	9 654,2	9 825,4	9 785,5	10 135,5	10 482,6	10 723,5	10 936,2	11 124,2	11 269,8	11 159,5	11 163,4	11 278,9	11 722,2	12 024,1

18-12-2006 Danmarks Statistik , © www.statistikbanken.dk/TERM6

Enhed 1000 ton

Bilag 2 –Sammenfatning af interview med Peter Nissen

Her er de vigtigste pointer fra interviewet i en mere overskuelig form:

Man kan ikke nøjes med at se på Danmark, som isoleret fra omverden, hvor vi kan køre vores eget bioethanolræs.

Ifølge Peter Nissen er vi afhængige af udviklingen i Europa. Vi halter dog gevaldigt efter resten af Europa, hvis man ser på, hvor vi faktisk står. For det kan godt være, at vi har et teknologiforspring i Danmark, men det er først for nyligt blevet muligt at tanke benzin med tilsat bioethanol i form af Statoils Bio95 benzin, der er med 5 % iblandet ethanol. Peter Nissen mener derfor, at vi skal passe på med at hvile på laurbærbladene, fordi udviklingen går hurtig i resten af Europa (Afs. 1. 3-8). Efter sigende skulle man i Spanien også være i gang med at teste en teknik, hvor man bruger halm til ethanol fremstilling. I Nordsverige eksperimenterer man med at bruge træflis, så måske er vi ikke så lang fremme som vi tror (Afs. 1. 11-14).

Det kan kun gå for langsomt med at få etableret et marked for bioethanol i Danmark. Vi kan ikke vente på 2. generationsteknologien, som på nuværende tidspunkt ikke kan skaleres op i stor format, men kun lade sig gøre som forsøgsanlæg (Afs. 8 l. 6-7). Der vil stadig gå nogle år før 2. generationsanlæg vil være klar (Afs. 10 l. 20).

Vi skal i stedet have startet på 1. generationsudvinding af bioethanol nu. Peter Nissen vil også mene, at vi faktisk behøver 1. generation inden man overhovedet vil få 2. generationsanlæg op i Danmark og ikke blive smidt af kapløbet (Afs. 11 l. 14-15). I EU har man vedtaget, at i år 2010 skal 5,75 % af det samlede brændstof til transportsektoren komme fra bioethanol. For at Europa kan nå det mål, mangler der ca. 38 bioethanolanlæg i Europa. Så det gælder om at komme med i det kapløb, der er om at være med til at bidrage med bioethanol. Gør vi ikke det, så kommer vi først med når alle de andre har etableret deres anlæg, og at konkurrere mod etablerede anlæg er betydeligt sværere (Afs. 11 l. 18-23).

Diskussionen går også på det overhovedet giver nogen mening at diskutere 1. mod 2. generationsteknologi. Det skal i stedet ses som en løbende udvikling, hvor man bliver ved med at gøre allerede eksisterende metoder bedre (Afs. 23 l. 5-7). Peter Nissen henviser til Landbrugets formand Peter Gæmelke, der har udtalt ”Vi havde ingen mennesker fået, hvis vi ikke havde en 1. generation af mennesker” (Afsnit 9 l. 9-10) og igen i afsnit 23. Dermed prøver han at sige, at vi er nød til at starte med produktion af bioethanol ud fra 1. generationsteknologi. Man er nød til at starte et sted.

Man kan sammenligne med processen inden for vindmølleindustrien, som man gennemgik for nogle år siden.

Danmark er i dag et af verdens førende lande inden for vindmøller. Udviklingen er foregået over en årrække og teknologien er blevet forbedret, så vinden er blevet udnyttet bedre og bedre. Danmark har siden kunne eksportere møller til hele verden og på den måde har vi haft en fremragende eksportvare. Men den succes vi har haft inden for vindmølleindustrien, skyldes til dels at vi har været smarte inden for udviklingen af vindmøller, dels at der blev taget de rigtige politiske beslutninger. Dvs at man fra politisk side sørgede for at de normale afgifter gældende for kraftværker, ikke gjaldt vindmøller og at man samtidig var interesserede i at indføre vindmøller i den danske energisektor. Derved havde man rammebetingelserne for at udviklingen kunne forløbe hurtigt og smidigt.

På samme måde gælder det for udviklingen af bioethanol. Altså vi vil aldrig blive de førende inden for bioethanol eller feltet bioenergi, hvis vi ikke fra politisk side får sat gang i 1. generations bioethanolproduktion nu, ved at få de rigtige rammebetingelser.

Ved at vi herhjemme starter med indførelse af 1. generation på det danske marked, sørger vi for at markedet kender produktet bioethanol og bliver kendt ved det. Når så 2. generation er blevet udviklet til fuldskala-anlæg, kan vi hurtigt få indført det på det danske marked og effektiviseringen og produktudgifterne nedsættes. Fx er CO₂-afgiften på bioethanol i Tyskland nu nul procent, da bioethanolen siges at være CO₂-neutralt.

1. generationsteknologien er jo en kendt teknologi, som stadig kan effektivisere og billiggøres (Afs. 11 l. 3-5). 2. generationsteknologien skal så bare implementeres sideløbende og ind i eksisterende anlæg i takt med at processen bliver bedre.

Et problem ved at få sat gang i 2. generations-anlæg er, at man ikke vil få en investor til at spytte 700 mio. kr. i sådan et anlæg, der kun kan sælges som teori og ikke har noget at vise frem i praksis. Man kan ikke sælge noget, uden du har noget at vise frem og sige ”vi bruger det, teknikken den virker”. Det er det bedste redskab til salg. Det er den samme måde vi har solgt vindmøller på. Argumentet der er brugt i debatten, også af finansminister Thor Pedersen og energiminister Flemming Hansen, om, at vi ikke kan konkurrere med bioethanol importeret fra Brasilien, mener Peter Nissen ikke holder. Med de rigtige rammebetingelser, hvor nogle af de afgifter der er på benzin, som CO₂-afgiften, fjernes fra bioethanol, kan vi sagtens konkurrere. (Afs. 19 l. 33-36) Det kan godt være, at brasilianerne produktionsmæssigt kan gøre det billigere, men told mm. vil gøre brasiliansk bioethanol dyrere, så vi i sidste ende godt kan konkurrere med det herhjemme.

Bilag 3 –Interview med Benedikte Kiær

Følgende spørgsmål blev sendt til Benedikte Kiær med nedenstående svar:

Hvor stor er nødvendigheden for at etablere et bæredygtigt marked for 1. generationsbioethanol, inden 2. generation kan komme i produktion?

Der er allerede i dag et marked for 1. generationsbioethanol – i Danmark sælger Statoil Bio95, hvor der er iblandet ethanol. Statoil overraskede alle i foråret med sin Bio95, og det viser, at der ikke er de store problemer med at tilsætte bioethanol til benzin. Problemet i dag er, at bioethanolen fra 1. generation er dyrere end benzin – og derfor ikke konkurrencedygtig i forhold til benzin, hvilket er argumentet om afgiftslettelser fra nogle interessenter.

Det store spørgsmål er: Har 2. generations bioethanol brug for, at der først er etableret marked for 1. generations bioethanol. Her er vores svar Nej. Vores teknologi har ikke brug for 1. generationsanlæg (der er ringe synergi mellem 1. og 2. generations teknologier) – og den store fordel ved vores teknologi er, at bioethanol fra 2. generation er konkurrencedygtig med benzin – der er ikke brug for afgiftslettelser. Ligeså snart vi begynder at producere 2. generations bioethanol i Danmark – så har Statoil vist os alle, at der ingen problemer er med at iblande bioethanol i benzinen – distribution og logistik løses hurtigt.

Kan det passe at vi skal til at have fart på hvis vi skal være med i udvikling og produktion af 1.- og 2. generation, ellers stikker markedet af. Er du enig i det?

Mht. 1. generations bioethanol – denne teknologi er yderst velkendt og produktionen finder sted mange steder i verden. Men faktisk er fokus vendt mod 2. generation – det er fremtiden, hvilket betyder, at der verden over investeres store summer i udvikling af 2. generation. Udover at 1. generation er en dyr produktion og at der ikke er lige så store miljøgevinster som ved 2. generation, så har 1. generations anlæggene også store problemer med at komme af med deres biprodukter – f.eks. et foderprodukt, som er svært at få afhændet (markedet er ikke så interesseret i de store mængder foderprodukt, som kommer ud af 1. generation). Det betyder, at 1. generation inden for få år er på vej ud. Hvorfor skal vi så nu stige på den vogn, når markedet ønsker en anden vej?

Og mht. 2. generation. Der er vi heldigvis førende i Danmark inden for viden og teknologi. Denne position skal vi udnytte ved at bakke op om 2. generation – bl.a. ved at det offentlige medfinansiere 2. generations demonstrationsanlæg. Så kan vi bevare vores førerposition og dermed være markedsdriveren ligesom inden for vindmølleindustrien.

Kan man forsvare den politiske retorik der er blevet brugt i DK med at der satses 100 procent på forskning indenfor 2. generation? Er det overhovedet realistisk at Danmark kun vil benytte denne teknologi?

Løbet er kørt for 1. generation – det ses bl.a. ved, at de store ethanolproducerende lande kaster deres kærlighed på udvikling og implementering af 2. generations bioethanol. Danmark sidder med en nyudviklet og komplet teknologi inden for 2. generation – hvor vi er tre til fire år foran vores konkurrenter. Derfor er det både fornuftigt og realistisk, at Danmark satser udelukkende på 2. generation.

Kan jeres projekt blive berørt af de i Danmark ugunstige rammebetingelser for udvikling af en egen produktion af ethanol? Har I overvejet muligheden for at starte en produktion i eksempelvis Tyskland med den nuværende teknologiske viden?

Rammebetingelse for 2. generations bioethanol i Danmark er under udvikling – bl.a. via offentlige midler til udvikling og implementering af demonstrationsanlæg. Der er også store virksomheder, som er meget interesseret i at investere i vores 2. generations teknologi. Nu skal landbruget blot med på vognen og sikre biomasse nok til fremtidig 2. generations bioethanolproduktion – dvs. biomasse med stor afkast per hektar uden brug af pesticider og med minimal gødningsmængde. Alt i alt tyder det på gode rammebetingelser for 2. generations bioethanol. Derfor satser vi også på Danmark – men vi har da også gang i mulige projekter i udlandet, som er meget interesseret i vores teknologi.

Vi kunne forestille os at udviklingen af 2. generationsteknologi kunne være dyrere end at få etableret et anlæg for ethanolproduktion vha 1. generation teknologien, da denne er velkendt og efterprøvet. Har I på BioGasol haft problemer med at finde investorer til udvidelse af jeres pilotanlæg?

Det er dyrere at bygge et 2. generations anlæg end et 1. generations anlæg – men driften af et 2. generations anlæg er billigere end 1. generations anlæg – og derfor er der interesserede investorer. Virksomheden BioGasol er etableret på baggrund af investorer. Det næste skridt er demonstrationsanlæg – og der bliver ikke nogen problemer med investorer. Vi skal blot i gang med at udvælge de bedste for vores projekt ud af alle de interesserede.

Hvor står I som et forskningsprojekt i forhold til egentlig ethanolproduktion i fremtiden?

For at forskning kan blive kommerciel, så skal processen først virke i laboratorieskala, derefter i pilotskala og til sidst i demonstrationsskala før en fuldskala produktion opbygges. Vi befinder os som sagt med trin 2 – dvs. pilotskala. Dertil er vi også i gang med et at designe og udvikle et egentlig demonstrationsanlæg. Så vi er meget langt med vores teknologi – og kun få år fra en egentlig ethanolproduktion.

Hvad er jeres tidshorisonter for et fuldt udviklet 2. generationsanlæg med en bæredygtig ethanol produktion til transportsektoren?

Vi arbejder for at påbegynde opførelsen af et demonstrationsanlæg i 2007. Og vores vurdering er, at vi kan se et fuldskaalanlæg i 2010.

Hvornår vil der i Danmark være grundlag for et marked for FFV (Flexi Fuel-biler)?

Det spiller sammen med muligheden for også at kunne tanke ethanol på de danske tankstationer – som f.eks. i Sverige – og når vi har bioethanol, som ikke behøver afgiftslettelser – dvs. når der er større produktion af 2. generations bioethanol – her giver vores teknologi bioethanol, som er konkurrencedygtig med benzin. I kan prøve at kontakte svensker og høre, hvor lang tid det tog for dem (se linket <http://www.baff.info/> for mulige kontaktpersoner)

Kan du give en beskrivelse af de enzymer der er fundet på Island, evt. navnet på dem? Og give os en beskrivelse af hvordan disse enzymer optimerer selve ethanoludvindingsprocessen? Har I taget patent på disse enzymer?

Det drejer sig om fermenteringen af pentosen xylose – og det er ikke enzymer, men termofile mikroorganismer. Vi har patent på denne proces.

Udfordringen ved 2. generation er, at sukrene i biomassen består efter hydrolyse af både hexoser (suktermolekyler med seks C-atomer) og pentoser (suktermolekyler med fem C-atomer). Efter

hydrolyse af halmen (der har været gennem en forbehandling), så er der af sukrene godt 40 procent glucose og godt 30 procent xylose. Almindeligt industrigær kan sagtens fermentere glucose – men ikke xylosen. Og den store andel af xylose fortæller, at det er vigtigt også at få omdannet dette sukker til ethanol. Vores termofile mikroorganisme kan ved 70 grader omdanne xylose til ethanol. Læs mere på www.biogasol.dk.

Bilag 4 –Interview med Maria Junghans

Spørgsmål til Maria Junghans (kommunikationskoordinator i Statoil), med de tilhørende svar:

Hvilke årsager ligger til grund for indføringen af Bio95?

I Statoil arbejder vi meget med bæredygtighed og naturbeskyttelse, herunder CO2-reduktion. Derfor ønsker vi at være med til at drive udviklingen hen imod øget brug af fornybare brændstoffer, som bio-ætanol og bio-diesel. Med Bio95 lancerede vi et produkt som med det samme giver en CO2 besparelse for alle benzinbiler der kører på 95 oktan.

Udover miljøaspektet tror vi også på at det er en økonomisk forsvarlig investering, selvom det lige nu koster os penge.

Hvor stammer den bioethanol I blander i Bio95 fra?

70 % stammer med sikkerhed fra Europa, Frankrig, Italien, Sverige. De sidste 30 % fortaber sig i det uvisse, da de er købt på Rotterdam markedet, hvor bio-ætanol fra forskellige producenter sælges fra den samme "beholder". Der er desværre ingen krav om at produktet skal være mærket med oprindelsesland. Derfor ved vi ikke hvor de sidste 30 % stammer fra.

Hvilken lagerkapacitet har I i Danmark?

Taler vi om bio-ætanol eller total for brændstof? Produktionskapaciteten på raffinaderiet i Kalundborg er på op til 5,5 millioner tons olieprodukter om året, afhængig af råstofftype. Jeg har ikke lagerkapacitetstallet liggende. Prøv at kontakte raffinaderiet direkte og spørg efter Jørgen Nielsen. Han kan svare jer på alt ang. raffinaderiet.

Kan man tanke Bio95 fra alle Statoilstationer i Danmark?

Nej, det kan man ikke. Det er kun Statoil som har en benzin med bio-ætanol i Danmark.

Er der planer om benzin med højere ethanol-indhold i Danmark?

Ja, det er der. Når EU's brændstofdirektiv EN228 ændres i løbet af 2007 vil den sandsynligvis tillade 10 % i blanding af bio-ætanol til benzin. Da vil vi sætte indholdet op i 95 oktanen, og skifte MTBE'en i 98 oktanen ud med bio-ætanol. MTBE er en kemisk oktan-booster, som vi meget gerne vil undgå. En dråbe kan forurene 2000 liter grundvand. 10% bio-ætanol kan erstatte MTBE'en og dermed sikre en renere og mindre miljøfarlig benzin. Vi har meget strenge sikkerhedskrav og foranstaltninger, men vi kan ikke sikre, hvad der sker med benzinen, når den først er solgt.

Hvordan er situationen omkring projektet med at opføre en bioethanolfabrik i Kalundborg?

Det er meget positivt ud. Vores VVM ansøgning er inde til godkendelse og vi forventer at kunne have den første dansk producerede bio-ætanol klar i udgangen af 2009 eller 2010.

Og ville råvaren der være hvede eller har I andre råvarer i tankerne?

I starten vil det være korn. Når 2. generationsteknologien er klar går vi over til andre råvare, som halm, energipil, restprodukter fra landbruget mv.

Kan I være med til at indføre Flexi Fuel-biler i Danmark?

Vi kan stille brændstoffet til rådighed, og samarbejder gerne med bilfabrikanter og importører mod renere transport. Fx stiller vi i øjeblikket 30 % bio-diesel til rådighed for Peugeot's test af deres dieslbiler.