

*Alternative drivmidler i transportsektoren*

UDKAST TIL  
RAPPORT

22. juni 2007

**Alternative drivmidler i  
transportsektoren**

---

Rapport fra den tværministerielle  
arbejdsgruppe om alternative  
drivmidler i transportsektoren

Energistyrelsen

## **Alternative drivmidler i transportsektoren**

Juni 2007

Udgiver: Energistyrelsen  
København 2007

E-post adresse: [ens@ens.dk](mailto:ens@ens.dk)  
Hjemmeside: [www.ens.dk](http://www.ens.dk)

## Indholdsfortegnelse

<b>SAMMENFATNING</b> .....	<b>4</b>
1.1 Arbejdsgruppens opgaver .....	7
1.2 Indhold og disposition .....	8
1.3 Baggrund .....	9
1.4 Den anvendte analyse-mæssige ramme .....	13
1.5 Perspektiver for anvendelse af alternative drivmidler på kort og længere sigt .....	19
1.6 Grundlag for biobrændstofmålsætning for 2010 .....	28
1.7 Muligheder for styrket teknologiudvikling .....	30
<b>BILAG 1. POTENTIALT FOR ALTERNATIVE DRIVMIDLER</b> .....	<b>36</b>
1.1 Overordnet om begrænsninger i ressourcebasen .....	36
1.2 Udvikling i brændstoffektivitet og emissioner fra mineralsk benzin/diesel .....	37
1.3 Mulige kombinationer af alternative teknologier .....	43
1.4 Udvalgte teknologspor .....	47
1.5 Tværgående analyser af teknologisporene .....	74
<b>BILAG 2. POTENTIALT FOR DANSK FORSKNING OG UDVIKLING INDENFOR ALTERNATIVE DRIVMIDLER I TRANSPORTSEKTOREN</b> .....	<b>92</b>
2.1 Status for udviklingen af ny teknologi indenfor alternative drivmidler .....	92
2.2 Forsknings- og udviklingsstrategier på transportområdet .....	100
2.3 De danske styrkepositioner i den videre udviklingsindsats .....	104
2.4 En samlet styrket dansk udviklingsindsats .....	107
<b>BILAG 3. KOMMISSORIUM FOR ARBEJDSGRUPPEN</b> .....	<b>111</b>

Baggrundsrapporter:

*COWI for Energistyrelsen: Rapport om Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren, april 2007*

*COWI for Energistyrelsen: Beregningsværktøj til Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren, april 2007*

## **SAMMENFATNING**

Transportsektoren spiller en væsentlig rolle i sammenhæng med både den langsigtede energiforsyningsikkerhed og klimaudfordringerne. Det danske transportenergiforbrug er i dag næsten 100 pct. afhængig af olie og står for ca. 60 pct. af Danmarks olieforbrug. Transportsektorens andel af Danmarks samlede energiforbrug er samtidig konstant stigende.

Som led i opfølgningen på Energistrategi 2025 blev der derfor nedsat en tværministeriel arbejdsgruppe om alternative drivmidler i transportsektoren. Arbejdsgruppen har vurderet perspektiverne for øget anvendelse af alternative drivmidler i transportsektoren på kortere og længere sigt. På den baggrund er der udarbejdet en række forslag til, hvordan udviklingen af teknologier for alternative drivmidler fremover kan styrkes, blandt andet set i lyset af danske forskningsinstitutioners og virksomheders nuværende styrkepositioner inden for de forskellige teknologier. Rapportens analyser og konklusioner indgår blandt andet i grundlaget for at fastlægge Danmarks vejledende mål for andelen af biobrændstoffer i 2010 i henhold til EU's biobrændstofdirektiv.

For at vurdere **perspektiverne for øget anvendelse af alternative drivmidler** og teknologier i transportsektoren på et fælles, konsistent grundlag har arbejdsgruppen taget initiativ til at få udarbejdet en ny samlet analysemodel for alternative drivmiddelteknologier. Modellen er udviklet af COWI i samarbejde med Energistyrelsen, og der er til brug for analyserne indhentet og vurderet et større antal konkrete tekniske og økonomiske forudsætninger. De overordnede prisforudsætninger mv. er baseret på de beregningsforudsætninger, der også blev anvendt til beregningerne i regeringens energiudspil, "En visionær dansk energipolitik 2025" fra januar 2007.

Der er stor usikkerhed forbundet med beregningsresultaterne. Først og fremmest er det i høj grad muligt, at den teknologiske udvikling frem til 2025 kan vise sig at forløbe væsentligt anderledes end forudsat, men også prisforudsætninger mv. er naturligvis særdeles usikre.

I forhold til de analyserede mulige alternative drivmidler fremstår konventionel diesel og benzin **på kort sigt** fortsat som de samfundsøkonomisk billigste drivmidler. De billigste alternativer er naturgas, syntetisk diesel fra kul, biodiesel (RME) og rapsolie, hvoraf løsninger baseret på naturgas og kul ikke lever op til ønsket om en langsigtet fuldstændig uafhængighed af de fossile brændsler.

Blandt de undersøgte muligheder vurderes der ikke at være nogen alternative drivmidler med et stort produktionspotentiale, som inden for en kort tidshorisont vil kunne udnyttes til CO<sub>2</sub>-reduktioner og øget anvendelse af VE uden væsentlige meromkostninger, der vurderes at være højere end omkostningerne ved mulige virkemidler i andre sektorer.

Generelt anvendes bioenergi i Danmark indtil videre mere energieffektivt til el- og varmeproduktion. Øget anvendelse af biobrændstoffer til transportformål kan imidlertid have et væsentligt erhvervsmæssigt perspektiv, i det omfang anvendelse herhjemme fremmer danske teknologiudviklingsmuligheder. Internationalt og i EU satses der i betydelig grad på øget anvendelse af biobrændstoffer.

Biobrændstoffer kan ved iblanding desuden anvendes her og nu i eksisterende køretøjer og kan vise sig som en mulig overgangsteknologi på vej mod mere langsigtede løsninger, herunder anvendelse af teknologier baseret på brændselceller og elmotorer i transportsektoren.

2. generations teknologierne gør det muligt at basere produktionen af brændstoffet på en bredere vifte af råbiomasse, herunder restprodukter, og kan derfor lette presset på fødevarepriserne, ligesom det større ressourcegrundlag giver mulighed for en større produktion af biobrændstoffer, som derved kan bidrage mere til energiforsyningssikkerheden end dagens 1. generations teknologier alene.

Analyserne bekræfter de hidtidige vurderinger, at 2. generations biobrændstoffer kan blive konkurrencedygtige med 1. generations biobrændstoffer på den anden side af 2010, men at der ifølge sagens natur er usikkerhed herom, da der er tale om en ny teknologi, som fortsat er på forsknings- og udviklingsstadiet.

De globale miljømæssige konsekvenser af øget anvendelse af biobrændstoffer er særdeles vanskelige at vurdere, og har ikke været gjort til genstand for nærmere vurdering i arbejdsgruppen.

Det er først og fremmest ikke muligt at generalisere, da de enkelte biobrændstoffer kan være indbyrdes meget forskellige og kan produceres på meget forskellige måder. I forbindelse med vurdering af biobrændstoffers miljømæssige bæredygtighed peger arbejdsgruppen på, at følgende elementer bør overvejes:

- Væsentlig reduktion af drivhusgasemissioner i hele biobrændstoffets livscyklus i forhold til fossile brændsler.
- Stor energieffektivitet set over hele biobrændstoffets livscyklus.
- Minimering af miljømæssig påvirkning ved dyrkning, herunder næringsstofudvaskning, pesticidforbrug, emission af drivhusgasser mv.
- Beskyttelse af fredede og uopdyrkede arealer samt værdifulde økosystemer og biodiversitet.
- Optimal anvendelse af biomasse ressourcer.

EU-kommissionen forventes i et kommende direktivforslag senere i år at fremlægge forslag om minimumsniveauer for, hvad der kan betegnes som bæredygtige biobrændstoffer.

**På længere sigt** frem mod 2025 fremstår konventionel diesel og benzin fortsat sammen med naturgas som de samfundsøkonomisk billigste drivmidler med de anvendte forudsætninger, men der er som anført stor usikkerhed om så langsigtede beregninger. Ikke mindst vil teknologiudviklingen ofte kunne ske i spring, som kan være vanskelige at forudsige, frem for i en kontinuert udvikling. Flere alternative drivmidler har *potentiale* til at blive interessante ud fra et økonomisk perspektiv og i forhold til at bidrage til CO<sub>2</sub>-reduktioner.

Det største langsigtede perspektiv ligger inden for batteridrevne elbiler, som samlet set udviser den markant bedste energieffektivitet, samtidig med at elbilen rummer store

lokale miljøfordele i kraft af mindre støj og ingen skadelige emissioner til luften i nærmiljøet. Batterierne virker desuden som ellager og forbedrer derved mulighederne for at optimere energiudnyttelse og indpasning af vedvarende energi, herunder ustabil vindkraft, i elforsyningen.

Der er dog behov for en meget betydelig forbedring af selve batteriet, før elbiler er kommercielt konkurrencedygtige, og selv om der i de senere år er sket væsentlige fremskridt, er der ikke garanti for, at et afgørende gennembrud vil indtræffe i de kommende årtier. Desuden bør miljøbelastningen fra batterierne tages i betragtning.

Derved kan løsninger, hvor el produceres ombord på køretøjet, blive en mulig udvej på problemet med at udnytte elektromotorens gode egenskaber i transportmidler. Dette indbefatter elproducerende brændselsceller med brint eller methanol som energibærer, selv om den samlede energiudnyttelse her er markant mindre på grund af flere energikonverteringer med et samlet større energitab til følge. Brint kan bl.a. produceres ved hjælp af elektricitet fra vedvarende energi, og methanol kan bl.a. produceres på basis af biomasse. Kombinationsløsninger, der typisk omtales hybridbiler, er også en mulig løsning. I en hybridbil, der indeholder batteri til opladning fra elnet ("plug-in"), kan batteriløsningens overlegne effektivitet udnyttes på kortere køreture, mens der på længere køreture produceres el om bord, f.eks. ved hjælp af brændselsceller.

**Med hensyn til muligheder for at styrke teknologiudviklingen** peger rapporten på, at der med udviklingsprogrammet for 2. generations bioethanol på 200 mio. kr. i 2007-10 og udmeldingen i regeringens energiudspil om at sikre, at der inden 2010 kan etableres forsøgsanlæg i fuld skala i Danmark, allerede er besluttet en betydeligt styrket indsats.

Med regeringens forslag om et samlet løft til 1 mia. kr. fra 2010 i de offentlige bevillinger til energiteknologiudvikling er der imidlertid basis for en styrkelse af en flerstrengt strategi med hensyn til udviklingen af nye alternative drivmidler og transport-energiteknologier.

Arbejdsgruppen anbefaler på baggrund af de foretagne analyser og i lyset af de nuværende danske styrkepositioner, at der satses på udvikling af en vifte af alternative drivmidler, hvor der udover nye ethanol-teknologier lægges vægt på:

- Udvikling af transportteknologier baseret på termisk biomasseforgasning (såsom DME og methanol).
- Fokus på synergi mellem forskellige teknologier, herunder samproduktion af el, varme og transportbrændstoffer.
- Elmotorbaserede løsninger, herunder mulige danske niches for brændselsceller og brint, men også for batteridrevne elbiler.
- Udvikling af systemer og erfaringer med systemindpasning af elbiler, som fleksibel lagermulighed i sammenhæng med fluktuerende elproduktion fra vindkraft og anden fluktuerende vedvarende energi.

## **1.1 Arbejdsgruppens opgaver**

I forlængelse af "Energistrategi 2025" fra juni 2005 nedsatte regeringen en tværministeriel arbejdsgruppe om alternative drivmidler i transportsektoren med henblik på at få belyst, i hvilket omfang alternative drivmidler i transportsektoren på et omkostningseffektivt grundlag kan styrke den langsigtede energiforsyningsikkerhed og bidrage til at imødegå fremtidige klimapolitiske udfordringer, samtidig med at positive erhvervsmæssige effekter udnyttes og fremmes.

Arbejdsgruppen har, jf. kommissoriet (bilag 1), haft til opgave, at

- undersøge i hvilket omfang alternative drivmidler vil kunne forbedre energiforsyningsikkerheden og mindske CO<sub>2</sub>-emissioner og andre miljøbelastninger, blandt med henblik på fastlæggelse af Danmarks vejledende mål i 2010 for andelen af biobrændstoffer til transport i henhold til EU's biobrændstofdirektiv. Der skal herunder blandt andet lægges vægt på omkostningseffektiviteten og perspektiverne for en styrket teknologi- og erhvervsudvikling.
- fremlægge forslag til, hvordan udviklingen af teknologier for alternative drivmidler som fx biobrændstoffer, naturgas og på sigt brint kan styrkes, og i sammenhæng hermed belyse danske forskningsinstitutioners og virksomheders styrkepositioner inden for de forskellige teknologier.

Arbejdsgruppen har bestået af repræsentanter fra Finansministeriet, Skatteministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Transport- og Energiministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet, Miljøstyrelsen og Færdselsstyrelsen. Energistyrelsen har varetaget sekretariatet.

I forbindelse med arbejdet er der bl.a. gennemført en teknisk høring af eksterne eksperter. Endvidere har der været afholdt en lang række dialogmøder med aktører og interessenter inden for forskning, udvikling, markedsføring og anvendelse af alternative drivmidler.

## **1.2 Indhold og disposition**

I denne rapport sammenfattes arbejdsgruppens analyser og konklusioner. Grundlaget for konklusionerne er nærmere beskrevet i bilag 1 og 2 samt baggrundsrapport og beregningsværktøj udarbejdet af COWI.

Bilag 1 beskriver potentialet for alternative drivmidler på basis af den baggrundsrapport og det analysearbejde, som er gennemført. Baggrundsrapporten sammenfatter eksisterende viden og præsenterer analyser baseret på en ny beregningsmodel, der er udviklet som et led i arbejdsgruppens arbejde. Formålet med modellen har været at etablere et konsistent grundlag for at kunne vurdere de forskellige alternative drivmidlers teknologiske, økonomiske og miljømæssige potentialer.

Bilag 2 beskriver potentialet for dansk forskning og udvikling i alternative drivmidler. Med udgangspunkt i en status for teknologiudviklingen, de foreliggende forsknings- og udviklingsstrategier og de danske styrkepositioner begrundes arbejdsgruppens forslag til en styrket udviklingsindsats for alternative drivmidler.

Som baggrund findes dels en rapport om "*Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren*" og en "*Beregningsmodel til Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren*", begge udarbejdet af COWI.

Der findes hermed en konsistent analyseramme og en samlet fremstilling af den eksisterende viden om en række teknologier til fremstilling og brug af alternative drivmidler, som ikke har foreligget tidligere. Som et led i dette arbejde er der udviklet en ny samlet beregningsmodel, der som et selvstændigt resultat af arbejdet kan danne grundlag for fremtidige analyser. Rapporten og beregningsværktøjet vil sammen med arbejdsgruppens afrapportering blive offentliggjort på Energistyrelsens hjemmeside [www.ens.dk](http://www.ens.dk).



### **1.3 Baggrund**

#### De overordnede energipolitiske udfordringer

På få år er det internationale energipolitiske fokus på forsyningssikkerhed blevet forstærket betydeligt. Baggrunden er især faldende egenproduktion af olie og naturgas i industrilandene, en række konkrete eksempler på forsyningsproblemer samt stærkt stigende energipriser.

I de kommende årtier forudses i EU en stærkt stigende og alvorlig importafhængighed af olie (56 pct. i 2030) og især naturgas (70 pct. i 2030). Globalt forventes en markant øget energiefterspørgsel, som generelt vil øge presset på energimarkederne. Danmark er det eneste land i EU, der i dag er selvforsynende med energi. I takt med, at den nationale olie- og gasindvinding aftager, vil også Danmark risikere at blive stadig mere afhængig af energileverancer fra ustabile regioner i verden.

Transportsektoren spiller en væsentlig rolle i denne sammenhæng. Den er i dag næsten 100 pct. afhængig af olie og står for ca. 60 pct. af Danmarks olieforbrug. Langt størstedelen af energiforbruget i transportsektoren går til vejtransport. Transportsektorens andel af Danmarks samlede energiforbrug har været konstant stigende. Siden 1990 er energiforbruget til transport steget med ¼. Samtidig er det lykkedes at reducere energiforbruget i andre sektorer. Derved går ca. ¼ af Danmarks energiforbrug i dag til transport. Transportsektorens energiforbrug bidrager samtidig med betydelige CO<sub>2</sub>-udledninger, som ikke er omfattet af kvotereguleringen i dag.

Selvom Danmark har vist, at det er muligt at bryde sammenhængen mellem økonomisk vækst og udviklingen i det samlede energiforbrug, er det ingen steder i verden lykkedes at frakoble denne sammenhæng på transportområdet. Transportområdet er fortsat en af de sektorer med den største vækst i energiforbruget.

Transportområdet udgør dermed en af de store udfordringer i forhold til de overordnede og langsigtede energipolitiske mål i EU og i Danmark om at varetage hensyn til forsyningssikkerhed, miljø og konkurrenceevne.

Inden for produktion af varme og el kan forsyningen sikres med et relativt bredt felt af energikilder og teknologier. På transportområdet har vurderingen hidtil været, at der ikke er modne teknologier, der giver lige så konkurrencedygtige omstillingsmuligheder. Også med hensyn til mulighederne for at bidrage med omkostningseffektive CO<sub>2</sub>-reduktioner har potentialet i transportsektoren været vurderet som begrænset.

I forhold til regeringens langsigtede energipolitiske mål om uafhængighed af fossile brændsler vil det imidlertid være nødvendigt at se på transportsektorens muligheder for at bidrage til et mindre olieforbrug.

Der er grundlæggende to "hovedveje" til på sigt at nedbringe transportsektorens afhængighed af olie og andre fossile drivmidler. For det første ved at sikre en mere effektiv energianvendelse i transportsektoren, herunder i køretøjerne. Og for det andet gennem omstilling til drivmidler produceret på grundlag af vedvarende energi.

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

Denne afrapportering fokuserer på mulighederne for *omstilling* i transportsektoren til alternative drivmidler. Afrapporteringen omhandler ikke mulighederne for en omkostningseffektiv forøgelse af *energieffektiviteten* i transportsektoren, herunder hvis de gennemføres i EU-regi.

På baggrund af de globale energipolitiske udfordringer forventes verden over meget store fremtidige investeringer i miljøvenlige og effektive teknologier i energiproduktionen og i transportsektoren.

Der er dermed også et betydeligt erhvervspotentiale forbundet med udvikling af konkurrencedygtige alternative drivmidler. Her gælder det om at udnytte og videreudvikle de særlige danske forsknings- og erhvervsmæssige styrkepositioner inden for visse af de alternative drivmidler på transportområdet.

### De nationale energipolitiske rammer

I januar 2007 fremlagde regeringen et nyt energiudspil, "En visionær dansk energipolitik 2025", med forslag til nye langsigtede målsætninger for energipolitikken.

Udspillet fastsætter en række mål frem mod 2025 som første skridt hen imod regeringens langsigtede vision om at gøre Danmark helt uafhængig af fossile brændstoffer som kul, olie og naturgas:

- Danmarks forbrug af fossile brændstoffer skal i 2025 være reduceret med 15 pct.
- Andelen af vedvarende energi fordobles til mindst 30 pct. af energiforbruget i 2025.
- Energispareindsatsen forøges til 1,25 pct. årligt med henblik på at holde det samlede energiforbrug i ro frem til 2025.
- De offentlige investeringer i forskning, udvikling og demonstration af energiteknologi fordobles frem mod 2010 til 1 mia. kr. årligt.
- Andelen af biobrændstof til transport forøges til 10 pct. i 2020. Regeringen er parat til at fastsætte et delmål tidligere end 2020, forudsat at der er udviklet tilstrækkeligt samfundsøkonomisk konkurrencedygtige og miljømæssigt bæredygtige teknologier.

Der er lagt op til, at mål og midler vurderes hvert fjerde år. I 2015 foretages en samlet midtvejsstatus for indfrielsen af målsætningerne og en vurdering af effektiviteten i initiativer og virkemidler.

Det skal bemærkes, at transportområdet ikke er omfattet af EU's CO<sub>2</sub>-kvotesystem og ikke vil kunne inddrages i kvotesystemet før efter 2012. CO<sub>2</sub>-reduktioner indenfor transportområdet vil dermed kunne hjælpe med at opfylde de nationale klimaforpligtelser i 2008-12.

### Udviklingen i de energipolitiske rammer i EU

I marts 2007 blev der på Det Europæiske Råd opnået bred tilslutning til en ny fælles europæisk energipolitik med ambitiøse mål for forsyningssikkerhed, konkurrenceevne og bæredygtighed, herunder på følgende områder:

**Teknologifremme** gennem en Strategisk Teknologiplan.

- **Energieffektivitet**, hvor målsætningen er at spare 20 pct. af EU's energiforbrug i 2020, hvilket vil indebære et absolut fald i EU's energiforbrug.
- **Vedvarende energi**, hvor målsætningen er, at 20 pct. af EU's samlede energiforbrug i 2020 skal komme fra vedvarende energi. Den bindende målsætning skal omsættes i lovgivning via nationale målsætninger.
- **Biobrændstof**, hvor 10 pct. af hver medlemsstats forbrug af benzin og diesel i 2020 skal være erstattet af biobrændstof. Målsætningens bindende karakter er afhængig af en række forhold, bl.a. af, at produktionen er bæredygtig, og at 2. generations biobrændstof findes på markedet.

På Klimaområdet vedtog Det Europæiske Råd, at EU og alle de industrialiserede lande gennem en global aftale skal reducere udledningerne af drivhusgasser med 30 pct. i 2020 i forhold til 1990, og som et første skridt skal EU allerede inden den globale aftale reducere med mindst 20 pct. i 2020.

#### **Konklusionerne vedrørende biobrændstoffer fra Det Europæiske Råds møde i marts 2007**

*"Det Europæiske Råd bekræfter Fællesskabets langsigtede engagement i udviklingen af vedvarende energi i hele EU efter 2010, understreger, at alle typer vedvarende energi, når de anvendes omkostningseffektivt, bidrager til både forsyningssikkerhed, konkurrenceevne og bæredygtighed, og er overbevist om, at det er af altafgørende betydning at sende et klart signal til industri, investorer, innovatører og forskere. Af disse grunde godkender det følgende mål under hensyntagen til de forskellige individuelle forhold, udgangspunkter og potentialer:*

*– et bindende mål om, at vedvarende energi senest i 2020 skal udgøre 20 % af EU's samlede energiforbrug*

*– et bindende minimumsmål på 10 %, som alle medlemsstaterne skal nå, for biobrændstoffers andel af det samlede forbrug af benzin og diesel til transport i EU senest i 2020, idet dette mål skal nås på en omkostningseffektiv måde. Det er hensigtsmæssigt med et bindende mål under forudsætning af, at produktionen er bæredygtig, at det bliver muligt at få andengenerationsbiobrændstof i handelen, og at direktivet om brændstofkvalitet ændres i overensstemmelse hermed, så der tillades passende blandingsniveauer".*

I forhold til andre EU-initiativer er det især arbejdet med at fremme mere energi-effektive køretøjer samt brændstofkvalitetsdirektivet, der er relevante. På begge områder har Kommissionen varslet nye initiativer. Disse er kort beskrevet nedenfor.

**Aktuelle forslag til nye EU-initiativer vedrørende energieffektive køretøjer og brændstofkvalitetsdirektivet:**

- I EU-Kommissionens meddelelse af den 7. februar 2007 om revisionen af Fællesskabets strategi for reduktion af CO<sub>2</sub>-emissioner fra nye personbiler og lette køretøjer (COM(2007) 19 endelig) annonceres, at Kommissionen vil forfølge EU's mål ved stats- og regeringscheferne om at nå ned på et gennemsnitligt udslip på 120 g CO<sub>2</sub>/km for nye personbiler i 2012 og præsentere direktivforslag herom i 2008.
- EU-Kommissionens forslag til ændring af brændstofkvalitetsdirektivet (98/70/EF). I henhold til forslaget artikel 7a skal det
  - fra 1. januar 2009 pålægges medlemsstaterne at sikre, at udbydere af transportbrændstoffer opgør og rapporterer vugge-til-grav drivhusgas emissionerne fra disse brændstoffer
  - fra 1. januar 2011 pålægges medlemsstaterne at sikre, at udbydere af transportbrændstoffer reducerer vugge-til-grav drivhusgas emissionerne per energienhed fra disse brændstoffer med 1 pct. om året til i alt 10 pct. i 2020. I det omfang der ikke er andre omkostningseffektive muligheder, kan reduktionen opnås ved at anvende biobrændstoffer.

Både i forhold til det forventede kommende VE direktivs udmøntning af EU's bindende biobrændstofmålsætning og i relation til brændstofkvalitetsdirektivet vil der være behov for at udvikle metoder til opgørelse af vugge-til-grav drivhusgas emissioner.

EU-kommissionen forventes i det kommende VE-direktiv at definere kriterier og minimumsniveauer for, hvad der generelt kan betegnes som bæredygtige biobrændstoffer, herunder med henblik på berettigelse til offentlig støtte. VE-direktivforslaget ventes fremlagt i 2007.

## 1.4 Den anvendte analyse-mæssige ramme

Analysen af perspektiverne for anvendelse af alternative drivmidler på kort og længere sigt har taget udgangspunkt i en vurdering af mulighederne for at udvikle forskellige teknologier til transportsektoren som alternativ til olie.

En hovedhjørnestein i arbejdsgruppens arbejde har været igangsætningen af et større analysearbejde, der sammenfatter eksisterende viden og opstiller en model, der på et konsistent grundlag kan anvendes til at vurdere, hvilke alternative drivmidler til transport, der har de største teknologiske, økonomiske og miljømæssige potentialer.

I det følgende sammenfattes den anvendte analyse-mæssige ramme, herunder hvilke teknologier der er udvalgt og de anvendte forudsætninger og afgrænsninger.

Alternative drivmidler i transportsektoren kan opdeles i **3 hovedgrupper**:

- *Andre fossilt baserede brændstoffer end benzin og olie* som naturgas og syntetisk benzin og diesel fremstillet på basis af kul mv. har den fordel, at de er relativt modne teknologier, som kan anvendes i eksisterende eller lettere modificerede køretøjer og derfor principielt ville kunne indføres inden for en kort tidshorisont. Disse fossilt baserede drivmidler har imidlertid andre ulemper. Egenproduktionen og selvforsyningsgraden falder endnu hurtigere for naturgas end for olie, både i EU og i Danmark, og der er miljømæssige ulemper ved brug af kul.
- *Biobrændstoffer* er den eneste kendte teknologi, der på *kort sigt* kan anvendes i større omfang i eksisterende køretøjer i stedet for olie og andre fossile brændstoffer i transportsektoren. Biobrændstoffer dækker over et meget stort spænd af råvarer og produktionsteknologier, som har meget forskellige egenskaber mht. teknologiudviklingsstadiet, omkostninger og miljøeffekter. Biobrændstoffer er fortsat dyrere end konventionel benzin og diesel, men medfører typisk et lavere CO<sub>2</sub>-udslip samlet set. Biobrændstoffer er dog langt fra CO<sub>2</sub>-neutrale. På langt sigt konkurrerer biobrændstoffer med andre anvendelser af de knappe biomasseressourcer.
- *Andre drivmidler og teknologier* såsom el og brint, som forudsætter udvikling og markedsføring af nye køretøjsteknologier baseret på elmotoren. Perspektiverne med hensyn til miljø og forsyningssikkerhed er store, men tidshorisonten for en kommerciel anvendelse er mere langsigtet, da nogle af teknologierne endnu er på et tidligt udviklingsstadium eller mangler ét eller flere teknologiske gennembrud. For elbiler er der en række særlige perspektiver, hvis der kan skabes et gennembrud med hensyn til batteriteknologien. Hybridbiler, der både har elmotor samt en forbrændingsmotor baseret på enten fossile brændstoffer eller biobrændstoffer, har allerede oplevet et egentligt markedsgennembrud, først og fremmest i USA og Japan.

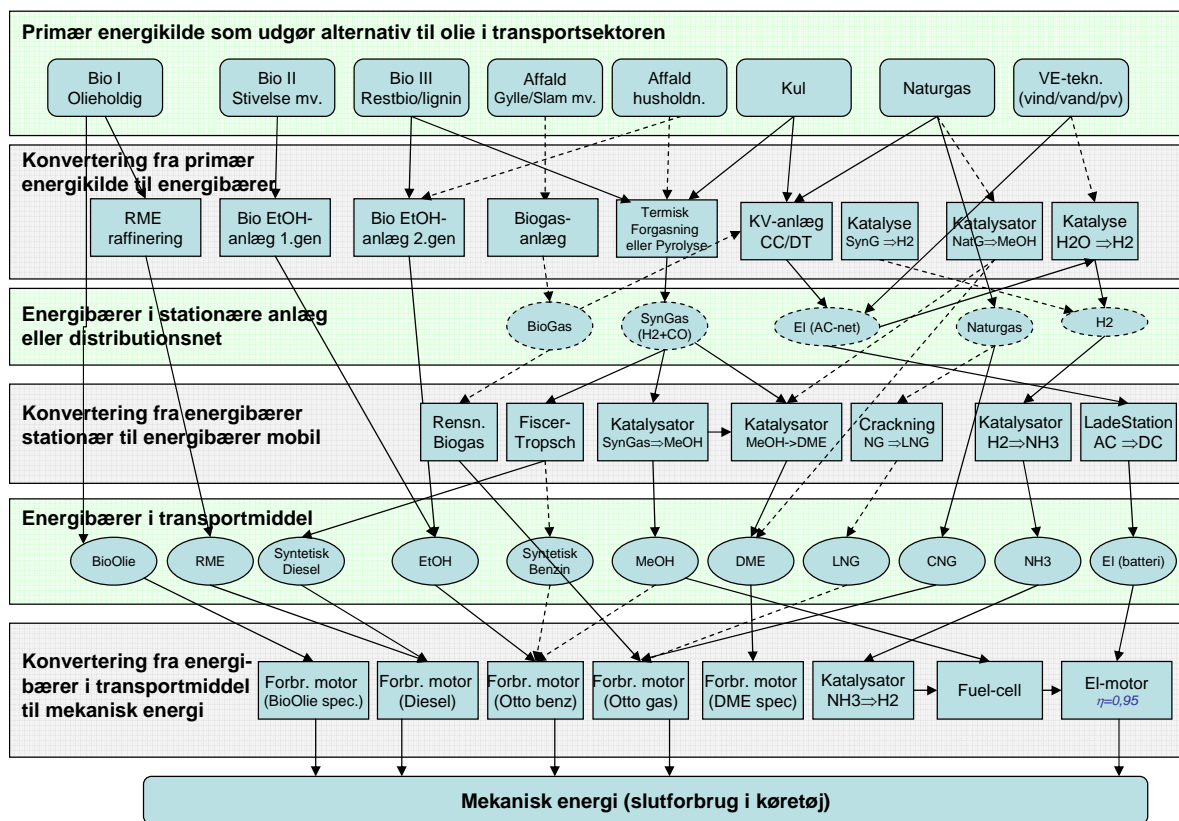
Hvilke teknologier er der set på i analysen?

Der findes – og forventes videreudviklet - en lang række teknologier, der potentielt kan anvendes til forsyning af transportsektoren som alternativ til olie. Udover, at der eksisterer en række muligheder for alternative drivmidler om bord i køretøjet, kan de enkelte elementer, som produktion af drivmiddel, distribution og køretøj, kombineres på forskellig vis.

Som det kan ses af oversigten nedenfor er antallet af kombinationsmuligheder ganske store når hele kæden betragtes. Leddene i kæden går fra råvare over konvertering til drivmiddel og konvertering af drivmidlet i en motor til såkaldt mekanisk energi, det vil sige den energi, der driver et køretøj frem.

I oversigten er de fravalgte teknologier vist med stiplede pile, mens de valgte er vist med optrukne pile.

Oversigt over valgte (→) energiteknologier til forsyning af transportsektoren som alternativ til olie



I valget af teknologispor er det forsøgt bredt at dække de teknologier, der findes i dag, og forventes udviklet i løbet af de næste 10-20 år, og som samtidig har et vist potentiale. Det er væsentlig at understrege, at der er tale om et udvalg, som skal ses

som en illustration af bredden af muligheder snarere end afgrænsning af alle de relevante muligheder.

Teknologisporene er i hele kæden fra råvare til mekanisk energi vurderet med hensyn til økonomi, miljø (med visse begrænsninger), energieffektivitet, ressourceforbrug og systemperspektiv, krav til infrastruktur og tidsperspektiv.

De udvalgte teknologier omfatter 10 alternative teknologspor, som er analyseret i forhold til 2 referencespor (konventionel benzin og konventionel diesel).

### De udvalgte, analyserede teknologier dækker:

- De nuværende teknologier (2 spor):
  - Benzin og diesel
- Alternative brændstoffer baseret på fossile brændsler (2 spor):
  - Naturgas (komprimeret som CNG) til brug i forbrændingsmotor
  - Kulbaseret diesel (forgasset kul, syntetiseret til diesel)
- Alternative biobrændstoffer (5 spor):
  - 1. generations teknologier som biodiesel (RME) produceret på raps samt bioethanol produceret på hvede (E85, dvs. 85 % ethanol og 15 % benzin)
  - Rapsolie (rå eller let raffineret rapsolie til brug i modificeret dieselmotor)
  - 2. generations teknologier i form af bioethanol produceret på halm (E85)
  - DME (Di-Methyl-Ether, der kan udnyttes i tilpassede dieselmotorer) baseret på forgasning af biomasse med efterfølgende katalysator-proces
- Elbiler (3 spor):
  - Elbiler baseret på batterier
  - Elbiler baseret på brændselsceller på brint
  - Elbiler baseret på brændselsceller på methanol (fra forgasset biomasse)

Med de valgte teknologier dækkes både de såkaldte 1. generations teknologier som biodiesel produceret på raps og bioethanol produceret på hvede samt 2. generations teknologier i form af bioethanol produceret på halm og forgasning af biomasse med efterfølgende katalysator-proces til DME eller methanol. Endelig er el lagret i batteri og brint produceret fra el undersøgt.

Størstedelen af teknologisporene baserer sig, som de konventionelle benzin- og dieselspor, på køretøjer med forbrændingsmotorer. Brint og methanol anvendes dog via brændselsceller til elmotorer, mens el fra batteri direkte driver elmotorer.

Blandt de teknologspor, der er fravalgt, og som spiller en rolle i den danske diskussion, kan nævnes biodiesel baseret på animalsk fedt samt biogas. Biodiesel baseret på animalsk fedt kan muligvis være et forholdsvis attraktivt alternativ til konventionel diesel, men produktionspotentialet er begrænset af den foreliggende mængde animalsk affald, og derfor er dette spor ikke analyseret nærmere. Anvendelse af biogas til transportformål forudsætter modsat anvendelser i kraftvarmeproduktion, at der afholdes betydelige udgifter til rensning og opgradering, hvorved hovedparten af biogassens CO<sub>2</sub>-

indhold fjernes. Derfor er dette spor ikke forfulgt nærmere. Anvendelse af naturgas til transport er ikke forbundet med opgraderingsomkostninger, idet naturgassen kan anvendes direkte, blot den komprimeres.

#### Anvendte forudsætninger og afgrænsninger

Med henblik på at kunne analysere og sammenligne meget forskellige drivmidler og køretøjsteknologier er beregningerne gennemført ud fra en ensartet og systematisk metode, som anvendes for alle teknologier.

I lyset af de mange mulige teknologier har der desuden nødvendigvis måttet foretages en afgrænsning af analyserne. Der er således i beregningerne bl.a. taget udgangspunkt i en mellemklassebil af samme størrelse. Hermed sikres et konsistent grundlag for at sammenligne de forskellige teknologispør, og analyserne er med denne afgrænsning relevante for hovedparten af transportenergiforbruget.

Hovedpunkterne i systemberegningerne og i afgrænsningerne er beskrevet neden for og uddybet yderligere senere i afrapporteringen.

#### **Systemberegningerne:**

- Der i beregningerne taget udgangspunkt i, at drivmidler og køretøjsteknologi anvendes i en *mellemklassebil af samme størrelse*.
- Der er indsamlet og estimeret data for 2006 og 2025, svarende til den *nuværende* hhv. den *fremtidige situation på langt sigt*
- Der er for at forenkle analysen kun set på et udvalg af de mange mulige kombinationer mellem forskellige råvarer, omdannelsen til drivmiddel og køretøjsteknologier.
- Disse "arketyper" af teknologispør er kun analyseret i deres "rene" form, dvs. der er ikke set på de utallige kombinationsmuligheder, som eksisterende og nye hybridløsninger kunne tilbyde.
- For hvert teknologispør er der gennemført en systematisk analyse af de samlede *omkostninger, energieffektivitet, og miljøpåvirkninger*.

Analysen ser på hele drivmiddelsporet, fra produktion af råstoffet, over konvertering til drivmiddel i form af biobrændstof, benzin eller andet, frem til distribution og forbrug af drivmidlet i køretøjet. Alle energiforbrug og emissioner fra samtlige led i hele kæden er så vidt muligt inddraget. Boksen nedenfor viser i oversigtsform hvilke energiforbrug og emissioner, der er medtaget i beregningerne.



### Analysekæden i de enkelte teknologispor

For hvert af drivmidlerne er for hele kæden beregnet:

- Energiforbruget og virkningsgraden
- Udledning af CO<sub>2</sub> og andre emissioner til luften, herunder metan og lattergas fra dyrkningen
- Samfundsøkonomiske omkostninger

### Hvilke energiforbrug og emissioner er medtaget i beregningerne?

For råstofferne er følgende medtaget:

- *Fossile energikilder*: fra indvinding og transport af råolie, kul og gas
- *Landbrugsafgrøder*: fra dyrkning i landbruget og ved produktion og transport af kunstgødning, pesticider og såsæd
- *Landbrugsjord til energiafgrøder f.eks. raps* antages alternativt braklagt med ugedet græs, hvilket også er antagelsen i det europæiske Well-to-Wheels studie

For konvertering af råstof til drivmiddel er følgende medtaget:

- Energiforbrug og emissioner ved konverteringsprocesser
- Biprodukter, f.eks. rapskager og glycerin fra RME produktion, således at en del af energiforbruget og emissionerne henføres til biprodukterne

For slutforbruget er følgende medtaget:

- Energiforbruget i bilens motor og transmissionssystem. Dette varierer for forskellige typer (el, benzin osv.) selv om der er taget udgangspunkt i en bil af samme størrelse
- Emissioner fra de forskellige typer af biler

### Usikkerheder

Beregningerne er baseret på et meget stort antal forudsætninger, og er derfor behæftet med usikkerhed. Der er således især usikkerhed om, hvordan teknologierne udvikler sig på sigt, både med hensyn til effektivitet, emissioner og omkostninger. Der er ikke taget højde for forskelle i kulstofoptaget i jorden hhv. på braklagte græslande og på dyrkede jorde i beregningen af CO<sub>2</sub>-emissionerne i biobrændstof teknologisporene.

Arbejdsgruppens analyser og vurderinger har desuden været baseret på en lang række tekniske og økonomiske forudsætninger og afgrænsninger. Blandt de centrale er følgende:

- **Væsentlige usikkerheder.** Analyser der rækker 20 år frem i tiden er naturligvis forbundet med væsentlige usikkerheder. Ved vurdering af aktiviteter, der har forsknings- og udviklingskarakter, må der tages det ekstra forbehold, at der i sagens natur er tale om områder, hvor der ikke er nogen sikker viden, og hvor der kan ske uforudsete gennembrud eller spring i udviklingen.
- **Infrastrukturen** har stor betydning for hvor hurtigt en teknologi rent praktisk kan indpasses i den danske energiforsyning. I analysen er der *ikke* er medregnet ekstra

omkostninger til investeringer i ny infrastruktur for de alternative teknologisor, idet det ville være forbundet med store vanskeligheder at gøre det på et sikkert og sammenligneligt grundlag. Behovet for ny infrastruktur kommenteres derfor alene kvalitativt.

- Den nødvendige **myndighedsregulering** ved anvendelse af alternative drivmidler er ikke analyseret nærmere. Der er bl.a. behov for, at der udarbejdes regler angående de tekniske krav til biobrændstoffer samt for godkendelse, registrering og syn af køretøjer. Kravene skal bl.a. sikre, at køretøjer der anvender biobrændstoffer (ud over de nuværende grænser på 5 pct. bioethanol i alm. benzin og 5 pct. biodiesel i alm. diesel), ikke forurener mere end en tilsvarende almindelig benzin- eller dieselbil.
- Generelt betragtes en ekstra dansk anvendelse af drivmidlet, som er **marginal** i den forstand, at de relative priser ikke påvirkes. Resultaterne kan altså ikke umiddelbart overføres til en situation, hvor der sker en mærkbar forøgelse af prisen på drivmidlet, herunder som følge af en væsentlig stigning i efterspørgslen i hele EU. Udviklingsomkostningerne er heller ikke indregnet.
- Specielt for biobrændstoffer bemærkes, at de **afledte konsekvenser** af en stigning i efterspørgslen efter anvendelse af de knappe dyrkningsarealer og biomasseressourcer til biobrændstoffer ikke er vurderet.
- **Udviklingspotentialerne i de primære råvarer** er ikke analyseret i forbindelse med udvalgets arbejde. Der vurderes at være et potentiale for øget udbytte og mindre miljøbelastning ved produktionen af afgrøder til produktion af biobrændstoffer, men mere præcise forudsætninger inden for dette emne vurderes at ville kræve en selvstændig omfattende udredning, som ligger uden for rammerne af gruppens arbejde.
- Der er foretaget en række **forenklende antagelser**, f.eks. at ethanol i form af E85 kan anvendes i benzinbiler uden meromkostninger til køretøjet. De flex-fuel biler, som kan køre på både E85 og ren benzin, er dog i dag behæftet med en forholdsvis lille merpris. Tilsvarende forudsættes det forenklende, at biodiesel (RME) uden meromkostninger kan anvendes i almindelige dieselbiler, selvom det ikke nødvendigvis er tilfældet, og fabriksgarantien typisk ikke vil dække.
- Konklusionerne gælder som udgangspunkt for **danske forhold**, da der er anvendt data fra en dansk sammenhæng. Eksempelvis vil emissionerne i forhold til elbiler være anderledes i andre lande, hvor elproduktionen kan være sammensat på en anden måde end i Danmark.

## **1.5 Perspektiver for anvendelse af alternative drivmidler på kort og længere sigt**

### Økonomi

I tabel 1 er vist de beregnede samlede samfundsøkonomiske omkostninger inklusive værdisatte miljøbelastninger i de forskellige teknologi-spor ved at præstere en GJ mekanisk energi ved hjulet. Enheden "kroner per GJ mekanisk energi ved hjulet" (i det følgende kaldet "kr/GJ mekanisk energi") er egnet til sammenligning af økonomien i forskellige teknologspor, hvor drivmidler med meget forskellige fysiske virkningsgrader finder anvendelse i forskellige slags motorer/køretøjer med meget varierende anskaffelses- og driftsudgifter. Med anvendelse af denne enhed, bliver det fx muligt at sammenligne de samlede omkostninger ved at anskaffe og benytte en forholdsvis dyr batteridrevet elbil med et forholdsvis dyrt brændsel (el), men med en høj motorvirkningsgrad, med de tilsvarende omkostninger for en forholdsvis billig benzinbil med et forholdsvis billigt brændsel, men med en lav motorvirkningsgrad. En mindre mellemklasse benzin- eller dieselbil, der tilbagelægger 18.000 km årligt bruger omkring 6,5 GJ mekanisk energi hertil. Ved dette energiforbrug svarer en samfundsmæssig meromkostning på 100 kr. per GJ mekanisk energi til 650 kr. årligt. For fx større biler med ringere energieffektivitet og/eller større årlig kørsel kan den årlige meromkostning være væsentlig større. Skift fra benzin/diesel til et alternativt teknologspor, der indebærer et andet køretøj, kan desuden i sig selv ændre den mængde mekanisk energi, der skal præstere ved hjulet, for at bilen kan tilbagelægge 18.000 km. Opgørelserne er derfor ikke omsat til en vurdering af omkostningerne per kørt km, fordi det ville kræve en nærmere vurdering af køretøjsteknologier, vægt, design osv. for de forskellige spor, der rækker ud over den detaljeringsgrad, som arbejdsgruppen har valgt til den gennemførte analyse. Forskelle i komfort, optankningstider, rækkevidde mm. er heller ikke vurderet.

Det forudsættes implicit, at markedspriserne ved de forskellige løsninger konkurreres ned på de beregnede produktionsomkostninger. I en situation med vedvarende overefterspørgsel efter en bestemt teknologi kan den internationale markedspris udmærket ligge over produktionsomkostningerne i en længere periode, hvorved de samfundsøkonomiske omkostninger ved at anvende produkterne bliver tilsvarende større. Det kan forstærkes af u hensigtsmæssige reguleringer, tilskud osv. Endelig kan marginalomkostningerne ved en storstilet indfasning af et teknologspor være stigende, ikke mindst hvis der er tale om samtidig international bevægelse.

Omvendt kan det være, at drivmidlerne kan importeres til lavere priser end angivet ved disse beregninger, som er baseret på danske produktionsforhold. Fx er produktionsomkostningerne for bioethanol i dag væsentlig lavere i storproducenten Brasilien, hvor produktionen er baseret på sukkerrør, men der er en betydelig EU-told på import af bioethanol fra Brasilien.

Erfaringsmæssigt kan priserne på råenergi, herunder råbiomasse, udvise meget betydelige kortsigtede udsving. Dagens energipriser kan således afvige betragteligt fra forudsætningerne om de langsigtede prisniveauer i denne rapport, hvorfor de helt dagsaktuelle samfundsøkonomiske omkostninger ved at fortrænge konventionel

diesel/benzin med de forskellige alternative drivmidler kan afvige tilsvarende fra nærværende vurderinger baseret på forudsætninger om de langsigtede prisniveauer.

Beregningerne tager ikke højde for samfundsmæssige gevinster i form af øget energiforsyningssikkerhed eller afledt teknologi- og erhvervsudvikling.

*På kort sigt* fremstår konventionel diesel og benzin som de samfundsøkonomisk mest attraktive drivmidler. De billigste alternativer er naturgas, syntetisk diesel fra kul, biodiesel (RME) og rapsolie. For syntetisk diesel baseret på kul er forklaringen, at den forudsatte kulpris på ca. 15 kr. per GJ er under 1/3 af den forudsatte råoliepris på ca. 51 kr. per GJ. For naturgas skal forklaringen bl.a. findes i, at naturgassen som udgangspunkt er billigere end benzin. For biodiesels (RME) og rapsolies vedkommende er der tale om en veludviklet teknologi, men hvis verdensmarkedsprisen på rapsfrø versus verdensmarkedsprisen på fossil diesel ændres i forhold til det forudsatte, kan omkostningsbilledet hurtigt skifte.

**Tabel 1. Samfundsøkonomiske omkostninger i 2006 og 2025. Faste 2005-priser i faktorpriser (dvs. ekskl. alle afgifter og moms).**

Økonomi	2006		2025	
	Samfundsøkon. omk. DKK/GJ mek	heraf brændstof DKK/GJ mek	Samfundsøkon. omk. DKK/GJ mek	Heraf brændstof DKK/GJ mek
<b>Konventionel diesel</b>	<b>2.994</b>	<b>439</b>	<b>2.874</b>	<b>369</b>
<b>Konventionel benzin</b>	<b>3.029</b>	<b>618</b>	<b>2.889</b>	<b>494</b>
Bioethanol (1. gen. E85)*	3.380	964	3.166	774
Bioethanol (2. gen. E85)**	n.a.	n.a.	3.121	734
Biodiesel (RME)	3.129	601	2.987	506
Rapsolie	3.278	544	3.161	458
Naturgas	3.056	482	2.771	389
Methanol fra biomas.	16.008	498	3.111	370
Brint	16.062	425	3.184	380
Elbiler	4.026	173	3.102	192
Diesel fra kul	3.103	523	2.962	440
DME***	3.823	925	3.577	731

\* Blanding af 85 pct. (efter volumen) ethanol produceret på hvedekerner og 15 pct. benzin.

\*\* Blanding af 85 pct. (efter volumen) ethanol produceret på halm ved DONG Energys såkaldte IBUS teknologi, som ikke var operationel i industriel storskala i 2006, og 15 pct. benzin.

\*\*\* Di-Methyl-Ether produceret på biomasse. DME er en luftart, der kan anvendes i diesellignende motorer.

Note: De meget høje udgifter forbundet med methanol fra biomasse og fra brint i 2006 skyldes, at der er forudsat anvendt brændselceller i bilerne. Disse er i dag meget dyre, men forventes i de kommende år at komme væsentlig ned i pris.

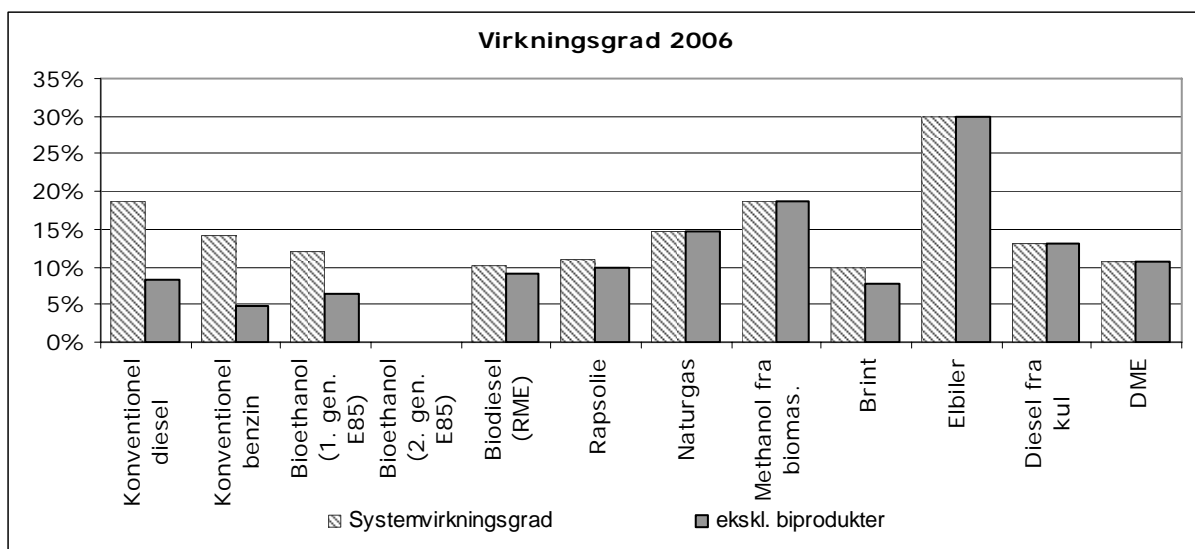
På længere sigt fremstår konventionel diesel og benzin, men også naturgas, som de samfundsøkonomisk mest attraktive drivmidler, men der er række af de alternative drivmidler, som har potentiale til at blive mere interessante ud fra et økonomisk perspektiv. Frem mod 2025 er der behov for en væsentlig teknologiudvikling og billiggørelse af brændselsceller og brintlagring. Der forventes også en udvikling for elbilerne. Med hybridbilerne er i dag udviklet meget energieffektive motortyper og effektelektronik, der muliggør en væsentlig forbedring af de nuværende elbilers energieffektivitet. For de konventionelle løsninger forventes en mere moderat udvikling, som primært giver sig udtryk i en forbedret effektivitet.

Sammenfattende giver analysen af de økonomiske omkostninger den overordnede konklusion, at substitution af benzin og diesel med alternative drivmidler indtil videre vil være forbundet med betydelige meromkostninger, hvis der som af følge energiforsyningsikkerhedsmæssige og klimapolitiske overvejelser ses bort fra løsninger, der er baseret på de andre fossile brændsler naturgas og kul. Resultaterne for 2025 viser en væsentlig mindre forventet variation i omkostningerne som følge af en forventet, men usikker teknologisk udvikling. Dette resultat afhænger dog også af de langsigtede råenergi priser, der er særdeles usikre.

### Energieffektivitet

Den samlede virkningsgrad for hele kæden fra råstof til den mekaniske energi, der i sidste ende overføres til hjulet og driver køretøjet frem, er opgjort og udtrykt på to måder:

- Som *virkningsgrad ekskl. biprodukter*, hvor den endelige energi ved hjulet ses i forhold til det samlede energiinput i hele kæden. Her tillægges biprodukter ingen værdi.
- Som *systemeffektiviteten*, hvor der tages højde for, at en del af energiinputtet nyttiggøres til andre formål. I alle procesled beregnes effektiviteten som energiindhold i alle nyttiggjorte outputs i forhold til energiindhold i alle input. Produktet af effektiviteten i alle led giver systemeffektiviteten for teknologisporet.



## Alternative drivmidler i transportsektoren

I denne sammenfatning ses alene på systemvirkningsgraden, der har størst relevans for en vurdering af de langsigtede perspektiver, idet den tager hensyn til, at en del af energiinputtet kan nyttiggøres til andre formål.

Elbilerne fremviser en væsentlig højere virkningsgrad end de øvrige teknologisor.

Elektromotoren er væsentlig mere effektiv end forbrændingsmotoren, når der ses på omdannelsen af energiinput til mekanisk energi. På trods af dette fremviser brintbilen, der baserer sig på en elektromotor, ikke en udpræget høj energieffektivitet. Dette skyldes konverteringstab ved fremstilling af brint og ved omdannelse af brint til elektricitet. Methanol fremstillet ved forgasning af biomasse, anvendt i en elektromotor via brændselscelle, er det teknologisor, der kommer nærmest elbilens energieffektivitet.



Frem mod 2025 forventes der en effektivitetsforbedring for alle teknologisor. Forbedringen er mest markant for brintbilen, hvor der udover en forbedring af køretøjets effektivitet er forudsat en væsentlig reduktion af konverteringstabene. Det indbyrdes forhold mellem teknologisporene er derudover mere eller mindre uændret.

Analysen af energieffektivitet fører umiddelbart til to hovedkonklusioner:

- Elektromotoren er væsentlig mere effektiv end forbrændingsmotoren, og teknologisor, der baseres på denne, kan derfor potentielt reducere ressourcebehovet til transport væsentligt.
- Konverteringsprocesser medfører energitab. Jo mere direkte energiinputtet til teknologikæden kan udnyttes i køretøjet, desto højere energieffektivitet kan der potentielt opnås. Desuden er der færre procesled, der skal optimeres.

Med en langsigtet målsætning om helt at udfase anvendelsen af fossile brændsler, er det vigtigt uanset valg af energikilder at udnytte energien effektivt. Med sin høje effektivitet vil elektromotoren kunne få en afgørende rolle i at frigøre transportsektoren fra olieafhængighed. Det kan være i flere teknologiske løsninger, som rene batteridrevne elbiler eller hybridbiler med elmotor og et system til elproduktion i køretøjet, f.eks. brændselscelleteknologi.

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

Biomasse vil i et sådant fremtidsbillede give størst nytte ved anvendelse til el- og varmeproduktion. Ses der på mulighederne for at anvende biomasse direkte til transportformål, synes der ud fra en effektivitetsbetragtning at være størst perspektiv i forgasningsteknologier, f.eks. til metanolproduktion.

Andre vedvarende energikilder som eksempelvis vind, vil potentielt have synergifordele med el og/eller brint som drivmiddel i transportsektoren. Dette skyldes, at elanvendelsen til transportformål i høj grad må forventes at kunne gøres fleksibel, dvs. at brinten produceres eller elbilen oplades når prisen er lav, eksempelvis om natten eller ved kraftig blæst.

### Miljø

Tabel 2 og 3 viser, at fortrængning af konventionel benzin og diesel er forbundet med et CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale på lang sigt for alle de analyserede alternative drivmidler, bortset fra fortrængning af konventionel diesel med diesel baseret på kul.

Fortrængningen vurderes her på lang sigt som værende størst for methanol fra biomasse, DME, biodiesel (RME), rapsolie og elbiler mens det er mindst for naturgas og bioethanol. Der gælder dog det forbehold, at livs-cyklus emissionerne af klimagasser i mange spor kan være både væsentligt større og væsentlig lavere end her forudsat. Drivhusgasemissionerne kan således være mærkbart mindre for batteridrevne elbiler og brintbiler i det omfang, disse spor baseres på en større udnyttelse af VE-el end forudsat her. Det kan dog samtidig fordyre disse løsninger.

For biobrændstoffer har forudsætninger om anvendelsen af biprodukter fra produktionen samt tilvejebringelse af råbiomassen desuden afgørende betydning for vurderingen af drivhusgasemissionerne, som det belyses nærmere i bilag 1.5. Alt efter valg af forudsætninger kan man derfor komme frem til væsentligt afvigende vurderinger. I bilag 1.5 sammenholdes også samproduktion af transportbiobrændstoffer, el og varme med direkte anvendelse af råbiomassen (halm) til produktion af el og varme. Det konkluderes, at det, som følge af konverteringstab ved fremstilling af biobrændstoffer til transport, under danske forhold indtil videre er mere omkostningseffektivt og giver større fortrængning af drivhusgasudslippet at udnytte råbiomassen direkte til produktion af el og varme.

I perioden frem til og med 2012 skal det dog tages med i betragtning, at transportsektoren (i modsætning til f.eks. el- og varmegærker over 20 MW) ikke er omfattet af CO<sub>2</sub>-kvoteordningen. I denne periode vil en øget anvendelse af biobrændstoffer til transportformål således bidrage til at opfylde Danmarks klimaforpligtelse i modsætning til øget anvendelse af bioenergi i de kvoteomfattede sektorer.

Mens forskellene i øvrige emissioner i teknologspor baseret på forbrændingsmotorer er små, opnås der en væsentlig reduktion af den lokale miljøbelastning ved de teknologspor, der baserer sig på elektromotoren. Elmotorløsninger vil desuden kunne bidrage til en reduceret støjbelastning fra transportsektoren. Omvendt udgør håndtering af brugte batterier en miljømæssig udfordring.

Tabel 2. Sammenfatning af de centrale resultater, miljøpåvirkning for teknologi-sporene, 2006

År 2006	Miljøpåvirkning (luftemissioner)			
	CO <sub>2</sub> -ækv. Kg/GJ mek	SO <sub>2</sub> kg/GJ mek	NO <sub>x</sub> kg/GJ mek	Partikler kg/GJ mek
<b>Konventionel diesel</b>	<b>398</b>	<b>0,01</b>	<b>1,12</b>	<b>0,04</b>
<b>Konventionel benzin</b>	<b>517</b>	<b>0,02</b>	<b>0,22</b>	<b>0,00</b>
Bioethanol (1. gen. E85)	454	0,14	1,00	0,00
Bioethanol (2. gen. E85)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Biodiesel (RME)	169	0,02	1,60	0,04
Rapsolie	168	0,01	1,61	0,04
Naturgas	451	0,03	0,20	0,00
Methanol fra biomas.	91	0,06	0,25	0,00
Brint	678	0,59	1,61	0,00
Elbiler	252	0,22	0,60	0,00
Diesel fra kul	519	0,07	1,49	0,04
DME	164	0,12	1,38	0,04

Note: Der ses beregningsteknisk bort fra virkningerne af CO<sub>2</sub>-kvoteordningen.



**Tabel 3. Sammenfatning af de centrale resultater, miljøpåvirkning for teknologi-sporene, 2025**

År 2025	Miljøpåvirkning (luftemissioner)			
	CO <sub>2</sub> -ækv. Kg/GJ mek	SO <sub>2</sub> kg/GJ mek	NO <sub>x</sub> kg/GJ mek	Partikler kg/GJ mek
<b>Konventionel diesel</b>	<b>333</b>	<b>0,01</b>	<b>0,62</b>	<b>0,02</b>
<b>Konventionel benzin</b>	<b>414</b>	<b>0,01</b>	<b>0,15</b>	<b>0,00</b>
Bioethanol (1. gen. E85)	344	0,04	0,66	0,00
Bioethanol (2. gen. E85)	330	0,06	0,44	0,00
Biodiesel (RME)	138	0,01	1,01	0,02
Rapsolie	138	0,01	1,03	0,02
Naturgas	344	0,01	0,11	0,00
Methanol fra biomas.	63	0,02	0,14	0,00
Brint	402	0,16	0,67	0,00
Elbiler	185	0,07	0,31	0,00
Diesel fra kul	424	0,02	0,87	0,02
DME	120	0,04	0,74	0,02

Note: Der ses beregningsteknisk bort fra virkningerne af CO<sub>2</sub>-kvoteordningen.

#### Køretøjstekniske aspekter i forbindelse med alternative drivmidler

Det er i dag ikke muligt at godkende og registrere køretøjer, der er særligt designet til at anvende fx bio-brændstoffer (ud over de nuværende grænser på 5 pct. bioethanol i alm. benzin og 5 pct. biodiesel i alm. diesel). Der er behov for, at der udarbejdes detaljerede regler angående tekniske krav til køretøjer i forbindelse med syn og godkendelse samt regler om registrering i forbindelse med anvendelse af alternative brændstoffer. Desuden er der behov for at stille krav f.eks. i forhold til sikkerhedsaspekter i forbindelse med anvendelse af brint samt kvaliteten af fx biobrændstoffer.

I dag findes der detaljerede luftforureningskrav for almindelige benzin- og dieselbiler. Der bør der udarbejdes tilsvarende krav for biler indrettet til anvendelse af biobrændstoffer, således at de ikke forurener mere end en almindelig benzin- eller dieselbil.

Idet bilfabrikanternes produktgaranti i dag typisk ikke dækker ved anvendelse af ren biodiesel eller planteolie, bør det overvejes, hvordan der ved fastlæggelse af nærmere regler tages hensyn til, at bilernes indsprøjtningssystem ikke ødelægges med en stor udgift for ejeren til følge.

Det bør derfor overvejes, at der nedsættes en arbejdsgruppe af relevante fagstyrelser, som fastsætter de mere tekniske regler med henblik på, at der kan godkendes og registreres biler, som benytter alternative drivmidler.

### Samlet om perspektiverne for anvendelse af alternative drivmidler

Frem mod 2025 fremstår konventionel diesel og benzin fortsat, sammen med naturgas, som de samfundsøkonomisk billigste drivmidler med de anvendte forudsætninger, men der er som anført stor usikkerhed om så langsigtede beregninger. Ikke mindst vil teknologiudviklingen ofte kunne ske i spring, som kan være vanskelige at forudsige, frem for i en kontinuert udvikling. Flere alternative drivmidler har *potentiale* til at blive interessante ud fra et økonomisk perspektiv og i forhold til at bidrage til CO<sub>2</sub>-reduktioner.

1. generations biobrændstofferne, biodiesel og bioethanol, er de eneste alternativer til fossile brændstoffer, der ved lav-iblanding i diesel og benzin her og nu kan indføres i de bestående køretøjer og med kun forholdsvis beskedne infrastrukturændringer. Dansk/europæisk producerede biobrændstoffer forventes dog fortsat at være væsentligt dyrere end konventionel benzin/diesel. Blandt dansk/europæisk producerede biobrændstoffer, skønnes biodiesel (RME) at være det billigste biobrændstof, men i det omfang fortsat stigende efterspørgsel indbærer permanent højere priser på rapsfrø og anden egnet råbiomasse, kan billedet ændres.

Biobrændstoffer forventes fortsat at have en ringere energisystemvirkningsgrad som følge af et forholdsvis stort energiforbrug ved fremskaffelse af råbiomassen og ikke mindst ved selve konverteringen til biobrændstof på fabrikken. Energien i biomassen kan derfor udnyttes mere effektivt til produktion af varme og el, hvor elektriciteten på lang sigt eventuelt kan anvendes i batteridrevne elbiler.

2. generations biobrændstof teknologierne forventes ikke at blive afgørende billigere end 1. generations teknologierne i Danmark, men ved at udvide ressourcen kan teknologierne bidrage til at øge produktionspotentialerne og derved også begrænse efterspørgselsdrevne prisstigninger på råvarerne, herunder fødevarer- og foderemner. Udbuddet af egnet råbiomasse som fx halm og andre restprodukter kan være væsentligt større og billigere de steder i udlandet, hvor der ikke er samme høje udnyttelse af restbiomasse i el- og varmeproduktionen som i Danmark. Det hører med i billedet, at der i denne rapport kun er undersøgt få varianter af de fremtidige biobrændstofteknologier, og at den teknologiske udvikling kan forløbe anderledes end skønnet her.

Perspektiverne i at fremme en dansk anvendelse af biobrændstoffer på kortere og mellemlangt sigt ligger derfor primært i at understøtte teknologiudviklingen med henblik på at realisere de erhvervspolitiske og –økonomiske potentialer og få gjort biobrændstofferne til mere samfundsøkonomisk konkurrencedygtige og miljømæssigt attraktive teknologier på længere sigt. Hertil kommer de mulige bidrag til at reducere CO<sub>2</sub>-emissionen uden for de sektorer, som i dag er kvoteomfattede.

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

Biobrændstofferne kan dermed ses som en mulig overgangsteknologi på vej mod de lovende, men langsigtede teknologier baseret på el eller eventuelt brint som energibærer i transportsektoren.

Det største langsigtede perspektiv ligger inden for batteridrevne elbiler, som samlet set udviser den markant bedste energieffektivitet, samtidig med at elbilen rummer store lokale miljøfordele i kraft af mindre støj og ingen skadelige emissioner til luften i nærmiljøet. Batterierne virker desuden som ellager og forbedrer derved mulighederne for at optimere energiudnyttelse og indpasning af vedvarende energi, herunder fluktuerende vindkraft, i elforsyningen.

Der er dog behov for en meget betydelig forbedring af selve batteriet mht. omkostninger, ladetid og energitæthed, før elbiler er kommercielt konkurrencedygtige, og selv om der i de senere år er sket betydelige fremskridt, er der ikke garanti for, at et afgørende gennembrud vil indtræffe i de kommende årtier.

Derved kan løsninger, hvor el produceres ombord på køretøjet, blive en mulig udvej på problemet med at udnytte elektromotorens gode egenskaber i transportmidler. Dette indbefatter elproducerende brændselsceller med brint eller methanol som energibærer, selv om den samlede energiudnyttelse her er markant mindre på grund af flere energikonverteringer med et samlet større energitab til følge. Brint kan bl.a. produceres ved hjælp af VE-el, og methanol kan bl.a. produceres på basis af biomasse.

Kombinationsløsninger, der typisk omtales hybridbiler, er også en mulig løsning. I en hybridbil, der indeholder batteri til opladning fra elnet ("plug-in"), kan batteriløsningens overlegne effektivitet udnyttes på kortere køreture, mens der på længere køreture produceres el om bord, f.eks. ved hjælp af brændselsceller.

Både brint som energibærer og elbiler anvendt som ellager vil kunne bidrage til at indpasse større mængder fluktuerende vindkraft mv. i elsystemet. Hvis batteriudfordringen kan løses for elbilen, vil Danmarks unikke position med hensyn til meget høje VE-andele af elforsyningen kunne danne grundlag for udvikling af kompetencer med hensyn til systemindpasning af elbiler i energiforsyningen. Danmark har desuden betydelige erhvervsmæssige kompetencer og styrkepositioner med hensyn til brint og brændselsceller.

## **1.6 Grundlag for biobrændstofmålsætning for 2010**

I henhold til EU's biobrændstofdirektiv skal regeringen senest den 1. juli 2007 meddele EU-Kommissionen Danmarks vejledende mål for andelen af biobrændstoffer og andre fornyelige brændstoffer til transport ultimo 2010. Referenceværdien herfor er i direktivet fastsat til 5¾ pct. for hele EU, men der kan afviges herfra. Direktivet fremhæver blandt andet, at omfanget af nationale ressourcer, der er afsat til fremstilling af biomasse til anden energianvendelse end transport, kan begrunde en særlig lav indsats for biobrændstoffer.

I Danmark anvendes biomasse i dag i relativt stort omfang til produktion af el og varme, hvilket generelt giver den mest energieffektive udnyttelse af en given biomasseresource. Det nuværende salg af bio-benzin med 5 pct. bioethanol svarer til i størrelsesordenen 0,15 pct. af det samlede benzin- og dieselforbrug til transport. I medfør af biodieselforsøgsordningen kan der forventes anvendt yderligere omkring 0,1 pct. i årene 2007-2009.

Regeringens udspil til "En visionær dansk energipolitik", rummer en grundlæggende målsætning om, at Danmarks anvendelse af fossile brændsler frem til 2025 skal reduceres med mindst 15 pct. i forhold til i dag, og at det samlede energiforbrug skal holdes i ro. Vedvarende energi skal forøges til mindst 30 pct. af energiforbruget i 2025, og andelen af biobrændstof til transport skal forøges til 10 pct. i 2020.

Det fremgår af udspillet, at der vil kunne fastsættes delmål for biobrændstofferne tidligere end 2020, forudsat at der er udviklet tilstrækkeligt samfundsøkonomisk konkurrencedygtige og miljømæssigt bæredygtige teknologier.

Jævnfør konklusionerne af 9. marts 2007 fra Det Europæiske Råds møde forudsætter EU's bindende minimumsmål om 10 pct. biobrændstoffer i 2020, at målet skal nås på en omkostningseffektiv måde, og at det findes hensigtsmæssigt med et bindende mål under forudsætning af, at produktionen er bæredygtig, og at det bliver muligt at få 2. generations biobrændstof i handelen.

I forlængelse heraf forventes, at rammerne fra EU opdateres inden 2010 som et led i et samlet nyt VE-direktiv. Herunder forventes, der at blive fastsat nye krav til bæredygtig produktion af biobrændstofferne, jf. konklusionerne fra EU-topmødet.

Blandt de undersøgte muligheder vurderes der ikke at være nogen alternative drivmidler med et stort produktionspotentiale, som inden for en kort tidshorisont vil kunne udnyttes til CO<sub>2</sub>-reduktioner og øget anvendelse af VE uden væsentlige meromkostninger, der vurderes at være højere end omkostningerne ved mulige virkemidler i andre sektorer. Tilsvarende er biobrændstoffer indtil videre ikke et omkostningseffektivt klimapolitisk tiltag. Det skyldes først og fremmest, at biobrændstoffer fortsat er væsentlig dyrere end benzin og diesel, selv med de høje oliepriser. Der er ikke på nuværende tidspunkt et sikkert grundlag for at antage, at disse konklusioner er afgørende ændret i 2010, selvom der sker en fortsat teknologjudvikling.

Perspektivet i at fremme en dansk anvendelse af biobrændstoffer på kortere og mellemlang sigt vil derfor primært ligge i at understøtte teknologiudviklingen og danske virksomheders deltagelse heri.

Den danske regering besluttede i 2006 at gennemføre en markant styrkelse af indsatsen for udvikling af 2. generations biobrændstofteknologier ved at afsætte yderligere 200 mio. kr. til medfinansiering af private udviklingsprogrammer i stor skala. For at understøtte målsætningen om øget anvendelse af biobrændstoffer til transport lægger regeringens nye energiudspil op til, at indsatsen for udvikling af 2. generations biobrændstoffer yderligere styrkes.

Målet er blandt andet, at det sikres, at der inden 2010 kan etableres forsøgsanlæg i fuld skala i Danmark.

**De hidtidige nationale initiativer med hensyn til biobrændstoffer:**

- Regeringen har fritaget biobrændstoffer fra de CO<sub>2</sub>-afgifter, der påhviler benzin og diesel. Derved belønnes miljøfordelen ved biobrændstoffer.
- Der markedsføres i dag benzin tilsat bioethanol på kommerciel basis i Danmark.
- Der gennemføres en 3-årig forsøgsordning med biodiesel med en støtte på 20 mio. kr. årligt i tre år.
- Det er besluttet at afsætte 200 mio. kr. over en 4-årig periode udvikling af 2. generations bioethanol teknologier.
- Denne indsats styrkes yderligere, således at det sikres, at der inden 2010 kan etableres forsøgsanlæg i fuld skala i Danmark.

De globale miljømæssige konsekvenser af øget anvendelse af biobrændstoffer er særdeles vanskelige at vurdere, og har ikke været gjort til genstand for nærmere vurdering i arbejdsgruppen. Det er først og fremmest ikke muligt at generalisere, da de enkelte biobrændstoffer kan variere meget og kan produceres under meget forskellige forhold.

I forbindelse med fastlæggelse af kriterier for at vurdere biobrændstoffers miljømæssige bæredygtighed peger arbejdsgruppen dog på, at følgende elementer bør overvejes:

- Væsentlig reduktion af drivhusgasemissioner i hele biobrændstoffets livscyklus i forhold til fossile brændsler.
- Stor energieffektivitet set over hele biobrændstoffets livscyklus.
- Minimering af miljømæssig påvirkning ved dyrkning, herunder næringsstofudvaskning, pesticidforbrug, emission af drivhusgasser mv.
- Beskyttelse af fredede og uopdyrkede arealer samt værdifulde økosystemer og biodiversitet.
- Optimal anvendelse af biomasse ressourcer.

EU-kommissionen forventes i et kommende direktivforslag senere i år at fremlægge forslag om minimumsniveauer for, hvad der kan betegnes som bæredygtige biobrændstoffer.

## 1.7 Muligheder for styrket teknologiudvikling

Siden begyndelsen af 1990-erne er der i en række lande og i EU sat øget fokus på udviklingen af ny teknologi til fremstilling af alternative drivmidler til transport. Udviklingsindsatsen er yderligere accelereret i de seneste år ikke mindst under indtryk af den øgede opmærksomhed på de negative konsekvenser af olieafhængigheden. Der ydes derfor globalt set nu meget betydelige offentlige tilskud til udviklingsprogrammer for drivmiddelteknologier, og den private sektor har ligeledes øget sine investeringer markant i udviklingen inden for dette område.

Det gælder også for Danmark. Der er i 2006 ydet den hidtil mest omfattende samlede offentlige projektstøtte til forskning, udvikling og innovation indenfor alternative drivmidler – primært indenfor biobrændstoffer. Den samlede støtte til biobrændstof udvikling i 2006 var mere end 100 mio. kr. hidrørende fra en række toneangivende generelle tilskudsprogrammer. Hertil kommer virksomhedernes og forskningsinstitutionernes egenfinansiering i projekterne, som er af næsten samme størrelsesorden, samt den meget betydelige forsknings- og udviklingsindsats, som der ikke søges offentlig støtte til. Set i lyset af det store fokus på biobrændstoffer og andre alternative drivmidler som brint, forventes denne trend at fortsætte og forstærkes i de kommende år, hvilket i sig selv vil indebære en yderligere styrkelse af udviklingsindsatsen.

Indenfor de alternative drivmidler spiller **biobrændstoffer** fremstillet af biomasse den største rolle indenfor både forskning og anvendelse. Fordelen er, at disse brændstoffer i vidt omfang kan anvendes i eksisterende eller lettere modificerede motorer, og at brændstoffet kan indføres gradvist med relativt beskedne infrastrukturændringer.

De danske styrkepositioner på dette område indenfor industri og forskning findes især indenfor produktion af **2. generations biobrændstof** på basis af planterestprodukter fra land- og skovbrug, affald mv. Det vurderes, at Danmark står meget stærkt på næsten alle parametre indenfor denne udvikling, og Danmark har således et unikt udgangspunkt for at kunne opnå en globalt førende position indenfor ny kommerciel teknologi til omdannelse af biomasse til flydende brændstof.

Blandt andet på den baggrund har regeringen afsat en særlig pulje på 200 mio. kr. fra Globaliseringsmidlerne til et 4-årigt udviklings- og demonstrationsprogram 2007-10 for 2. generations bioethanol. Det fremgår af regeringsudspillet *En visionær dansk energipolitik 2025* (januar 2007), at programmet sammen med privat kapital skal sikre, at der i Danmark kan etableres forsøgs- og demonstrationsanlæg i fuld skala inden 2010.

Herefter skal der arbejdes videre mod konkurrencedygtig produktion, som under gunstige omstændigheder forventes at kunne opnås indenfor yderligere 5-10 år. Formålet er at understøtte målsætningen om at opnå en tilstrækkelig bæredygtig og samfundsøkonomisk konkurrencedygtig anvendelse af biobrændstof til transport på sigt.

**Tilskud til udvikling af biobrændstoffer i 2006**

<b>Projekt (projektleder)</b>	<b>Offentligt tilskud fra</b>	<b>Tilskud</b>
Bio.REF: Biorefinery for sustainable reliable economical fuel production from energy crops (DTU)	Det Strategiske Forskningsråd energi & miljø MVTU	12,5 mio. kr.
Renewable energy in the transport sector using biofuels as energy carriers (DMU)	Det Strategiske Forskningsråd energi & miljø MVTU	15,0 mio. kr.
Waste-2-Value – dansk 2. generations biodiesel fremstillet af affald (Teknologisk Institut)	Rådet for Teknologi og Innovation MVTU	10,3 mio. kr.
Fra organisk affald til bio-brændstof – CatLiq-processen (SCF Technologies)	Højteknologifonden MVTU	10,0 mio. kr.
Udvikling af 2. generations bioethanol processer og teknologi (DONG Energy)	Højteknologifonden MVTU	21,7 mio. kr.
REnescience *) – a flexible and integrated energy system based on gasification of liquefied biomass and waste (DONG Energy)	ForskEI-programmet (Renere elproduktionsteknologier) Energinet.dk	30,0 mio. kr.
Udvikling af HCCI-motor til DME og produktion af methanol/DME ud fra biomasse (DTU)	Energiforskningsprogrammet Energistyrelsen	4,5 mio. kr.
Videreudvikling af Maxifuels-projektet for produktion af 2 G bioethanol (DTU/BioGasol)	Energiforskningsprogrammet Energistyrelsen	1,8 mio. kr.
<b>I alt 2006</b>	-	<b>105,8 mio. kr.</b>

\*) integreret produktion af el, varme og transportbrændstof

### **De danske styrkepositioner indenfor udvikling af teknologi til produktion af 2. generations bioethanol**

På bl.a. enzymteknologi, som anvendes ved fremstilling af bioethanol - især hvis der anvendes ny teknologi og lavværdige råvarer - har de danske biotekvirksomheder Novozymes og Danisco (Genencor) i dag tilsammen ca. 80 pct. af verdensmarkedet og forskningsmæssigt er de verdensførende. Indenfor enzymer anvendt til fremstilling af 1. generations-bioethanol fra stivelsesholdige planter er der nu nogle af de største vækstrater i de to virksomheder, hvilket afspejler den stigende internationale efterspørgsel efter alternative brændstoffer. Det er især datterselskaberne i USA, som oplever den stigende efterspørgsel, men den forplanter sig i stigende grad til både Europa og Asien.

Danmark står ligeledes meget stærkt indenfor håndtering og behandling af halm og anden biomasse i totalanlæg, hvor kraftværksektoren - nu primært DONG Energy - sammen med landbruget mv. via den såkaldte politiske biomasseaftale gennem de sidste 10-15 år har udviklet den nødvendige logistik og de nødvendige procesanlæg mv. indenfor især halm - og dermed også for halmlignende råvarer - anvendt til produktion af el og varme. Danmark er på den baggrund verdensførende indenfor udnyttelse af halm i energisektoren. DONG Energy har for nylig stiftet udviklingsselskabet Inbicon, som specielt skal varetage den videre udvikling og kommercialisering af ny teknologi indenfor produktion af flydende biobrændstoffer.

Også de statslige danske forskningsmiljøer som DTU, DTU-Risø, Kbh.s Universitet- KVL m.fl. står meget stærkt internationalt indenfor omdannelse af biomasse til energi i et tæt samspil med den private udviklingsindsats, hvilket bl.a. har medført dannelse af det nye private udviklingsselskab BioGasol indenfor biomasse-teknologi til transport mv.

Målsætningen for biobrændstoffer vil udover via bioethanol-programmet blive understøttet af den særlige forsøgsordning for praktisk anvendelse af biodiesel i køretøjer på 60 mio. kr. i 2007-09, som Færdselsstyrelsen forventer at indlede udmøntningen af i løbet af 2007.

Endelig er der med udmøntningen af Globaliseringspuljen oprettet et nyt statsligt finansieret Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram EUDP på foreløbig 513 mio. kr. i 2007-10 udover de 200 mio. kr., som er afsat specielt til bioethanol.

Bioethanol-programmet vil blive udmøntet og administreret som en integreret del af EUDP-programmet og efter de samme principper. Udmøntningen vil således ske i henhold til den nye lov om EUDP-programmet, som er vedtaget i indeværende folketingsår. Det indebærer bl.a., at der vil blive lagt vægt på, at udviklingsforløbet sker i et tæt og forpligtende privat-offentligt partnerskab i længerevarende projektførelser med klare milepæle og med en privat medfinansiering, som mindst matcher den offentlige



med henblik på at afklare og fremme potentialet for kommercialisering af 2. generations-teknologien mest muligt.

I forlængelse af det nye energipolitiske udspil har regeringen lagt op, at EUDP-programmet som helhed tilføres yderligere midler henimod 2010. De samlede offentlige energiforskningsmidler skal i 2010 være fordoblet til 1 mia. kr. årligt – den såkaldte "energimilliard".

Det betyder, at udover de to særpuljer for bioethanol og biodiesel vil der være yderligere forstærkede muligheder for at støtte udviklingen af de alternative drivmidler på de områder, hvor Danmark har internationale styrkepositioner, i de kommende år.

Der er med EUDP-lovforslaget ligeledes lagt op til en generel styrkelse af koordinationen mellem de offentlige programmer indenfor strategisk energiforskning incl. Højteknologifonden. En sådan en styrket koordination vil kunne bidrage til at styrke og målrette den samlede udviklingsindsats, også indenfor de nye drivmiddelteknologier.

Udover 2. generations bioethanol, hvor produktionen er baseret på enzymer og biologiske processer, har Danmark bl.a. i kraftværksregi en styrkeposition indenfor den såkaldt **thermo-kemiske omdannelse af biomasse via forgasning** til flydende brændstof. Stærke aktører på området er DONG Energy, Haldor Topsøe og en række mindre private udviklingselskaber, samt DTU og flere andre offentlige forskningsinstitutioner og GTS-institutter.

Også virksomhederne SCF Technologies, DAKA, Grundfos og Dinex Emmission Technology satser med offentlig støtte fra Højteknologifonden og Innovationsrådet progressivt på udvikling af nye generationer af biobrændstoffer – herunder af ny anvendelsesteknologi.

Desuden udgør **brint/brændselceller** anvendt til transport i en række niche-anvendelser et særligt dansk styrkeområde med stærkt satsende aktører som IRD Fuel Cell, H2 Logic, samt en række andre udviklingsfirmaer og -samarbejder.

Samspelet mellem det danske elsystem med en høj – og stigende – andel af fluktuerende elproduktion fra vindmøller mv. og elbilernes potentiale som et effektivt energilager kan i de kommende år vise sig at blive en meget interessant dansk styrkeposition. Danmark har optimale forudsætninger for at demonstrere, hvorledes elbiler kan indpasses i elsystemet og udløse effektiviseringsgevinster. Der kan bl.a. være tale om at udvikle nye teknologier, der kan sikre det optimale samspil mellem elbiler og elsystem.

#### Arbejdsgruppens anbefalinger med hensyn til en styrket teknologiudvikling:

Den globale efterspørgsel efter flydende biobrændstoffer og andre alternative drivmidler i transportsektoren forventes at vokse hastigt i de kommende år og på sigt fortrænge en stigende del af transportens anvendelse af fossile brændstoffer. Samholdt med de danske energiteknologiske styrkepositioner giver det potentiale for betydelige vækstmuligheder for dansk erhvervsliv.

På den baggrund og i forlængelse af de betydelige nye forsknings- og udviklingsinitiativer, som allerede er foreslået siden nedsættelsen af arbejdsgruppen, anbefaler arbejdsgruppen:

1. At den nationale udviklingsindsats indenfor de alternative drivmidler **fokuseres** på de væsentligste danske styrkepositioner, således at der opnås den nødvendige kritiske masse for udviklingsressourcerne indenfor hver styrkeposition. Da Danmark har flere markante styrkepositioner, vil dette samtidig kunne blive en **flerstrengt** indsats. De øgede statslige midler til forskning og udvikling indenfor ny energiteknologi i de kommende år ("energimilliarden") muliggør således en opprioritering af flere parallelle teknologisor. Samtidig bør der i tilrettelæggelsen af indsatsen lægges vægt på, at mulige udviklingsmæssige **synergifordele** mellem de forskellige teknologisor, udnyttes.
2. At der indenfor produktion af **2. generations bioethanol** arbejdes videre med dannelsen af ét eller flere længerevarende **udviklings- og innovationspartnerskaber** med henblik på at styrke kæden fra forskning til kommercialisering af teknologien. Der er allerede i forlængelse af regeringens redegørelse om miljøeffektiv teknologi fra 2006 ydet en bevilling til et ét-årigt sekretariat til igangsættelse af sådanne partnerskaber. Der er blandt andet mulighed for industrielle symbioser i forhold til raffinaderier og anden stor-skala-procesindustri.
3. At udviklingsindsatsen indenfor **den termo-kemiske omdannelse af biomasse og affald til biobrændstof** via forgasning styrkes under de nationale forsknings- og udviklingsprogrammer for ny energiteknologi. Denne teknologi kan indebære nogle grundlæggende fordele i form af bedre energiudnyttelse og en øget fleksibilitet i forhold til biologisk omdannelse. Danmark har en stærk position på verdensmarkedet indenfor omdannelse af naturgas til flydende brændstof ("Gas-to-Liquid -GtL") som benzin, methanol og DME ved hjælp af katalysatorprocesser, og disse kompetencer udgør et solidt grundlag for en videreudvikling af teknologier til termo-kemisk omdannelse af biomasse til flydende brændstof ("Biomass-to-Liquid - BtL"). Endvidere er de specielle danske kompetencer, som bl.a. er opnået ved gennemførelsen af det nationale danske biomasseforgasningsprogram til kraftvarmeproduktion, særligt egnede til videreførelse i ny teknologi rettet mod transportsektoren.
4. At mulighederne for at skabe en **fælles dansk teknologiplatform** for delteknologier mellem bioethanolprogrammet og et nyt termo-kemisk indsatsområde bør understøttes mhp. på at opnå synergifordele i den teknologiske udvikling. Bl.a. da råvaren er den samme er der en række delteknologier, som kan være fælles for de 2 teknologisor. Hertil kommer at begge teknologisor indebærer, at der potentielt kan opnås både effektivitets- og energisystemmæssige fordele ved en **kombineret produktion af el/varme/transportbrændstof**.
5. At udviklingsindsatsen indenfor **nicheanvendelser af brint/brændselsceller til transport** styrkes indenfor de nationale forsknings- og udviklingsprogrammer med henblik på at bane vejen for anvendelse af danske kompetencer i den mere langsigtede udvikling af brintkøretøjer og -infrastruktur til alm. transport. Hermed

styrkes samtidig implementeringen af den nationale strategi for udvikling af brint/brændselsceller anvendt til transport, som Energistyrelsen udarbejder i partnerskab med forskningsinstitutioner og virksomheder. Strategien forventes offentliggjort i løbet af 2007.

6. At perspektiverne i at **integrere anvendelse af biomasse til energi med anvendelse af biomasse til foder, non-food produkter og fødevarer** bør følges op med nye forsknings- og udviklingsindsatser. Det Rådgivende Udvalg for Fødevareforskning har i sin bioteknologiske forskningsstrategi "Værditilvækst og bedre miljø" beskrevet perspektiverne og givet anbefalinger om en række indsatsområder. Endvidere bør de **afledte samfunds- og landbrugsmæssige konsekvenser** af en stigning i efterspørgslen af biomasse til energi og ændringer i arealanvendelse og miljøpåvirkning analyseres nærmere.
7. At det nærmere overvejes, hvordan man bedst **indhenter erfaringer og udvikler løsninger**, der forbedrer grundlaget for på længere sigt **at anvende elbiler** i Danmark i større omfang. Herunder bør det overvejes at støtte ét eller flere projekter, som kan bidrage med nye konkrete erfaringer med teknologien og den nødvendige infrastruktur, og som kan belyse mulighederne for indpasning af elbiler som et fleksibelt lager i det danske elsystem. Elbilernes potentiale som energilager i samspil med elproduktionen fra vedvarende energi kan i de kommende år vise sig at blive en interessant dansk styrkeposition, idet det danske elsystem har en høj og forventet fortsat stigende andel af fluktuerende elproduktion fra vindmøller mv.
8. Og endelig, at den danske udviklingsindsats inden for nye energiteknologier til transportformål gøres til genstand for en **samlet evaluering** som led i de fireårige evalueringer regeringen har forslået i det nye energiudspil. Herved bliver det muligt, at vurdere den indbyrdes udvikling af de forskellige mulige transportteknologier, og at se dem i sammenhæng med udviklingen i øvrigt på transportområdet. Dette skal ske med henblik på at identificere eventuelle behov for revurdering af indsatsområder og virkemidler. Indsatsen bør i den forbindelse også vurderes i et **internationalt perspektiv**.

## **Bilag 1. Potentialet for alternative drivmidler**

### **1.1 Overordnet om begrænsninger i ressourcebasen**

Behovet for alternative drivmidler på længere sigt skyldes blandt andet udsigten til mere en mere sårbar og mere usikker forsyning med de traditionelle energikilder. Det gælder ikke mindst olie, men også naturgas og på længere sigt kul.

Ressourcerne til de alternative drivmidler er imidlertid heller ikke ubegrænsede. Vedvarende energiressourcer kan anvendes til andre formål end transport eller kan være begrænset af for høje omkostninger eller manglende teknologiudvikling. Særligt gælder for biomasseressourcerne, at der er konkurrence fra anvendelse i energisektoren. Desuden kan der være en række bæredygtighedshensyn m.v., herunder i forhold til miljøet, som også kan sætte begrænsninger for produktionskapaciteten og anvendelse af biomassen, herunder til transportformål.

Der hersker stor usikkerhed om de fremtidige ressourcepotentialer, både i dansk, EU- og global sammenhæng. Opgørelser af potentialer afhænger i høj grad af de forudsætninger, der anvendes med hensyn til produktivitets-forøgelse i landbruget, arealer til fødevarerproduktion, miljømæssige krav i landbrug og skovbrug mv. Potentialernes størrelse afhænger også i høj grad om der er tale om tekniske eller økonomiske potentialer. Der findes ikke konsistente potentiale-opgørelser, der anvender ensartede forudsætninger på tværs af geografi, tid og fagområde, herunder energi, landbrug, miljø.

Med hensyn til den forventede udvikling i de traditionelle energiressourcer og – reserver til fremstilling af drivmidler som benzin og diesel henvises til baggrundsmaterialet til Energistrategi 2025, der grundigt belyser den aktuelle viden herom.<sup>1</sup>

For vindressourcer mv. antages for Danmark, at det på langt sigt ikke vil være det tekniske, men det økonomiske potentiale, der vil være begrænset.

---

<sup>1</sup> <http://www.ens.dk/sw11628.asp>.

De danske ressourcer af biomasse, som kan anvendes til energiproduktion, og som i dag ikke anvendes til andre formål, kan opgøres til omkring 165 PJ/år i alt. Over halvdelen af denne ressource udnyttes i dag. Fordelingen på halm, træ, biomasse til biogas og affald fremgår af tabellen herunder. De uudnyttede ressourcer udgøres primært af halm og biomasser til biogasproduktion (husdyrgødning m.m.).

**Tabel 1. Ressourcer og anvendelse af biomasse til energiformål i Danmark**

Enhed: PJ	Potentiale	Forbrug 2005	Andel udnyttet
Halm	55	18,5	34 %
Træ	40	48,2	121 %
Biomasse til biogas	40	3,8	10 %
Affald, bionedbrydelig del	30	29,4	98 %
<b>I alt</b>	<b>165</b>	<b>99,9</b>	

Kilde: Energistyrelsens Energistatistik 2005 m.m.

Det fremgår, at forbruget af træ overstiger de danske ressourcer med 21 %. Forklaringen er, at der i dag importeres betydelige mængder træ primært i form af træpiller til energiformål. Den internationale handel med biomasse til energiformål er således allerede betydelig. Denne handel kan forventes at vokse kraftigt de kommende 10-20 år.

Det Europæiske Miljøagentur (EEA) har i rapporten "How much bioenergy can Europe produce without harming the environment" (EEA Report No 7, 2006) vurderet, at det miljømæssigt forsvarlige ("environmentally-compatible") biomassepotentiale i EU-25 vokser fra 190 MtOE i 2010 til omkring 295 MtOE i 2030. Det svarer omregnet til henholdsvis 8,0 EJ og 12,4 EJ. Ifølge EEA's opgørelse udgør affald 30-35 % af potentialet. Til sammenligning var EU-25's brug af biomasse til energi i 2006 på 69 MtOE (2,9 EJ).

Det må forventes, at anvendelse af biomasse til energiformål vil blive væsentligt forøget i de følgende år som følge af EU's beslutning for nylig om at dække 20 % er energiforbruget med vedvarende energi i 2020. En del af behovet vil blive dækket af import, sandsynligvis primært fra øst (Rusland, Ukraine m.fl.).

## **1.2 Udvikling i brændstoffektivitet og emissioner fra mineralisk benzin/diesel**

I dette afsnit redegøres for den forventede udvikling for konventionel benzin og diesel som drivmiddel i benzin- og dieselmotorer, der er den reference, alternative drivmidler og teknologier er vurderet i forhold til.

### **EU's CO<sub>2</sub>-mål**

EU-Kommissionen og bilindustrien indgik i 1997 en aftale om begrænsning af CO<sub>2</sub>-udslippet fra nye personbiler. I henhold til aftalen skulle det gennemsnitlige udslip fra

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

nye personbiler reduceres fra 185 g CO<sub>2</sub>/km i 1995 til 140 g CO<sub>2</sub>/km i 2008/2009, dvs. med ca. 25 pct.

Det indgik i aftalen, at målsætningen primært skulle nås ved tekniske forbedringer, herunder udvikling af benzinmotorer med direkte indsprøjtning. Denne udvikling er ikke forløbet som forventet. Til gengæld har man set en væsentlig stigning i andelen af dieselbiler. Udviklingen følges nøje med årlige rapporteringer.

Det var forventet, at reduktionen i CO<sub>2</sub> udslip ville være langsom i starten for derefter at tage fart. Man har imidlertid endnu ikke set den forventede stigning i reduktionsraterne. I lyset af, at bilproducenterne vanskeligt kan opfylde målene for 2008/2009, opererer EU Kommissionen i en meddelelse af 7. februar 2007 (KOM(2007) 19 endelig) med forslag til at realisere målsætningen om et gennemsnitligt udslip for nye personbiler på 120 g CO<sub>2</sub>/km i 2012. Det svarer til, at nye personbiler gennemsnitligt kan køre ca. 20 km/l konventionel benzin eller 22 km/l konventionel diesel.

Kommissionen forventer at fremlægge et direktivforslag i 2007-2008, hvorefter bilfabrikanterne pålægges at reducere det gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-udslip for nye personbiler til 130 g CO<sub>2</sub>/km i 2012 gennem forbedret motorteknologi. De sidste 10 g CO<sub>2</sub>/km skal efter Kommissionens tanker realiseres ved en bred vifte af tiltag, herunder krav til bilernes udstyr og øget brug af biobrændstoffer.

EU-målene er som anført gennemsnitstal for alle nye personbiler, men der findes allerede i dag en række mindre personbiler på markedet, som udleder under 120 g CO<sub>2</sub>/km.

I beregningerne til sammenligning af de forskellige drivmidler er disse antaget anvendt i en mindre mellemklassebil. Hvis der er tale om en dieselbil, der kører på ren konventionel diesel, forudsættes aktuelt et CO<sub>2</sub> udslip på 128 g/km. Hvis der er tale om benzinbil, der kører på ren konventionel benzin, forudsættes aktuelt et CO<sub>2</sub> udslip på 163 g/km. Det forudsættes at falde til ca. 108-130 g/km for en ny bil i 2025 afhængig af om der er tale om diesel- eller benzindrif.

Det svarer til, at den betragtede nye diesels brændstofeffektivitet forudsættes forbedret med ca. 19 pct. fra aktuelt 20,7 km/l til 24,6 km/l i 2025, mens benzins brændstofeffektivitet forudsættes forbedret med ca. 25 pct. fra aktuelt 14,7 km/l til 18,4 km/l i 2025.

### **EU's CO<sub>2</sub>-kvotesystem**

I opgørelsen af drivhusgas emissionerne ved fremstilling af drivmidlet tages som udgangspunkt ikke højde for, at udslippet af CO<sub>2</sub> fra store dele af energisektoren mm., herunder elproduktionen, er reguleret af EU's CO<sub>2</sub>-kvotesystem. Således er CO<sub>2</sub>-emissionerne fra produktion af den el, der medgår til produktion og distribution af drivmidlet, medregnet i opgørelsen af den samlede CO<sub>2</sub>-emission ved tilvejebringelse og anvendelse af drivmidlet. Formålet hermed er at synliggøre emissionen fra det medgæede elforbrug.

Tilsvarende er det økonomiske tab ved det således opgjorte udslip af drivhusgasser værdisat til en CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr. per ton. De samlede samfundsøkonomiske omkostninger er principielt de samme, uanset om omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-emissionerne indregnes via internalisering i en højere elpris, eller om de fysiske udslip værdisættes separat. I den udviklede beregningsmodel findes en funktionalitet, hvor brugeren selv kan vælge, hvorvidt omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-emissionerne skal medregnes via en højere elpris, eller uden om elprisen og med separat værdisætning. I praksis opstår der i nogle tilfælde en meget lille afvigelse mellem resultaterne af de to beregningsmetoder i beregningsmodellen.

### Brændstoffektivitet

Reduktion af CO<sub>2</sub> emissionen fra personbiler kan i et vist omfang opnås gennem forbedringer i bilernes brændstoffektivitet.

Der er i mange år sket en væsentlig forbedring af motorernes effektivitet. Dog er en betydelig del af effektiviseringen blevet modsvaret af, at bilerne er blevet stadig tungere, dels på grund af øget sikkerhedsudstyr, dels fordi bilerne gennemsnitligt er blevet større og mere kraftfulde.

Udviklingen i brændstoffektiviteten er i beregningerne forventet fortsat, således at der som nævnt er antaget en generel forbedring for benzin- og dieslbiler på hhv. 25 og 19 pct. Den samlede virkningsgrad for konventionel benzin og diesel fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 2. Virkningsgrader for konventionel diesel og benzin**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ/GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Konventionel benzin	14%	5%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Konventionel benzin	18%	6%

Den samlede virkningsgrad for hele kæden fra råstof til den mekaniske energi, der i sidste ende overføres til hjulet og driver køretøjet frem, er opgjort og udtrykt på to måder:

- Som *virkningsgrad ekskl. biprodukter*, hvor den endelige energi på hjulet ses i forhold til det samlede energiinput i hele kæden. Her tillægges biprodukter ingen værdi.
- Som *systemvirkningsgraden.*, hvor der tages højde for at en del af energiinputtet henføres til biprodukter.

## Alternative drivmidler i transportsektoren

De to mål udgør to forskellige måder at udtrykke virkningsgraden på, hvor den afgørende forskel er, hvad man forudsætter omkring de biprodukter, som evt. frembringes i et eller flere led i teknologi-sporet.

Tages diesel som eksempel, betyder dette, at systemvirkningsgraden medtager energiindholdet i den mængde benzin, der samtidig er produceret ud af råolien, mens virkningsgrad ekskl. biprodukter ikke medregner dette energiindhold.

De to mål for virkningsgraden vil derfor være ganske forskellige, hvis der er flere output fra teknologisporet, mens de vil være ens, hvis der kun kommer et output fra sporet. Derudover vil der kunne findes teknologispør, som ligner de medtagne, blot med andre biprodukter.

For en vurdering af de langsigtede perspektiver har særlig systemvirkningsgraden betydning, idet denne tager hensyn til, at en del af energiinputtet kan nyttiggøres til andre formål. Der er dog ikke taget stilling til hvilke formål.

Den samlede systemvirkningsgrad er højere for diesel end for benzin, og virkningsgraden målt i forhold til den mekaniske energi alene er også væsentlig højere for diesel. Dette skyldes dieselmotorens højere virkningsgrad. I beregningerne er der således antaget en virkningsgrad i motorerne i hhv. 2006 og 2025 på 16 og 20 pct. for benzinmotorer og på 21 og 25 pct. for dieselmotorer.

### Emissioner

Euro-normer betegner de totalharmoniserede udstødningsnormer for motorer, der gælder i EU. Det første sæt Euro-normer for motorkøretøjer trådte i kraft i 1993, og siden da er normerne blevet skærpet i flere omgange.

Ikrafttrædelse af Euro-normer for køretøjer og brændstoffer samt vedtagne og planlagte revisioner fremgår af nedenstående tabel.

**Tabel 3. Ikrafttrædelsestidspunkter for forskellige Euro-normer**

	<b>Euro 1</b>	<b>Euro 2</b>	<b>Euro 3</b>	<b>Euro 4</b>	<b>Euro 5</b>	<b>Euro 6</b>
Personbiler	1993	1997	2001	2006	<b>2011</b>	<b>2015</b>
Varebiler	1994	1998	2002	2007	<b>2012</b>	<b>2016</b>
Lastbiler og busser	1993	1996	2001	2006	2009	*)

\*) Forslag forventes fremsat i 2007.

Indførelsen af normerne fra Euro 1 til 4 har betydet meget væsentlige reduktioner af emissionerne. I nedenstående tabel er Euro 4 emissionsnormerne for personbiler præsenteret.



**Tabel 4. Euro 4 emissionsnormer for nye personbiler**

Enhed	Benzin		Diesel	
	g/km	kg/GJ mek	g/km	kg/GJ mek
CO	1,0	2,24	0,50	0,865
HC	0,10	0,224	-	-
HC+ NO <sub>x</sub>	-	-	0,30	0,519
NO <sub>x</sub>	0,08	0,179	0,25	0,433
Partikler	-	-	0,025	0,043

Note: Emissionerne udtrykt pr kg/GJ mek energi er beregnet ud fra anvendte forudsætninger om benzin- og dieselforbruget udtrykt som MJ mek/km. Disse er hhv. 2,24 og 1,73 MJ mek/km for benzin og diesel.

Køretøjernes emissioner for 2006 er forsøgt estimeret som emissionerne fra en ny Euro 4 bil med et blandet kørselsmønster, idet der dog forudsættes et lavere partikeludslip for dieselbilen. For diesel og benzin er emissionerne konkret fastsat ud fra "Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs" (personbiler, Euro 4, blandet kørsel). Da køretøjernes emissioner de seneste år er reduceret kraftigt i takt med EU's skærpede normer, er emissionerne for Euro 4 køretøjer markant lavere end emissionerne for den gennemsnitlige bilpark i dag. De kommende Euro 5 og 6 normer vil reducere emissionerne yderligere.

Emissionerne for de alternative drivmidler er estimeret ud fra data og viden fra en række internationale kilder om niveauet i forhold til emissionerne fra det konventionelle brændstof, som de erstatter. I praksis betyder dette, at emissionerne for rapsolie, DME, ethanol og naturgas stort set er på niveau med emissionerne fra diesel eller benzin. Der er taget højde for, at der ikke er svovl i naturgas og rapsolie.

De forudsatte emissioner for 2025 er i sagens natur udtryk for usikre skøn. Kravene til fremtidens emissionsnormer kendes endnu ikke, og det er uklart, hvor meget kravene vil blive skærpet i forhold til dagens niveau. Det er derfor pragmatisk antaget, at andre emissioner til luften end CO<sub>2</sub> halveres i forhold til dagens niveau. Udslippet af CO<sub>2</sub> mindskes i takt med den forudsatte forbedring af brændstoffektiviteten.

Ovenstående tabel viser alene emissionerne (Euro-normerne) fra køretøjet opgjort som g/km og som kg/GJ mek. I tabellen nedenfor vises de samlede emissioner for hele kæden for konventionel benzin og diesel i 2006 og 2025, dvs. inkl. emissioner fra raffinering, produktion og transport.

Tabel 5. Luftemissioner for konventionel benzin og konventionel diesel, kg/GJ mek

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Referenceprisen for konventionel diesel og benzin

De samfundsøkonomiske omkostninger ved at anvende alternative drivmidler i transportsektoren sammenholdes med de samfundsøkonomiske omkostninger ved at anvende konventionel diesel og benzin. De samfundsøkonomiske omkostninger opgøres i faktorpriser (dvs. eksklusive afgifter) inklusive værdisatte miljøvirkninger.

#### Samfundsøkonomisk pris på råolie

Ligesom i beregningerne til regeringens energiudspil "En visionær dansk energipolitik 2025" fra januar 2007 forudsættes en råoliepris på 50 USD/tønde, hvilket ved den forudsatte valutakurs DKK/USD på 6,0 svarer til 51,4 DKK/GJ.

Priserne på benzin og diesel ab raffinaderi og eksklusive afgifter beregnes ud fra råolieprisen med et tillæg for raffinering på 33 pct. for benzin og 25 pct. for diesel. Referenceprisen for benzin ab raffinaderi forudsættes således at være 68,40 DKK/GJ og for diesel at være 64,25 DKK/GJ.

#### Totale samfundsøkonomiske omkostninger ved anvendelse af konventionel diesel og benzin

Omkostningerne til brændstof udgør kun en mindre del af de samlede omkostninger. Specielt kapitalomkostningen til køretøjet vejer tungt.

De totale omkostninger for konventionel benzin og diesel fremgår af nedenstående tabel. Brændstof udgør i 2006 15 pct. af de totale samfundsøkonomiske omkostninger for dieselbiler og 20 pct. for benzinbiler.

Omkostningerne ved at anvende både diesel- og benzinbiler forventes at falde frem til 2025, primært fordi virkningsgraderne i motorerne forventes at stige.

De eksterne omkostninger i form af emissioner vil i 2006 være størst for dieselbiler, men de nærmer sig omkostningerne for benzinbiler i 2025.

**Tabel 6. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel benzin og konventionel diesel, DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889

### 1.3 Mulige kombinationer af alternative teknologier

I dette afsnit præsenteres eksisterende og fremtidige alternative teknologier, og der redegøres for valget af de 10 alternative teknologi-spor, der er set nærmere på.

Der findes allerede i dag en række energiteknologier til forsyning af transportsektoren som alternativ til olie, og disse forventes videreudviklet over de næste 10-20 år.

På basis af en gennemgang af litteratur på området er der opstillet en struktureret oversigt over de teknologi-elementer, der er i spil, eller forventes bragt i spil i løbet af de næste 10-20 år.

Oversigten består af 6 led, som involveres på vejen fra råstof til produktion af drivmidlet til nyttiggørelse heraf i bilen. De 6 led er:

- Råstof
- Konvertering af råstof
- Mellemprodukt - transport/distribution
- Konvertering af mellemprodukt
- Transportbrændstof - transport/distribution
- Motortype

De forskellige led i kæden er aktiviteter, der kan karakteriseres ud fra tekniske og økonomiske data, som er dokumenteret nærmere i en række fakta-ark i COWI's baggrundsrapport.

Råstofferne (fx hvede) er således karakteriseret ved pris, energiindhold og det energiforbrug, der er medgået til produktionen eller dyrkningen af råstoffet, samt miljøbelastninger ved produktionen.

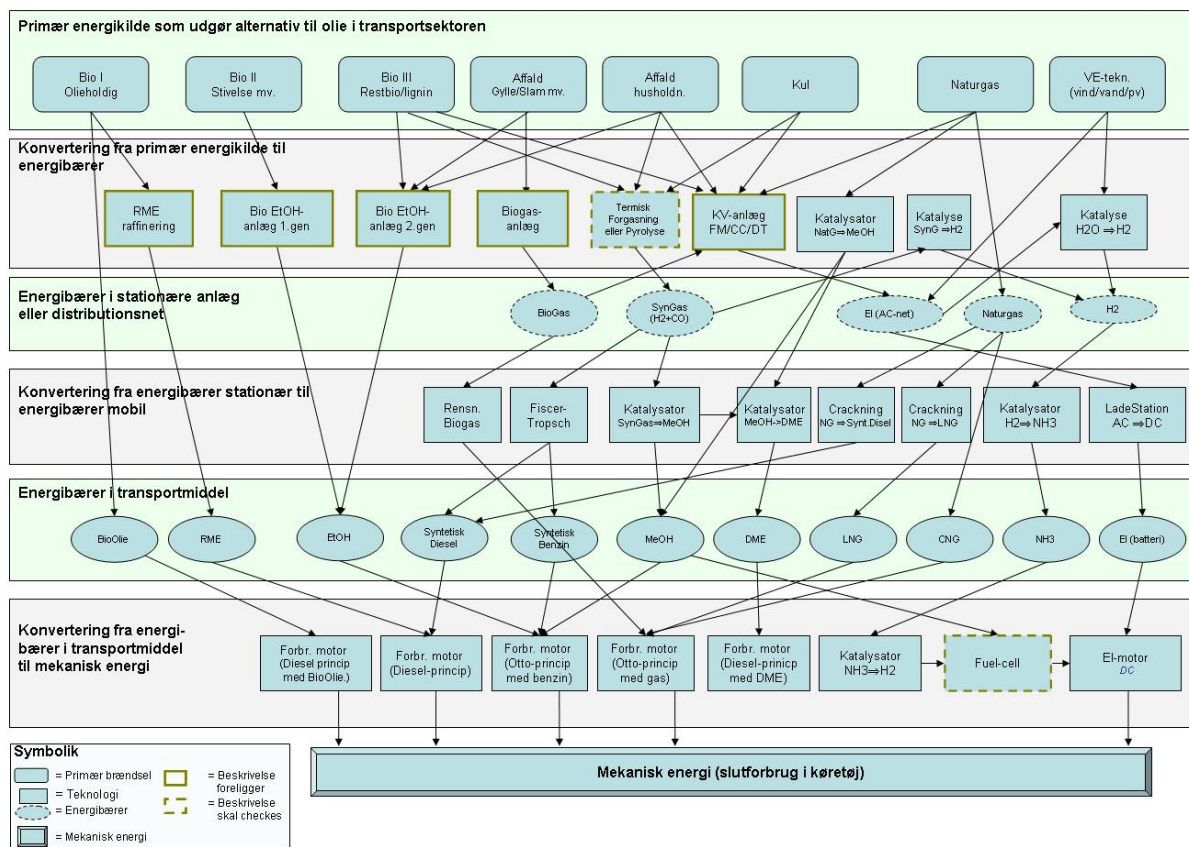
## Alternative drivmidler i transportsektoren

Konverteringen af råstoffer (samt konverteringen af mellemprodukt) er beskrevet ud fra et fakta-ark samt en kort beskrivelse af teknologien (kort teknologi-beskrivelse, input, output, fordele og ulemper, herunder miljø, og eksempler på Best Available Technology). Fakta-arket indeholder oplysninger opdelt på overordnede tekniske data (udbytte, kapacitet, levetid), output, energi (energiindhold i input og output samt virkningsgrad), økonomi og miljø.

Transportbrændstof - transport/distribution (samt mellemprodukt - transport/distribution) vedrører transport af brændstoffer fra raffinaderier/fabrikker til tankstationer samt distributionen af naturgas og el beskrevet ved oplysninger om pris, energiforbrug, distributionstab og miljøbelastninger.

Motortype er beskrevet ud fra et fakta-ark med en kort beskrivelse af motor-teknologien. Fakta-arket indeholder oplysninger opdelt på overordnede energi/tekniske data (virkningsgrad, levetid, ydelse), økonomi og miljø.

**Figur 1. Oversigt over energiteknologier til forsyning af transportsektoren som alternativ til mineralske olieprodukter**



## De 10 udvalgte teknologispør

Figur 1 viser en oversigt over teknologielementer, som kan indgå i et teknologi-spør for alternative drivmidler.

Elementerne kan kombineres på en række forskellige måder på tværs af leddene i kæden til at udgøre et teknologi-spor. Der findes for de fleste teknologi-elementer en hel række alternative teknologier som resulterer i samme produkt. Fx kan der udnyttes flere forskellige typer af afgrøder eller råvarer til produktion af samme drivmiddel, ligesom der kan anvendes forskellige proces-teknologier til konverteringen af råvarerne.

Dette giver samlet set et meget stort antal potentielle teknologi-spor, og af praktiske hensyn er det derfor nødvendigt at udvælge et begrænset antal spor og teknologier for en nærmere vurdering. Der er udvalgt 10 forskellige teknologi-spor samt tilhørende specifikke teknologier som indgår i teknologi-sporene.

Teknologi-sporene er udvalgt i et forsøg på bredt at dække de teknologier med et vist potentiale, som findes i dag eller forventes udviklet i løbet af de næste 10-20 år. Det er vigtigt at understrege, at der er tale om et udvalg, og at dette skal ses som en illustration af bredden af muligheder snarere end en angivelse af hvilke teknologier, der bør prioriteres.

De 10 udvalgte teknologier er:

- Bioethanol (1. generation E85 dvs. 85 pct. (vol.) ethanol og 15 pct. benzin)
- Bioethanol (2. generation E85)
- Biodiesel (RME)
- Rapsolie
- Naturgas
- Methanol fra biomasse
- Brint
- Elbiler
- Diesel fra kul
- DME (dimethyleter)

De 10 teknologier er undersøgt med hensyn til energieffektivitet, emissioner, samfundsøkonomi, ressourcepotentiale og danske kompetencer.

De udvalgte teknologier dækker både de såkaldte 1. generations teknologier som biodiesel produceret på raps og bioethanol produceret på hvede samt 2. generations teknologier i form af bioethanol produceret på halm. Desuden dækkes forgasning af biomasse med efterfølgende katalysator-proces til diesel eller methanol. Disse teknologier betegnes til tider også som 3. generationsteknologi. Endelig er el lagret i batteri og brint produceret fra el undersøgt.

Størstedelen af teknologisporene baserer sig, som de konventionelle benzin- og dieselspor, på køretøjer med forbrændingsmotorer. Brint og methanol anvendes dog via brændselsceller til elmotorer, mens el fra batteri direkte driver elmotorer.

Selvom udvælgelsen har søgt at afdække teknologierne med størst potentiale, er det vigtigt igen at understrege, at der kan findes andre teknologi-spor, der ud fra et økonomisk, energimæssigt og miljømæssigt perspektiv kan være ligeså løfterige som de

udvalgte, ligesom en anden teknologiudvikling end den antagne kan ændre billedet markant.

### **Forudsætninger**

Beregningerne er gennemført for den aktuelle situation og for en fremtidig situation, hvor de nye teknologier er tænkt udviklet til et kommercielt niveau, og hvor den fornødne infrastruktur er etableret. Der er således ikke taget højde for forskelle i omkostninger til etablering af den nødvendige infrastruktur de enkelte teknologispør imellem i de overordnede samfundsøkonomiske vurderinger.

Resultaterne af beregningerne er desuden behæftet med en væsentlig usikkerhed. Der er ganske stor usikkerhed om en række væsentlige inddata, fx det energiforbrug, der anvendes til produktion af afgrøder og andre råvarer, emissioner, prisudvikling osv. Endvidere hersker der i sagens natur usikkerhed om den teknologiske udvikling på længere sigt, især for de nye teknologier såsom 2. generation bioethanol og brændselsceller. Dette gælder både med hensyn til tekniske forhold og måske i endnu højere grad i forhold til omkostningerne.

Resultaterne af beregningerne skal derfor tages med forbehold, ligesom der ligger en opgave i løbende at forbedre datagrundlag og forudsætninger.

Infrastrukturen har sammen med den nødvendige motorteknologi stor betydning for, hvor hurtigt en teknologi rent praktisk kan indpasses i den danske energiforsyning.

Nogle drivmidler, fx biodiesel (RME) henholdsvis bioethanol kan tilsættes op til 5 pct. efter volumen til konventionel diesel henholdsvis benzin og anvendes direkte i eksisterende diesel- og benziner og distribueres gennem eksisterende tankstationer. Andre mulige spor, fx benzin med højt indhold af ethanol (fx 85 pct. efter volumen, dvs. E85), ren biodiesel (RME), rapsolie, komprimeret naturgas og DME fra biomasse kan anvendes i mere eller mindre modificerede benzin- og dieseler og distribueres som separate brændstoffer til tankstationer. Endelig forudsætter drivmidler som eksempelvis brint etablering af ny infrastruktur til produktion og distribution, ligesom teknologien kræver udskiftning af bilerne.

I beregningerne er der ikke taget hensyn til disse forskelle i kravene til infrastrukturen. Endvidere er udviklingsomkostningerne for de forskellige teknologier ikke medtaget.

Som tidligere omtalt udgør selve definitionen af et teknologi-spør en anden væsentlig usikkerhedsfaktor. Fx kan der anvendes flere forskellige typer af afgrøder eller råvarer til produktion af samme drivmiddel, ligesom der kan anvendes forskellige procesteknologier til konverteringen af råvarerne. Det skal i den sammenhæng særligt bemærkes, at det er forudsat, at der anvendes "dansk blandingsel" (der produceres på kul/gas/biomasse/vind) til produktionen af alternative drivmidler, herunder til produktion af brint og ladning af batteri i elbiler. Man kunne alternativt have forudsat, at der fortrinsvis anvendes el, når el har lav værdi, fx i forbindelse med overskudsproduktion af el på vindmøller eller anden vanskelig regulerbar produktion. Dette ville medføre lavere omkostninger for de alternative drivmidler - mest markant for brint og elbiler. På samme

måde ville ændrede antagelser kunne påvirke virkningsgraden og miljøpåvirkningerne markant.

## 1.4 Udvalgte teknologisor

I dette afsnit beskrives de 10 teknologisor kort. Beskrivelserne inkluderer en analyse og vurdering af teknologi-sporenes potentiale. For hvert teknologi-spor er der, udover en samfundsøkonomisk vurdering, gennemført en beregning af energieffektivitet og miljøbelastning i form af luftemissioner. Der er således gennemført en systematisk analyse af:

- **De samlede samfundsøkonomiske omkostninger** - hvad er de samlede samfundsøkonomiske omkostninger pr. GJ mekanisk energi (ved hjulet)? Der ses på totalomkostningen, heraf omkostningerne til drivmiddel og omkostningerne ved emissioner.
- **Miljøpåvirkning** - hvad er emissionerne pr. energienhed? For CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler.
- **Energieffektivitet** - hvad er den samlede virkningsgrad? To nøgletal præsenteres: Den samlede systemvirkningsgrad for alle processer fra råstof til mekanisk energi samt virkningsgrad uden biprodukter, dvs. den frembragte mekaniske energi i forhold til energiindhold i alle input.
- De totale samfundsøkonomiske omkostninger vil, særlig når der ses på 2025-resultaterne, være behæftet med en væsentlig usikkerhed. For bedre at kunne kvalificere diskussionen er totalomkostningerne opdelt på delsegmenter.
- De væsentligste omkostningssegmenter er:
  - Køretøjet – investering og drift og vedligehold (som udgør hovedparten af totalomkostningen for alle teknologisor.)
  - Drivmiddel

Dertil kommer eksterne omkostninger ved emissioner.

Det skal bemærkes af de samfundsøkonomiske omkostninger ikke er direkte sammenlignelige med de privatøkonomiske omkostninger et teknologisor vil påføre bilisterne. De privatøkonomiske omkostninger vil i høj grad afhænge af, hvilke virkemidler der bringes i anvendelse, herunder afgifter, tilskud osv.

Den samlede virkningsgrad er opgjort og udtrykt på to måder:

1. Som den samlede systemvirkningsgrad i alle processer fra råstof, konvertering, evt. transport/distribution af mellemprodukt, evt. konvertering af mellemprodukt, transport/distribution af drivmiddel og til sidst konvertering til mekanisk energi i motor). I alle procesled beregnes effektiviteten som energiindhold i alle nyttiggjorte

outputs i forhold til energiindhold i alle input. Produktet af effektiviteten i alle led giver systemvirkningsgraden for teknologisporet.

2. Som virkningsgrad uden biprodukter, dvs. den mekaniske energi i forhold til energiindhold i alle input. Her tillægges biprodukter ingen værdi.

Der er gennemført en systematisk sammenregning af energiindhold i de anvendte råstoffer, øvrige input samt output i teknologi-sporet. For rapsolie vil det eksempelvis sige energiindholdet i rapsfrø og energiforbruget til produktion heraf, konvertering af rapsfrø til rapsolie og biprodukter, primært i form af rapskager, samt energiforbruget til transport og distribution af rapsolie til salgssted og endelig virkningsgraden for en modificeret diesel-motor, som omdanner rapsolien til mekanisk energi. På denne baggrund er output i form af mekanisk energi og energiindhold i biprodukter sat i forhold til alle energiinputs (rapsfrø og energiforbrug til produktion, konvertering og distribution). Der er ikke taget højde for forskelle i energikvalitet mellem de forskellige produkter, ligesom der ikke er gjort overvejelser om, hvorvidt hele produktionen af et bi-produkt vil kunne nyttiggøres, såfremt teknologisporet vinder indpas i større skala.

I beregningen af den samlede systemvirkningsgrad forudsættes det, at energiindholdet i alle biprodukter har en nytteværdi. Dog vil "udbyttet" af biprodukter i høj grad afhænge af de specifikke valg indenfor teknologi-sporet, hvorfor der kan findes spor, der leder til samme drivmiddel, og som giver en højere systemvirkningsgrad. Ved beregningen af mekanisk energi i forhold til det totale energiinput i kæden, der danner teknologisporet, fås et udtryk for minimumseffektiviteten af teknologi-sporet.

### **Bioethanol (1. gen. E85)**

Bioethanol er et flydende brændstof fremstillet på grundlag af biomasse, der kan være dyrket direkte til formålet, men som også kan bestå af bionedbrydelige restprodukter og affald.

Bioethanol kan helt eller delvist erstatte almindelig benzin. Herudover kan bioethanol blandes i dieselolie i mindre mængder.

Der skelnes mellem 1. generations bioethanol produceret ud fra sukker- eller stivelseholdige afgrøder som sukkerroer, sukkerrør, majs, hvede etc. og 2. generations bioethanol produceret ud fra lignocellulose holdigt materiale som fx halm, græsser, (rest)træ og lignende.

Her ses der på 1. generations bioethanol, mens der efterfølgende ses på 2. generations bioethanol.

### ***Teknologien***

Med de nuværende teknologier til fremstilling af 1. generations bioethanol anvendes typisk majs, byg, hvede, sukkerroer, sukkerrør eller soja som gæres, hvorved sukkeret transformeres til alkohol.

I Europa er produktionen af bioethanol væsentligt mindre end produktionen af biodiesel, men på verdensplan er ethanol derimod det mest producerede biobrændstof, med en



produktion på mere end 18,3 mio. tons i 2003. Der er således tale om en velkendt og gennemprøvet teknologi.

Bioethanol kan bruges direkte som brændstof til benzinbiler eller i forskellige blandingsforhold med benzin. Benzin iblandet en andel bioethanol lavere end 5 pct. efter volumen kan uden videre anvendes i eksisterende motorer. Ved et højere andel af ethanol skal motoren være forberedt eller tilpasses til dette.

I det valgte teknologi-spor ses der konkret på produktion af ethanol (ved 1. generations-teknologi på hvedekerner), som iblandes 15 pct. benzin efter volumen til E85 til brug i tilpasset benzinmotor.

### ***Udviklingsindsats og danske kompetencer***

Teknologier til produktion og anvendelse af 1. generations bioethanol er velkendte, og der er derfor ikke noget stort udviklingspotentiale, om end produktionsprocesserne fortsat effektiviseres.

Der er i øjeblikket ingen dansk produktion af 1. generations bioethanol, men der har været undersøgelser i gang vedrørende en eventuel produktion i Kalundborg og i Sønderjylland baseret på hvede.

### ***Energibalance og -virkningsgrad***

Den samlede systemvirkningsgrad, målt som produktet af virkningsgraden i hvert led, for 1. generations bioethanol er blandt de laveste i dag for de 10 alternative drivmidler, der er analyseret. Den er også lavere end for konventionel benzin. Den lave systemvirkningsgrad skal ses i lyset af det relativt høje energiforbrug i konverteringen af hvede til ethanol.

Restproduktet ved ethanol fremstillingen kan anvendes til foder eller udnyttes i energiproduktionen. Opstrøms-energiforbruget til hvedeproduktion indvirker også på den samlede effektivitet for teknologisporet. Den væsentligste begrænsning ligger dog i forbrændingsmotoren.

**Tabel 7. Virkningsgrader for konventionel benzin og bioethanol (1. gen. E85)**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ/GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel benzin	14%	5%
	Bioethanol (1.gen. E85)	12%	7%
2025	Konventionel benzin	18%	6%
	Bioethanol (1.gen. E85)	15%	8%

### ***Emissioner***

Brug af 1. generations bioethanol i form af E85 anslås under de anvendte forudsætninger aktuelt at føre til ca. 13 pct. lavere udledning af CO<sub>2</sub> sammenlignet med ren konventionel

benzin stigende til 17 pct. i 2025. Til gengæld øges udledningen af de øvrige emissioner, dvs. CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> som følge af energiforbruget ved tilvejebringelse af ethanol. Som nærmere omtalt i afsnit 1.5 kan andre beregningsforudsætninger lede til et væsentligt andet beregnet fortrængt drivhusgas udslip.

**Tabel 8. Luftemissioner for konventionel benzin og bioethanol (1. gen. E85), kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
	Bioethanol (1.gen. E85)	451	0,006	0,010	0,137	1,002	0,000
2025	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000
	Bioethanol (1.gen. E85)	342	0,004	0,006	0,044	0,660	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Samfundsøkonomi

Omkostningerne til brændstof er ca. 55 procent højere ved at anvende 1. generations bioethanol frem for fossil benzin i 2006. I 2025 forventes den relative meromkostning at være nogenlunde uændret.

Omkostningerne til køretøjet er forudsat at være de samme som for konventionel benzin.

Ses der på de totale samfundsøkonomiske omkostninger er forskellen i 2006 12 pct. svarende til 350 DKK/GJ mek. Dette tal falder til 10 pct. svarende til 280 DKK/GJ mek i 2025.

**Tabel 9. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel benzin og bioethanol (1. gen. E85), DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
	Bioethanol (1.gen. E85)	3.294	964	87	3.380
2025	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889
	Bioethanol (1.gen. E85)	3.104	774	62	3.166

### **Bioethanol (2. gen. E85)**

I det valgte teknologi-spor ses der konkret på produktion af ethanol ved 2. generations-teknologi på basis af halm, som iblandes 15 pct. benzin efter volumen til E85 til brug i tilpasset benzinmotor.

#### ***Teknologien***

De nye 2. generationsteknologier til fremstilling af bioethanol, der er under udvikling, forventes på sigt at muliggøre produktion af bioethanol på basis af celluloseholdige restprodukter som fx halm, træflis og planteaffald. Lavere omkostninger for restprodukter gør energiinputtet til 2. generations bioethanol billigere end for 1. generationsteknologier, der baseres på højværdige landbrugsafgrøder.

Omdannelsen af cellulosematerialer til bioethanol kræver foruden traditionel gæring og destillation en avanceret forbehandling for at gøre de biologiske dele (cellulose og lignin) omsættelige for gæringsbakterier. Desuden er det nødvendigt at tilsætte enzymer til gæringsprocessen.

Hvor avanceret forbehandlingen skal være, afhænger af råmaterialet, og hvor stor en andel af brændslet, der skal konverteres til ethanol.

Til omsætning af lignocellulose (træ og halm) kan anvendes en vådoxidationsproces, hvor materialet finsnittes og trykkoges.

Fra gæringsprocessen kommer restprodukter, som har et stort energiindhold, og som med fordel kan udnyttes i et forbrændings- eller forgasningsanlæg (termisk eller biologisk) eller delvist som foder.

Bioethanol kan som tidlige nævnt bruges direkte som brændstof til benzinbiler eller i forskellige blandingsforhold med benzin. Benzin iblandet 5 pct. bioethanol efter volumen kan uden videre anvendes i eksisterende motorer. Ved et højere andel af ethanol skal motoren være forberedt eller tilpasses til dette.

#### ***Udviklingsindsats og danske kompetencer***

2. generations bioethanol er under udvikling. Udviklingen ventes at føre til et fald i omkostningerne til fremstilling af bioethanol, da råmaterialet er billigere end det, der anvendes til produktion af 1. generations bioethanol. Desuden forventes 2. generation at bidrage til et større potentiale i forhold til at dække transportsektorens samlede energibehov, da produktionen kan baseres på et større sortiment af råbiomasse, herunder restprodukter.

Der er række danske aktører involveret i udviklingen af 2. generations bioethanol, herunder:

- Risø: Udvikler en vådoxidationsproces til omsætning af lignocellulose (træ og halm), hvor materialet finsnittes og trykkoges.
- DONG Energy: Omsætning af halm/helsæd, pilotanlæg.
- DTU-Biocentrum: Biogas, fermentering.

- Københavns Universitet, Det Biovidenskabelige Fakultet: Samarbejder med DTU og RISØ.

### **Energibalance og -virkningsgrad**

Energiforbruget til fremstilling af 2. generations bioethanol er umiddelbart større end til fremstilling af 1. generations bioethanol, bl.a. på grund af behovet for energi til forbehandling. Som nævnt kommer der fra processen et restprodukt med et stort energiindhold, og det er afgørende for den samlede energibalance, hvilken anvendelse dette restprodukt finder. Det er desuden afgørende for en integreret systemvurdering, at der så vidt muligt anvendes overskudsvarme/spildvarme til processen.

Da teknologierne er under udvikling, er det ikke muligt at opgøre virkningsgraden i dag. Hvis den forventede udvikling materialiseres vil den samlede systemvirkningsgrad i 2025 være blandt de ringeste af de alternative drivmidler, der her er set på. Den er også lavere end for konventionel benzin. Den lave virkningsgrad skal holdes op imod de mulige alternative anvendelser af de biomasseresourcer, der udnyttes.

**Tabel 10. Virkningsgrader for konventionel benzin og bioethanol (2. gen. E85)**

År	Teknologi-spor	System- virkningsgrad GJ/GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel benzin	14%	5%
	Bioethanol (2. gen. E85)	n.a.	n.a.
2025	Konventionel benzin	18%	6%
	Bioethanol (2. gen. E85)	15%	6%

### **Emissioner**

Brug af 2. generations bioethanol i form af E85 fører under de gjorte forudsætninger til et fald i CO<sub>2</sub>-udslippet på ca. 20 pct. sammenlignet med ren konventionel benzin. Til gengæld øges udledningen af CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>.

Samlet udledes mindre CO<sub>2</sub> ved anvendelse af 2. generations bioethanol end 1. generations bioethanol. Som nærmere omtalt i afsnit 1.5 kan andre beregningsforudsætninger lede til et væsentligt andet beregnet fortrængt drivhusgas udslip.

Tabel 11. Luftemissioner for konventionel benzin og bioethanol (2.gen. E85), kg/GJ mek

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
	Bioethanol (2.gen. E85)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2025	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000
	Bioethanol (2.gen. E85)	328	0,005	0,008	0,056	0,440	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Samfundsøkonomi

Omkostningerne til brændstof er næsten 50 pct. højere i 2025 ved at anvende 2. generations bioethanol frem for fossil benzin, men lavere end for 1. generations bioethanol.

Ses der på de totale samfundsøkonomiske omkostninger er forskellen i 2025 8 pct. svarende til ca. 230 DKK/GJmek.

Tabel 12. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel benzin og bioethanol (2. gen. E85), DKK/GJ mek

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
	Bioethanol (2.gen.)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2025	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889
	Bioethanol (2.gen.)	3.064	734	58	3.121

### **Biodiesel (RME)**

Biodiesel fremstilles typisk af olieholdige frø, men nye metoder gør det også muligt at anvende mange andre råvarer som fx slagteriaffald i form af fedt.

I det valgte teknologi-spor ses der på produktion af biodiesel ud fra rapsfrø (forkortes RME - Rapsolie Methyl Ester).

### **Teknologien**

Produktionen af biodiesel foregår ved, at rapsfrøene presses til rapsolie, som derefter gennemgår en raffineringsproces, hvor glycerinen fjernes fra olien. Hermed bliver olien til en methylester, der kan tilsættes almindelig diesel med op til 5 pct. efter volumen eller anvendes i større koncentrationer evt. rent i i tilpassede dieselmotorer.

Rapskager fremkommer som et biprodukt fra presningen af rapsfrøene. Rapskagerne finder typisk anvendelse som foder.

Biodiesel er i dag det biobrændstof, som der anvendes mest af i Europa. Især i Tyskland og Frankrig er der mange tankstationer med biodiesel.

### **Udviklingsindsats og danske kompetencer**

Biodiesel produceret på rapsfrø er et såkaldt 1. generations biobrændstof, og potentialet for at videreudvikle teknologien vurderes at være begrænset.

Flere danske virksomheder er involveret i produktion af biodiesel. Den største producent er Emmelev A/S, der hvert år producerer ca. 100.000 tons biodiesel på basis af rapsfrø. Hovedparten eksporteres til lande, hvor afgiften på biodiesel er reduceret væsentligt i forhold til afgiften på konventionel diesel. Desuden arbejder Daka Bio-industries med at fremstille biodiesel ud fra animalsk fedt.

### **Energibalance og -virkningsgrad**

Den samlede systemvirkningsgrad for biodiesel er lav sammenlignet med fossil diesel. Målt i forhold til den mekaniske energi alene er forskellen derimod beskednen.

**Tabel 13. Virkningsgrader for konventionel diesel og biodiesel**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ/GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Bio diesel (RME)	10%	9%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Bio diesel (RME)	12%	11%

Generelt fremstår biodiesel (RME) som en af de teknologier, der har den laveste systemvirkningsgrad målt som produktet af virkningsgraderne i hvert led i teknologi-sporet.

### Emissioner

Brug af biodiesel fører til ca. 60 procent lavere udledning af CO<sub>2</sub> sammenlignet med konventionel diesel. Dog udledes der mere NO<sub>x</sub> som følge af elforbrug ved konverteringen.

**Tabel 14. Luftemissioner for konventionel diesel og biodiesel (RME), kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Biodiesel (RME)	164	0,004	0,016	0,017	1,599	0,045
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Biodiesel (RME)	136	0,003	0,008	0,007	1,013	0,022

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Samfundsøkonomi

De beregnede omkostninger til brændstof er over 35 pct. højere ved at anvende biodiesel frem for fossil diesel i 2006. Ses der på de totale samfundsøkonomiske omkostninger, er forskellen i 2006 knap 5 pct. svarende til 135 DKK/GJ mek. Dette tal falder til ca. 4 pct. eller 115 DKK/GJ mek i 2025.

**Tabel 15. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel og biodiesel (RME), DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Biodiesel (RME)	3.046	601	82	3.129
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Biodiesel (RME)	2.935	506	52	2.987

## Rapsolie

### Teknologien

Rapsolie, kan anvendes i særligt tilpassede dieselmotorer, uden at olien gennemgår en raffineringsproces og dermed bliver til biodiesel. Som nævnt ovenfor kommer der rapskager som biprodukt ved presningen af rapsfrøene.

Den væsentligste ulempe ved at bruge vegetabilsk olie frem for biodiesel er, at motoren under alle omstændigheder skal modificeres. Dette skyldes, at rapsolien er mere tyktflydende end fossil diesel ved samme temperatur, og at dele af olien udfældes ved lave temperaturer. De nødvendige modificeringer koster i omegnen af 12.000 DKK pr. bil.

Det tyske marked for brugen af rene planteolier som brændstof i biler er det marked i Europa, der er længst fremme i udviklingen. Den tyske vognpark, drevet af rene planteolier (mere end 5.000), udgør således mere end 95 pct. af den samlede europæiske vognpark, der kører på rene planteolier. Markedet for rene planteolier udgør dog kun en marginal niche i det samlede europæiske brændstofmarked til transport.

### Udviklingsindsats og danske kompetencer

Da udstyret til at producere rapsolie er relativt simpelt, findes der en lang række små og mellemstore producenter af rapsolie i Danmark. Desuden er der en flere interesseorganisationer (herunder Nordvestjysk Folkecenter), der søger at udbrede viden om brug af rene planteolier til transport.

Rapsolie er et mere simpelt produkt end biodiesel. Udviklingsmulighederne for teknologien er begrænsede.

### Energibalace og -virkningsgrad

Den samlede systemvirkningsgrad for rapsolie, målt som produktet af virkningsgraderne i hvert led, er meget lav sammenlignet med fossil diesel.

Målt i forhold til den mekaniske energi alene er forskellen derimod beskednen. Rapsolie har faktisk en lidt højere virkningsgrad, hvilket skyldes at en større del af energien i raps omdannes til rapsolie i forhold til råolie til diesel.

**Tabel 16. Virkningsgrader for konventionel diesel og rapsolie**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ/GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Rapsolie	11%	10%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Rapsolie	13%	12%

Generelt fremstår rapsolie som en af de teknologier, der har de laveste virkningsgrader.



### Emissioner

Brug af rapsolie fører til ca. 60 pct. lavere udledning af CO<sub>2</sub> sammenlignet med fossil diesel. Derimod udledes der mere NO<sub>x</sub>.

**Tabel 17. Luftemissioner for konventionel diesel og rapsolie, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Rapsolie	163	0,003	0,016	0,014	1,613	0,045
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Rapsolie	135	0,002	0,008	0,005	1,026	0,022

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Samfundsøkonomi

Omkostningerne til brændstof er godt 100 DKK/GJ mek højere for rapsolie end for fossil diesel i 2006.

Ses der på de totale samfundsøkonomiske omkostninger øges forskellen som følge af omkostningen ved at modificere dieselmotoren. I 2006 er meromkostningen ca. 10 pct. svarende til 285 DKK/GJ mek, hvilket er nogenlunde uændret i 2025.

**Tabel 18. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel og rapsolie, DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Rapsolie	3.196	544	82	3.278
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Rapsolie	3.109	458	52	3.161

### Naturgas

Naturgas kan komprimeres og benyttes i en tilpasset benzin-motor (otto-motor). I Danmark er det ikke nødvendigt at raffinere naturgassen, inden den komprimeres, da den danske naturgas ikke indeholder svovl.

### Teknologien

Der er tale om velkendt teknologi og der findes flere bilmodeller på markedet. Naturgas til transportformål er bl.a. udbredt i Italien og Argentina.

### Udviklingsindsats og danske kompetencer

Der er relativt begrænsede muligheder for at udvikle teknologien, udover de muligheder der ligger i at forbedre virkningsgraden i benzin-motorer generelt.

Naturgas som drivmiddel i køretøjer anvendes allerede i dag i en række europæiske lande - særligt i busser. Der er ikke betydelige danske erfaringer eller kompetencer på området.

### Energibalance og -virkningsgrad

Den samlede systemvirkningsgrad for naturgas er høj sammenlignet med konventionel benzin. Det skyldes, at der for naturgas er et mindre opstrøms-energiforbrug og et beskedent energiforbrug til distribution af naturgas. Målt som output mekanisk energi i forhold til det samlede energiinput er virkningsgraden for naturgas høj, fordi der ikke indgår processer med produktion af biprodukter i teknologisporet.

Tabel 19. Virkningsgrader for konventionel benzin og naturgas

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ /GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel benzin	14%	5%
	Naturgas	15%	15%
2025	Konventionel benzin	18%	6%
	Naturgas	18%	18%

Den relativ høje virkningsgrad skal holdes op imod alternative anvendelser af naturgas.

### Emissioner

Brug af naturgas fører til lavere udledning af CO<sub>2</sub> sammenlignet med fossil benzin. Til gengæld øges udledningen af de øvrige drivhusgasser CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. Endelig udledes der lidt mindre NO<sub>x</sub>.

Omregnes drivhusgasserne til CO<sub>2</sub>-ækvivalenter er der knap 15 pct. lavere udledning for naturgas end for konventionel benzin i 2006. Sammenlignes med diesel er drivhusgas udledningen fra naturgas knap 15 pct. højere i 2006. I 2025 er den samlede udledning af drivhusgasser fra gas og diesel på samme niveau.

**Tabel 20. Luftemissioner for konventionel benzin og naturgas, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
	Naturgas	422	1,324	0,005	0,026	0,199	0,000
2025	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000
	Naturgas	334	0,442	0,003	0,008	0,107	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### **Samfundsøkonomi**

Omkostningerne til brændstof er ca. 20 pct. lavere ved at anvende naturgas frem for konventionel benzin i 2006.

Naturgassen forbrændes i en tilpasset benzin motor (otto motor). Tilpasningen er skønnet at være forbundet med meromkostninger på 18.000 DKK i forhold til en konventionel benzinmotor.

Meromkostningen til køretøjet mere end opvejer de lavere omkostninger til brændstoffet, og derfor er de samlede samfundsøkonomiske omkostninger lidt højere for naturgas end for konventionel benzin i 2006 (1 pct. svarende til 30 DKK/GJ mek). I 2025 er sporet for naturgas derimod billigere end benzin (4 pct. eller 110 DKK/GJ mek).

**Tabel 21. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel benzin og naturgas, DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
	Naturgas	2.985	482	71	3.056
2025	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889
	Naturgas	2.717	389	53	2.771

### **Methanol fra biomasse**

I det valgte teknologi-spor ses der specifikt på produktion af methanol på basis af træ, hvorefter methanolen anvendes i en bil med brændselsceller og elmotor.

#### ***Teknologien***

Methanol kan produceres ud fra biomasse, fx træ. Biomassen omdannes til syntesegas, som igen omdannes til methanol (MeOH) via katalysator.

Methanol kan anvendes i transportsektoren på flere forskellige måder.

Til anvendelse i forbrændingsmotorer kan methanol blandes med benzin eller diesel eller helt erstatte disse brændstoffer.

Det er i dag tilladt at tilsætte op til 3 pct. methanol efter volumen til alm. benzin, men større iblandinger af methanol kan nødvendiggøre en ændring af den anvendte benzinmotor, som følge af methanolens korrosive egenskaber. Der findes allerede i dag motorer, der kan anvende en benzin-methanol blanding med op til 85 pct. methanol. Ligeledes kan tilsætning af methanol til alm. diesel nødvendiggøre en ændring af den anvendte dieselmotor.

Ud over brugen som brændstof til forbrændingsmotorer kan methanol bruges i biler med elmotorer. Methanolen anvendes da som kemisk energikilde i en brændselscelle. Brændselsceller omformer methanolen til elektricitet via katalysator, hvorefter den producerede el anvendes i elmotorer til fremdrivning af bilen. Methanolen kan anvendes direkte i dertil beregnede brændselsceller. Alternativt kan der udskilles brint fra methanol i en reformer, hvorefter brinten anvendes i brændselscellen.

Elmotoren har en væsentlig højere virkningsgrad end forbrændingsmotoren, og selv når konverteringstab i brændselscellerne indregnes, opnås der en høj energieffektivitet sammenlignet med forbrændingsmotorer. Samtidig opnås der en fordel i det lokale miljø, idet der ikke udledes partikler direkte fra køretøjet.

Brændselscelleteknologien er ikke kommercielt færdigudviklet. Der er enkelte brændselscellebiler på markedet i dag, men teknologien er fortsat meget dyr.

I det valgte teknologispor ses der specifikt på produktion af methanol på basis af træ, hvorefter methanolen anvendes i en bil med brændselsceller og elmotor.

#### ***Udviklingsindsats og danske kompetencer***

Udviklingshorisonten for både den nødvendige forgasningsteknik og brændselscelleteknologi er lang, men begge teknologier vurderes at have stort potentiale i flere sammenhænge.

Der findes danske kompetencer vedrørende termisk forgasning af biomasse bl.a. på RUC og DTU. En række danske virksomheder og forskningsorganisationer arbejder med at udvikle brændselsceller, herunder IRD, DTU, AUS og TI.

### Energibalance og -virkningsgrad

Den samlede systemvirkningsgrad for methanol produceret på biomasse, målt som produktet af virkningsgraderne i hvert led, er på niveau med konventionel diesel, og relativt høj sammenlignet med de fleste andre betragtede alternative drivmidler til transportsektoren.

Målt i forhold til den mekaniske energi alene fremstår methanol fra biomasse som værende bedre end de konventionelle brændstoffer. Det skyldes især elmotorens høje virkningsgrad. Desuden indgår der ikke processer med produktion af biprodukter i teknologisporet.

**Tabel 22. Virkningsgrader for konventionel diesel/benzin og methanol fra biomasse**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ /GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Konventionel benzin	14%	5%
	Methanol fra biomasse	19%	19%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Konventionel benzin	18%	6%
	Methanol fra biomasse	24%	24%

### Emissioner

Teknologisporet med methanol fra biomasse fremviser markant lavere emissioner end de konventionelle drivmidler, undtagen for SO<sub>2</sub>. Dette skyldes i høj grad, at der ikke er nogen emissioner fra elmotoren.

**Tabel 23. Luftemissioner for konventionel diesel/benzin og methanol fra biomasse, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
	Methanol fra biomasse	90	0,002	0,003	0,065	0,251	0,000
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000
	Methanol fra biomasse	62	0,001	0,002	0,020	0,145	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Samfundsøkonomi

Omkostningerne ved at bruge methanol i biler med brændselsceller og elmotor er i dag meget højere end for de konventionelle fossile brændstoffer, fordi køretøjet er meget dyrt. Et sådant køretøj vurderes at koste i omegnen af 1 mio. kroner i dag eksklusive afgifter mod ca. 80.000 kr. for en konventionel benzin-bil.

Omkostningerne ved at bruge teknologien forventes dog at falde markant frem til 2025, hvor prisen på køretøjet er anslået til ca. 125.000 kroner. Selv da vil teknologien ikke være fuldt konkurrencedygtig med de konventionelle teknologier. Skønnet for omkostningsreduktionen for køretøjet er naturligvis behæftet med stor usikkerhed, men illustrerer de store forventninger til udviklingen af teknologien.

**Tabel 24. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel/benzin og methanol fra biomasse, DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
	Meth. fra biomasse	15.989	798	19	16.008
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889
	Meth. fra biomasse	3.099	370	12	3.111

## **Brint**

I det analyserede teknologispør ses der på produktion af brint ved elektrolyse, dvs. spaltning af vand ved hjælp af elektricitet produceret som dansk blandingsel. Efterfølgende komprimeres brinten.

### ***Teknologien***

Brint ( $H_2$ ) er en energibærer, som skal fremstilles ved hjælp af en energiresource. Før en udbredt anvendelse af brint som energibærer kan finde sted, skal en række problemstillinger omkring produktion, lagring og transport af brint samt omkring de sikkerhedsmæssige forhold forbundet med håndteringen løses.

Brintmolekylet er det mindste af alle, hvilket stiller store krav til de materialer, der anvendes til beholdere, rør, tætninger mv. Man har dog lang erfaring med håndtering af brint, især til industrielle anvendelser og i rumfartsindustrien.

Brint kan produceres på mange måder. Den mest almindelige måde er forgasning eller reformering af naturgas eller kul. Fremstilling af brint ud fra fossile brændsler løser ikke  $CO_2$  problemet, med mindre det sker i kombination med opsamling og deponering af  $CO_2$ . Brint kan også fremstilles ved elektrolyse ud fra elektricitet og vand, ved fotokatalyse eller ved biologiske processer ud fra biomasse, for eksempel i kombinerede processer til fremstilling af brint, ethanol og biobrændsel.

Brint fremstilles i dag til en række industrielle anvendelser. I 2002 var produktionen af brint på verdensplan ca. 50 mio. tons, svarende til  $500 \text{ GNm}^3$ , hvoraf 90 pct. blev produceret på basis af naturgas. Dette svarer til 2 pct. af verdens energiforbrug.

Fremstilling af brint indebærer et energitab.

Brinten kan, som methanol, anvendes i biler enten med forbrændingsmotorer eller i biler med brændselceller i kombination med elmotorer.

Ved forbrænding omsættes brint til vand under frigivelse af energi. Anvendelse af brint som energibærer kan således gøres helt fri for miljøbelastninger lokalt – med vand som det eneste restprodukt. Ved forbrænding i luft og ved høj temperatur opstår dog også  $NO_x$ .

I brændselceller kan brint anvendes til direkte produktion af el til fremdrift af en elmotor (ofte i kombination med et mindre batteri). Vand er det eneste restprodukt fra processen.

En udbredt anvendelse af brint kræver etablering af en ny infrastruktur, ligesom de sikkerhedsmæssige forhold omkring anvendelse af brint kræver særlige løsninger.

Brint kan forekomme som fast, flydende og gas. Det mest almindelige er at opbevare og distribuere brint enten under tryk i tanke ved 100-1000 bar eller i flydende form i kryogenbeholdere ved minus 250 grader C. Omformningen til højt tryk eller flydende

form sker imidlertid under anvendelse af energi – op til 50 pct. af energiindholdet i brinten.

Lagring af brint er problematisk, idet brint har lav energitæthed sammenlignet med fossile brændsler, hvilket blandt andet udgør et problem i relation til køreradius for brintbiler. Der eksperimenteres med flere teknologier til brintlagring, herunder metalhydrider. Brint i store mængder kan lagres i underjordiske formationer (kaverner) under højt tryk, hvilket er den mest økonomiske teknik for storskalalagre.

Den komprimerede brint anvendes i en eldrevet bil, hvor elproduktionen sker ombord i bilen ved hjælp af brændselsceller, der omformer ren brint eller brintholdige brændstoffer til elektricitet ved hjælp af en elektro-kemisk proces.

Teknologien er ikke kommercielt færdigudviklet, hverken mht. brændselsceller eller lagringssystemer for brint i bilen. Teknologien findes dog på markedet i dag, men er fortsat meget dyr.

### ***Udviklingsindsats og danske kompetencer***

Udviklingshorisonten for brint-teknologien er lang, da der mangler væsentlig udvikling for at gøre brintdrevne brændselsceller kommercielt tilgængelige.

En række danske virksomheder og forskningsorganisationer arbejder med at udvikling brændselsceller, herunder IRD, DTU, AUS og TI.

### ***Energibalance og -virkningsgrad***

Den samlede systemvirkningsgrad for brint er lavere end for fossil diesel og en lang række af de andre alternative drivmidler til transportsektoren i 2006. Dette skyldes ikke uvæsentlige energitab i flere procesled. Som følge af en forventning om en betydelig teknologiforbedring, bl.a. en effektivisering af elektrolysen, forventes systemvirkningsgraden på lang sigt at kunne blive relativt høj sammenlignet med de øvrige alternative drivmidler.

Det skal bemærkes, at der ikke er regnet med nyttiggørelse af biprodukter (varme) ved elproduktionen.

**Tabel 25. Virkningsgrader for konventionel diesel/benzin og brint**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ /GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Konventionel benzin	14%	5%
	Brint	10%	8%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Konventionel benzin	18%	6%
	Brint	18%	15%



### Emissioner

Brug af brint fører til markant lavere emissioner, fordi der ikke sker udledning af emissioner fra selve køretøjet. Dog stiger udledningen af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> med det valgte teknologi-spor som følge af kraftværkernes udledning ved elproduktion. Der vil dog være gode muligheder for at tilpasse brintproduktion til eksempelvis elproduktionen fra vindmøller. Ved at producere brint i perioder, hvor der er vindenergi til rådighed, reduceres miljøbelastningen markant.

**Tabel 26. Luftemissioner for konventionel diesel/benzin og brint, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
	Brint	670	0,015	0,026	0,591	1,609	0,000
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000
	Brint	397	0,012	0,017	0,157	0,674	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### Samfundsøkonomi

Omkostningerne ved at bruge brint i biler med brændselsceller og elmotorer er i dag meget højere end for de konventionelle fossile brændstoffer, fordi køretøjet er meget dyrt. Et brint-køretøj med brændselsceller vurderes at koste i omegnen af 1 mio. kroner i dag, eksklusiv afgifter mod ca. 80.000 kr. for en konventionel benzin-bil.

Omkostningerne forventes dog at falde markant frem til 2025, hvor prisen på en brint-bil med brændselsceller forventes at blive ca. 125.000 kroner. Dette skøn er naturligvis behæftet med stor usikkerhed, men illustrerer de store forventninger, der er til udviklingen af teknologien.

**Tabel 27. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel/benzin og brint, DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
	Brint	15.915	425	146	16.062
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889
	Brint	3.109	380	75	3.184

## **Elbiler**

Ligesom for brint er det i denne analyse antaget, at der anvendes dansk blandingsel til opladning af batterierne.

### ***Teknologien***

Elbilen har eksisteret i et århundrede, men har aldrig nået samme udbredelse som benzin- og dieslbiler. Elbiler er baseret på kendt teknologi, hvor elektricitet lades på et batteri i bilen og anvendes i en elmotor.

Den store udfordring ligger i at udvikle batterier, som kan give elbiler egenskaber, der matcher benzinbilens egenskaber. I sagens natur er der grænser for, hvor megen plads og vægt batteriet kan optage.

Tidligere har det været et problem at få batterier af en rimelig størrelse til at levere tilstrækkelig effekt til at opnå de ønskede hestekræfter. Dette kan løses i dag, om end der ofte går på kompromis med andre egenskaber af hensyn til rækkevidden. I dag ligger den største udfordring således i at opnå en rækkevidde på en optankning, som er sammenlignelig med benzinbilens. En typisk elbil har i dag en aktionsradius på 70-100 km mod benzinbilens ca. 700 km. Derudover skal batterierne gerne kunne fyldes hurtigere end i dag, hvor en fuld opladning kan tage op til 4 timer, og batteriernes levetid skal forbedres for dermed at reducere de løbende omkostninger til udskiftning af batterier.

Såfremt elbiler skal være den almindelige teknologi engang i fremtiden, vil der skulle være et stort antal muligheder for at oplade bilens batteri. Eksempelvis kunne parkeringspladser forsynes med elektricitet til opladning af bilen.

Elbilen har en række fordele: energieffektiviteten er høj, motoren er næsten lydløs, og der udledes ikke skadelige stoffer direkte fra køretøjet. Der er dog skadelige emissioner ved produktion af el, ligesom batteriet byder på miljømæssige udfordringer.

### ***Udviklingsindsats og danske kompetencer***

Elbiler er en kendt teknologi, men batterikomponenten forventes forbedret og billiggjort frem til 2025. Der er desuden en stigende interesse i specielt Japan og USA for el- og hybridbiler.

Der er ikke samlede danske kompetencer om elbiler, men delkompetencer findes bl.a. på AUC og RUC.

### ***Energibalance og -virkningsgrad***

Den samlede virkningsgrad for elbiler er meget høj sammenlignet med konventionel diesel/benzin og sammenlignet med alle andre alternative drivmidler til transportsektoren. Det samme gælder, når virkningsgraden udtrykkes som den mekaniske energi i forhold til det samlede input.

Elbilen fremstår således med den bedste virkningsgrad af alle de teknologier. Årsagen er en høj virkningsgrad i elmotoren og relativt begrænsede energitab i ledene frem til

motoren. Det skal bemærkes, at der ikke er regnet med nyttiggørelse af biprodukter (varme) ved elproduktionen.

**Tabel 28. Virkningsgrader for konventionel diesel/benzin og elbiler**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ /GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Konventionel benzin	14%	5%
	Elbiler	30%	30%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Konventionel benzin	18%	6%
	Elbiler	37%	37%

### **Emissioner**

Elbiler udleder ikke direkte skadelige stoffer, men produktionen af el medfører skadelige emissioner. Samlet fremstår elbiler dog som en teknologi, der fører til få emissioner undtagen, undtagen af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Der vil endog være gode muligheder for i stort omfang at tilpasse opladning af biler til eksempelvis elproduktionen fra vindmøller. Ved at koncentrere elforbruget i perioder, hvor der er vindenergi til rådighed, reduceres miljøbelastningen yderligere.

**Tabel 29. Luftemissioner for konventionel diesel/benzin og elbiler, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Konventionel benzin	516	0,003	0,004	0,017	0,223	0,000
	Elbiler	249	0,005	0,010	0,219	0,600	0,000
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Konventionel benzin	413	0,002	0,002	0,013	0,146	0,000
	Elbiler	182	0,006	0,008	0,072	0,312	0,000

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### **Samfundsøkonomi**

Omkostningerne ved at bruge elbiler er i dag højere end for de konventionelle fossile brændstoffer, da de årlige batteriomkostninger er relativt høje. Disse omkostninger forventes at falde væsentligt frem til 2025, og den samlede omkostning på længere sigt forventes at ville nærme sig omkostningen ved de konventionelle teknologier.

Tabel 30. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel/benzin og elbiler, DKK/GJ mek

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
	Elbiler	3.972	173	54	4.026
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Konventionel benzin	2.824	494	64	2.889
	Elbiler	3.067	192	35	3.102

### Diesel fra kul

Kul omdannes til syntesegas, som igen omdannes via katalysatorer til syntetisk diesel.

#### Teknologien

Syntetisk diesel produceret på kul kan anvendes i en normal diesel motor. Teknikken er velkendt og syntetisk brændstof blev blandt andet brugt under 2. verdenskrig.

#### Udviklingsindsats og danske kompetencer

Der er relativt ringe mulighed for at udvikle teknikken til fremstilling af syntetisk diesel yderligere.

Teknikken har bl.a. stor interesse i Kina pga. høje oliepriser.

I Danmark udvikler Haldor Topsøe katalysatorer til konvertering af syntesegas til flydende diesel.

#### Energibalance og -virkningsgrad

Den samlede virkningsgrad for syntetisk diesel er lav sammenlignet med fossil diesel. Dette skyldes et betydeligt energiforbrug i forbindelse med forgasnings- og katalysatorprocesserne.

Målt i forhold til den mekaniske energi alene er virkningsgraden for syntetisk diesel dog bedre end for konventionel diesel. Dette skyldes dog udelukkende, at energiindholdet i benzinen (som fremstilles samtidig med konventionel diesel) ikke er medtaget i beregningen.

**Tabel 31. Virkningsgrader for konventionel diesel og diesel fra kul**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ /GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	Diesel fra kul	13%	13%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	Diesel fra kul	16%	16%

#### Emissioner

Anvendelse af syntetisk diesel medfører generelt en højere udledning af skadelige stoffer end konventionel diesel. Dette skyldes primært energiforbruget ved konverteringen af kul til diesel.

**Tabel 32. Luftemissioner for konventionel diesel og diesel fra kul, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	Diesel fra kul	513	0,004	0,018	0,071	1,492	0,045
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	Diesel fra kul	421	0,003	0,010	0,023	0,874	0,022

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### **Samfundsøkonomi**

Syntetisk diesel produceret på kul er økonomisk konkurrencedygtigt med konventionel diesel, når olieprisen er høj. Med den anvendte oliepris i 2006 på 51,4 DKK/GJ er brændstofomkostningerne dog ca. 85 DKK/GJ mek højere for diesel fra kul sammenlignet med konventionel diesel.

Det er desuden værd at bemærke, at det kræver meget store anlæg og dermed meget store investeringer at kunne gennemføre den termiske forgasning af kul effektivt.

**Tabel 33. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel og diesel fra kul, DKK/GJ mek**

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	Diesel fra kul	2.968	523	135	3.103
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	Diesel fra kul	2.869	440	94	2.962

### **DME (bio-DME)**

I det valgte teknologi-spor ses der specifikt på produktion af bio-DME (dimethyleter) på basis af træ til anvendelse i en standard diesel motor. Motoren er modificeret til at kunne anvende DME som brændstof, og der er installeret en tryktank.

### **Teknologien**

Restprodukter fra skov og landbrug (træ og halm) er kendetegnet ved at have et højt indhold af lignin og cellulose. Især lignin, men også cellulose, er meget vanskelig at nedbryde biologisk.

Der kan udvindes en relativ høj andel brændstof af disse restprodukter ved anvendelse af termisk forgasningsteknologi. I en termisk forgasser omsættes det faste brændsel til brændbare gasser ved temperaturer omkring 800°C.

Disse gasser kan i en efterfølgende katalysator omdannes til forskellige former for biobrændstoffer herunder bio-DME. Det er kendetegnende for processerne, at der kan opnås en høj omsætning af brændstoffet (fast brændsel til gas), og at omdannelsen fra gas til flydende brændstof foregår i en katalysator, som er under tryk (5-50 bar afhængig af proces).

De termiske konverteringsteknologier betegnes ofte under en samlet betegnelse som BtL (Biomass to Liquid) brændstof.

Teknologien til at fremstille DME fra biomasse afhænger af fortsat udvikling af forgasningsteknologien (forgasningsgas).

### **Udviklingsindsats og danske kompetencer**

Tidshorizonten for en kommerciel udnyttelse af bio-DME synes at være lang. Flere danske virksomheder og forskningsinstitutioner udvikler biomasse forgasningsteknikker, herunder Weiss A/S, TK-Energim, DTU og DONG Energy. Desuden arbejder Haldor Topsøe med konvertering af syntesegas (mellemproduktet) til DME via katalysatorer.

Også i udlandet er der stor interesse for DME, bl.a. i Kina idet DME også kan produceres via forgasning af kul. Volvo interesserer sig ligeledes for DME og er med i udviklingsprojekter, herunder i samarbejde med DTU, som i en årrække har testet anvendelse af DME i motorer.

### **Energibalance og -virkningsgrad**

Den samlede virkningsgrad for teknologisporet med bio-DME er lav sammenlignet med fossil diesel. Dette skyldes bl.a., at der ikke er forudsat nyttiggørelse af biprodukter (varme) ved forgasningen.

Målt i forhold til den mekaniske energi alene er effektiviteten til gengæld højere end ved fossil diesel.

**Tabel 34. Virkningsgrad for konventionel diesel og DME**

År	Teknologi-spor	System-virkningsgrad GJ /GJ	Virkningsgrad ekskl. biprodukt GJ mek out/GJ input
2006	Konventionel diesel	19%	8%
	DME	11%	11%
2025	Konventionel diesel	22%	10%
	DME	13%	13%

### **Emissioner**

Brug af DME fører til markant lavere udledning af CO<sub>2</sub> sammenlignet med fossil diesel. Dog udledes mere SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>.

**Tabel 35. Luftemissioner for konventionel diesel og DME, kg/GJ mek**

År	Teknologi-spor	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
2006	Konventionel diesel	394	0,003	0,015	0,013	1,115	0,045
	DME	158	0,005	0,020	0,116	1,379	0,045
2025	Konventionel diesel	331	0,001	0,008	0,010	0,618	0,022
	DME	117	0,004	0,011	0,038	0,739	0,022

Anm.: Opstrøms emissioner af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O indgår alene i det anførte CO<sub>2</sub>-udslip (udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter).

### **Samfundsøkonomi**

Omkostningerne ved produktion af bio-DME forventes at falde markant frem til 2025, hvor det dog fortsat forventes at være dyrere end konventionel diesel. Dertil kommer højere omkostninger til en modificeret motor, der vurderes at være omtrent 20.000 DKK dyrere end en konventionel diesel motor.

Ses der på de totale samfundsøkonomiske omkostninger er forskellen i 2006 28 % svarende til 830 DKK/GJ mek. I 2025 forventes forskellen at være reduceret til ca. 24 pct. svarende til 700 DKK/GJ mek, hvilket afspejler, at omkostninger ved produktion af bio-DME ventes at falde.



Tabel 36. Samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel og DME, DKK/GJ mek

År	Teknologi-spor	Totalomk.	heraf brændstof	Værdi emissioner	Samf. øk. omk.
2006	Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
	DME	3.741	925	83	3.823
2025	Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
	DME	3.530	731	47	3.577

## 1.5 Tværgående analyser af teknologisporene

I det følgende sammenfattes en række hovedresultater fra gennemgangen af de enkelte teknologispør. Desuden suppleres den tværgående resultatpræsentation med overordnede systemanalyser for anvendelse af halm/biomasse til transportformål, mens integration af vindenergi og transport alene kommenteres kvalitativt.

Resultaterne skal fortolkes med stor varsomhed. For det første er analyserne som udgangspunkt partielle, idet der ikke tages højde for, at ændringer i transportenergiforbrugets sammensætning på energityper kan have virkninger for de relative priser og forsyningen med brændselstyper og biomasse til anvendelser uden for transportsektoren. Til delvis belysning af sidstnævnte suppleres resultaterne med en beregning, der sammenligner alternative energimæssig anvendelse af biomasse (halm).

For det andet er beregningsresultaterne omgærdet af meget stor usikkerhed vedrørende de konkrete beregningsforudsætninger. Først og fremmest er det i høj grad muligt, at den teknologiske udvikling frem til 2025 kan vise sig at forløbe væsentligt anderledes end forudsat. Det gælder især nye teknologier som 2. generations biobrændstoffer og brændselceller, men også en kommercielt mindre gennemprøvet teknologi som batteridrevne elbiler. Hertil kommer, at det for et givet drivmiddel er muligt at gennemføre den samme produktion på forskellige måder, som adskiller sig fra hinanden med hensyn til direkte og indirekte (opstrøms) energiforbrug og dertil knyttede drivhusgasemissioner, økonomi osv. For de økonomiske beregningsresultater gælder desuden, at de afhænger afgørende af en lang række forudsætninger om priser på fossil energi, afgrøder, biprodukter osv., der kan vise sig ikke at holde stik. Priserne på råenergi og landbrugsprodukter kan erfaringsmæssigt udvise betragtelige og uforudsigelige udsving.

Generelt bør det tages i betragtning, at storstilet omlægning til et alternativt drivmiddel umiddelbart vil trække i retning af at øge prisen på netop dette drivmiddel i forhold til det forudsatte. Omvendt kan stigende efterspørgsel aflede en teknologiudvikling, som billiggør det pågældende teknologispør, især hvis der er tale om en mindre afprøvet teknologi, og hvis efterspørgselsstigningen er international.

### 1.5.1 Samfundsøkonomi

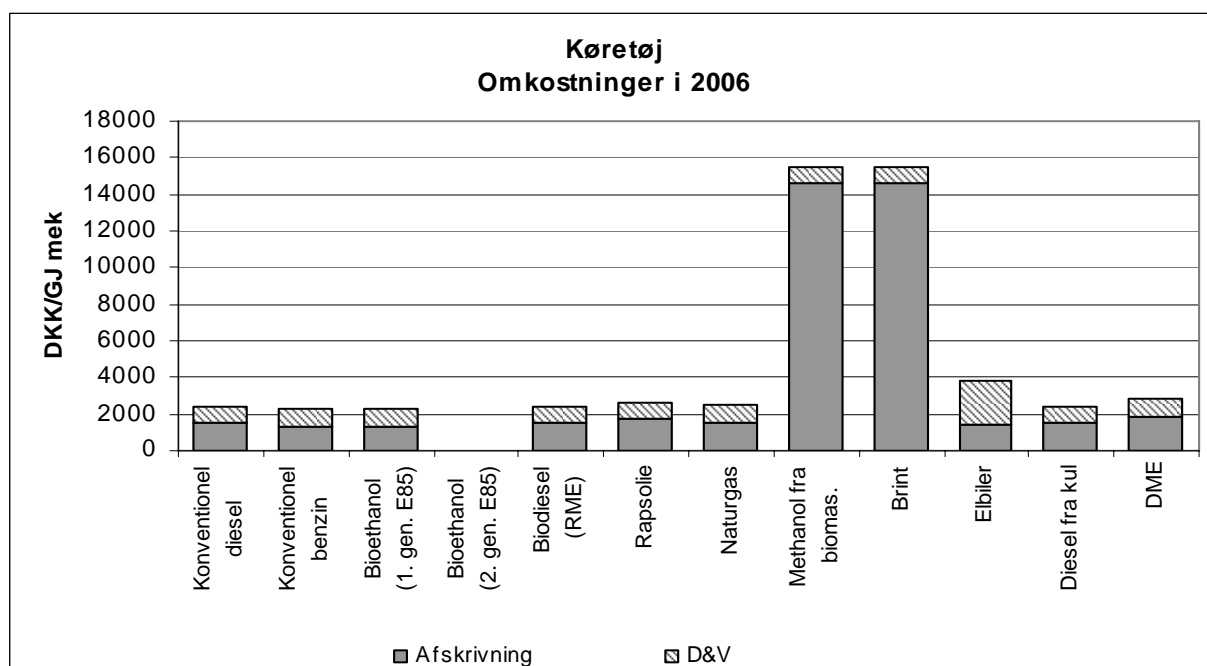
De samlede omkostninger kan opdeles i omkostninger til:

- Køretøjet – investering og drift og vedligehold
  - Udgør hovedparten af totalomkostningen for alle teknologispør.
- Drivmiddel inkl. emissioner
  - Udgifter til primært energiinput og til konvertering, distribution m.v. samt værdisatte miljøpåvirkninger

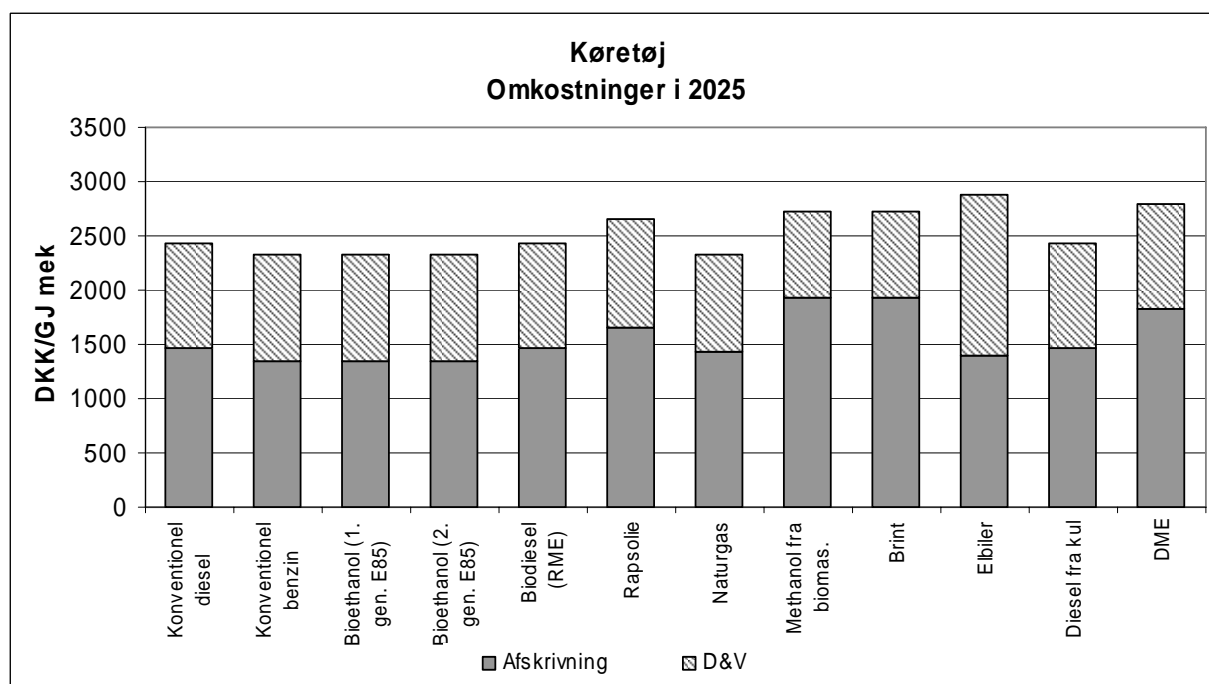
#### Omkostninger til køretøjet

Bortset fra brændselceller biler og batteridrevne elbiler er køretøjet for alle teknologispør sammenligneligt med køretøjet i den konventionelle benzin/diesel løsning. I 2006 ses

omkostningerne til køretøjet da også at være sammenlignelige, bortset fra brændselscelle biler baseret på methanol eller brint og batteridrevne elbiler.



Frem mod 2025 forventes der en væsentlig teknologiudvikling og billiggørelse af brændselsceller og brintlagring. Der forventes også en vis udvikling for elbiler. For de konventionelle løsninger forventes en mere moderat udvikling, som primært giver sig udtryk i en forbedret brændstofeffektivitet.



Resultaterne for 2025 viser således en væsentlig mindre variation i omkostningerne til køretøjet. Der er i sagens natur væsentlig usikkerhed ved at anslå et teknologi- og prisniveau 20 år frem i tiden, i særlig grad når der er tale om teknologier, der i dag ikke er markedsmodne. Mens forskelle i omkostninger til køretøj for de teknologispør der anvender benzin- eller dieselmotorer med evt. modifikationer må formodes at være små, ligger den afgørende usikkerhed i udviklingen i omkostningerne til brændselscelle biler og batteridrevne elbiler.

Omkostningen til køretøjet ligger for de fleste løsninger under 10 procent højere end benzinbilen (dog rapsolie +24 procent, DME +36 procent og methanol/brint +44 procent.)

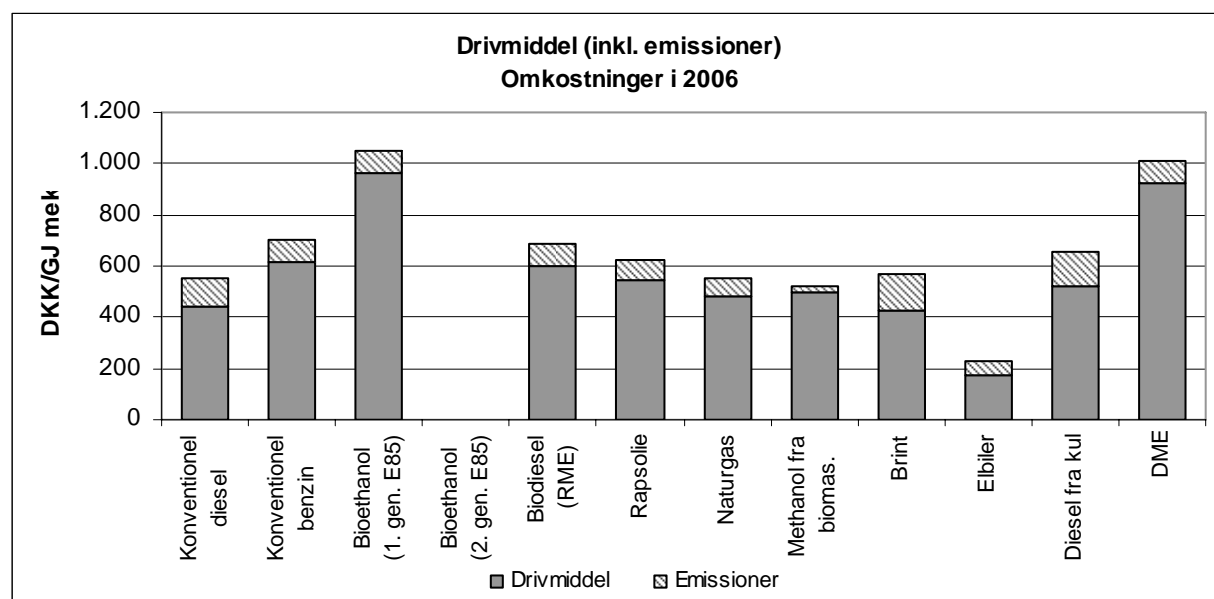
Medtages udgifter til drift og vedligehold bliver elbilen den dyreste (+23 procent). Omkostningsvurderingen for denne teknologi er meget følsom overfor forventninger til batteriomkostninger og batterilevetid, da udskiftning af batterier udgør den væsentligste post. Derudover er DME (+20 procent), methanol/brint (+17 procent) og rapsolie (+14 procent) noget dyrere end benzinbilen.

Den lille variation i de forventede omkostninger til køretøjet for de forskellige teknologispør i 2025 gør det vanskeligt at drage håndfaste konklusioner på dette punkt, særligt når usikkerheden i forventninger til teknologiudvikling tages i betragtning.

Ingen af køretøjerne fremviser stærkt afvigende omkostninger i 2025, og det synes ikke usandsynligt, at den teknologi, der får den største udbredelse på verdensplan, også bliver den billigste. For el (og brint) vil en eventuel brugeraccept af en lavere aktionsradius have stor betydning idet omkostninger til lagerkapacitet vejer tungt.

#### Omkostninger til drivmiddel

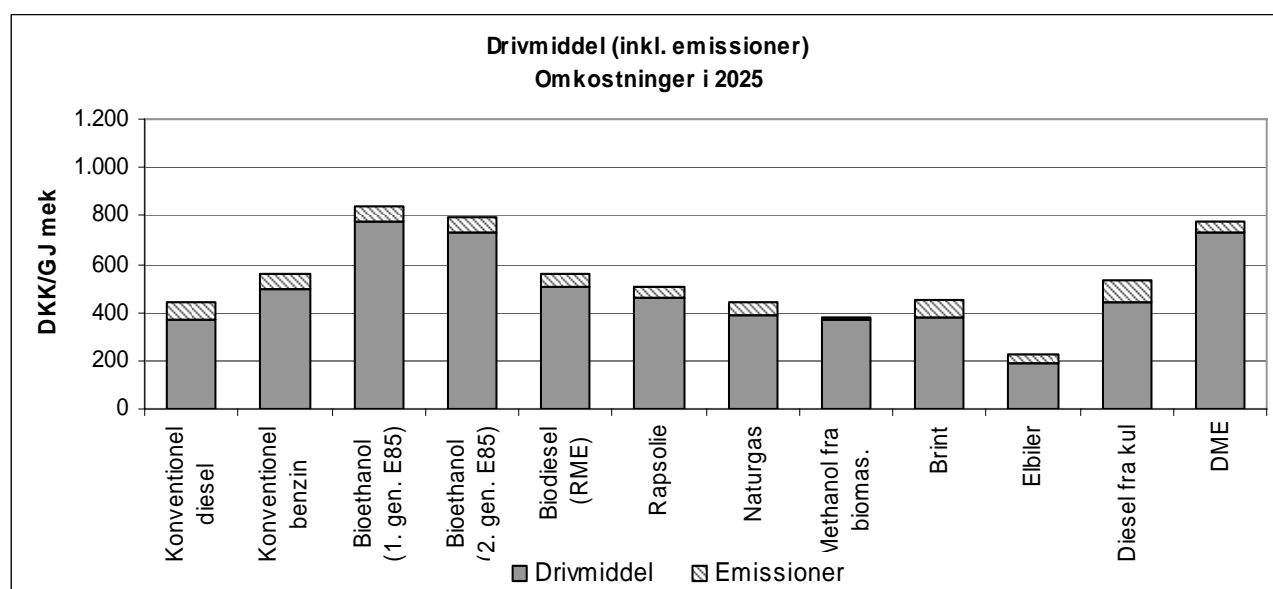
Omkostningerne til det drivmiddel, der "fyldes på tanken", udviser en væsentlig større relativ variation. Det er valgt at medtage omkostningerne ved emissionerne fra drivmidlet i denne betragtning, da de i høj grad er bestemt af det anvendte drivmiddel.



## Alternative drivmidler i transportsektoren

I 2006 ses der at være en række drivmidler med lavere omkostninger end benzin, mens kun methanol og el er billigere end diesel. Med til billedet hører den relativ høje oliepris, men omkostningerne for en række af de øvrige drivmidler forudsættes i beregningerne i større eller mindre omfang koblet til olieprisen.

Der er ikke beregnet omkostninger for 2. generations bioethanol i 2006, da den konkrete betragtede teknologi ikke findes i industriel fuldskala i dag.



I 2025 er billedet nogenlunde det samme som i 2006. For alle teknologier er drivmiddelomkostningerne reduceret, som konsekvens af en forbedret motoreffektivitet. For el modvirkes dette dog af en antagelse om en stigende elpris. Alligevel udmærker elbilen sig med en drivmiddelomkostning, der er mindre end halvt så stor som diesel.

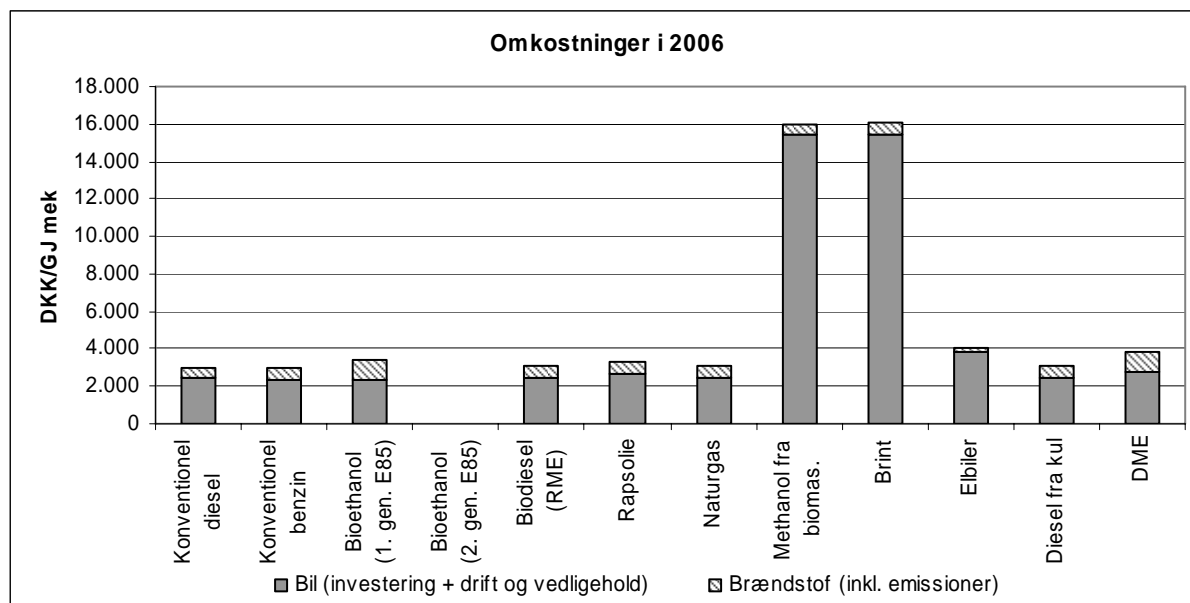
Vurderingerne på langt sigt er meget afhængig af forudsætningerne om ressourcepriser. Desuden afhænger de af forudsætninger om procesomkostninger og energiudnyttelse.

### Samlede omkostninger

På kort sigt fremviser naturgas, diesel fra kul, biodiesel og rapsolie de laveste samlede meromkostninger blandt de betragtede alternativer til benzin og diesel.

Meromkostningerne i forhold til konventionel benzin/diesel udgår for disse teknologi-spør først og fremmest fra selve brændstofferne, idet eventuelle omkostninger til at tilpasse køretøjerne er begrænsede sammenlignet med omkostningerne ved konventionelle benzin/diesel-biler.

For rapsolie og biodiesel er den afgørende parameter verdensmarkedsprisen på rapsfrø i forhold til verdensmarkedsprisen på fossil diesel. For naturgas er brændstofomkostningerne lave som følge af at naturgassen som udgangspunkt er billigere end benzin. Det skal dog bemærkes, at der ikke medregnet omkostninger til infrastruktur jf. den efterfølgende diskussion.

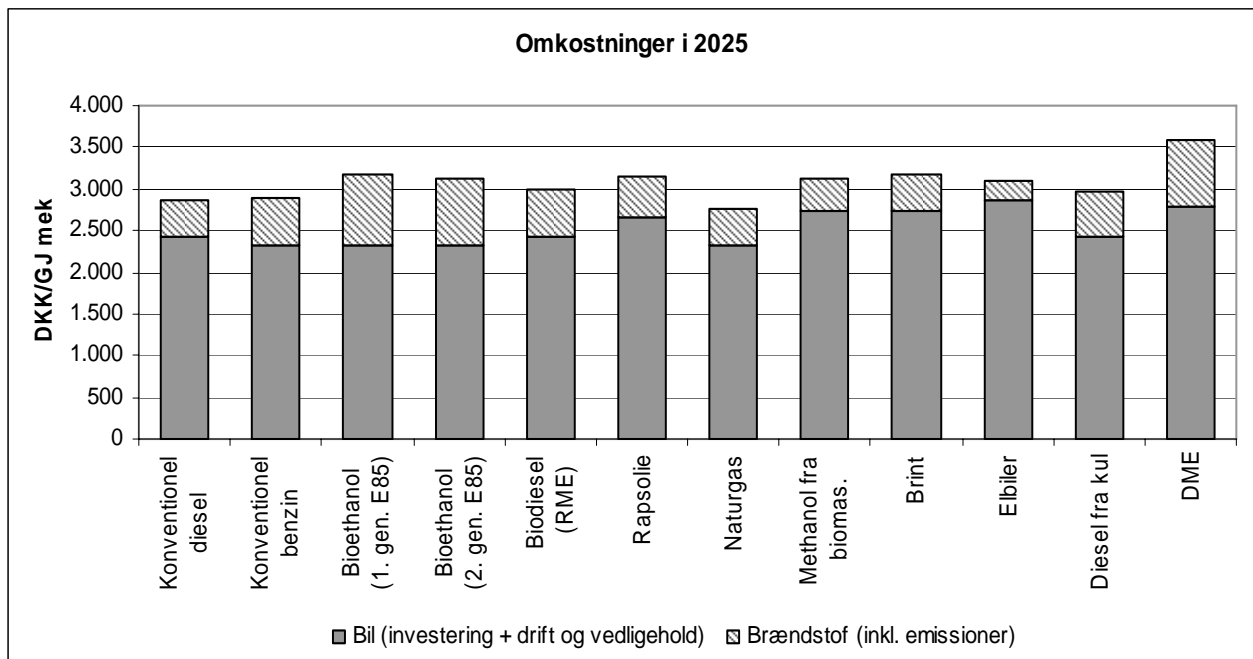


Omkostningerne ved produktion af syntetisk diesel ud fra kul ligger i beregningerne forholdsvis tæt på omkostningerne ved konventionel diesel. Dette indikerer at denne teknologi kan være en back-stop teknologi i tilfælde af konstant høje oliepriser. Såfremt den klimapolitiske indsats skærpes væsentligt, og CO<sub>2</sub>-omkostningen dermed stiger markant, kan denne teknologi dog hurtigt fordyres afgørende.

Omkostningerne til produktion af bioethanol ud fra 1. generationsteknologien er høj, hvilket kan tilskrives en relativt høj pris på hvede og betydelige omkostninger til konverteringen til ethanol. I år 2025 forventes 2. generations bioethanol at kunne produceres billigere end 1. generations bioethanol. For 2. generations bioethanol er omkostningerne ved selve konverteringen meget højere end for 1. generations. Til gengæld er råstofprisen på halm langt mindre end råstofprisen på hvede, hvilket mere end opvejer de ekstra omkostninger til konverteringen.

På længere sigt er der en række af de alternative drivmiddelspor, som kan forventes at blive væsentlig billigere. Som følge af den forventede teknologiske udvikling, især i brændscelleteknologien, bliver brint og methanol væsentlig mere attraktive. For elbiler er prisreduktionen mindre markant. En eventuel brugeraccept af en lavere aktionsradius kan her have stor betydning idet omkostninger til lagerkapacitet vejer tungt.

Naturgas fremviser i 2025 de laveste samlede omkostninger. Det skal dog igen bemærkes, at der ikke medregnet omkostninger til infrastruktur. Overordnet set er forskellene i omkostninger mellem de forskellige teknologispør små, særligt under hensyn til den væsentlige usikkerhed der er forbundet med en langsigtet vurdering.



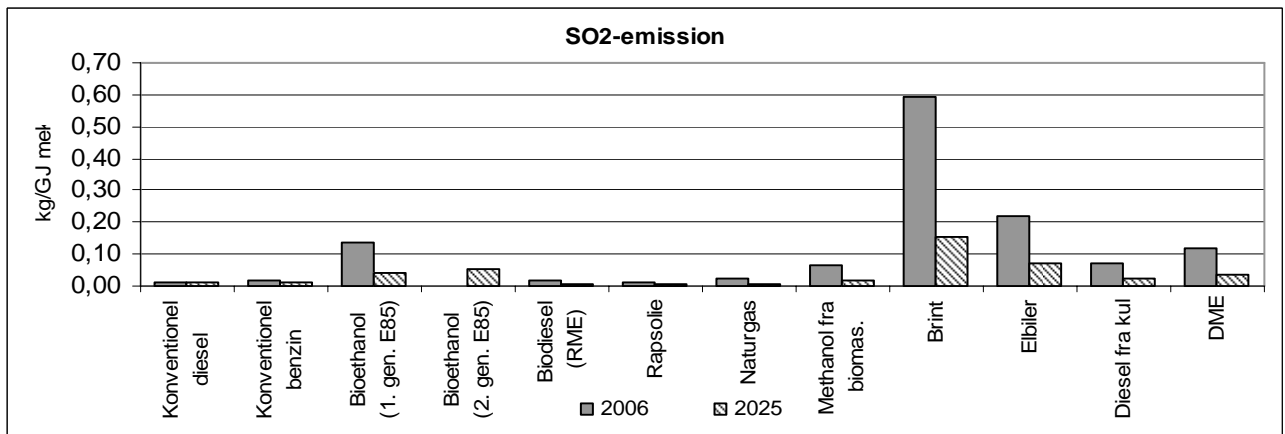
### 1.5.2 Miljø

Miljøpåvirkningen fra et teknologispor består dels af den lokale forurening, som udgår fra energiomsætningen i køretøjet, dels af de emissioner, der finder sted ved tilvejebringelse og distribution af drivmidlet. Det vil sige, at de opgjorte emissioner så vidt muligt omfatter hele systemkæden fra indvinding startende med råenergien, derefter konvertering, evt. transport/distribution af mellemprodukt, evt. konvertering af mellemprodukt, transport/distribution af drivmiddel og til sidst konvertering til mekanisk energi på hjulet.

For hvert teknologispor er kvantificeret og værdisat de samlede emissioner af  $SO_2$ ,  $NO_x$  og partikler samt drivhusgasserne  $CO_2$ ,  $CH_4$  og  $N_2O$ , der sammenvejes til  $CO_2$ -ækvivalenter med de relative drivhuseffekter som vægte.

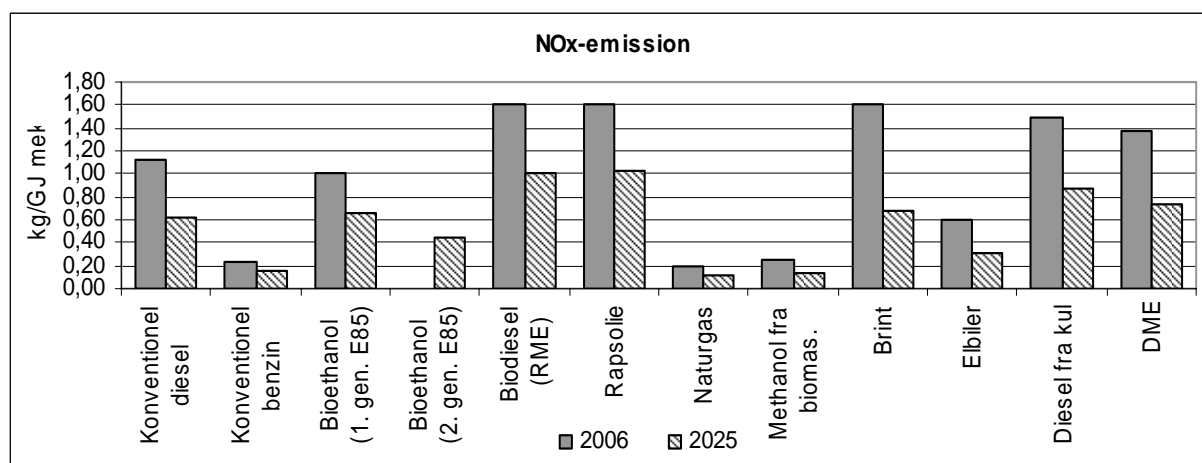
### $SO_2$ , $NO_x$ og partikler

Svovlemissionerne stammer primært fra anvendelsen af el i de enkelte teknologispor og dermed er emissionernes størrelse i høj grad afhængig af elproduktionens sammensætning. Emissionerne af svovl forventes at falde ganske kraftigt frem mod 2025.

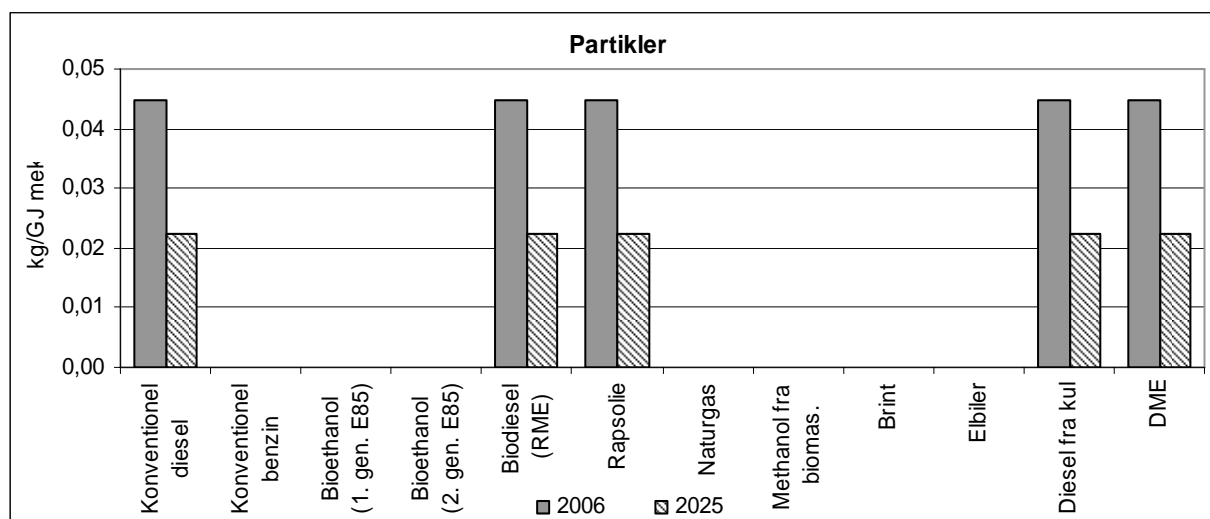


## Alternative drivmidler i transportsektoren

Emissionen af NO<sub>x</sub> er størst fra dieselspor samt el. Igen er emissionerne faldende frem mod 2025, dog mindre markant end for svovl.



Udledningen af partikler kommer udelukkende fra dieselspor. De ses også at falde betydeligt frem mod 2025.



Emissionerne indgår i de samfundsøkonomiske beregninger, hvor de er værdisat i forhold til vurderingen af skadesomkostningerne.

### Drivhusgasser

Det er et meget komplekst spørgsmål, hvor stor en ændring i det samlede udslip af drivhusgasser, der i sidste ende vil ske ved en marginal substitution af konventionel benzin/diesel med et af de alternative teknologispor. Besvarelsen kræver principielt en opgørelse af alle afledte effekter, hvilket ideelt forudsætter en omfattende økonomisk modellering af de private aktørers adfærd på de nationale og internationale markeder. Der er følgelig ikke skabt konsensus om beregningsmetoder endelige konklusioner i den internationale litteratur.

I denne rapport anlægges som udgangspunkt en snæver systembetragtning, hvor der ikke tages stilling til, hvorvidt



## Alternative drivmidler i transportsektoren

- fremskaffelsen af råenergien indirekte medfører stigende udslip af drivhusgasser i andre aktiviteter, fx ved at biomasse trækkes bort fra alternative anvendelser, eller der etableres et større dyrket areal ved at rydde skov og dræne vådområder
- biprodukter fra produktionen udnyttes som procesenergi eller til at fortrænge udslip af drivhusgasser i andre aktiviteter.

I næste afsnit illustreres betydningen af at anlægge en bredere systemafgrænsning.

I denne rapport opgøres udslippet af drivhusgasser i de forskellige teknologispør ved produktionsteknikker, der som udgangspunkt typisk vil være relevante i Danmark. Udslip ved fremstillingen (inkl. opstrøms udslip) fordeles på drivmiddel henholdsvis biprodukter ved produkternes respektive andele af den samlede økonomiske værdi. Jo større økonomisk værdi, biprodukterne har i forhold til drivmidlet - dvs. jo større selvstændigt økonomisk formål produktionen af biprodukterne udgør for den samlede proces - jo større en del af emissionerne ved fremstillingen tilskrives biprodukterne.<sup>2</sup>

Samlet set giver beregningsmetoden et anslag, som er brugbart i vurderingen af sporets samlede samfundsøkonomiske omkostninger, idet det samfundsmæssige tab ved udslippet af drivhusgasser opgjort i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter værdisættes til den forventede langsigtede CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr. per ton CO<sub>2</sub> (i faktorpriser). Især i de ikke-fossile spor vil der typisk være god mulighed for at reducere udslippet af drivhusgasser i forhold til det, der forudsættes her, men det vil ofte ske på bekostning af større produktionsomkostninger end forudsat her, fx som følge af en større anvendelse af vedvarende energi.

Store dele af drivhusgasemissionerne, fx udslippet fra transportsektoren og landbruget, er i dag ikke omfattet af EU's kvoteordning, som regulerer CO<sub>2</sub>-udslippet fra det meste af energisektoren. For at undgå, at den aktuelle og delvist arbitrære afgrænsning af kvoteordningen påvirker beregningsresultaterne, ses der beregningsteknisk bort fra virkningen af kvoteordningen. Det har alene betydning for opgørelsen af CO<sub>2</sub>-fortrængningen, men har principielt ikke betydning for opgørelsen af de samfundsøkonomiske omkostninger.<sup>3</sup>

Jf. nedenstående figur viser beregningerne, at der kan opnås en forholdsvis stor begrænsning af CO<sub>2</sub>-udslippet ved at erstatte benzinbiler med dieslbiler, som i dag udnytter energien bedre. Det kan dog ikke udelukkes, at nye benzinbiler på længere sigt kan indhente en stor del af dieslbilernes energiøkonomiske forspring. Tallene illustrerer derfor først og fremmest betydningen af at forbedre nye bilers brændstoffektivitet.

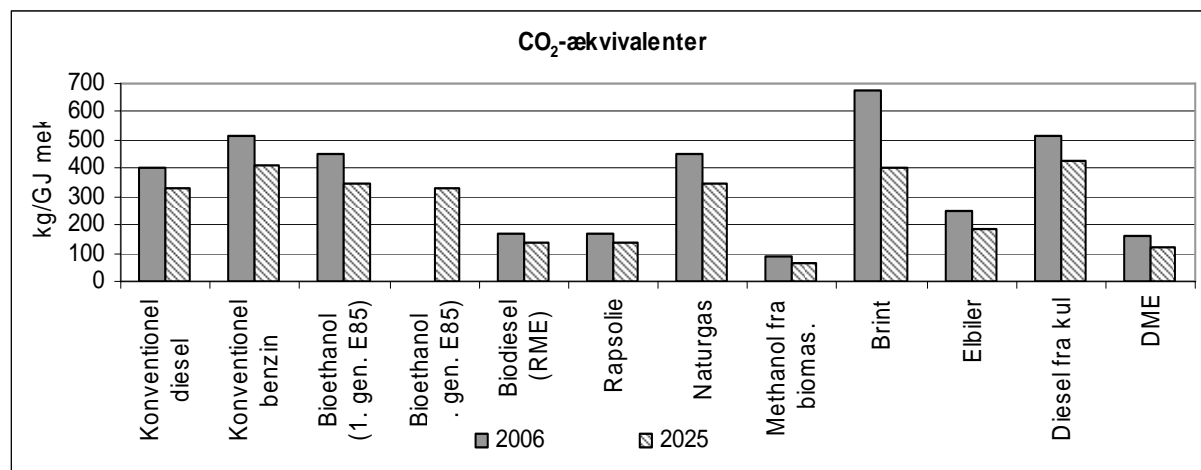
De foreliggende forudsætninger på dette punkt bidrager isoleret set til en mere positiv vurdering af alternativer baseret på (evt. modificerede) dieselmotorer i forhold til

---

<sup>2</sup> Metoden med værdibaseret fordeling blev anbefalet i ViewIs WP2: "Comparing the economic performance of biofuels", februar 2004, som en pragmatisk løsning, da vurdering af alle afledte effekter ved biprodukternes anvendelse er en meget kompleks opgave. Det gælder ikke mindst i denne rapport, som rummer 12 forskellige teknologispør. Metoden blev også anvendt af COWI for Energistyrelsen i rapporten "EMBIO. Energistyrelsens Model til økonomisk og miljømæssig vurdering af BIØbrændstoffer", januar 1997.

<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>-kvoteprisen overvælttes i elmarkedsprisen og er dermed indlejret i Energistyrelsens normale samfundsøkonomiske elpris. Når der ses bort fra kvoteordningen i opgørelsen af CO<sub>2</sub>-udslippet, reduceres den samfundsøkonomiske elpris med den skønnede effekt af kvoteprisen. Til gengæld værdisættes CO<sub>2</sub>-udslippet fra elproduktionen separat med kvoteprisen. Det giver principielt samme samfundsøkonomiske resultat, som når der tages højde for, at elproduktionen er kvoteomfattet, men de eksakte samfundsøkonomiske beregningsresultater kan dog i praksis udvise en lille afvigelse.

alternativer baseret på (evt. modificerede) benzinmotorer. Fx er CO<sub>2</sub>-udslippet mindre i naturgas sporet end i det konventionelle benzin spor. Naturgas kan udnyttes som drivmiddel i modificerede benzinbiler. Men CO<sub>2</sub>-udslippet er endnu mindre i det konventionelle diesel spor.



Som nævnt er opgørelsen meget afhængig af de konkrete antagelser. Det forudsættes fx, at den marginale elproduktion er sammensat som den gennemsnitlige elproduktion, der i høj grad er baseret på fossile brændsler. I den udstrækning elproduktionen er baseret på vedvarende energi, kan der principielt opnås 100 pct. CO<sub>2</sub>-neutralitet for elbiler. Tilsvarende gælder for brintbiler, idet brint kan produceres ud fra vand ved hjælp af elektricitet. Da elforbruget til elbiler og brintbiler i stort omfang kan tidsforskydes, er der gode muligheder for at udnytte VE-el i et system med en høj andel uregulerbar produktion (eks. vindmøller). Brug af VE-el vil dog samtidig kunne medføre større omkostninger.

Biobrændstofferne er langt fra 100 pct. CO<sub>2</sub>-neutrale, hvilket skyldes, at der anvendes betydelige mængder energi til fremstillingen særlig for ethanols vedkommende. Størst CO<sub>2</sub>-fortrængning kan på lang sigt formentlig opnås ved at forgasse biomasse til produktion af fx DME, idet energieffektiviteten i forgasningsteknologier er forholdsvis høj sammenlignet med de traditionelle fremstillingsmetoder. Igen vil CO<sub>2</sub>-effekten kunne forøges, hvis procesenergien baseres på vedvarende energi. Det reducerer imidlertid ikke i sig selv det samlede energiforbrug, og samtidig kan det fordyre fremstillingen.

Aktuelt knytter der sig særlig interesse til bioethanol og biodiesel (RME), fordi de er de mest udbredte ikke-fossile alternative drivmidler, der ved lav-iblanding i konventionel benzin henholdsvis diesel umiddelbart kan udnyttes i de eksisterende biler uden modifikationer, eller kan udnyttes i større koncentrationer i let modificerede biler. Samtidig kræves kun forholdsvis små investeringer for at kunne håndtere produkterne i det bestående brændstofforsyningssystem. For bioethanol, især 2. generations teknologien, spiller forudsætningerne om biprodukterne en stor rolle for vurdering af CO<sub>2</sub>-udslippet, mens biprodukterne ikke har helt samme betydning for biodiesel (RME).

### Drivhusgasser – bredere systemafgrænsning

I det europæiske Well-to-Wheels studie anslås faldet i udslippet af drivhusgasser ved at fortrænge konventionel diesel med biodiesel (RME) til mellem 39 og 45 pct. afhængig af anvendelsen af biprodukter og den fortrængning af drivhusgasudslip, det giver anledning til.<sup>4</sup> Ændringen i udslippet af drivhusgasser ved at fortrænge konventionel benzin med hvede-ethanol anslås at udgøre mellem en stigning på 8 pct. og et fald på 80 pct., bl.a. afhængig af forudsætningerne om anvendelsen af biprodukter og brug af vedvarende energi i produktionen. For halm-ethanol opgør Well-to-Wheels studiet reduktionen i drivhusgasudslippet til i bedste fald 89 pct., hvis biprodukterne udnyttes til procesenergi.

I en bredere systemafgrænsning, der indbefatter forudsætninger om biprodukternes videre anvendelse og dertil knyttet reduktion af drivhusgasudslippet, bør det også tages i betragtning, om rå-biomassen trækkes bort fra alternative anvendelser, hvilket kan give anledning til stigende udslip af drivhusgasser.

Disse afledte effekter har på en gang stor betydning for det samlede udfald og er meget usikre, fordi de afhænger af private aktørers handlinger på markedet. Det er således ikke givet, at markedet af sig selv vil fremme de processer, som samlet giver størst fortrængning af fossile brændsler og størst reduktion i udslippet af drivhusgasser. Politisk kan det eventuelt besluttes at fremme bestemte produktionsmetoder og anvendelser af biprodukterne gennem tilstrækkelige subsidier og reguleringer, fx med det formål at sikre en større samlet reduktion af drivhusgasemissionerne.

I den danske diskussion har opmærksomheden været rettet mod anvendelsen af ethanolproduktionens biprodukter i kraftvarmeproduktionen, hvorved der sker en samproduktion af transportbiobrændstof, el og varme.<sup>5</sup> I det omfang biomassen på lang sigt er en knap ressource, er det relevant at vurdere, om denne løsning på lang sigt kan give en større og billigere reduktion i CO<sub>2</sub>-udslippet end alternative energimæssige anvendelser af halmressourcen, der i en dansk sammenhæng primært er til fortrængning af fossile brændsler, især kul, på kraftvarmeværker.<sup>6</sup>

Tabel 37 skitserer drivhusgasregnskabet for anvendelse af 1 GJ halm til produktion af ethanol, når energien i biprodukterne udnyttes til at fortrænge kul i produktionen af el og varme. Det ses, at hele den beregnede reduktion i udslippet fra drivhusgasser på ca. 65 kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter omtrent svarer til virkningen af, at biprodukterne fortrænger af kul. Alternativ anvendelse af 1 GJ halm direkte til produktion af el og varme i stedet for kul vil samlet kunne give en væsentlig større reduktion i udslippet af drivhusgasser på overslagsmæssigt 95 kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, hvis det forudsættes, at det opstrøms udslip af drivhusgasser forbundet med at fremskaffe, transportere og forbehandle råenergien til kraftværket er nogenlunde det samme for halm som for kul.

Den mindre drivhusgas fortrængning i ethanol-sporet sammenlignet med det rene el- og varmeproducerende spor skyldes et stort procesenergiforbrug på ethanolfabrikken. Vurderingen er foretaget for en forventet, konkret fremtidig 2. generations

---

<sup>4</sup> "Well-to-Wheels Report" Version 2c, marts 2007 fra Joint Research Center, Eucar og Concawe.

<sup>5</sup> Det er en del af den såkaldte VEnzin vision lanceret af det tidligere Elsam, som nu er en del af DONG Energy.

<sup>6</sup> I Danmark er det ikke tilladt at anvende fødevarer- eller foderemner i den kollektive el- og varmeforsyning. Derfor betragtes alene alternative anvendelser af halm.

ethanolteknologi. Det er muligt, at teknikken vil udvikle sig væsentlig mere effektivt end forudsat her, eller at alternative metoder til at udvinde ethanol fra halm eller anden biomasse kan vise sig væsentligt mere effektive. Derved kan det rene el- og varmeproducerende spors CO<sub>2</sub>-mæssige forspring eventuelt blive tilsvarende reduceret.

**Tabel 37. Skitse af drivhusgasfortrængningen i halm-ethanol sporet, hvor biprodukterne fortrænger kul i produktion af el og varme**

Energi og udslip af drivhusgasser	GJ	Kg CO <sub>2</sub> -ækv.
1 GJ halm til produktion af ethanol og biprodukter (2025):	1,00	
Opstrøms energiforbrug frem til fabrikken	0,04	5,5
Proces energiforbrug på fabrikken	0,28	28,3
Ethanol og fortrængt benzin (direkte + opstrøms emissioner)	-0,41	-32,9
Biprodukt og fortrængt kul (direkte + opstrøms emissioner)	-0,60	-66,2
<b>I alt udslip af drivhusgasser (ab fabrik)</b>		<b>-65,3</b>

Anm.: Opgørelsen af biprodukternes effekt på drivhusgasfortrængningen afviger fra den metode, der ellers anvendes i denne rapport, jf. teksten. Opstillingen er i øvrigt forenklet, da det optimistisk forudsættes at 1 MJ energi i biprodukterne fra ethanolproduktionen umiddelbart fortrænger 1 MJ kul uden ekstra energiforbrug til håndtering af biprodukterne, ligesom der forsimpelende ses bort fra emissioner ved distribution af transportbrændstoffer.

I mange lande i og uden for Europa har man ikke som i Danmark tradition for storstilet udnyttelse af halm til produktion af el og varme. For EU-landene vil der dog i fremtiden i stigende grad blive konkurrence om at udnytte bioenergien til alternative formål i takt med, at EU skal realisere målsætningen om 20 pct. vedvarende energi i 2020, hvilket i høj grad må forventes at ske ved øget anvendelse af bioenergi.

#### CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger for biobrændstoffer

Den store variation i det beregnede CO<sub>2</sub>-udslip over livs-cyklen under forskellige forudsætninger om anvendelsen af biprodukterne og vedvarende energi i produktionen medfører en tilsvarende stor variation i de resulterende samfundsøkonomiske omkostninger per ton CO<sub>2</sub>-ækvivalent ved at fortrænge konventionel benzin/diesel med biobrændstoffer.

I ovennævnte europæiske Well-to-Wheels studie spænder de beregnede samfundsøkonomiske CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger ved at fortrænge benzin med 1. generations ethanol baseret på hvede således fra 97 til 239 euro (ca. 725 til 1800 kr.) per ton CO<sub>2</sub>-ækvivalent, når der ses bort fra varianter med et meget lille fald i drivhusgas udslippet (hvorved CO<sub>2</sub>-fortrængningsomkostningen bliver ekstremt høj) eller ligefrem en stigning (hvorved begrebet CO<sub>2</sub>-fortrængningsomkostning mister sin mening).<sup>7</sup>

<sup>7</sup> De refererede Well-to-Wheels beregninger er baseret på en råoliepris på 50 euro per tønde eller ca. 62 dollars per tønde ved den dollarkurs, som forudsættes i nærværende rapport, hvor der er antaget en lavere råoliepris på 50 dollars per tønde. En højere forudsat råoliepris trækker isoleret i retning af en lavere beregnet CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning.

For biodiesel (RME) spiller forskellige forudsætninger om anvendelsen af biprodukter mm. en væsentlig mindre rolle end for bioethanol i Well-to-Wheels studiet. Således spænder de beregnede CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger ved at fortrænge diesel med biodiesel (RME) kun fra 140 til 152 euro (ca. 1050 til 1140 kr.) per ton CO<sub>2</sub>-ækvivalent.<sup>8</sup> I nærværende rapport er de implicite samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger for biodiesel (RME) ca. 740 kr. per ton CO<sub>2</sub>-ækvivalent i faktorpriser (eksklusive afgifter) eller ca. 860 kr. per ton i samfundsøkonomiske beregningspriser.<sup>9</sup>

Blandt de her undersøgte biobrændstoffer har biodiesel (RME) de laveste beregnede samfundsøkonomiske meromkostninger på såvel kort som lang sigt sammenlignet med konventionelt fossilt brændstof (her diesel), jf. hovedrapportens tabel 1. Til sammenligning er CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne lavere ved øget anvendelse af biomasse i kraftvarme i kraft af dels en større CO<sub>2</sub>-fortrængning per energienhed råbiomasse, dels lavere omkostninger i kraft af en mindre kompliceret teknik til nyttiggørelse af bioenergien.

Således kræver indfyring af en begrænset ekstra mængde halm i de kulfyrede kraftværker forholdsvis få investeringer. Omstilling af et kulfyret værk til eksempelvis 12 pct. halm og 88 pct. kul, som det bl.a. kendes fra Studstrupværket, ville overslagsmæssigt kræve investeringsomkostninger på et niveau omkring 5 kr. per GJ indfyret halm (afskrivning og forrentning ved en samfundsøkonomisk realrente på 6 pct.). Hertil kommer ekstra drifts- og vedligeholdelsesomkostninger på anslået ca. 4 kr. per GJ halm. Merprisen på brændslet er godt 19 kr. per GJ halm. Samlet skønnes den samfundsøkonomiske meromkostning til godt 28 kr. per GJ tilsatsfyret halm, hvilket svarer til en CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning på ca. 300 kr. per ton fortrængt CO<sub>2</sub>-ækvivalent i faktorpriser eller 350 kr. i samfundsøkonomiske beregningspriser.

---

<sup>8</sup> Ved en forudsat råoliepris på 50 euro per tønde.

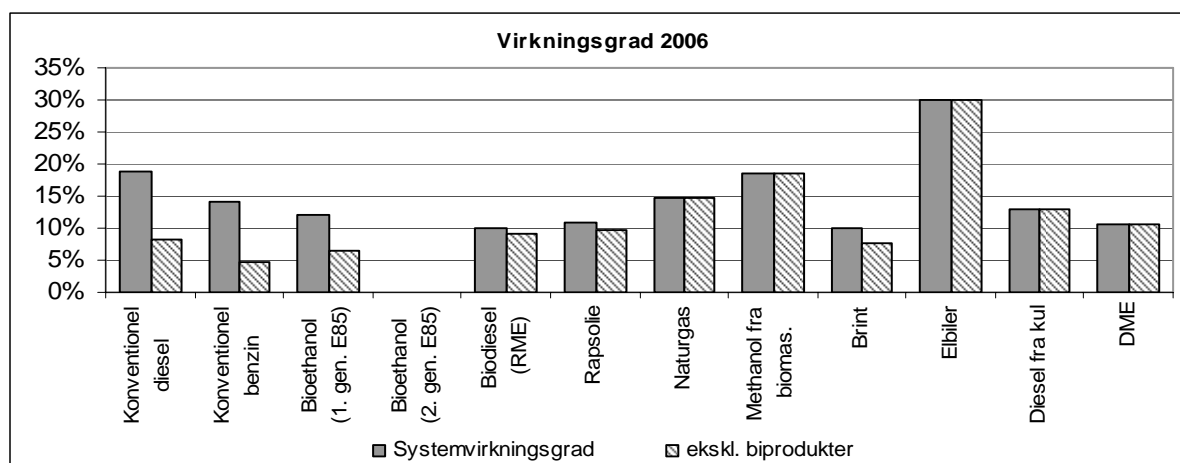
<sup>9</sup> Dvs. faktorpriser multipliceret med nettoafgiftsfaktoren på 1,17 i henhold til Finansministeriets vejledning i samfundsøkonomiske analyser. Heri er ikke indregnet eventuelle samfundsøkonomiske omkostninger (forvridningstab mm.) ved de virkemidler, der kan udvirke, at biodiesel (RME) fortrænger konventionel diesel på markedet. Beregningen gælder for 2006. For 2025 er tallet en anelse lavere. En del af forklaringen på den noget lavere reduktionsomkostning i denne rapport end i Well-to-Wheels-studiet er en noget større beregnet reduktion i udslippet af drivhusgasser ved fortrængning af konventionel diesel med biodiesel.

### 1.5.3 Energieffektivitet

En væsentlig del af forklaringen på forskellen på drivmiddelomkostninger findes i energieffektiviteten for de betragtede spor. Energieffektiviteten er omvendt proportionel med teknologisporets ressourceforbrug.

Som beskrevet ved gennemgangen af de enkelte teknologisor er virkningsgraden beregnet på to måder:

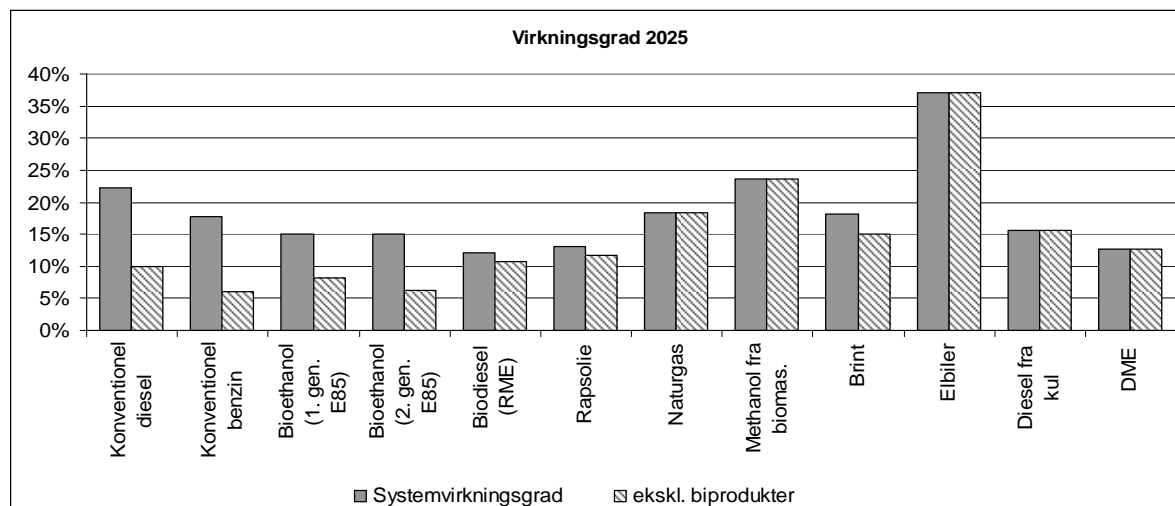
1. Som den samlede systemeffektivitet i alle processer i hele kæden fra råstof til mekanisk energi på hjulet.<sup>10</sup>
2. Som den mekaniske energi på hjulet i forhold til energiindhold i alle input. Her tillægges biprodukter ingen værdi.



Elbilerne fremviser en væsentlig højere virkningsgrad end de øvrige teknologisor – og det til trods for, at der ikke regnet med udnyttelse af biprodukter ved elproduktion.

Forklaringen på elbilens høje virkningsgrad skal findes i det, at elektromotoren er væsentlig mere effektiv end forbrændingsmotoren, når der ses på omdannelsen af energiinput til mekanisk energi i køretøjet. På trods af dette fremviser brintbilen, der baserer sig på en elektromotor, ikke en udpræget høj energieffektivitet. Dette skyldes konverteringstab ved fremstilling af brint og ved omdannelse af brint til elektricitet. Methanol fremstillet ved forgasning af biomasse, anvendt i en elektromotor via brændselscelle er det teknologisor, der kommer nærmest elbilens energieffektivitet.

<sup>10</sup> Systemkæden starter med råstoffet, derefter konvertering, evt. transport/distribution af mellemprodukt, evt. konvertering af mellemprodukt, transport/distribution af drivmiddel og til sidst konvertering til mekanisk energi på hjulet). I alle procesled beregnes effektiviteten som energiindhold i alle nyttiggjorte outputs i forhold til energiindhold i alle input. Produktet af effektiviteten i alle led giver systemeffektiviteten for teknologisporet.



Frem mod 2025 forventes der en effektivitetsforbedring for alle teknologispør. Forbedringen er mest markant for brintbilen, hvor der udover en forbedring af køretøjets effektivitet er forudsat en væsentlig reduktion af konverteringstabene. Det indbyrdes forhold mellem teknologispørerne ændres derudover ikke afgørende i forhold til 2006.

Usikkerheden ved at anslå et teknologiniveau 20 år frem i tiden, vil alt andet lige være størst for de teknologier, der i dag er på et tidligt udviklingsstadium, og hvor der forudsættes den største udvikling. For brint gælder det særligt, at der forudsættes væsentlig udvikling for flere delteknologier, mens der for elbilen forudsættes en mere moderat udvikling af batteriteknologien.

Analysen af energieffektivitet fører umiddelbart til to hovedkonklusioner:

- Elektromotoren er væsentlig mere effektiv end forbrændingsmotoren og teknologispør der baseres på elektromotoren, kan derfor potentielt reducere ressourcebehovet til transport væsentligt.
- Konverteringsprocesser medfører energitab. Jo mere direkte energiinputtet til teknologikæden kan udnyttes i køretøjet, desto højere energieffektivitet kan der potentielt opnås. Desuden er der færre procesled, der skal optimeres.

### Om begrænsninger i energieffektivitetsbetragtningen med de valgte antagelser

Alle input og output i processer vægtes lige uanset energikvalitet – dvs. 1 GJ elektricitet tillægges samme energimæssige værdi som 1 GJ varme eller 1 GJ rapskager.

Dog regnes der for el til elbiler og brint med en virkningsgrad på 0,46 i 2006 stigende til 0,50 i 2025, hvortil kommer et opstrømsenergiforbrug.

Hvis samme tilgang var benyttet som for de øvrige spør ville de beregnede systemvirkningsgrader for disse spør mere end fordobles. Retfærdigvis skal det dog siges, at en ændret vægtning af el modsat kun ville have marginal betydning for de fleste spør.

For 2. generation, DME og Methanol er omkring 5 pct. af det totale energiinput til kæden elektricitet. For bioetanol anvendes der samtidig varme – som har lavere energikvalitet end de øvrige input.

### 1.5.4 Systemperspektiver for alternative drivmidler

For en række af teknologisporene har biprodukterne væsentlig betydning for en vurdering af effektiviteten. Der kan være en række uudnyttede muligheder og forbehold for de medtagne muligheder for nyttiggørelsen af biprodukter såfremt udbredelsen af et givent drivmiddel bliver stor. Eksempelvis vil der være muligheder for at udnytte biproduktet ved elproduktion (som det sker ved kraftvarme), mens der sandsynligvis vil være en øvre grænse for efterspørgselen på rapskager.

Den danske energisektor er blandt de mest effektive i verden. Integrationen af el- og varmeproduktionen (kraftvarme) er en væsentlig faktor for dette. Energiforbruget i transportsektoren er i dag derimod ikke integreret med den øvrige energisektor. En øget integration kan give en række systemmæssige muligheder for optimering af energisystemets samlede effektivitet. Dette er mest åbenlyst for teknologisor, der inkluderer el, eller hvor der anvendes varme ved fremstillingen af drivmidlet.

Et hovedsigte for alternative drivmidler er at udfase transportsektorens afhængighed af olie. Transportsektoren er i dag næsten 100 pct. afhængig af olie, og i modsætning til andre sektorer findes der ingen enkle omstillingsmuligheder. I en situation med usikker forsyning og måske kraftigt svingende priser på olie og gas kan varme og el fremstilles på anden vis, mens transportsektoren vil være en meget sårbar del af vores økonomi og samfundsstruktur.

Med en langsigtet målsætning om helt at udfase anvendelsen af fossile brændsler, er det ikke hensigtsmæssigt at betragte transportsektoren isoleret. Det vil uanset valg af energikilder være relevant at udnytte energien effektivt, både ud fra en økonomisk og en ressourcemæssig betragtning. På langt sigt vil også (bæredygtig anvendelse af) biomasse være en begrænset ressource, ligesom det siger sig selv, at det ikke oplagt vil være hensigtsmæssigt at bygge flere vindmøller end højst nødvendigt.

### 1.5.5 Infrastruktur og tidsperspektiv

Den nødvendige infrastruktur har stor betydning for hvor hurtigt et drivmiddel rent praktisk kan indpasses i den danske energiforsyning. I beregningerne af samfundsøkonomi er der desuden set bort fra omkostninger til ny infrastruktur.

Nogle drivmidler, fx biodiesel (RME) og bioethanol kan efter EU-regler og standarder i dag tilsættes op til 5 pct. (vol.) til almindelig diesel hhv. benzin, og de kan derved uden videre udnyttes i de bestående køretøjer og udbydes via det bestående brændstofforsyningssystem efter forholdsvis begrænsede engangsinvesteringer. EU-Kommissionen har i februar 2007 foreslået en revision af brændstofkvalitetsdirektivet, hvorefter der tillades et supplerende salg af almindelig benzin med 10 pct. ethanol til anvendelse i almindelige benzinbiler. Samtidig tilskynder Kommissionen til, at den europæiske standard for almindelig diesel justeres, så det tillades at tilsætte op til maksimalt 10 pct. biodiesel.



Andre drivmidler som benzin med højt indhold af ethanol (fx E85), ren biodiesel, rapsolie, komprimeret naturgas og DME fra biomasse kan anvendes i mere eller mindre modificerede benzin- og dieselmotorer og distribueres som separate brændstoffer til tankstationer. Især for naturgas og DME vil omkostningerne ved at etablere forsyningsnettet dog være betydelige.

Endelig forudsætter et drivmiddel som brint etablering af ny infrastruktur til produktion og distribution af brint ligesom teknologien kræver udskiftning af bilerne. For elbiler er det primære krav udskiftning af biler, mens brint og i nogen grad methanol desuden forudsætter etablering af ny infrastruktur til produktion og distribution. De teknologier der baserer sig på den konventionelle forbrændingsmotor vil være lettest at implementere på kortere sigt. I den økonomiske vurdering af de aktuelle omkostninger, er det også de billigste alternativer til benzin og diesel, i høj grad som følge af begrænsede meromkostninger til selve køretøjet.

### 1.5.6 Sammenfattende teknologivurdering

Vurderingerne af fremtidens mulige alternative drivmidler er meget usikre, fordi de afhænger af den ukendte udvikling i teknologiske forhold samt priserne på råenergi mm.

Ud fra en ren energisystembetragtning, der ikke rummer usikre forudsætninger om energiprisudviklingen, har den batteridrevne elbil det største potentiale, først og fremmest i kraft af en højere samlet system virkningsgrad ved hjulet, idet elektromotorens høje virkningsgrad og det begrænsede transmissionstab i elnettet langt opvejer det betydelige konverteringstab i konventionel kondens elproduktion. Mere vedvarende energi, herunder biomasse, kan med kendt og gennemprøvet teknologi relativt let indpasses i elproduktionen til forholdsvis lave meromkostninger. Ved at udnytte overskudsvarmen fra kraftværksproduktion til fjernvarme, industrielle formål osv. kan der ske en samproduktion af transportbrændsel, el, fjernvarme mm., således at udnyttelsen af råenergien optimeres. Hertil kommer, at elbilen rummer store miljøfordele i kraft af mindre støj og ingen skadelige emissioner til luften i nærmiljøet.

Problemet ved elbilen er primært, at der endnu ikke er udviklet et batteri med tilfredsstillende ladetider og aktionsradius, som er tilstrækkeligt billigt at anskaffe, drive og vedligeholde, og som fylder og vejer tilstrækkeligt lidt. Selv om der i de senere år er sket betydelige fremskridt på området, er der ikke garanti for, at et afgørende gennembrud vil indtræffe i de kommende årtier.

Derved kan en løsning hvor el produceres ombord på køretøjet blive en mulig løsning på problemet med at udnytte elektromotorens gode egenskaber i transportmidler. Dette indbefatter elproducerende brændselsceller, selv om den samlede systemvirkningsgrad for såvel brint som methanol, trods en forventet betydelig teknisk udvikling, bedømmes at være ringere end i den batteridrevne elbil også på lang sigt. Det skyldes, at brændselscelle løsningen indebærer flere energikonverteringer med et samlet større energitab.

Kombinationsløsninger, der typisk omtales hybridbiler, er også en mulig løsning. I en hybridbil, der indeholder batteri til opladning fra elnet, ("plug-in") kan batteriløsningens

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

overlegne effektivitet udnyttes på kortere køreture, mens der på længere køreture produceres el, fx ved hjælp af brændselsceller.

Anvendelse af el til transportformål synes i alle tilfælde at muliggøre/billiggøre en systemmæssig indpasning af en højere andel af uregulerbar elproduktion. Dette skyldes at elanvendelsen til transportformål i høj grad må forventes at kunne gøres fleksibel, dvs. at brinten produceres eller elbilen oplades når prisen er lav, eksempelvis om natten eller ved kraftig blæst.

Biobrændstoffer forventes fortsat at have en ringere energisystemvirkningsgrad som følge af et forholdsvist stort energiforbrug ved fremskaffelse af råbiomassen og ikke mindst konvertering til biobrændstof på fabrikken. Energien i biomassen synes at kunne blive udnyttet mere effektivt til produktion af varme og el, der eventuelt kan anvendes i batteridrevne elbiler.

Til gengæld er 1. generations biobrændstofferne, biodiesel og bioethanol, de eneste alternativer til fossile brændstoffer, der her og nu kan indføres i de bestående køretøjer og med kun forholdsvis beskedne infrastrukturændringer.

De samfundsøkonomiske vurderinger er væsentlig mere usikre end energisystembetragtningerne, da de i tilgift til de usikre forudsætninger om teknologiudviklingen er baseret på usikre forudsætninger om de relative priser på råenergi mm. Det hører med i billedet, at der i nærværende rapport er anlagt en marginal-betragtning, som belyser omkostningerne ved en begrænset indfasning af alternativet. Indfasning af et alternativ i større skala vil givetvis ændre de relative priser i retning af at fordyre alternativet. Det gælder i højere grad, jo mere ensidigt alternativet er baseret på begrænsede råenergi ressourcer.

Med de forudsatte energipriser er konventionel diesel og benzin samlet set de billigste teknologispør i dag. De alternative løsninger med de laveste meromkostninger som naturgas og syntetisk diesel fra kul er også baseret på fossile brændsler og peger derved ikke frem mod den udfasning af fossile brændsler, som er regeringens langsigtede målsætning.

Da naturgas er billigere end benzin/diesel, kan naturgassporet på lang sigt eventuelt blive billigere med forbehold for eventuelle ekstra infrastrukturomkostninger knyttet til naturgasløsningen. Hertil kommer ulempen for forbrugerne, hvis forsyningssystemet ikke er tilstrækkeligt dækkende, eller hvis udbuddet af forskellige naturgasdrevne bilmodeller er væsentligt mindre end for benzin/dieslbiler.

Syntetisk diesel baseret på kul er på den ene side et potentielt markedsdrevet svar på fortsat stigende oliepriser, men storstilet udbredelse af dette spor kan på den anden side blive forhindret af skærpede klimapolitiske målsætninger med tilknyttede højere omkostninger ved udledning af drivhusgasser, end det er forudsat her.

Dansk/europæisk producerede biobrændstoffer forventes fortsat at være væsentligt dyrere end konventionel benzin/diesel. Blandt dansk/europæisk producerede

biobrændstoffer, skønnes biodiesel (RME) at være det billigste biobrændstof, men i det omfang fortsat stigende efterspørgsel fører til permanent højere priser på rapsfrø og anden egnet råbiomasse, kan billedet ændres.

2. generations biobrændstof teknologierne forventes ikke at blive afgørende billigere end 1. generations teknologierne, men ved at udvide ressourcenasen kan teknologierne bidrage til at øge produktionspotentiallet og derved også begrænse efterspørgselsdrevne prisstigninger på råinput, herunder fødevare- og foderemner. Det hører med i billedet, at der i denne rapport kun er undersøgt få varianter af de fremtidige biobrændstoffteknologier, og at den teknologiske udvikling kan forløbe anderledes end skønnet her.

## **Bilag 2. Potentialet for dansk forskning og udvikling indenfor alternative drivmidler i transportsektoren**

### **2.1 Status for udviklingen af ny teknologi indenfor alternative drivmidler**

Siden begyndelsen af 1990-erne er der i en række lande og i EU sat øget fokus på udviklingen af ny teknologi til at udnytte ikke hidtil anvendte ikke-fossile ressourcer til fremstilling af alternative drivmidler til transport.

Udviklingsindsatsen er yderligere accellereret i de seneste år under indtryk af den øgede opmærksomhed på de negative konsekvenser af olieafhængigheden. Der ydes derfor i en række lande og indenfor EU nu meget betydelige offentlige tilskud til udviklingsprogrammer, og den private sektor har ligeledes øget sine investeringer i udviklingen markant. Det gælder også for Danmark.

Både indenfor faktisk anvendelse og udvikling af ny teknologi spiller biobrændstoffet bioethanol (alkohol) i dag den mest markante rolle globalt set. Over 90 % af det globale marked for biobrændstoffer dækkes af bioethanol.

Herudover sker der globalt set en betydelig udviklingsindsats indenfor brintproduktion, lagring af brint i køretøjer og slutanvendelse af brint til transport.

Ligeledes sker der internationalt en betydelig udviklingsindsats indenfor elbatterier og elkøretøjer og indenfor ny og forbedret teknologi til termo-kemisk omdannelse af biomasse og også fossile ressourcer (kul, naturgas) til flydende brændstof (syntetisk benzin og diesel).

#### 2.1.1 Bioethanol

Med den kendte 1. generations-teknologi har man siden mellemkrigstiden (1933) og også tidligere udnyttet de højværdige dele af sukker- og stivelsesholdige planter som sukkerrør, majs og korn som råvarer for produktion af bioethanol. Disse råvarer - især sukker - omsættes forholdsvis direkte og let ved gæring og destillation til ethanol. Der anvendes for majs og korn enzymer i processen. Den nye såkaldte 2. generations-teknologi udnytter de mere lavværdige dele af planterne, dvs. skaller, blade og strå. Herved opnås der et langt større råvarepotentiale, en potentielt mere bæredygtig produktion og potentielt et billigere og mere konkurrencedygtigt produkt, da råvaren er billigere.

Til gengæld kræver den nye teknologi flere processer, idet råvaren er vanskelig at nedbryde til ethanol. Det betyder, at både anlægsomkostningerne og driftsomkostningerne til bl.a. hjælpstoffer, især enzymer, og energi er større, da processerne som udgangspunkt er energikrævende. Desuden er alkoholudbyttet mindre end for 1. generations-råvarerne. Med udgangspunkt i "jo billigere råvare - jo dyrere teknologi" er udfordringen at udvikle den nye teknologi, så dens meromkostninger nedbringes til et niveau, som mere end opvejes af, at råvaren er billigere og af synergifordele med 1. generationsanlæg eller anden proces- eller kraftværksteknologi.

Det er rent teknisk muligt at fremstille ethanol ved den nye teknologi, og den grundlæggende procesteknologi er udviklet og afprøvet i laboratorieskala. Der er prækommercielle pilot- og demonstrationsanlæg i forsøgsmæssig drift i flere lande (Canada, Danmark, Sverige m.fl.) i skala ca. 1 : 30 eller mindre svarende til behandling af op til ca. 40 tons råvare pr. døgn og modsvarende en årlig produktion af ca. 3-4.000 tons alkohol, såfremt anlægget tænkes at producere kontinuerligt hele året. En konkurrencedygtig fremstillingsøkonomi er imidlertid endnu ikke færdigudviklet eller påvist i fuld-skala kommercielle anlæg noget sted i verden. Både i USA, Kina og i Danmark er der fuld-skala-forsøgs- og demonstrationsanlæg på vej.

De lavværdige råvarer indeholder lignocellulose, som er en mere vanskelig organisk struktur til fremstilling af ethanol. Råvaren skal først igennem en omfattende forbehandling mekanisk/termisk og derefter med hjælpestoffer hydrolyseres (forsukres) før gæring kan finde sted. Indtil for nylig ville indkøb af hjælpestoffet enzym være den dyreste - og helt prohibitive - omkostningskomponent ved drift af anlæg. Derfor finansierede US-Department of Energy (DOE) i 2003 et målrettet udviklingsprogram med et budget på godt 200 mio. DKK alene med henblik på at løse dette flaskehals-problem, dvs. på at nedbringe prisen for de nye enzymtyper, som er udviklet specielt til produktion af bioethanol på basis af lignocellulose.

Projektet blev gennemført i parallel af de private virksomheder henholdsvis Novozymes og Genencor med en resulterende reduktion i omkostninger på i begge tilfælde 12 gange opnået ved at udvikle både billigere og mere effektive enzymer. Begge virksomheder er efter Daniscos overtagelse for nylig af det tidligere amerikanske Genencor nu danske. Projektets lovende resultat kan betegnes som måske det hidtil mest betydelige internationale skridt i retning af en mulig egentlig kommercialisering af teknologien, og enzymomkostningen er nu lavere end råvareomkostningen an anlæg, som nu typisk vil være den største omkostningskomponent.

Efter DOE-projektet udestår der nu en udviklingsindsats, som er mere ligeligt fordelt på enkeltaspekter indenfor den samlede teknologi.

Der er behov for:

- Yderligere meget betydelig reduktion af enzymomkostningerne
- Maksimering af råvareudnyttelse og alkoholproduktion. Herunder udvikling af specifikke enzymer, mikroorganismer og gærtyper for omsætning af hver af de involverede typer af råvarer og sukre til alkohol
- Energieffektivitetsoptimering i hele proceskæden og øget procesintegration
- Løsning af procestekniske problemstillinger indenfor mekanismer, som hæmmer processerne mv.
- Løsning af spildevandsproblemer
- Løsning af håndteringsproblemer for store mængder biomasse i de kontinuerlige procesforløb

- Udvikling af produktionen af sideprodukter som energi, foder mv. med maksimal værdi.

### 2.1.2 De danske projekter for 2. generationsteknologier til produktion af bioethanol

Der gennemføres for tiden to markante udviklingsprojekter i Danmark indenfor komplet 2. generations-teknologi til produktion af bioethanol baseret primært på halm og halmlignende afgrøder.

DONG Energy har med EU-støtte på 50 mio. kr. svarende til ca. 50 % af den samlede investering opført det såkaldte *IBUS*-anlæg (*Integrated Biomass Utilisation System*), som er et pilot-projekt til afprøvning, videreudvikling og påvisning i mindre skala af de enkelte delprocesser ifm. omdannelse af halm til ethanol. Anlægget, som nu er placeret ved Skærbækværket, har været i drift i over 2 år med lovende resultater. IBUS-konceptet fokuserer på samproduktion af ethanol, el, varme og foder mm. i kraftværksregi med halm som råvare. Efter at halmen er anvendt til ethanolproduktion tænkes ligninresten anvendt som brændsel til kraftvarmeproduktionen eller evt. til frasalgs i form af ligninpiller.

IBUS-konceptet er en del af den mere vidtgående og langsigtede såkaldte *VEnzin*-vision, som i 2004 blev lanceret af det daværende Elsam (nu DONG Energy), hvor produktionen af flere nye transportbrændstoffer via en række avancerede teknologier integreres gennemgribende med produktionen af el og varme på kraftværkerne og med produktionen af el fra vindenergi.

Endvidere arbejder en gruppe på Biocentrum på DTU (Danmarks Tekniske Universitet) i samarbejde med bl.a. Novozymes med videreudvikling af det såkaldte *Maxi-Fuels*-koncept til produktion af ethanol på basis af halm og lignende. Dette koncept er sammenlignet med IBUS principielt mere fleksibelt i forhold til valg af placering med henblik på at opnå synergifordele med andre procesanlæg, og på valg af flere delteknologier adskiller det sig fra IBUS. I efteråret 2006 blev et pilot-anlæg i lille skala til afprøvning og eftervisning af procesforløb taget i brug med tilskud fra de danske energiforskningsprogrammer på godt 14 mio. kr. ud af et samlet budget på ca. 20 mio. kr.

Der er i 2005 dannet et privat udviklingsselskab *BioGasol*, som skal varetage den videre forretningsudvikling af *Maxi-Fuels*-konceptet. Med pilot-anlægget som teknologisk platform er der skudt venturekapital i selskabet fra BankInvests investeringspulje New Energy Solutions, som finansieres af DONG og en række institutionelle investorer.

Efter dannelsen af DONG Energy i 2006 er selskabet blevet en central spiller hvad angår både de teknologiske, forretningsmæssige og økonomiske kompetencer indenfor videreudviklingen de danske 2. generations-teknologier. DONG Energy arbejder sammen med en række partnere aktuelt med konkrete planer for at videreføre og samordne den danske udvikling i et stor-skala-demonstrationsanlæg med investeringer i størrelsesordenen 100 - 300 mio. kr. og efterfølgende i et første kommercielt fuld-skala-anlæg. DONG Energy har dannet udviklingsselskabet *Inbicon* til at forestå den videre koncept- og forretningsudvikling.

Tilsvarende har BioGasol sammen med en række samarbejdspartnere offentliggjort planer om opførelse af et stor-skala forsøgs- og demonstrationsanlæg på Bornholm.

Også Statoil og en række regionale landbrugskredse m.fl. har offentliggjort konkrete overvejelser om opførelse af stor-skala produktionsanlæg for bioethanol i Danmark, hvor også 2. generations teknologi kan indgå.

### 2.1.3 Brint og brændselsceller til transport

Der gives markant offentlig støtte til en række projekter i Danmark rettet mod at udvikle kommercielle brændselsceller til elproduktion, herunder til brug køretøjer, så der kan opnås tilstrækkelig kørerækkevidde. Gennem de senere år har der bl.a. været udført et betydeligt forsknings- og udviklingsarbejde med henblik på lagring af brint i forbindelse med faste stoffer, f.eks. metalhydrider, grafit eller andre kulstofstrukturer. Også andre stoffer som methanol mv. kan anvendes som drivmiddel til brændselscellebaserede køretøjer.

*Hydrogen Link* er et nationalt dansk netværk for forskning, udvikling og demonstration af brint og brændselscelleteknologi til transport. Formålet er at fremme etableringen af en dansk infrastruktur for brint, af tankstationer og af en udbredt anvendelse af brændselscellekøretøjer, begyndende med nichetransport og på længere sigt vejtransport. Der deltager mere end 100 virksomheder, organisationer, myndigheder og institutioner i netværket, hvoraf 30-40 er aktive i konkrete udviklingsprojekter.

### 2.1.4 De danske udviklingsprogrammer og finansieringen af udviklingsindsatsen

Den statslige økonomiske støtte til strategisk dansk energiforskning og -udvikling bevilges fra flere særskilte programmer.

De primære ordninger er:

- Energiforskningsprogrammet (Energistyrelsen), som fra 2007 afløses af det nye Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram - EUDP.
- ForskEI-programmet for renere elproduktion (Energinet.dk)
- Det Strategiske Forskningsråds (DSF) pulje for energi & miljø (Videnskabsministeriet)
- Højteknologifonden (Videnskabsministeriet).

Det er fælles for programmerne, at projekter skal være præ-kommercielle for at kunne opnå støtte. Der er tale om "brede" ordninger, som ikke a priori øremærker bestemte beløb til bestemte indsatsområder, f.eks. biobrændstoffer eller brint. Dog er der under EUDP-programmet afsat en særlig pulje på 200 mio. kr. i 2007-10 til et særligt udviklingsprogram for 2. generations bioethanol. De 2 førstnævnte programmer kan også støtte demonstration af ny teknologi.

## Alternative drivmidler i transportsektoren

Højteknologifonden er ikke et specifikt energiteknologisk program, men fonden har ved sine hidtidige uddelinger i betydeligt omfang tilgodeset energiområdet, herunder udviklingen af ny biobrændstofteknologi til transport.

Der er i de senere år i stigende grad ydet betydelige tilskud til projekter vedr. alternative drivmidler til transportsektoren. Der er primært tale om projekter indenfor udvikling af biobrændstoffer, men også i betydeligt omfang indenfor brint.

Som det fremgår nedenfor er der således i 2006 ydet den hidtil mest omfattende samlede offentlige projektstøtte til forskning, udvikling og innovation indenfor alternative drivmidler – primært indenfor biobrændstoffer.

### Tilskud til udvikling af biobrændstoffer i 2006

Projekt (projektleder i parentes)	Offentligt tilskud fra	Tilskud
Bio.REF: Biorefinery for sustainable reliable economical fuel production from energy crops (DTU)	Det Strategiske Forskningsråd energi & miljø MVTU	12,5 mio. kr.
Renewable energy in the transport sector using biofuels as energy carriers (DMU)	Det Strategiske Forskningsråd energi & miljø MVTU	15 mio. kr.
Waste-2-Value – dansk 2. generations biodiesel fremstillet af affald (Teknologisk Institut)	Rådet for Teknologi og Innovation MVTU	10,3 mio. kr.
Fra organisk affald til bio-brændstof – CatLiq-processen (SCF Technologies)	Højteknologifonden MVTU	10 mio. kr.
Udvikling af 2. generations bioethanol processer og teknologi (DONG Energy)	Højteknologifonden MVTU	21,7 mio. kr.
REnescience *) – a flexible and integrated energy system based on gasification of liquefied biomass and waste (DONG Energy)	ForskEI-programmet for Renere elproduktionsteknologier Energinet.dk	30 mio. kr.
Udvikling af HCCI-motor til DME og produktion af methanol/DME ud fra biomasse (DTU)	Energiforskningsprogrammet Energistyrelsen	4,5 mio. kr.
Videreudvikling af Maxifuels-projektet for produktion af 2 G bioethanol (DTU/BioGasol)	Energiforskningsprogrammet Energistyrelsen	1,8 mio.
<b>I alt 2006</b>	-	<b>105,8 mio. kr.</b>

\*) integreret produktion af el, varme og transportbrændstof



## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

Den samlede støtte til biobrændstofudvikling i 2006 var mere end 100 mio. kr. hidrørende fra en række toneangivende generelle tilskudsprogrammer. Hertil kommer virksomhedernes og forskningsinstitutionernes egenfinansiering i projekterne, som er af næsten samme størrelsesorden, samt den meget betydelige forsknings- og udviklingsindsats, som der ikke søges offentlig støtte til.

Set i lyset af det store fokus på biobrændstoffer og andre alternative drivmidler som brint, forventes denne trend at fortsætte og forstærkes i de kommende år, hvilket i sig selv vil indebære en yderligere styrkelse af udviklingsindsatsen.

Udviklingen af de alternative drivmidler med tilhørende teknologier som brændselsceller og også højt prioriteret i EU's forsknings og demonstrationsprogrammer, herunder EU's Syvende Rammeprogram for Forskning, Teknologisk udvikling og Demonstration samt EU's LIFE program.

Danske virksomheder og forskningsinstitutioner inden for området hare været gode til at hente tilskud til forskning inden for området, hvilket udgør et væsentligt tilskud til de nationale finansieringskilder. Af de større tilskud kan nævnes, at det daværende Elsam – nu DONG Energy – tidligere har opnået et EU-tilskud på 50 mio. kr. til udvikling af IBUS-konceptet for produktion af 2. generations bioethanol og at Topsoe Fuel Cell A/S i 2006 fik godt 38 mio. kr. fra LIFE-programmet til et projekt, der sigter mod at forberede kommercialiseringen af brændselscelleteknologien.

Der er med den nye *EUDP-lov* lagt op til en generel styrkelse af koordinationen mellem de offentlige danske programmer indenfor strategisk energiforskning incl. Højteknologifonden. En sådan en styrket koordination vil kunne bidrage til at styrke og målrette den samlede udviklingsindsats også indenfor de nye drivmiddelteknologier. Endvidere skal EUDP-programmet medvirke til en øget dansk indflydelse på og et fortsat højt eller øget udbytte af EU´s energiteknologiprogrammer.

### 2.1.5 Det nye udviklingsprogram for 2. generations-bioethanol

Regeringens langsigtede *Energistrategi 2025* og det energipolitiske udspil *En visionær danske energipolitik* fra januar 2007, samt EU´s energipolitik, som den kom til udtryk senest ved Minister Råds-mødet i marts 2007, har fokus på behovet for at forbedre den langsigtede energiforsyningssikkerhed ikke mindst i transportsektoren, som - i modsætning til el og varmesektoren - er stort set 100 % afhængig af de fossile brændstoffer.

Det er regeringens målsætning, at andelen af biobrændstoffer til transport forøges til 10 % i 2020 eller evt. tidligere forudsat, at der er udviklet tilstrækkeligt samfundsøkonomisk konkurrencedygtige og miljømæssigt bæredygtige teknologier.

På den baggrund og set i lyset af de danske styrkepositioner, har regeringen ved aftalen fra 2006 om udmøntningen af globaliseringspuljen afsat 200 mio. kr. til et særligt 4-årigt udviklingsprogram 2007-10 for 2. generations-teknologi til produktion af bioethanol. Denne teknologi giver mulighed for både en betydeligt større og mere bæredygtig

produktion af biobrændstoffer, som derved kan bidrage mere til den langsigtede energiforsyningssikkerhed og til reduktionen af udledningen af drivhusgasser end dagens 1. generations-teknologier.

Programmets formål er at medvirke til, at der inden 2010 kan etableres ét eller eventuelt flere stor-skala forsøgs- og demonstrationsanlæg i Danmark baseret på typiske danske - men samtidig globalt universielle - cellulose/lignocelluloseholdige affaldsfraktioner fra landbrug mv. Erfaringerne fra programmet skal medvirke til at belyse perspektiverne for teknologien mht. økonomi, miljø mv.

Perspektivet for indsatsen er, at danske forskningsinstitutioner og virksomheder har mulighed for at kunne udvikle teknologien til et punkt, hvor den kan give et større bidrag til den langsigtede energiforsyningssikkerhed i Danmark og resten af EU. Det rummer potentielt meget væsentlige erhvervsmæssige perspektiver for danske virksomheder.

Det nye udviklingsprogram skal primært støtte stor-skala afprøvning i forsøgs- og demonstrationsanlæg, men kan også dække forskning og andre nødvendige projekter. Programmet vil blive udmøntet som et tilskudsprogram med offentlig indkaldelse af projektansøgninger, og der vil blive lagt vægt på, at programmet indgår som led i et offentligt-privat udviklingspartnerskab med en meget betydelig privat medfinansiering.

Der vil ligeledes blive lagt vægt på, at udviklingen af de nye teknologier sker i samarbejde mellem private virksomheder og offentlige institutioner, idet et tæt samspil giver bedre mulighed for et optimalt afkast af investeringerne i forskning og innovation.

Bevillingen til det nye ethanol-udviklingsprogram vil i øvrigt blive udmøntet som en integreret del af og i overensstemmelse med principperne for det nye generelle Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) under Transport- og Energiministeriet. Det skal sikre, at udmøntningen og opfølgningen på udviklingsprogrammet sker i tæt sammenhæng med den øvrige forsknings- og udviklingsindsats på energi- og transportområdet. Samtidig skal det sikre, at udmøntningen understøtter den overordnede politik på energi- og transportområdet.

Ifølge loven om EUDP-programmet skal programmet ledes af en uafhængig bestyrelse udpeget af transport- og energiministeren. Miljøministeren og videnskabsministeren indstiller iflg. lovforslaget hver ét medlem af bestyrelsen.

Miljøministerens indstillingsret skal ses på baggrund af den særlige betydning, som tillægges hensynet til det globale klima og et renere miljø som del af de langsigtede energipolitiske målsætninger. Videnskabsministerens indstillingsret er begrundet i, at udviklings- og demonstrationsindsatsen skal bygge videre på og dermed hænge sammen med den relevante strategiske forskning under Videnskabsministeriet.

Den nye EUDP-lov blev vedtaget i Folketinget den 1. juni 2007.

EUDP-programmet vil i vidt omfang kunne give støtte til demonstrationsanlæg i et iterativt samspil med forskningen. Demonstration er en nøglefaktor for kommerialisering

af forsknings- og udviklingsresultater, idet vellykkede demonstrationsprojekter ofte er nødvendige for, at der kan opnås en markedsfølsom finansiering af den videre kommercielle teknologi- og produktudvikling med firmaernes egen kapital, venturekapital eller anden risikovillig kapital.

### 1.6 Partnerskaber indenfor udvikling af ny teknologi

Regeringen offentliggjorde i maj 2006 *Redegørelse om fremme af miljøeffektiv teknologi – vejen til et bedre miljø* (Miljøministeriet) som peger på det store danske vækstpotentiale indenfor ny miljøteknologi og herunder ny energiteknologi. Der peges på 5 indsatsområder med et særligt globalt markedspotentiale, heraf 3 indenfor energi:

- Megavind (store vindmøller)
- Biobrændstof
- Brint/brændselsceller.

Blandt initiativerne i redegørelsen vil regeringen bidrage til at facilitere dannelsen af strategiske innovationspartnerskaber indenfor de 5 indsatsområder. Partnerskaberne skal medvirke til at opnå kritisk masse i udviklingsindsatsen ved at samle virksomheder, forskere og andre aktører i et målrettet og forpligtende samarbejde - som er mere end blot et "netværk" - om at forstå markedsbehov, koble viden og teknologier sammen og udvikle nye teknologiske løsninger. Partnerskaberne involverer også staten, men virksomhederne er den primære drivkraft i partnerskabernes arbejde.

Det fremgår af regeringens handlingsplan for fremme af miljøeffektiv teknologi "Danske løsninger på globale miljøudfordringer" fra maj 2007 (høringsudgave), som er opfølgningen på regeringens redegørelse fra maj 2006, at der er flg. status for de 2 partnerskaber på transportområdet – dog er brint/brændselscelle-partnerskabet kun delvist relateret til transportområdet:

Ambitionen med *partnerskabet for biobrændstoffer* er at samle en række centrale aktører mhp. at skabe et tæt samspil mellem disse om indsatsen for at udvikle og kommercialisere teknologierne. Som et element heri skal partnerskabet skabe grundlag for etablering af et demonstrationsanlæg for produktion af 2. generations biobrændstof.

Mulighederne og perspektiverne i et partnerskab for fremme af 2. generations teknologier til fremstilling af biobrændstoffer drøftes mellem i 1. omgang DONG Energy, Novozymes og Statoil. Transport- og Energiministeriet, Fødevarerministeriet og Miljøministeriet deltager i sonderingerne om mulige partnere i forhold til gennemførelse af regeringens politik for anvendelse af biobrændstof og i forhold til fysisk planlægning og miljøbeskyttelse i Danmark.

Der er allerede i 2006 dannet et formaliseret dansk *partnerskab for brint/brændselsceller* i form af en teknologiplatform, og der er oprettet et sekretariat i Energiindustrien med både offentlig og privat støtte, samt en række strategigrupper, der følger og rådgiver om den teknologiske udvikling. Denne platform dækker både el- og varmeproduktion og anvendelse af brint/brændselsceller til transport.

Partnerskabet er meget bredt, og det involverer virksomheder med mange forskellige specialer og udviklingstraditioner, de offentlige forsknings- og uddannelsesinstitutioner og stort set alle andre relevante aktører – herunder staten.

På EU-niveau er der på Kommissionens initiativ oprettet tværnationale partnerskaber i form af de såkaldte Technology Platforms indenfor både brint/brændselsceller og biobrændstoffer. Henholdsvis Haldor Topsøe/DTU-Risø/Energistyrelsen og DONG Energy/Energistyrelsen deltager fra dansk side i de styrende organer for platformenes arbejde.

Allerede i efteråret 2004 åbnede et nyt dansk *Center for Biobrændstoffer* med DTU, DTU-Risø og Kbh.s Universitet-KVL som partnere med det formål at styrke den danske forskning og udvikling på området.

## **2.2 Forsknings- og udviklingsstrategier på transportområdet**

Energistyrelsen offentliggjorde i juni 2005 to nye nationale strategier for forskning og udvikling (F&U) på transportområdet indenfor henholdsvis *fremstilling af flydende biobrændstoffer* og *brint* som supplement til regeringens nye Energistrategi 2025 – ligeledes fra juni 2005 – hvor en øget indsats for at nedbringe transportsektorens afhængighed af fossile brændstoffer indgår.

I strategierne identificeres de mest lovende udviklingsspor målt på potentiale for erhvervsudvikling/økonomisk vækst, forsyningssikkerhed og miljø. Strategierne skal anvendes ved prioriteringen af de offentlige midler til forskning og udvikling på energiområdet, og at de skal være retningsgivende for valg af indsatsområder for det offentlige/private partnerskab indenfor udvikling af ny teknologi.

Det er intentionen at opnå et bredt ejerskab til strategierne på tværs af de forskellige offentlige strategiske forskningsprogrammer indenfor energi, og at opnå gennemslagskraft i forhold til de nye forskningsfonde, andre relevante programmer og erhverslivets egen forskning. Strategierne er derfor udarbejdet i et bredt samarbejde med andre ressortministerier, forskningsinstitutioner, erhvervsliv og relevante organisationer.

Desuden er der udarbejdet flere andre strategier af relevans for udviklingsindsatsen indenfor de alternative drivmidler.

### 2.2.1 F&U-strategien for fremstilling af flydende biobrændstoffer

Internationalt spiller motorbrændstoffer fremstillet af biomasse en stigende rolle indenfor både forskning og anvendelse. Fordelen er, at disse brændstoffer i vidt omfang kan anvendes i eksisterende eller lettere modificerede motorer, og at brændstoffet kan indføres gradvist med relativt beskedne infrastrukturændringer. Dog vil produktionsprisen for brændstofferne også på længere sigt kunne forblive højere end prisen på fossilt brændstof.

Råvarens pris og tilgangen til tilstrækkelige råvareressourcer er afgørende, og der gennemføres derfor i en række førende industrilande en forøget forsknings- og udviklingsindsats for at udvikle nye fremstillingsmetoder, der kan udnytte billigere råvarer - typisk restprodukter fra skov og landbrug, som er en meget betydelig

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

råvareressource - samtidig med, at der ved fremstillingsprocessen fremkommer biprodukter af kommerciel værdi, som kan bidrage til den samlede indtjening for producenterne. Det er også afgørende, at processernes råvare- og energieffektivitet er høj, hvilket kræver en høj grad af procesintegration, f.eks. med kraftvarmeproduktion eller andre procesanlæg.

Til brug for udarbejdelsen af F&U-strategien for fremstilling af flydende biobrændstoffer er der bl.a. indhentet oplysninger og vurderinger fra nogle af de væsentligste danske aktører, som er engagerede i forskning og udvikling og i markedet for flydende biobrændstoffer.

I strategien er der to vigtige retningsgivende elementer:

- F&U-indsatsen skal fokusere på et begrænset antal teknologiske elementer, hvor Danmark allerede har demonstreret styrkepositioner.
- Teknologiudviklingen skal forankres i de forretningsmæssige/økonomiske enheder, der har tilstrækkeligt potentiale til at føre alle innovationer frem til pilotanlægs- eller fuld-skala, og til at indgå aftaler om udnyttelse af know-how og modtagelse af rådgivning til/fra de allerede eksisterende producenter på det globale marked for biobrændstoffer.

De prioriterede teknologiområder er:

- Fremstilling af ethanol af restprodukter fra landbruget, specielt, men ikke udelukkende, af lignocelluloseholdige råvarer, og
- Undersøgelser vedr. perspektiverne for fremstilling af DME (dimethylether) på grundlag af termisk forgasset biomasse og evt. naturgas.

Strategien prioriterer således først og fremmest de danske styrkepositioner, som er opbygget siden begyndelsen af 90-erne vedr. ny 2. generations-teknologi til fremstilling af bioethanol på basis af halm og halmlignende råvarer og på forskellige affaldsfraktioner. Målet er at indsnævre meromkostningerne for den nye teknologi. Udviklingshorisonten for begyndende kommercialitet skønnes til 5 – 10 år.

Der er behov for at teknologien videreudvikles, afprøves i pilotanlæg og demonstreres på fuldskala anlæg i Danmark eller - hvad angår fuld-skalanlæg - som minimum med anvendelse af dansk teknologi. Der skal være tale om procesteknologier, som både er egnet til danske forhold og som - bl.a. af hensyn til teknologiekspert - fleksibelt kan tilpasses varierende råvarer, markeder mv. Et primært restprodukt fra dansk landbrug vil være halm og en væsentlig energiforbruger vil være helsæd.

Til DME-produktion vil biomassen være træflis eller lignende ligninholdige materialer og i tilfældet naturgas vil denne med fordel kunne være komprimeret (CNG).

De forretningsmæssige/økonomiske enheder skal typisk være konsortier, hvor der indgår forskningsinstitutter, erhvervs- eller landbrugsvirksomheder med relevant specialer på produkt- og produktionsområdet, samt eventuelle finansielle partnere. Indsætterne bør i

høj grad sigte mod, at der udvikles teknologi og know-how, som kan patenteres og kommercialiseres internationalt, men som også kan udnyttes til etablering af produktion i Danmark.

Endelig er der behov for gennemførelse af opdaterede og sammenlignende selskabs- og samfundsøkonomiske analyser incl. energibalancer/miljø for de forskellige koncepter for fremstilling af de flydende biobrændstoffer.

Strategien vil blive konkretiseret og fulgt op i en invitation til et videre samarbejde mellem alle relevante sponsorer og aktører på området. Heri indgår bl.a. dannelse af strategiske samarbejder, partnerskaber og af konkrete målsatte udviklingsforløb for de enkelte teknologispor.

### 2.2.2 F&U-strategien for brint - herunder til transport

I modsætning til biobrændstofferne kræver anvendelse af brint i transportsektoren - udover nicheanvendelser - en ny infrastruktur og nye motorprincipper. Der vil være store samfundsmæssige økonomiske udgifter forbundet med udbygning af en brintbaseret infrastruktur rettet mod transportområdet.

Brint er ikke en energikilde, men en ikke-naturligt forekommende energibærer, som først skal produceres ud fra et andet brintholdigt medium som f.eks. naturgas, kul, biomasse eller vand (elektrolyse). 96 % af den brint, der blev fremstillet globalt i 2003 til industrielle formål stammer fra fossilt brændsel, hvorfra brint kan fremstilles med kendt og - i industriel sammenhæng - kommerciel teknologi.

Hvis brinten skal være et alternativt brændstof til de fossile skal det fremstilles på basis af vedvarende energikilder (VE) som vindmølleel, biomasse mv. Disse fremstillingsteknologier er ikke kommercielle eller færdigudviklede i forhold til energi- og transportsektoren. Anvendelse af VE-baseret brint som energibærer er ultimativt miljøvenlig, idet der er et minimum af emissioner mv. af miljøskadelige stoffer. Den langsigtede vision betegnes ofte som "brintsamfundet". På f.eks. Island – som er markant indenfor demonstration af brint – er tidshorisonten for en fuldbyrdet omstilling 2050.

Forskningstrategien for brint er udarbejdet i et tæt samarbejde med bl.a. Videnskabsministeriet, og den fokuserer primært på anvendelse af brint i kraftvarmesektoren, hvor potentialet for dansk udvikling på kortere og mellemlang sigt er størst. Selvom bilproducenterne er afgørende for implementering af brint i transportsektoren, er der imidlertid også her et væsentligt potentiale for dansk udvikling, men det er mere usikkert og med en længere tidshorisont for kommerciel anvendelse på 15 – 25 år.

Strategien prioriterer især de siden begyndelsen af 90-erne opbyggede danske styrkepositioner indenfor udvikling af brændselsceller, som kan baseres på bl.a. naturgas eller brint som energibærer. Udbredelsen af brint som brændstof kræver allerførst, at brændscelleteknologien er blevet kommerciel. Her er udviklingshorisonten 5 – 10 år – kortest for nicheapplikationer som bærbare batterier, små specialkøretøjer mv. (PEM-

celler). Brændselsceller til almindelige biler vurderes at kunne have opnået en før-kommerciel markedsstatus i EU i 2020. Der peges i strategien også på potentialet indenfor et dansk bidrag til udviklingen indenfor både produktion og lagring af brint.

Det fremgår således af strategien, at transportområdet er et helt specielt marked, hvor en succesfuld udvikling af især lavtemperatur PEM-brændselsceller kan få helt afgørende betydning. Energieffektiviteten for brændselscellebaserede køretøjer er ca. dobbelt så høj som for benzindrevne køretøjer hvilket betyder, at et brændselscellebaseret køretøj kun skal oplagre den halve energimængde ved den samme køreradius.

Udfordringen er således yderligere at udvikle nye lagrings-teknologier for brint, som kan lagre tilstrækkelige mængder brint i køretøjerne til at opnå en tilfredsstillende køreradius. Vejen til udvikling af kommercielle brændselsceller til transport går over indpasningen af cellerne i nichemarkeder og i niche-infrastruktur, f.eks. til fremdrift af gaffeltrucks, handicapkøretøjer og af andre "off road"-køretøjer.

Ved udgangen af 2006 er implementeringen af strategiens transportspor styrket ved dannelse af en særlig følgegruppe for den videre udvikling af de danske udviklings- og demonstrationsmiljøer for anvendelse af brint/brændselsceller i transportsektoren. Der forventes at være udarbejdet en konkret og mere detaljeret delstrategi for transportområdet inden udgangen af 2007.

### 2.2.3 Øvrige strategier og analyser

Der er udarbejdet flere andre relevante strategier og analyser i offentlig regi og andre er på vej.

Det Rådgivende Udvalg for Fødevareforskning under Fødevareministeriet udarbejdede ultimo 2005 *Værditilvækst og bedre miljø - en strategi for bioteknologisk forskning for non-food og foder*, hvor energi indgår som ét ud af 7 indsatsområder. Indenfor biobrændstoffer peges der bl.a. på behovet for en øget forsknings- og udviklingsindsats på råvaresiden, hvad angår f.eks. forædling af afgrøder specifikt til biobrændstofproduktion.

Som led i Teknologirådets projekt *Det fremtidige danske energisystem* diskuterede eksperter, interessenter og aktører hvordan man kan nå frem til 15 % *elektricitet* som energikilde i transportsektoren i år 2025. Resultatet er bl.a. rapporteret i Teknologirådets Nyhedsbrev "Fra rådet til tinget" no. 237 (april 2007), som bygger på en workshop i Teknologirådet den 14. marts 2007. El i transportsektoren indgår i projektets scenarierapport fra april 2007.

Transport- og Energiministeriet offentliggjorde i oktober 2006 *Strategi for transportforskning i Danmark*, som analyserede behovet for en forstærket transportforskning i Danmark indenfor temaer som infrastruktur, miljø-belastning, sikkerheds- og sundhedsrisici samt stigende trængsel.

Som opfølgning på ovennævnte strategi indgår det i Globaliseringsforliget som et nyt initiativ, at der i 2008 og 2009 afsættes i alt 30 mio. kr. til et *egentligt bredt*

*transportforskningsprogram*. Baggrunden herfor er ifølge forligsteksten, at der forventes en transportvækst, som vil føre til stigende trængsel og samtidig en potentiel stigende miljøbelastning og dermed et behov for yderligere forskning på området. Forskning inden for disse områder kan fx tage udgangspunkt i energi- og miljødimensionen og logistikbetragtninger ligesom informations- og kommunikationsteknologi (IKT) vurderes også at kunne bidrage til nye forskningsresultater på området.

De nye midler skal udmøntes af Det Strategiske Forskningsråd. Forinden udmøntningen påbegyndes skal en arbejdsgruppe udarbejde et fagligt grundlag, som giver et overblik over forskningsmæssige styrker og udfordringer i Danmark - også set i forhold til fx EU. Det forventes, at arbejdsgruppen skal have udarbejdet et oplæg inden den 15. september 2007.

## **2.3 De danske styrkepositioner i den videre udviklingsindsats**

Den globale efterspørgsel efter flydende biobrændstoffer og andre alternative drivmidler i transportsektoren forventes at vokse hastigt i de kommende år og på sigt fortrænge en del af transportens anvendelse af fossile brændstoffer. Denne udvikling indebærer meget betydelige vækstmuligheder for dansk erhvervsliv, som - hvis potentialet forløses - kan sammenlignes med den unikke globale position, som f.eks. dansk vindmølleindustri har opnået.

### 2.3.1 Bioethanol

Indenfor ny energiteknologi vurderes fremstilling af flydende biobrændstoffer at være et af de energiteknologiske områder, som indebærer det absolut mest betydelige danske vækstpotentiale på kortere/mellemlang sigt.

På bl.a. enzymteknologi, som også anvendes ved fremstilling af bioethanol – især hvis der anvendes ny teknologi og lavværdige råvarer - har de danske biotekvirksomheder Novozymes og Danisco (Genencor) i dag tilsammen ca. 80 % af verdensmarkedet og forskningsmæssigt er de verdensførende. Indenfor enzymer anvendt til fremstilling af 1. generations-bioethanol fra stivelsesholdige planter er der nu nogle af de største vækstrater i de to virksomheder, hvilket afspejler den stigende internationale efterspørgsel efter alternative brændstoffer. Det er især datterselskaberne i USA, som oplever den stigende efterspørgsel, men den forplanter sig i stigende grad til både Europa og Asien.

Danmark står med DONG Energy, landbruget og affalds- og kraftværkssektoren og en række private virksomheder ligeledes meget stærkt indenfor håndtering og behandling af halm og anden biomasse i totalanlæg. Kraftværkssektoren har sammen med bl.a. landbruget via den såkaldte politiske biomasseaftale gennem de sidste 10-15 år har udviklet den nødvendige logistik og de nødvendige procesanlæg mv. indenfor især halm - og dermed også for halmlignende råvarer - anvendt til produktion af el og varme. Danmark er på den baggrund verdensførende indenfor udnyttelse af halm i energisektoren. 12 % af det totale danske energiforbrug dækkes i dag af biomasse.



Også de statslige danske forskningsmiljøer som DTU, DTU-Risø og Kbh. ´s Universitet-KVL, samt GTS-institutterne m. fl. står meget stærkt internationalt indenfor omdannelse af biomasse til energi i et tæt samspil med den private udviklingsindsats.

I Danmark er der endvidere et stigende antal både konkrete projekter og projektplaner indenfor kommerciel produktion af 1. generations-bioethanol og biodiesel og indenfor ny 2. generations teknologi. Både olieselskaberne, kraftværks- og energisektoren, landbruget og en række industrielle virksomheder og private investorer står bag denne udvikling. Der er på den baggrund mulighed for, at der kan skabes en teknologisk 1. generations-platform på markedsvilkår, som kan være med til at danne grundlag for udviklingen af 2. generations-teknologierne. En række delteknologier, f.eks. fermenteringsdelen (gæringen) for ethanols vedkommende, er fælles for de 2 generationer. Der er også mulighed for industrielle symbioser i forhold til raffinaderier og anden stor-skala-procesindustri.

De toneangivende lande indenfor udvikling af 2. generations-bioethanolteknologi er - foruden Danmark - primært USA, Canada, Spanien og Sverige m.fl., som alle har gennemført længerevarende og på nationalt plan samordnede udviklingsforløb med offentlig støtte. Ligeledes har Kina for nylig øget sin udviklingsindsats markant med hjælp fra bl.a. danske virksomheder.

USA er med godt 150 fabrikker globalt set klart førende hvad angår produktion af 1. generations-bioethanol på stivelsesholdige råvarer. Råvaren er primært majsplanter, men med den stigende efterspørgsel efter ethanol bliver der behov for at inddrage andre dele af majsplanten og andre råvarer. USA satser derfor både på federalt og på delstatsniveau markant på at udvikle kommerciel 2. generations-teknologi, som kan udnytte majsstov mv. På federalt niveau er der fra 2006 afsat 250 mio. USD til en styrket udviklingsindsats. Disse midler kan også danske partnere - som i tidligere programmer - på især enzym- og mikroorganismekområdet få andel i.

Udviklingsaktiviteterne i de øvrige lande er af økonomisk omfang betydelig mindre, og de kan nogenlunde sammenlignes med omfanget af den samlede danske indsats efter oprettelsen af det nye danske udviklingsprogram for 2007-10. I skovrige lande som Sverige og Finland er udviklingsindsatsen primært rettet mod træ som råvare. Træ er generelt vanskeligere at omdanne til ethanol end mindre ligninholdige råvarer som halm.

Det vurderes sammenfattende, at Danmark i det samlede billede står meget stærkt på næsten alle parametre indenfor udvikling af 2. generationsteknologi:

- Forskningskompetence
- Industriel og landbrugskompetence
- Adgang til offentlig finansiering af udviklingen
- Privat investorbæredygtighed
- Tilstedeværelsen af/lovende erfaringer fra forsøgs-anlæg i større skala
- Tradition for/erfaringer med tværindustriel procesintegration og med anvendelse af biomasse til energiproduktion

- Tilstedeværelsen af innovationspartnerskaber.

Danmark har således et helt unikt udgangspunkt for at opnå en førende position indenfor ny kommerciel teknologi til biologisk omdannelse af biomasse til flydende brændstof.

### 2.3.2 Andre biobrændstoffer

Udover 2. generations bioethanol, hvor produktionen er baseret på enzymer og biologiske processer, har Danmark bl.a. i kraftværksregi en styrkeposition indenfor den såkaldt *termo-kemiske omdannelse af biomasse og affald via forgasning* til flydende brændstof som methanol, DME mv. Stærke aktører på området er DONG Energy, affaldssektoren, Haldor Topsøe og en række mindre private udviklingselskaber, samt DTU og flere andre offentlige forskningsinstitutioner og GTS-institutter. Også på anvendelsessiden gør dansk forskning sig gældende indenfor centrale aspekter ifm. udviklingen af DME-motorer mv.

Specielt Haldor Topsøe har en stærk position på verdensmarkedet indenfor omdannelse af naturgas til flydende brændstof som benzin, methanol og DME ved hjælp af katalysatorprocesser, og disse kompetencer udgør et solidt grundlag for en videreudvikling af teknologi til termo-kemisk omdannelse af biomasse til flydende brændstof. Biomassen skal først forgasses, og her er de specielle danske kompetencer, som er opnået ved gennemførelsen af det tidligere nationale danske forgasningsprogram særligt egnede, bl.a. da dansk teknologi kan producere en meget ren gas, hvilket er afgørende i katalysatorsammenhæng.

Også virksomhederne SCF Technologies, DAKA, Grundfos og Dinex Emmission Technology satser sammen med Teknologisk Institut og med offentlig støtte fra Højteknologifonden og Innovationsrådet progressivt på udvikling af nye generationer af biodiesel og biobrændstoffer – herunder af ny anvendelsesteknologi.

Denne udvikling kan også understøttes via *biodiesel-forsøgsordningen*, hvor der på finansloven er afsat 60 mio. kr. i 2007-09 til at opnå praktiske erfaringer med anvendelse af biodiesel i udvalgte flåder af køretøjer, f.eks. busser.

### 2.3.3 Brint, brændselsceller og elbiler til transport

I forbindelse med anvendelse af brint specielt i brændselscelledrevne køretøjer er det primært indenfor udviklingen af infrastrukturen til distributionen af brinten og indenfor lagringen og slutudnyttelsen af brinten i køretøjet at det store forsknings- og udviklingsbehov ligger.

Hos DTU - herunder Risø - og Teknologisk Institut findes der kompetencer indenfor lette, styrkebærende kompositmaterialer, som udgør et godt afsæt til udvikling af lette trykbeholdere til brint.

DTU - herunder Risø - og Århus Universitet har i en længere periode deltaget i udviklingen af teknologier til lagring af brint i metalhydrider. Suppleret med det høje

danske videnniveau indenfor nanoteknologi er der basis for yderligere udvikling på området.

Hvad angår transportsektoren forventes den såkaldte PEM-celle (Polymer Exchange Membrane) at blive den foretrukne brændselscelle. Den forventes først at vinde indpas i nichemarkeder f.eks. til fremdrift af gaffeltrucks, handicapkøretøjer og i interne transportsystemer.

Indenfor udviklingen af PEM-celler til transport er virksomheden IRD Fuel Cells sammen med DTU stærkt satsende aktører på det globale marked indenfor selve celleudviklingen, ligesom virksomheder som H2 Logic og flere andre udviklingsfirmaer - og samarbejder har gennemført et markant udviklings-arbejde indenfor systemintegration, som har udmøntet sig i praktisk anvendelse af brint i nichekøretøjer.

Samspelet mellem det danske elsystem med en høj – og stigende – andel af fluktuerende elproduktion fra vindmøller mv. og elbilernes potentiale som et effektivt energilag kan i de kommende år vise sig at blive en meget interessant dansk styrkeposition. Danmark har optimale forudsætninger for at demonstrere, hvorledes elbiler kan indpasses i elsystemet og udløse effektiviseringsgevinster. Der kan bl.a være tale om at udvikle nye teknologier, der kan sikre det optimale samspil mellem elbiler og elsystem.

### 2.4 En samlet styrket dansk udviklingsindsats

Den globale efterspørgsel efter flydende biobrændstoffer og andre alternative drivmidler i transportsektoren forventes at vokse hurtigt i de kommende år og på sigt fortrænge en stigende del af transportens anvendelse af fossile brændstoffer. Samholdt med de danske energiteknologiske styrkepositioner giver det potentiale for betydelige vækstmuligheder for dansk erhvervsliv.

På den baggrund og i forlængelse af de betydelige nye forsknings- og udviklingsinitiativer, som allerede er foreslået siden nedsættelsen af arbejdsgruppen, anbefaler arbejdsgruppen:

1. At den nationale udviklingsindsats indenfor de alternative drivmidler **fokuseres** på de væsentligste danske styrkepositioner, således at der opnås den nødvendige kritiske masse for udviklingsressourcerne indenfor hver styrkeposition. Da Danmark har flere markante styrkepositioner, vil dette samtidig kunne blive en **flerstrengt** indsats. De øgede statslige midler til forskning og udvikling indenfor ny energiteknologi i de kommende år ("energimilliarden") muliggør således en opprioritering af flere parallelle teknologspor. Samtidig bør der i tilrettelæggelsen af indsatsen lægges vægt på, at mulige udviklingsmæssige **synergifordele** mellem de forskellige teknologspor, udnyttes.
2. At der indenfor produktion af **2. generations bioethanol** arbejdes videre med dannelsen af ét eller flere længerevarende **udviklings- og innovationspartnerskaber** med henblik på at styrke kæden fra forskning til kommercialisering af teknologien. Der er allerede i forlængelse af regeringens redegørelse om miljøeffektiv teknologi fra 2006 ydet en bevilling til et ét-årigt

sekretariat til igangsættelse af sådanne partnerskaber. Der er blandt andet mulighed for industrielle symbioser i forhold til raffinaderier og anden stor-skala-procesindustri.

3. At udviklingsindsatsen indenfor **den termo-kemiske omdannelse af biomasse og affald til biobrændstof** via forgasning styrkes under de nationale forsknings- og udviklingsprogrammer for ny energiteknologi. Denne teknologi kan indebære nogle grundlæggende fordele i form af bedre energiudnyttelse og en øget fleksibilitet i forhold til biologisk omdannelse. Danmark har en stærk position på verdensmarkedet indenfor omdannelse af naturgas til flydende brændstof ("Gas-to-Liquid -GtL") som benzin, methanol og DME ved hjælp af katalysatorprocesser, og disse kompetencer udgør et solidt grundlag for en videreudvikling af teknologier til termo-kemisk omdannelse af biomasse til flydende brændstof ("Biomass-to-Liquid - BtL"). Endvidere er de specielle danske kompetencer, som bl.a. er opnået ved gennemførelsen af det nationale danske biomasseforgasningsprogram til kraftvarmeproduktion, særligt egnede til videreførelse i ny teknologi rettet mod transportsektoren.
4. At mulighederne for at skabe en **fælles dansk teknologiplatform** for delteknologier mellem bioethanolprogrammet og et nyt termo-kemisk indsatsområde bør understøttes mhp. på at opnå synergifordele i den teknologiske udvikling. Bl.a. da råvaren er den samme er der en række delteknologier, som kan være fælles for de 2 teknologisor. Hertil kommer at begge teknologisor indebærer, at der potentielt kan opnås både effektivitets- og energisystemmæssige fordele ved en **kombineret produktion af el/varme/transportbrændstof**.
5. At udviklingsindsatsen indenfor **nicheanvendelser af brint/brændselsceller til transport** styrkes indenfor de nationale forsknings- og udviklingsprogrammer med henblik på at bane vejen for anvendelse af danske kompetencer i den mere langsigtede udvikling af brintkøretøjer og -infrastruktur til alm. transport. Hermed styrkes samtidig implementeringen af den nationale strategi for udvikling af brint/brændselsceller anvendt til transport, som Energistyrelsen udarbejder i partnerskab med forskningsinstitutioner og virksomheder. Strategien forventes offentliggjort i løbet af 2007.
6. At perspektiverne i at **integrere anvendelse af biomasse til energi med anvendelse af biomasse til foder, non-food produkter og fødevarer** bør følges op med nye forsknings- og udviklingsindsatser. Det Rådgivende Udvalg for Fødevarerforskning har i sin bioteknologiske forskningsstrategi "Værditilvækst og bedre miljø" beskrevet perspektiverne og givet anbefalinger om en række indsatsområder. Endvidere bør de **afledte samfunds- og landbrugsmæssige konsekvenser** af en stigning i efterspørgslen af biomasse til energi og ændringer i arealanvendelse og miljøpåvirkning analyseres nærmere.
7. At det nærmere overvejes, hvordan man bedst **indhenter erfaringer og udvikler løsninger**, der forbedrer grundlaget for på længere sigt **at anvende elbiler** i Danmark i større omfang. Herunder bør det overvejes at støtte ét eller flere projekter, som kan bidrage med nye konkrete erfaringer med teknologien og den nødvendige infrastruktur, og som kan belyse mulighederne for indpasning af elbiler som et

fleksibelt lager i det danske elsystem. Elbilernes potentiale som energilager i samspil med elproduktionen fra vedvarende energi kan i de kommende år vise sig at blive en interessant dansk styrkeposition, idet det danske elsystem har en høj og forventet fortsat stigende andel af fluktuerende elproduktion fra vindmøller mv.

8. Og endelig, at den danske udviklingsindsats inden for nye energiteknologier til transportformål gøres til genstand for en **samlet evaluering** som led i de fireårige evalueringer regeringen har forslået i det nye energiudspil. Herved bliver det muligt, at vurdere den indbyrdes udvikling af de forskellige mulige transportteknologier, og at se dem i sammenhæng med udviklingen i øvrigt på transportområdet. Dette skal ske med henblik på at identificere eventuelle behov for revurdering af indsatsområder og virkemidler. Indsatsen bør i den forbindelse også vurderes i et **internationalt perspektiv**.

## **Litteraturliste til bilag 2**

1. *Forslag til lov om et Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP)* fremsat af transport- og energiministeren den 14. marts 2007.
2. *Energistrategi 2025*. Transport- og Energiministeriet, juni 2005.
3. *En visionær dansk energipolitik*. Transport- og Energiministeriet, januar 2007.
4. *Redegørelse om fremme af miljøeffektive teknologier - vejen til et bedre miljø*. Regeringen, maj 2006.
5. *Danske løsninger på globale miljøudfordringer - regeringens handlingsplan for fremme af miljøeffektiv teknologi*. Regeringen, maj 2007 - høringsudgave.
6. *Strategi for forskning og udvikling vedr. fremstilling af flydende biobrændstoffer*. Energistyrelsen, juni 2005.
7. *Brintteknologier – strategi for forskning, udvikling og demonstration*. Energistyrelsen, juni 2005.
8. *Værditilvækst og bedre miljø – en bioteknologisk forskningsstrategi for non-food og foder*. Det Rådgivende Udvalg for Fødevareforskning, 2005.
9. *Fra rådet til tinget: Dobbelt gevinst med elbiler*. Teknologirådets nyhedsbrev til Folketinget nr. 237 – april 2007.
10. *Strategi for transportforskning i Danmark*. Transport- og Energiministeriet, oktober 2007.

## **Bilag 3. Kommissorium for arbejdsgruppen**

Kommissorium for tværministeriel arbejdsgruppe om alternative drivmidler i transportsektoren

I regeringsgrundlaget "Nye Mål", februar 2005, hedder det bl.a.

"Grøn teknologi og bio-brændstof

Udvikling og anvendelse af ny teknologi kan være en af vejene til at løse miljøproblemer og kan samtidig have positive erhvervsmæssige effekter. Regeringen vil styrke udviklingen af grøn teknologi, bl.a. på energiområdet og brændstofområdet."

Regeringens "Energistrategi 2025", juni 2005, peger på et behov for at styrke den langsigtede energiforsynings sikkerhed og bidrage til at imødegå fremtidige klimapolitiske udfordringer. Transportområdet er næsten helt afhængigt af olieprodukter, og transportsektorens olieforbrug er fortsat voksende. Energistrategien anbefaler derfor blandt andet, at der satses på at udvikle nye konkurrencedygtige teknologier, der kan medvirke til at reducere afhængigheden af olie i transportsektoren og bidrage til at opfylde fremtidige klimapolitiske krav.

Der nedsættes på den baggrund en tværministeriel arbejdsgruppe med henblik på at udarbejde forslag til at realisere regeringens intentioner på brændstofområdet.

Arbejdsgruppen skal fremlægge forslag til, hvordan udviklingen af teknologier for alternative drivmidler i vejtransporten som fx biobrændstoffer, naturgas og på sigt brint kan styrkes. Der lægges vægt på, at de på en omkostningseffektiv måde kan bidrage til den langsigtede energiforsynings sikkerhed og til at opfylde klimaforpligtelser og andre miljømålsætninger. I den forbindelse skal arbejdsgruppen også undersøge perspektiverne for at styrke udviklingen af omkostningseffektive teknologier til samproduktion af transportdrivmidler, el og varme. Herunder belyses danske forskningsinstitutioners og virksomheders styrkepositioner inden for de forskellige teknologier.

Arbejdsgruppen skal desuden undersøge i hvilket omfang, de alternative drivmidler i de næste årtier vil kunne bidrage til at mindske CO<sub>2</sub>-emissioner og andre miljøbelastninger ved energiforbruget til Vejtransport og forbedre energiforsynings sikkerheden. I analyserne skal blandt andet lægges vægt på at vurdere omkostningseffektiviteten på kort og længere sigt samt perspektiverne for en styrket teknologi- og erhvervsudvikling.

I henhold til EU's biobrændstofdirektiv skal regeringen senest den 1. juli 2007 meddele EU Kommissionen Danmarks vejledende mål for andelen af biobrændstoffer til transport ultimo 2010. Referenceværdien herfor er i direktivet fastsat til 5¾ pct. for hele EU. Arbejdsgruppen skal udarbejde et oplæg til en foreløbig fastlæggelse af Danmarks vejledende mål i 2010.

EU-Kommissionen forventes i starten af juli 2005 at træffe beslutning om at indlede en traktatkrænkelsessag mod Danmark på grundlag af Kommissionens vurdering af, at det

## *Alternative drivmidler i transportsektoren*

vejledende danske nul-mål for brugen af biobrændstoffer ultimo 2005 er uforeneligt med kravene i biobrændstofdirektivet. Hvis Kommissionen indleder en traktatkrænkelssag, skal arbejdsgruppen som sin første opgave vurdere handlemulighederne under hensyntagen til blandt andet omkostningseffektivitet og samlede miljøvirkninger.

Arbejdsgruppen består af repræsentanter for Transport- og Energiministeriet (formand), Finansministeriet, Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Skatteministeriet samt Økonomi- og Erhvervsministeriet.

Arbejdsgruppen skal aflægge endelig rapport til regeringen ultimo 2006. Arbejdsgruppen skal i fornødent omfang inddrage ekstern sagkundskab.