

Energistyrelsen

# Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren

Rapport

December 2007

Energistyrelsen

## Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren

Rapport

December 2007

Dokument nr. 1  
Revision nr. 10  
Udgivelsesdato 04. december 2007

Udarbejdet MPN, JDB, KUM, HDU  
Kontrolleret HDU, TOD  
Godkendt HDU

## Indholdsfortegnelse

<b>Sammenfatning og konklusioner</b>	<b>3</b>
<b>1 Indledning</b>	<b>8</b>
1.1 Baggrund	8
1.2 Formål	8
1.3 Indhold	9
<b>2 Identifikation og prioritering af teknologier</b>	<b>10</b>
2.1 Definitioner og terminologi	10
2.2 Teknologi-elementer	10
2.3 Teknologi-spor	11
<b>3 Tilgang og metode</b>	<b>18</b>
3.1 Overordnet tilgang	18
3.2 Forudsætninger og metode	20
3.3 Systemberegninger for teknologi-spor	22
<b>4 Regnearksmodellen</b>	<b>30</b>
4.1 Regnearkets opbygning og betjening	30
<b>5 Vurdering af teknologierne</b>	<b>33</b>
5.1 Teknologi-elementer	33
5.2 Teknologi-spor	33
5.3 Potentialer	39
5.4 Samlet vurdering	48
<b>6 Litteraturliste</b>	<b>51</b>

## Bilagsfortegnelse

Bilag A Oversigt over energiteknologier til forsyning af transportsektoren

Bilag B Beskrivelse af teknologi-elementer

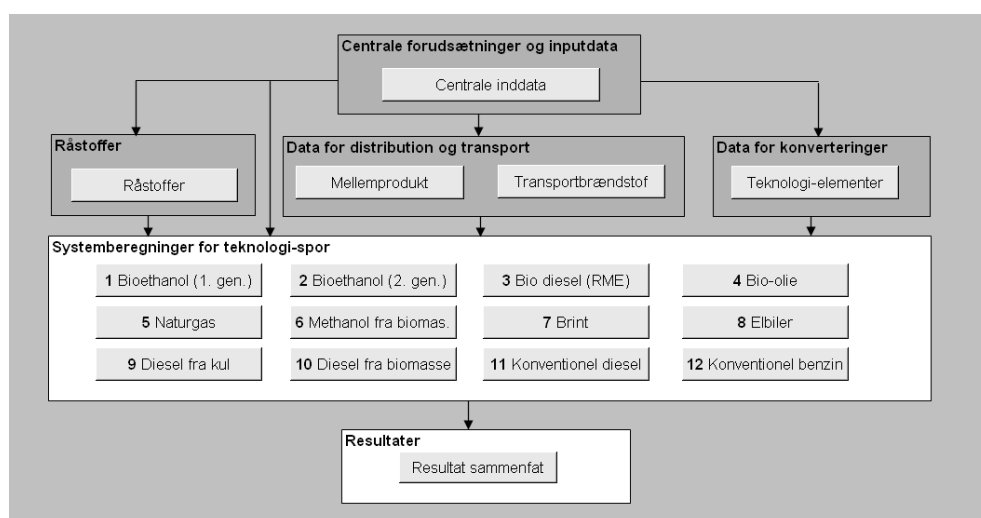


## Sammenfatning og konklusioner

I denne analyse er der udviklet en metode til konsistent at kunne vurdere hvilke alternative drivmidler til transport, der har de største *teknologiske* og *økonomiske* potentialer. Der er desuden udviklet og opstillet et struktureret, brugervenligt og gennemsigtigt regnearksværkstøj med beregninger af omkostninger, energieffektivitet og miljøbelastning.

Der findes et stort antal alternative drivmidler, ligesom der findes en række forskellige måder at producere disse drivmidler på. Tilgangen i denne analyse er at se på hele teknologispør, således at vurderingen af drivmidlerne omfatter hele produktionskæden fra frembringelse af råstoffet over konvertering til brændstof og distribution heraf frem til leveringen af den mekaniske energi i køretøjet. Analysen fokuserer alene på personbiler og omfatter således ikke potentialet i andre transportmidler.

For at sikre sammenlignelighed er der forudsat en ensartet mellemklassebil, som er udstyret med forskellige fremdrivningsmidler i de forskellige teknologispør. Blandt det meget store antal mulige teknologispør er i samråd med Energistyrelsen udvalgt 10 alternative teknologispør samt to reference spor, nemlig almindelig benzin og diesel. Teknologispørerne fremgår af nedenstående figur over beregningsgangen.



Beregningerne ser på de aktuelle teknologiske muligheder og omkostninger samt på muligheder og omkostninger på længere sigt, hvor de nye teknologier

forudsættes udviklet til et kommercielt niveau. Dette længere sigt er i analysen repræsenteret som året 2025, som således snarere skal tages som udtryk for en fremtidig situation hvor teknologien er til rådighed på kommercielle vilkår end et specifikt tidspunkt.

Resultaterne af beregningerne er behæftet med en væsentlig usikkerhed. Der er ganske stor usikkerhed om en række væsentlige inddata, f.eks. opstrøms-energiforbrug for råvarer, emissioner, prisudvikling osv. Endvidere hersker der stor usikkerhed om den teknologiske udvikling på længere sigt, især for de nye teknologier såsom 2. generation bioethanol og brændselsceller, og både med hensyn til tekniske forhold og til omkostningsudvikling. Resultaterne af beregningerne skal derfor tages med forbehold, ligesom der ligger en opgave i løbende at forbedre datagrundlag og forudsætninger.

De danske muligheder for at producere og anvende biobrændstoffer er ikke begrænset af den indenlandske tilgang af biomasse og energiafgrøder, idet der eksisterer et internationalt marked herfor. Det internationale marked for biomasse og biobrændstoffer forventes yderligere udviklet, der forventes således en stigende produktion af biomasse for energiformål i Østeuropa med henblik på eksport i de kommende år. Ved vurderingen af de alternative teknologier er der taget udgangspunkt i økonomien - suppleret med information om miljø og virkningsgrad - i højere grad end i de indenlandske potentialer og ressourcer. Resultaterne af beregningerne er beskrevet i nedenstående tabeller.

Økonomi	2006		2025	
	Samfundsøkon. omk. DKK/GJ mek	<i>heraf brændstof</i> DKK/GJ mek	Samfundsøkon. omk. DKK/GJ mek	<i>Heraf brændstof</i> DKK/GJ mek
Konventionel diesel	2.994	439	2.874	369
Konventionel benzin	3.029	618	2.806	421
Bioethanol (1. gen.)*	3.365	964	3.032	659
Bioethanol (2. gen.)**	n.a.	n.a.	2.943	588
Bio diesel (RME)	3.131	601	2.988	506
Bio-olie	3.278	544	3.161	457
Naturgas	3.056	482	2.705	331
Methanol fra biomas.	20.277	631	3.939	467
Brint	16.062	425	3.184	380
Elbiler	4.026	173	3.102	192
Diesel fra kul	3.103	523	2.962	440
Diesel fra biomasse	3.823	925	3.577	731

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO<sub>2</sub>-kvoternes forventede indvirkning. Værdien af CO<sub>2</sub>-emissionerne fra elsystemet er værdisat og medtaget i det samlede samfundsøkonomiske resultat. De meget høje udgifter forbundet med methanol fra biomasse og fra brint i 2006 skyldes, at der er forudsat anvendt brændselsceller i bilerne. Disse er i dag meget dyre, men forventes i de kommende år at komme væsentlig ned i pris. \* produceret på hvede, \*\* produceret på halm

Konventionel diesel og benzin fremstår på kort sigt som de samfundsøkonomisk mest attraktive drivmidler.

På kort sigt ser naturgas, bio-olie og bio-diesel (produceret på raps) endvidere ud til at være økonomisk de mest attraktive alternativer til benzin og diesel. For bio-olie og bio-diesels vedkommende skyldes dette at teknologien er veludviklet, og de væsentligste økonomiske parametre er hhv. verdensmarkedsprisen på rapsfrø versus verdensmarkedsprisen på fossil diesel. For naturgas skal forklaringen bl.a. findes i at naturgassen som udgangspunkt er billigere end benzin.

Omkostningerne ved produktion af syntetisk diesel ud fra kul ligger i beregningerne forholdsvis tæt ved omkostningerne ved almindelig diesel. Det skyldes prisrelationen mellem råolie (51,5 DKK/GJ eller ca. 50 \$/tdr) og kul (15 DKK/GJ).

Omkostningerne til produktion af bio-ethanol ud fra 1. generationsteknologien er høj, hvilket først og fremmest skal tilskrives en relativt høj pris på hvede, men også 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 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 drivmidler som bliver mere interessante ud fra et økonomisk perspektiv. Først og fremmest bliver brint og metanol til brug i biler med brændselsceller væsentlig mere attraktive som følge af den forventede teknologiske udvikling især i brændselscelleteknologien. En væsentlig fordel ved disse teknologier er de meget små emissioner fra hele sporet og især fra køretøjet.

Der forventes udviklet mere effektive og holdbare batterier, mens der regnes med uændrede omkostninger til selve køretøjet. Samlet set betyder dette imidlertid at elbiler forventes at udgøre et rimeligt attraktivt alternativ i fremtiden. Det skal samtidig bemærkes, at der her er regnet med "blandingsel", og ikke med en optimeret anvendelse af elsystemet til brug for opladning af biler. Dette ville kunne reducere de samfundsøkonomiske omkostninger ved elforsyningen af bilerne. Det skal ligeledes fremhæves at der hersker betydelig usikkerhed i forhold til de fremtidige omkostninger til batterier i elbiler.

I nedenstående tabel er angivet emissionen af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter fra teknologisporene. Det skal bemærkes at der forventes en generel effektivitetsforbedring af alle benzin og diesel motorer gennem perioden, hvilket generelt reducerer CO<sub>2</sub>-emissionerne. CO<sub>2</sub>-emissioner forbundet med elforbrug er medtaget selv om elsektoren er underlagt kvote-ordningen. Regnearksmodellen indeholder dog en funktion således at kvotesystemet kan "slås til", hvorved emission fra elforbrug trækkes ud og elprisen til gengæld øges idet CO<sub>2</sub>-emissionen antages internaliseret i elprisen.

CO <sub>2</sub> -eq emission	2006	2025
Teknologi-spor	kg/GJ mek	kg/GJ mek
Konventionel diesel	398	333
Konventionel benzin	517	352
Bioethanol (1. gen.)	353	225
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	139
Bio diesel (RME)	182	150
Bio-olie	169	138
Naturgas	451	294
Methanol fra biomas.	115	80
Brint	678	402
Elbiler	252	185
Diesel fra kul	519	424
Diesel fra biomasse	164	120

Note: Tabellen viser de samlede CO<sub>2</sub>-emissioner for de forskellige teknologi-spor inkl. CO<sub>2</sub>-emissionerne fra elproduktion.

Med undtagelse af diesel produceret på kul og brint er alle de alternative drivmidler forbundet med et CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialet. Det er således muligt at reducere CO<sub>2</sub>-udslippet gennem introduktion af alternative drivmidler. Potentialet er størst for methanol på biomasse, diesel fra biomasse, bio-ethanol (2. gen.), elbiler, bio-diesel, mens det er mindst for naturgas og brint.

Reduktion af CO<sub>2</sub> gennem substitution af benzin og diesel med alternative drivmidler vil imidlertid i dag være forbundet med betydelige meromkostninger. Der findes ikke noget teknologi-spor som på kort sigt vil kunne anvendes til at opnå betydelige CO<sub>2</sub>-reduktioner. Anvendelse af biomasse kan give betydelige reduktioner i transportsektoren isoleret, men disse reduktioner vil også kunne opnås hvis biomassen alternativt anvendes til produktion af kraftvarme.

Bio-ethanol (1. gen.) kan kun fortrænge beskedne mængder af CO<sub>2</sub>, og energi-effektiviteten ved produktion af såvel 1. generations som 2. generations bio-ethanol er relativt beskedent. Potentialet for fremstilling af bio-ethanol er desuden begrænset. Disse resultater er dog meget afhængige dels af den valgte afgrøde til brug for produktionen, dels af den specifikke udformning af produktionsanlægget for bio-ethanol. Højere samlede udbytter og virkningsgrader forventes at kunne opnås bl.a. gennem tættere samspil med kraftvarmeværker.

Der kan produceres store mængder ikke konventionelle olie-produkter og syntetisk brændsler fra forgasning og katalysator-processer (i denne analyse er der regnet på 3 af mulighederne (diesel fra biomasse, diesel fra kul og methanol fra biomasse) - men der findes mange andre muligheder - f.eks. kan naturgas anvendes direkte). Processerne har begrænsede virkningsgrader og er enten forbundet med betydelige meromkostninger sammenlignet med konventionel diesel og benzin (methanol) eller giver anledning til større udledning af CO<sub>2</sub> og øvrige emissioner (diesel fra kul).

Infrastrukturen har stor betydning for hvor hurtigt en teknologi rent praktisk kan indpasses i den danske energiforsyning. Nogle drivmidler, f.eks. bio-diesel (RME) kan anvendes direkte i eksisterende dieselmotorer og distribueres gennem eksisterende tankstationer, mens bioethanol, kan blandes benzin i andele op til 10% og anvendes som almindelig benzin. Andre, f.eks. benzin med højt indhold af ethanol (f.eks. 85%), rapsolie, komprimeret naturgas og DME fra biomasse kan anvendes i modificerede benzin og dieselmotorer og distribueres som separate brændstoffer til tankstationer. Endelig forudsætter drivmidlet brint etablering af ny infrastruktur til produktion og distribution af brint ligesom teknologien kræver udskiftning af bilerne.

Det skal i denne forbindelse bemærkes, at det i analysen er søgt at afspejle de langsigtede omkostninger. Det betyder at der ikke er medregnet ekstra omkostninger som følge af afholdelse af investeringer i ny infrastruktur for de alternative teknologi-spor. Der er således ikke taget hensyn til forskellene i kravene til infrastrukturen. Endvidere er udviklingsomkostningerne for de forskellige teknologier ikke medtaget.

## 1 Indledning

Denne rapport dokumenterer en analyse, som har haft til formål at vurdere teknologier i forbindelse med alternative drivmidler til transportsektoren. Rapporten er udarbejdet af COWI A/S på opdrag fra Energistyrelsen.

Rapporten har været i offentlig høring og dette er en revideret udgave med justeringer og rettelser i forhold til høringssvarene.

### 1.1 Baggrund

I forbindelse med strategiarbejdet ”*Alternative drivmidler til transportsektoren*” skal Energistyrelsen foretage en vurdering af hvilke teknologiløsninger for drivmidler (alternativer til produkter fra fossil olie) til transportsektoren, der kan forventes og evt. fremmes på mellemlang og lang sigt. I forbindelse med dette arbejde har Energistyrelsen anmodet COWI om assistance til frembringelse og strukturering af eksisterende viden samt supplerende analyser på området.

### 1.2 Formål

Det overordnede formål med dette projekt er at tilvejebringe et grundlag for at kunne vurdere hvilke alternative drivmidler til transport, der synes at have de største *teknologiske* og *økonomiske* potentialer på langt sigt.

Der skal i denne forbindelse udarbejdes en bruttoliste over potentielle teknologier og de enkelte teknologi-elementer skal beskrives bl.a. med hensyn til teknologiens stadie, teknisk potentiale, miljø og økonomi (fakta-ark).

Endelig skal det overordnet vurderes, hvilke erhvervsmæssige potentialer der er forbundet med teknologierne for Danmark samt hvor danske forskningsinstitutioner og virksomheder bedst vil kunne bidrage til den internationale teknologiske udvikling.

I forbindelse med opgaveløsningen skal der udvikles en regnearksmodel, som præsenterer de indsamlede data og som anvendes til systemberegninger af økonomi, energieffektivitet og miljøbelastning for de forskellige teknologi-spor.

### 1.3 Indhold

Rapporten indledes i kapitel 2 med en oversigt over de identificerede teknologi-elementer samt en tabel over teknologi-spor. Det redegøres for hvilke teknologi-spor, der er udvalgt til nærmere analyse inden for rammerne af dette projekt. Afsnittet indledes med en beskrivelse af anvendte definitioner og terminologi.

I kapitel 3 beskrives den anvendte tilgang og metode hvilket bl.a. inkluderer en beskrivelse af de anvendte rammer for analysen. Desuden beskrives de anvendte definitioner og forudsætninger og den anvendte metode for systemberegning af økonomi, energieffektivitet og miljøbelastning for de udvalgte teknologi-spor.

I kapitel 4 redegøres nærmere for den opbyggede regnearksmodel.

I kapital 5 præsenteres de indsamlede data og resultater af beregninger. Der gives en samlet vurdering af teknologi-sporene, mens beskrivelserne af de enkelte teknologier inklusiv fakta-ark fremgår af bilag B.

Kapital 6 indeholder en litteraturfortegnelse over anvendte og visiterede kilder.

## 2 Identifikation og prioritering af teknologier

Nedenfor præsenteres en oversigt over teknologi-elementer, der er identificeret i forbindelse med alternative drivmidler til transportsektoren. Der redegøres desuden for hvilke teknologi-spor, der er udvalgt til nærmere analyse inden for rammerne af dette projekt.

Afsnittet indledes med en beskrivelse af anvendte definitioner og terminologi.

### 2.1 Definitioner og terminologi

Et *alternativ drivmiddel til transport*, beskrives ud fra et *teknologi-spor*, som består af en række *teknologi-elementer*, der giver en samlet løsning fra energi-produktion til slutanvendelse i et transportmiddel.

Et *teknologi-element* er en teknologi til konvertering af energi fra en form til en anden, eller overførsel/akkumulering af energi.

Et *teknologi-spor* består af et eller flere teknologielementer, der samlet fører fra en energi-råvare til et slutforbrug i en energitjeneste.

### 2.2 Teknologi-elementer

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 den seneste 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, i forhold til energi fra en råvare over distribution og konvertering til et slutforbrug i en energitjeneste i et køretøj.

Der henvises til bilag A for den udarbejdede oversigt, som indeholder en bruttofortegnelse over teknologi-elementer (udarbejdet på basis af udkast fra Energistyrelsen).

Oversigten består af 6 led, som involverer selve råstoffet, distribution/transmission samt konverteringer. De 6 led er:

- 1 Råstof
- 2 Konvertering af råstof
- 3 Mellemprodukt - transport/distribution
- 4 Konvertering af mellemprodukt
- 5 Transportbrændstof - transport/distribution
- 6 Motortype

De forskellige led i kæden er aktiviteter, der kan karakteriseres ud fra tekniske og økonomiske data.

Råstofferne (f.eks. hvede) er beskrevet ud fra oplysninger om pris, energiindhold og opstrøms-energiforbrug.

Konverteringen af råstoffer (samt konverteringen af mellemprodukt) er beskrevet ud fra et fakta-ark samt en kort beskrivelse af teknologien (kort teknologibeskrivelse, 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. Disse er beskrevet ud fra oplysninger om pris, energiforbrug og distributionstab.

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

## 2.3 Teknologispør

Med udgangspunkt i den opstillede oversigt over teknologi-elementer samt en screening af den indsamlede information er der identificeret en række teknologispør. Teknologispørene er listet i Tabel 2.1 nedenfor.

Listen indeholder en kort beskrivelse af teknologispøret og specificerer præcis hvilke teknologi-elementer, der indgår i teknologispøret. For hvert enkelt teknologi-element eksisterer der ofte en række forskellige alternativer. Eksempelvis eksisterer der flere forskellige olieholdige bio-energiprodukter, ligesom syntetisk diesel fremstillet via Fischer Tropsch kan være baseret syntesegas fremstillet på forskellig vis. Der er således ikke tale om en udtømmende liste, idet der teoretisk kan opstilles mange flere spør med varianter af de enkelte elementer. Der kan desuden sammensættes teknologispør med andre sammensætninger af teknologi-elementer.

Som nævnt er der for hvert teknologi-element ofte en hel række alternative teknologier som resulterer i samme produkt. De specifikke teknologi-elementer som indgår i teknologispørene er udvalgt ud fra en overordnet vurdering af potentiale og med baggrund i et kriterium om at dække bredt de teknologier

som findes i dag og forventes i løbet af de næste 10-20 år. Udvælgelsen er foretaget i samarbejde med Energistyrelsen.

Der er udvalgt i alt 10 teknologi-spor baseret på andet end olie samt et spor for konventionel benzin og diesel, således at der i alt er udvalgt 12 spor. De 10 teknologier dækker både de såkaldte 1. generations teknologier som bio-diesel produceret på raps samt bio-ethanol produceret på hvede samt 2. generations teknologier i form af bio-ethanol produceret på halm. Desuden dækkes forgasning af biomasse med efterfølgende katalysator-proces til diesel eller methanol. Denne teknologi betegnes også for 3. generationsteknologi.

Udvælgelsen har imidlertid bevirket at der er enkelte teknologier og råstoffer som ikke er omfattet/afdækket i analysen. Det omfatter eksempelvis - men er ikke begrænset til - LPG som drivmiddel og organisk affald (primært dagrenovation) som råstof.

Tabel 2.1 Oversigt over relevante teknologi-spor - nr. 1-2

Betegnelse	1. generation bioethanol (1)	2. generation bioethanol (2)
Kort beskrivelse	Produktion af ethanol (E85) som iblandes benzin	Produktion af ethanol (E85) som iblandes benzin
<b>Råstof</b>	Hvede	Halm
<b>Konvertering af råstof</b>	Traditionel ethanol fabrik (Enzymatisk forbehandling, fermentering, destillation). Energi til destillation ved gasforbrænding Ethanol iblandes benzin på raffinaderi	Ny udviklet ethanolprocess (Enzymatisk forbehandling (C5 og C6 enzymer), fermentering, destillation). Energi til destillation fra spildvarme (kraftvarme) Ethanol iblandes benzin på raffinaderi. Der forudsættes anvendt damp fra et kraftvarmeanlæg i konverteringsprocessen
<b>Mellemprodukt</b>	-	-
<b>Konvertering af mellemprodukt</b>	-	-
<b>Transportbrændstof</b>	ethanol E85	ethanol E85
<b>Motortype</b>	Ethanol/benzin (flexifuel) motor	Ethanol/benzin (flexifuel) motor
Danske kompetencer	Dansk Landbrug (produktion af korn, roer) Danske raffinaderier	ELSAM: Omsætning af halm/helsæd, pilotanlæg. DTU-Biocentrum: Biogas, fermentering. RISØ: Forbehandling/ våd-oxidation. KVL: Samarbejder med DTU og RISØ
Vurdering	Kendt og tilgængelig teknologi. Begrænset miljøgevinst og begrænset potentiale. Implementering nu kan kick-starte udvikling i Danmark.	Teknologien mangler fortsat udvikling og opskalering. Teknologi med højt potentiale internationalt. I DK er der konkurrence om ressourcen. Højt vidensniveau i DK. Investeringstung teknologi.
Kommentar	Mange mulige råvarer (sukker eller stivelseholdige).	Råvare er restprodukt fra skov- og landbrug - kan også være træ. Der er regnet på produktion ud fra ren halm. I praksis vil man muligvis kunne optimere 2. generationsanlæg ved at anvende en kombination af både korn og halm, ligesom der er mulighed for at benytte andre typer bioafgrøder (pil, elefantgræs mm.)
Tidshorisont	Kort	Lang (2015-2020)

Tabel 2.2 Oversigt over relevante teknologi-spor - nr. 3-5

Betegnelsen	Bio-diesel (3)	Bio-olie (4)	Naturgas (5)
Kort beskrivelse	Produktion af rapsolie til brug i standard diesel-motor	Produktion af rapsolie til brug i modificeret diesel-motor	Naturgas komprimeres og benyttes i tilpasset otto-motor (benzin motor)
<b>Råstof</b>	Rapsfrø	Rapsfrø	Naturgas
<b>Konvertering af råstof</b>	Oliemølle og RME (Raps Methyl Ester) raffinering	Oliemølle/Presning af rapsfrø	Raffinaderi (ej aktuel i DK)
<b>Mellemprodukt</b>	-	-	Naturgas
<b>Konvertering af mellemprodukt</b>	-	-	Komprimering af naturgas
<b>Transportbrændstof</b>	Bio-diesel	Bio-olie	Komprimeret naturgas
<b>Motortype</b>	Standard diesel motor*	Modificeret diesel motor	Otto motor
Danske kompetencer	Dansk Landbrug (produktion af rapsfrø) Emmelev mølle (producent af bio-diesel)	Nordvestjysk Folkecenter søger at udbrede viden om brug af rene planteolier til transport og laver bl.a. kurser i ombygning af dieselmotorer.	Naturgas i Nordsøen, Erfaringer i DK med LPG-gas i bybusser, men ej med CNG.
Vurdering	Nemt at implementere, idet bio-diesel er det mest udbredte biobrændstof i Europa (80% andel).	Svært at implementere i stor skala idet motor skal modificeres, og er da ikke konvertibel med mineralsk diesel	Det er velkendt at benytte N-gas til transport. Flere bilmodeller findes. N-gas biler er f.eks. udbredt i Italien og Argentina.
Kommentar	CO2 reduktion skal opvejes mod potentiel N2O produktion ved traditionel dyrkning af raps.	CO2 reduktion skal opvejes mod potentiel N2O produktion ved traditionel dyrkning af raps.	N-gas kan komprimeres til CNG. Gasudvinding i Nordsøen snart på retur.
Tidshorisont	Kort	Kort	Kort

\* Det er i analyserne forudsat at bio-diesel kan anvendes direkte i køretøjer med en alm. dieselmotor. De fleste producenter giver i dag ingen garanti, hvis der anvendes bio-diesel som brændstof til erstatning for konventionel diesel. Der kan således måske være behov for justeringer af motorerne for at de fungerer på 100% bio-diesel. Disse justeringer vurderes dog under alle omstændigheder at være så små at omkostningerne er antaget at være 0.

Tabel 2.3 Oversigt over relevante teknologi-spor - nr. 6-8

Betegnelser	Methanol fra biomasse (6)	Brint (7)	Elbiler (8)
Kort beskrivelse	Biomasse omdannes til gas som igen omdannes til MeOH som bruges i brændselscelle.	Brint produceres ud fra strøm: Dansk blandings-el (kul/gas/biomasse/vind) komprimeres og benyttes i brændselscelle	Strøm (blandingsel-kul/gas/biomasse/vind) lades på batteri i elbil.
<b>Råstof</b>	Biomasse	kul/gas/biomasse/vind	kul/gas/biomasse/vind
<b>Konvertering af råstof</b>	Termisk forgasser	Termiske anlæg / vindmøller	Termiske anlæg / vindmøller
<b>Mellemprodukt</b>	Syntesegas (CO, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Strøm i el-net	
<b>Konvertering af mellemprodukt</b>	Omdannelse til MeOH via katalysator.	Elektrolyse og komprimering	
<b>Transportbrændstof</b>	MeOH	Komprimeret brint	Strøm ladet i batteri
<b>Motortype</b>	Brændselscelle til elmotor	Brændselscelle til elmotor	El-motor
Danske kompetencer	Biogasanlæg. Producenter af biogasanlæg	Brændselscelleudvikling: IRD, DTU, AUC, TI.	
Vurdering	Biomasse forgasningsteknikken mangler fortsat udvikling og opskalering. Teknologi med højt potentiale internationalt. I DK er der konkurrence om ressourcen.	Lav emission og lydløse køretøjer. Avanceret og dyr teknologi. Samlet energi- og emissions regnskab.	Lav emission og lydløse køretøjer. Relativt simpel teknologi Radius og hastighed mindre end ved konventionelle teknikker.
Kommentar	Brændselscelle med reformer kan på sigt blive motor	Brændselscelle kan forsynes med mange typer brændsler herunder N-gas/biogas og reformer, ethanol, methanol,  Brint og batteri vil med fordel kunne kombineres.	Dansk blandingsel - vil være en forsimpning, idet man må antage at stor udbredelse vil medføre en regulering/prisinsatiment således at el forbruges når el-pris er lav.
Tidshorisont	Lang	Lang	Kort

Tabel 2.4 Oversigt over relevante teknologi-spor - nr. 9-10

Betegnelse	Diesel fra kul (9)	Dieselbrændstof fra biomasse (10)
Kort beskrivelse	Kul omdannes til gas som igen omdannes via syntese til diesel som bruges i dieselmotor.	Biomasse omdannes til gas som igen omdannes via syntese til DME som bruges i dieselmotor.
<b>Råstof</b>	Kul	Biomasse
<b>Konvertering af råstof</b>	Termisk forgasser	Termisk forgasser
<b>Mellemprodukt</b>	Syntesegas (CO, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Syntesegas (CO, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)
<b>Konvertering af mellemprodukt</b>	Omdannelse til flydende diesel via katalysator.	Omdannelse til DME via katalysator.
<b>Transportbrændstof</b>	Syntetisk Diesel	DME
<b>Motortype</b>	Diesel motor	Modifieret diesel motor (DME)
Danske kompetencer	Haldor Topsøe (konvertering af mellemprodukt)	Haldor Topsøe (konvertering af mellemprodukt) Udviklere af biomasse forgasningsteknik: Weiss A/S, TK-Energi, DTU, ELSAM
Vurdering	Teknikken er velkendt, blev f.eks. brugt under 2. verdenskrig. Teknikken har stor interesse f.eks. i Kina pga. høje oliepriser. Meget store anlæg nødvendige aht. økonomi. Konvertering fra N-gas på eksisterende raffinaderi er måske mere realistisk.	Biomasse forgasningsteknikken mangler fortsat udvikling og opskalering. Teknologi med højt potentiale internationalt. I DK er der konkurrence om ressourcen.
Kommentar	Flere typer brændstof er mulige (Fisher Trophs diesel, Methanol, DME) Ved konvertering til Methanol brændstof benyttes i brændselscelle til elmotor	Flere typer brændstof er mulige (Fisher Trophs diesel, Methanol, DME) Ved konvertering til Methanol brændstof benyttes i i brændselscelle til elmotor
Tidshorisont	Kort	Lang

Tabel 2.5  *Oversigt over teknologi-spor for konventionel benzin og diesel - nr. 11-12*

<b>Betegnelse</b>	<b>Konventionel diesel (11)</b>	<b>Konventionel benzin (12)</b>
Kort beskrivelse	Råolie raffineres til diesel	Råolie raffineres til benzin
<b>Råstof</b>	Råolie	Råolie
<b>Konvertering af råstof</b>	Raffinering	Raffinering
<b>Mellemprodukt</b>	-	-
<b>Konvertering af mellemprodukt</b>	-	-
<b>Transportbrændstof</b>	Diesel	Benzin
<b>Motortype</b>	Diesel motor	Benzin motor
Danske kompetencer	-	-
Vurdering	-	-
Kommentar	-	-
Tidshorisont	-	-

Tallet angivet i parentes efter betegnelsen for teknologi-sporet er også anvendt som ID nr. i den tilhørende beregningsmodel.

### 3 Tilgang og metode

I dette afsnit beskrives den anvendte tilgang og metode. Først præsenteres en kort overordnet beskrivelse af tilgangen og herefter følger en beskrivelse af den anvendte metode og centrale og specifikke forudsætninger. Endelig beskrives den anvendte tilgang for systemberegningerne for de udvalgte teknologi-spor og herunder en beskrivelse af de anvendte datakilder.

#### 3.1 Overordnet tilgang

Der er tilvejebragt et overblik over hvilke af de udvalgte alternative drivmidler til transport, der synes at have de største potentialer ud fra *struktureret og systematisk* tilgang, hvor økonomi, teknik/energiforbrug og miljøbelastning er afdækket enkeltvis for hvert teknologi-element.

I dette afsnit redegøres kort for hvordan opgaven overordnet er gennemført, ligesom der redegøres for centrale afgrænsninger i analysearbejdet. I de efterfølgende afsnit redegøres der nærmere for hvilke centrale forudsætninger, data og informationer, der er anvendt i analysen og tilgang metode bag systemberegningerne beskrives.

Der er indledningsvist tilvejebragt en bruttoliste over potentielle teknologier og teknologiveje til indførelse af alternative drivmidler i transportsektoren med en tidshorisont på 5-20 år. Med udgangspunkt i den opstillede oversigt over teknologi-elementer samt en screening af den indsamlede information er der udvalgt en række teknologi-spor til nærmere analyse (jfr. afsnit 2). Udvælgelsen er sket ud fra en overordnet vurdering af økonomisk, teknisk og miljømæssig potentiale samt politisk fokus og er foretaget i samarbejde med Energistyrelsen.

Det næste led omhandlede de enkelte teknologielementer, som blev beskrevet med hensyn til deres teknologiske stadie, teknisk potentiale, miljø og økonomi mm. Beskrivelserne er opbygget som en slags fakta-ark inspireret af formatet fra Energistyrelsens teknologikatalog ([www.ens.dk/teknologikatalog](http://www.ens.dk/teknologikatalog)).

På basis af informationerne og dataene for de enkelte teknologi-elementer er der herefter gennemført en samlet analyse og vurdering (systemberegninger) af teknologi-sporenes samfundsøkonomi, energieffektivitet og miljøbelastning.

De forskellige teknologispør perspektiver og potentiale er endvidere belyst ud fra en vurdering af produktionskapaciteten for biomasse og en vurdering af fossile energiressourcer (olie/oliesand, naturgas og kul) på kort og langt sigt.

Endelig er det foretaget en samlet vurdering af hvilke teknologispør, der synes at have det største teknologiske og økonomiske potentiale på langt sigt, samt hvor danske forskningsinstitutioner og virksomheder bedst vil kunne bidrage til den internationale teknologiske udvikling.

### 3.1.1 Afgrænsning

Det har ikke været målet med dette projekt, at tilvejebringe en fuldstændig kortlægning, beskrivelse og analyse af *alle* teknologi-elementer og *alle* teknologispør for alle typer af teknologier til alternative drivmidler til transportsektoren. Projektet har derimod fokuseret på at skabe et overblik over den tilgængelige viden pt. samt at tilvejebringe et grundlag for at kunne vurdere hvilke alternative drivmidler til transport, der er mest lovende. Det betyder at der i analysen er foretaget en række valg og afgrænsninger f.eks. i forhold til hvilken teknologitype for et givent teknologi-element som er beskrevet og anvendt til de videre analyser for teknologi-spor.

Informations og data-mangler har sat en naturlig begrænsning i forhold til den samlede vurdering af teknologi-spor specielt i forhold til de samfundsøkonomiske beregninger det har været muligt at gennemføre.

Analysen fokuserer alene på personbiler og omfatter således ikke potentialet i andre transportmidler.

#### Miljøeffekter

Hvert led i kæden fra frembringelse af den primære energikilde til konverteringen til mekanisk energi er forbundet med energiforbrug og dermed miljøpåvirkninger i form af luftemissioner.

I samfundsøkonomiske analyser i transportsektoren er det normal praksis kun at medtage emissionerne fra køretøjernes forbrænding af brændstoffet, svarende til leddet med konvertering til mekanisk energi.

For at få en lige behandling af de forskellige teknologispør er der i dette projekt foretaget en mere konsistent behandling, hvor energiforbruget er medtaget i alle leddene fra den primære energikilde til konverteringen til mekanisk energi. Det betyder eksempelvis at energiforbruget til frembringelse af råstofferne og levering af fabrik er medregnet (kaldet opstrømsenergiforbrug), ligesom energiforbruget til transport/distribution af brændstoffer fra fabrik til salgssted er medregnet. Endelig er energiforbruget og emissionerne ved de forskellige konverteringer afdækket og medtaget i systemberegningerne.

Det skal dog bemærkes, at der ikke er tale om en LCA (life cycle analysis) analyse af miljøeffekterne, da eksempelvis emissioner fra konstruktion af bygning og køretøjer ikke er medtaget.

Opgørelsen af luftemissioner ved selve frembringelsen af den primære energikilde (opstrømsemmissioner) er forbundet med stor usikkerhed, idet emissionerne vil afhænge af den energikilde og teknologi som energiforbruget er frembragt ved. I dette projekt har det været nødvendigt at anvende pragmatiske antagelser over hvilken energikilde og teknologi, der har været anvendt. Udledningen af drivhusgasser (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) er dog opgjort med udgangspunkt i direkte data om emissionerne udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. For biomasse råstofferne er emissionerne (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler) beregnet med udgangspunkt i emissionsfaktorerne for en diesel lastbil, hvilket svarer til at det er antaget at alt opstrømsenergi er anvendt på denne måde. Dette er en approksimation, som imidlertid vurderes kun at have en begrænset indflydelse på det samlede resultat.

Det er alene luftemissioner (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler) som er medtaget i de miljømæssige og økonomiske opgørelser i denne analyse. Andre miljøeffekter som eksempelvis emissioner til vandmiljø, jordforurening, erosion, arbejdsmiljø, lugt og støj er således ikke medtaget i analysen. Med det nuværende vidensniveau er det ikke muligt at værdisætte disse effekter og medtage dem i en økonomisk opgørelse på grund af manglende viden om de kausale sammenhænge<sup>1</sup>.

Udledningen af CO<sub>2</sub> er som nævnt beregnet og medtaget i analysen, men der er ikke fokuseret eksplicit på beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialet for de forskellige teknologi-spor. Der er således ikke direkte beregnet CO<sub>2</sub> reduktionsomkostninger for de forskellige teknologi-spor.

### 3.2 Forudsætninger og metode

Analysen er gennemført med udgangspunkt i metoden beskrevet i Energistyrelsens *vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*, ligesom Energistyrelsens samfundsøkonomiske brændselsprisforudsætninger er anvendt<sup>2</sup>.

Det omkostningsbegreb som er anvendt i analyserne af omkostningerne for et teknologi-spor er således baseret på det velfærdsøkonomiske metodegrundlag. Det betyder at omkostningerne afspejler det samfundsøkonomiske ressourceforbrug, hvor målestokken er en opgørelse af velfærdsændringer opgjort i økonomiske termer. Det betyder konkret at miljøeffekter, i det omfang det har været muligt (jfr. afsnit 3.1.1), er kvantificeret og monetariseret og medtaget i den samfundsøkonomiske analyse sammen med de øvrige omkostninger.

Alle omkostninger er - mod vejledningens anbefaling - som udgangspunkt opgjort i faktorpriser<sup>3</sup> og ikke i markedspriser<sup>4</sup>. En opgørelse i faktorpriser giver

---

<sup>1</sup> Andre projekter, som f.eks. VIEWLS og W-t-W, der ligeledes har haft til formål at gennemføre samfundsøkonomiske vurderinger af alternative drivmidler, har anvendt tilsvarende afgrænsning af miljøeffekterne i de økonomiske opgørelser.

<sup>2</sup> Analysen følger desuden de retningslinier for samfundsøkonomiske analyser, der er udstukket i Finansministeriet samt Transport- og Energiministeriet vejledninger.

<sup>3</sup> Faktorprisen er markedsprisen ekskl. alle afgifter.

den mest enkle fortolkning af resultaterne i denne situation, hvor der ikke er tale om vurdering af konkrete virkemidler eller tiltag. Resultaterne kan efterfølgende opregnes til markedspriser vha. nettoafgiftsfaktoren.

Alle priser er udtrykt i faste 2005-priser.

Der er anvendt en diskonteringsfaktor på 6% reall.

Omkostningerne og energi-effektiviteten samt miljømæssige forhold ved teknologierne er vurderet ud fra foreliggende information. Da denne information ikke er helt fuldstændig i forhold til behovet har det i analyserne været nødvendigt at gøre nogle antagelser/skøn. Dette gælder især i forhold til vurderingen af lave og høje skøn samt forventningen til den fremtidige situation i 2025.

Der er en betydelig grad af usikkerhed i de data, som indgår i analyserne alene pga. af kompleksiteten af de teknologier som er vurderet. Der er generelt usikkerhed omkring fastsættelsen af de priser/parametre som indgår i analysen. Resultaterne skal derfor tolkes med et vist forbehold.

Samproduktion - allokering af emissioner

Ved produktion af en række af de alternative brændsler fremkommer et eller flere biprodukter. For bio-olie fra raps fremkommer eksempelvis rapskage, der kan anvendes som foder. Indtægter fra biprodukter spiller en vigtig rolle for den samfundsøkonomiske omkostning ved bio-olie produktionen.

På grund af samproduktionen er man nødt til at forholde sig til, hvordan man allokere CO<sub>2</sub> og de øvrige luftemissioner på hhv. hovedproduktet (bio-olie) og biprodukterne. I denne analyse er der det princip, der som oftest anvendes, nemlig af det primære output tildeles alle omkostningerne fratrukket provenuet fra salg af biprodukter. Indtægterne fra biprodukterne er fastsættes med udgangspunkt i observerede priser.

Emissionerne fordeles her mellem det primære output og biprodukterne i henhold til den samfundsøkonomiske omkostning for det primære output og den samfundsøkonomiske værdi for biproduktet.

Denne tilgang er i overensstemmelse med EMBIO-tilgangen og den metode der blev anvendt i VIEWLS-projektet.

Marginale ændringer

Det er generelt antaget at "projektet er marginalt" i den forstand, at en eventuel beslutning om at øge anvendelse af alternative drivmidler i Danmark ikke påvirker priserne. Det antages således eksempelvis, at øget forbrug af biodiesel medfører en øget produktion af raps.

Det forudsættes at den anvendte el er "blandingsel". Det betyder at for tiltag som øger eller fortrænger el-forbrug beregnes både pris og emissionerne som

---

<sup>4</sup> De anvendte enhedspriser for luftemissionerne for SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler fra Transport- og Energiministeriets nøgletalskatalog må antages at være i markedspriser, hvorfor de er korrigeret nettoafgiftsfaktoren for at få dem i faktorpriser, som der regnes med i dette projekt..

Skala og stordriftsfordele

den/de gennemsnitlige pris/emissioner ved forventet gennemsnitlig dansk kondensproduktion.

Størrelsen på de tekniske anlæg har betydning for de samlede produktionsomkostninger for de enkelte teknologi-elementer, idet der normalt vil være stordriftsfordele forbundet med produktionen. I analysen er det generelt forudsat at anlæggene bygges i en størrelse, hvor stordriftsfordelene er realiseret.

### 3.3 Systemberegninger for teknologi-spor

Til brug for den samlede vurdering af det langsigtede potentiale er der for hvert teknologi-spor, udover en samfundsøkonomisk vurdering, gennemført en beregning af energieffektivitet og miljøbelastning i form af luftemissioner. For hvert teknologi-spor er der således gennemført en systematisk analyse af:

- **De samlede omkostninger** - hvad er de samlede omkostninger pr. GJ mekanisk energi (ved hjulet)? Ekskl. og inkl. værdien af emissioner.
- **Energieffektivitet** - hvad er den samlede systemvirkningsgrad? To nøgletal præsenteres - samlet systemvirkningsgrad beregnet som produktet af virkningsgraderne i hvert led i teknologi-sport samt den mekaniske energi i forhold til energiindhold i alle input
- **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.

Beregningerne er opbygget ud fra et ensartet og systematisk koncept, som anvendes for alle sporene. Konceptet eller tilgangen er udarbejdet på baggrund af erfaringer fra projekterne Well-to-Wheels og VIEWLS samt det igangværende EU-projekt REFUEL, hvor COWI deltager.

De samlede omkostninger er opgjort ud fra en kortlægning og sammenregning af omkostningerne i hvert af de 6 led i kæden i teknologi-sporet (i det omfang de er aktuelle). For bio-olie vil det eksempelvis sige markedsprisen for raps, nettoomkostningerne for konverteringen fra raps til bio-olie, omkostningerne til transport og distribution af bio-olie til salgssted samt omkostningerne til et køretøj med en modificeret diesel-motor som omdanner olien til mekanisk energi. Dette giver den totale privatøkonomiske omkostning (ekskl. afgifter) og hertil lægges værdien af emissionerne så man får den samlede samfundsøkonomiske omkostning udtryk i kr. pr. mekanisk energienhed (målt "ved hjulet").

Den samlede systemvirkningsgrad er opgjort og udtrykt på to måder: Som samlet systemvirkningsgrad beregnet som produktet af virkningsgraderne i hvert led i teknologi-sport og som den mekaniske energi i forhold til energiindhold i alle input. Igen er princippet en kortlægning og systematisk sammenregning af energiindhold i de anvendte råstoffer, øvrige input samt output i hvert af de 6 led i kæden i teknologi-sporet. For bio-olie vil det eksempelvis sige energiindholdet i raps, rapskager, raps-olie samt energiforbruget til konverteringen fra raps til bio-olie, energiforbruget til transport og distribution af bio-olie til salgs-

sted samt virkningsgraden for en modificeret diesel-motor som omdanner olien til mekanisk energi. På denne baggrund kan den mekaniske energi, energiindholdet i øvrige produkter og i alle input i forhold til input (ton raps) beregnes.

Miljøpåvirkningen i form af luftemissioner er også opgjort ud fra samme systematik. Emissionerne i hvert af de 6 led er kortlagt og sammenregnet udtrykt i kg pr. GJ mekanisk energi. Som beskrevet i afsnittet ovenfor er emissionerne fordelt ud fra værdi i de tilfælde hvor konverteringerne resulterer i flere produkter.

Der er indsamlet information og estimeret data for dagens situation (kaldet "2006") samt situationen på langt sigt (kaldet "2025"). Data for "2006" er således estimeret med henblik på at afspejle det nutidige teknologiske stadie samt økonomiske forhold. Data for 2006 behøver derfor ikke nødvendigvis at afspejle data for eksisterende produktionsfaciliteter som allerede anvendes.

Data for "2025" er estimeret med henblik på at afspejle den forventede fremtidige situation på langt sigt. Det er naturligvis forbundet med stor usikkerhed at vurdere den fremtidige udvikling, og "2025" skal derfor ikke tolkes som et fast årstal, men alene som et mål for den forventede fremtidige situation på langt sigt.

### 3.3.1 Datakilder

I det følgende redegøres kort for de kilder, der har været centrale i forhold til de enkelte elementer:

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

#### Generelt

Energistyrelsen forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser har været en meget central kilde i forhold til priser (på fossile brændsler), omkostninger til transport og distribution samt til emissionsfaktorer.

Det EU finansierede studie Well-to-Wheels (W-t-W) har været en central kilde for udarbejdelse af fakta-arkene for frembringelsen og konverteringen af råstof samt konverteringen af mellemprodukter. Formålet med W-t-W var at estimere udledningen af drivhusgasser, energi effektiviteten og omkostningerne for alle betydelige drivmidler og drivmiddel-kæder (teknologi-spor) i Europa efter år 2010. Projektet blev gennemført af Institute of Environment and Sustainability (under European Commission, Joint Research Centre) i samarbejde med EUCAR (The European Council for Automotive R & D) og CONCAWE (Olieindustriens interesseorganisation for miljø, sundhed og sikkerhed).

Studiet har anvendt en transparent og systematisk tilgang og metode til belysning af drivmidlerne og det indeholder mange data om energieffektivitet, miljøbelastning og økonomi. Mange af W-t-W dataene er anvendt direkte i dette studie eller er anvendt til validering af data fra andre kilder.

Endelig har VIEWLS været central, dog primært i forhold til at tjene som inspiration i forhold til det anvendte koncept for systemberegningerne.

## Råstoffer

Omkostningerne til råstofferne udgør en væsentlig del af de samlede omkostninger i systemberegninger for teknologi-sporene.

Råstofferne er internationalt handlede varer for hvilke prisen afhænger af en række forhold, herunder politiske og makroøkonomiske forhold, produktionsomkostninger, landbrugsstøtte og efterspørgslen nationalt såvel som internationalt.

Prisen på råstofferne er fastsat som gældende markedspriser (2006) og ud fra forventningerne til fremtidige gældende markedspriser (2025) (ekskl. afgifter). Priserne er som udgangspunkt baseret på Energistyrelsens seneste appendiks med *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. For prisen på de fossile brændsler er der efter aftale med Energistyrelsen anvendt en pris på 51,4 kr./GJ som dagens pris. Prisen afspejler den forventede IEA pris for 2007.

For bio-råstofferne er priserne baseret på andre kilder, som er vurderet at have mere aktuelle markedspriser.

Opstrømsenergiforbruget både for fossile energikilder og biomasse til energiformål er i vid udstrækning baseret på data fra W-t-W, og således baseret på gennemsnitlige forudsætninger for EU. Emissioner af klimagasser (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub>) i forbindelse med opstrøm energiforbrug er ligeledes baseret på W-t-W studiet.

### **Opstrøms energiforbrug og emissioner for landbrugsafgrøder**

Opgørelserne er baseret på W-t-W og indeholder følgende elementer:

- Energiforbrug anvendt til produktion og distribution af gødning (fordelt på N, P, Ca og K), pesticider (inkl. fungicider, hormoner) samt såsæd
- Tilhørende emissioner af CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O
- Energiforbruget og emissioner ved markarbejde og lokal transport

Energiforbrug og emissioner er opgjort i forhold til en reference for arealanvendelsen bestående af braklagt jord, konkret er antaget ugødet græs.

Kilde: W-t-W: W-t-T Report Version 2b, maj 2006, Appendix 1p.34

Landbrugets produktion af traditionelle afgrøder som f.eks. hvede anvendes til flere forskellige formål. Således anvendes kornet f.eks. som fødevarer, mens halmen anvendes til energiproduktion.

Dette betyder at den energi der har været anvendt til produktionen af hveden (korn og strå) har været input i forhold til to produkter som skaber værdi, hvilket gør at der behov for at fordele energiforbruget på produkterne. Problemstillingen er parallel med samproduktionsproblemstillingen ved konverteringen af råstoffer og det er det anvendte princip også.

Energiforbruget er således fordelt i forhold til produkternes værdi. Hvis en hektar med hvede har genereret værdier i form af korn og halm i forholdet 2 til 1, så tilskrives 2/3-dele af energiforbruget korn, mens den resterende 1/3-del tilskrives halm-produktionen.

Konvertering af råstof og mellemprodukt

Data for konvertering af råstoffer samt konvertering af mellemprodukt er baseret på en helt række forskellige kilder, men som beskrevet ovenfor er W-t-W gennemgående en central kilde. For bio-olie og bio-diesel er data fra et aktuelt studie som COWI udfører for Energistyrelsen anvendt, mens Energistyrelsen appendiks med forudsætning har været central i forhold til konventionel diesel og benzin.

Der henvises i øvrigt til beregningsmodellen, hvor den specifikke kilde er anført for hver enkel parameter.

Mellemprodukt/Transportbrændstof - transport/distribution

For at kunne beregne de samfundsøkonomiske omkostninger på forbrugsstedet er der også behov for data om omkostninger til transport og distribution. I Energistyrelsens appendiks er der angivet et skøn over transport- og andre distributionsomkostninger for benzin i kr. pr. GJ. Omregnet til kr. pr. liter brændstof er dette estimat anvendt for alle de flydende brændstoffer, dvs. E85, bio-diesel, bio-olie, methanol, DME, diesel og benzin.

Energiforbruget for transporten er fastsat på basis af oplysninger fra Energistyrelsen, oktober 2003: *Samfundsøkonomiske transportomkostninger for fossile brændsler - olieprodukter, kul og naturgas*. COWI for Energistyrelsen. Forbruget kan beregnes for benzin og igen anvendes dette udtrykt i energiforbrug pr. liter for alle flydende brændstoffer.

Motortype

Teknologi-sporene er gennemregnet med anvendelse af en forudsætning om en "standard"-bil. Der er valgt en mindre middelklasse-bil. For alle spor er køretøjets teknisk, energi, økonomi og miljø data forsøgt skønnet med henblik på at bilen har en ydelse og komfort som svarer til dette niveau.

Data vedr. energiforhold an hjul, an køretøj samt forskellige køretøjers energieffektivitet er baseret på en række forskellige kilder.

Diesel og benzinmotorer energieffektivitet er primært vurderet på basis af IEA 2006 og Concawe 2006 samt dialog med Færdselsstyrelsen. I 2006 er den samlede virkningsgrad estimeret til 0,16 og 0,21 GJ mek/GJ benzin for hhv. benzin

og diesel. Med et energiforbrug på 0,36 MJ/km for benzinbilen<sup>5</sup> svarer dette til ca. 14,7 og 20,7 km/l for hhv. benzin og diesel.

Der forventes generelt en positiv udvikling i energieffektiviteten. Der er imidlertid ikke helt enighed i litteraturen omkring takten for hhv. benzin og diesel. Concawe (W-t-W) forventer en betydelig effektivisering for benzin på ca. 15%, mens der forventes en mindre effektivisering på omkring 6% for diesel. Andre kilder som f.eks. IEA forventer generelt en mere proportional udvikling i effektiviteten for benzin og diesel.

Der synes dog at være flest som mener at potentialet for forbedringer af benzinmotorer er større end for dieselmotorer. På denne baggrund er der valgt en større effektivisering for benzin i denne analyse. I 2020 er energieffektiviteten estimeret til 0,235 og 0,25 GJ mek/GJ benzin for hhv. benzin og diesel. Med et energiforbrug på 0,36 MJ/km for benzinbilen svarer dette til ca. 21,6 og 24,6 km/l for hhv. benzin og diesel.

For de øvrige teknologier er ovennævnte kilder suppleret med simuleringer, bl.a. (Horstmann & Jørgensen 1997) - samt med litteratur bl.a. Friis Hansen 2004, Jørgensen 2000 og Delucchi 2003. Der er som nævnt taget udgangspunkt i en middelklassebil og virkningsgrad og energiforbrug er estimeret med henblik på at bilen har en ydelse og komfort som svarer til et niveau som matcher niveauet for benzin og dieselbilen. Det betyder bl.a. at der er taget højde for køretøjernes vægt ved skøn af energieffektivitet for de alternative teknologier.

Som generel hovedreference vedr. tekniske og økonomiske forhold for konventionelle teknologier, hybriddrift, naturgasdrift og brint-/brændselscelledrift er brugt (Edwards et al 2006), dvs. det store europæiske "Well-to-Wheel" studie (specielt Well-to-Tank delen). Dog er de økonomiske data for dagens FC-bil vurderet at være urealistisk lave og derfor baseret på (IEA 2006).

Data vedr. brint/FC-bilen trækker herudover i høj grad på forskellige publikationer med Joan Ogen.

Hvad angår omkostninger og tekniske forhold i forbindelse med elbilen og dens bestanddele er hovedkilden Mark Delucchis analyser og modellering heraf (Delucchi & Lipman 2001).

I de meget høje virkningsgrader for elbiler indgår regenerering af bremseenergi, der helt principielt mere kan opfattes som et middel til at reducere energiforbruget an hjul, snarere end en forbedring af drivsystemets effektivitet. Det er dog normal konvention at medregne det i sidstnævnte, hvorved opnås meget høje virkningsgrader, der i princippet kan komme over 1.

Emissioner fra køretøjer

Køretøjernes emissioner for 2006 er forsøgt estimeret som emissionerne fra en ny bil med et blandet kørselsmønster. Da den gældende norm pt. er EURO IV for personbiler er emissionerne således estimeret med udgangspunkt i at denne norm efterleves. For diesel og benzin er emissionerne konkret fastsat ud fra

<sup>5</sup> På grund af vægtforskel er dieselskøretøjet forbrug små 2% større.

"Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs" (personbiler, EURO4, blandet kørsel).

Da køretøjernes emissioner de seneste år er reduceret kraftigt i takt med EU skærpede normer er emissionerne for EURO4 køretøjer markant lavere end emissionerne for den gennemsnitlige bilpark i dag.

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/benzin. Der er taget højde for at der ikke er svovl i naturgas og rapsolie.

Emissionerne for 2025 er egne 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 emissionerne halveres i forhold til dagens niveau.

### 3.3.2 Virkningsgrader

Der er i denne rapport præsenteret to sæt af virkningsgrader<sup>6</sup> for det samlede system for hvert teknologisporet:

- Den samlede systemvirkningsgrad, beregnet som produktet af virkningsgraderne i hvert led.
- Den mekaniske energi i forhold til energiindhold i alle input i alle led, beregnet som den mekaniske energi ved hjulet i forhold til summen af alle energiinput i alle led i sporet.

Disse to mål for virkningsgraden vil være ganske forskellige hvis der er flere output fra teknologisporet, mens de vil være ens, hvis der kun kommer et output fra sporet. Som eksempel kan nævnes at biodiesel-sporet har flere outputs, nemlig biodiesel, rapskager og glycerin, mens naturgassporet kun har et output, nemlig mekanisk energi i bilen.

For at illustrere de to mål for virkningsgraden er der vist et eksempel for diesel teknologisporet nedenfor.

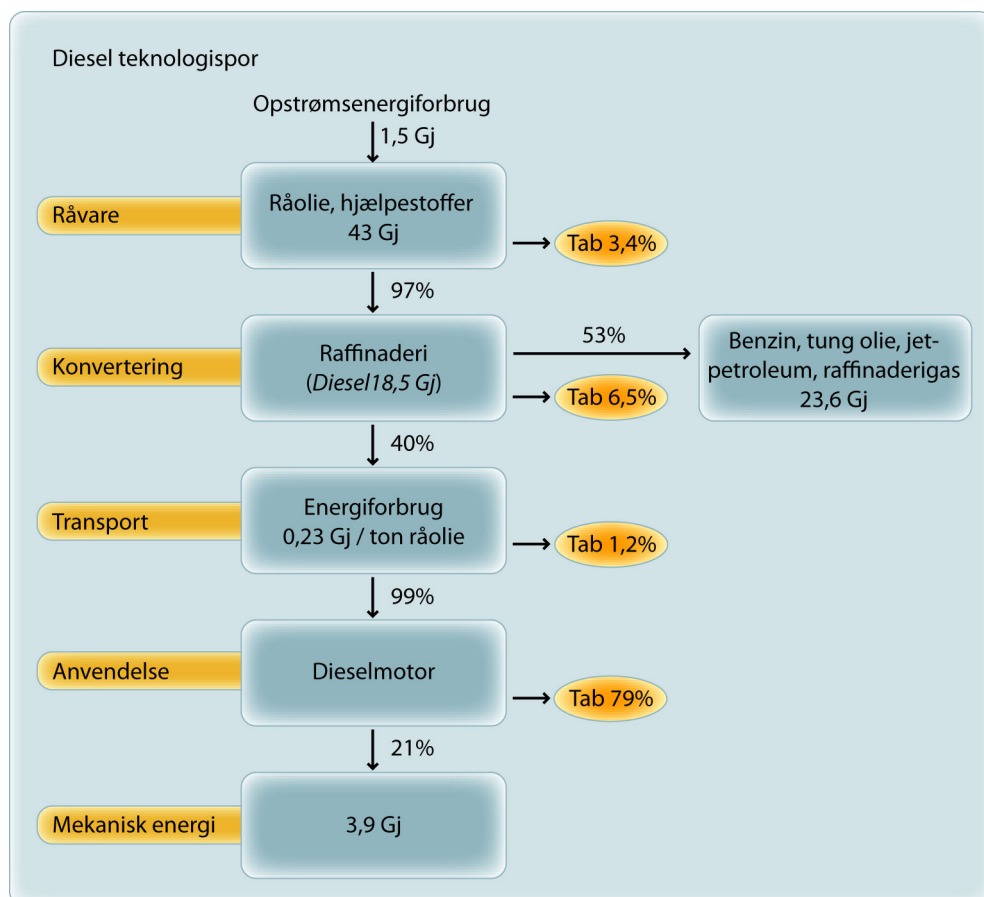
Diesel produceres på grundlag af råolie og visse hjælpestoffer. Tilvejebringelsen af råolien er forbundet med et energiforbrug til udvinding, transport mm. (kaldet opstrømsenergi). I raffineringen produceres diesel og benzin ved et

---

<sup>6</sup> I regnearksmodellen er der beregnet yderligere en virkningsgrad, nemlig en virkningsgrad som udtrykker det samlede energiindhold i alle outputs i forhold til energiindhold i alle input. Denne virkningsgrad kan siges at udtrykke det teoretiske maksimum, men er ikke angivet her fordi det er vurderet at de to andre mål tilsammen giver et bedre mål for den samlede virkningsgrad.

mindre energiforbrug. Diesel-brændstoffet transporteres til distributionsstederne, hvilket ligeledes er forbundet med et mindre energiforbrug. Endelig anvendes diesel-brændstoffet i en bil med dieselmotor

I nedenstående figur er dieselsporet vist med anførelse af de relevante tab og energimængder ved produktion og anvendelse af diesel baseret på et ton råolie.



Af 1 ton råolie ender 3,9 GJ som mekanisk energi i bilen. Dette kan simpelt beregnes som diesel-brændstoffet fra raffineringen gange med dieselmotorens virkningsgrad, dvs. 18,5 GJ \* 21%.

Resten af energien i råolien og hjælpestoffer ender som biprodukter (benzin mv.) og som tab i raffinering og i bilens motor og transmission.

De to mål for virkningsgraden kan beregnes på følgende måde (korrigeret for afrunding):

$$1. \text{ Systemvirkningsgrad: } (1-3,4\%)*(1-6,5\%)*(1-1,2\%)*21\% = 18,7\%$$

2. Mekanisk energi i forhold til energiindhold i alle input:

$$3,9/(43+1,5+2+0,23)= 8,3\%^7$$

Fortolkning af de to mål

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

I systemvirkningsgraden som beregnes som produktet af virkningsgraderne i hvert led forudsættes det *implicit* at virkningsgraden af de restprodukter som produceres svarer til motorens virkningsgrad. For diesel-sporet betyder dette at der for den benzin der produceres i forbindelse med raffineringen regnes med diesel-motorens virkningsgrad (21%).

I beregningen af virkningsgraden som udtrykker den mekaniske energi i forhold til energiindhold i alle input er energiindholdet i biprodukter slet ikke medregnet. Denne virkningsgrad kan derfor fortolkes som en teoretisk nedre grænse over teknologisporets samlede virkningsgrad.

De to mål vurderes tilsammen at give et fornuftigt billede af teknologi-sporens samlede virkningsgrad.

---

<sup>7</sup> De 1,5 og 2 er hhv. opstrømsenergiforbrug og energiforbrug i raffineringen af råolien. De 0,23 er energiforbrug til transport.

## 4 Regnearksmodellen

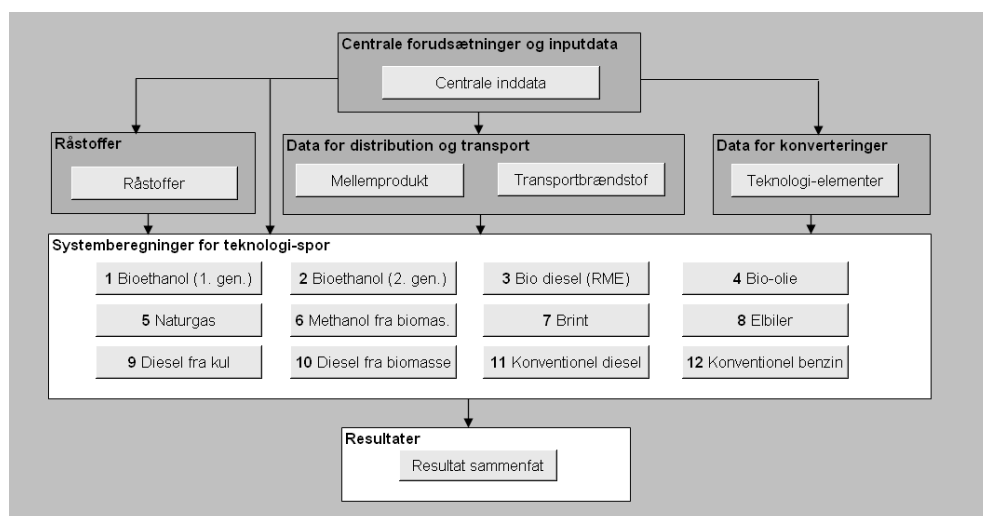
Modellen til beregning af omkostninger, energieffektivitet og miljøbelastning er opbygget i et Excel regneark. Regnearket består af en række selvstændige ark som udover en oversigt og en vejledning (indhold) indeholder data for teknologi-elementerne, systemberegninger for teknologisporene og en samlet præsentation af resultaterne.

Regnearket er udarbejdet så det i høj grad er selvdokumenterende. Nedenfor gives en kort forklaring af hvordan regnearket er opbygget og betjenes. Der henvises herudover til regnearket, som indeholder information om indhold og betjening.

### 4.1 Regnearkets opbygning og betjening

Regnearket er forsøgt opbygget logisk og overskueligt. Der er således benyttet selvstændige ark til introduktion, oversigt, centrale forudsætninger, data for teknologi-elementerne, systemberegninger for teknologi-spor samt sammenstilling af resultaterne. Figuren nedenfor illustrerer regnearkets overordnede opbygning.

Figur 4-1 Regnearkets overordnede opbygning



Forsiden illustrerer opbygningen af regnearket og fra denne oversigt kan man nemt manøvrere rundt i arket ved at klikke på de forskellige komponenter, som repræsenterer hvert sit selvstændige ark. Ved klik på "Teknologi-elementer" overføres man dog til en mere detaljeret oversigt over (se nedenfor) de enkelte elementer der indgik i modellen. Fra denne oversigt kan man klikke sig videre til det enkelte element.

I toppen af hver ark i modellen er der placeret en knap, der kan anvendes til at returnere til oversigten.

De blå bokse ovenfor repræsenterer baggrundsdata for råstoffer og teknologi-elementer samt centrale fælles inddata. De hvide kasser repræsenterer (system)beregninger og resultater.

Alle data der indgår som baggrundsdata i beregningerne i modellen er farvet blå og til hver kategori af data er der knyttet en forklarende tekst som henviser til kilde mv. Alle beregninger og resultater er sorte, mens grønne tal indikerer at tallene er linkede til centrale input-parametre eller resultater fra andre steder i regnearket.

På arket "Resultat sammenfat" præsenteres en sammenstilling af resultaterne af systemberegningerne for teknologi-sporene. Som udgangspunkt beregnes tabet med det bedste (middelrette) skøn over omkostninger mv., men brugeren har på arket "Centrale inddata" mulighed for i stedet at vælge lav/høj for estimerne i hvert af de 6 led i teknologi-sporene<sup>8</sup>. Man kan desuden mere selektivt ændre hvilket estimat der benyttes ved manuelt at ændre på hvilket estimat der anvendes. Dette gøres ved at ændre på formlerne i kolonne G og H (anvendt) på det respektive ark. Ændringer af denne slags bør dog gennemføres med varsomhed og suppleres med en angivelse af at den generelle formel er ændret.

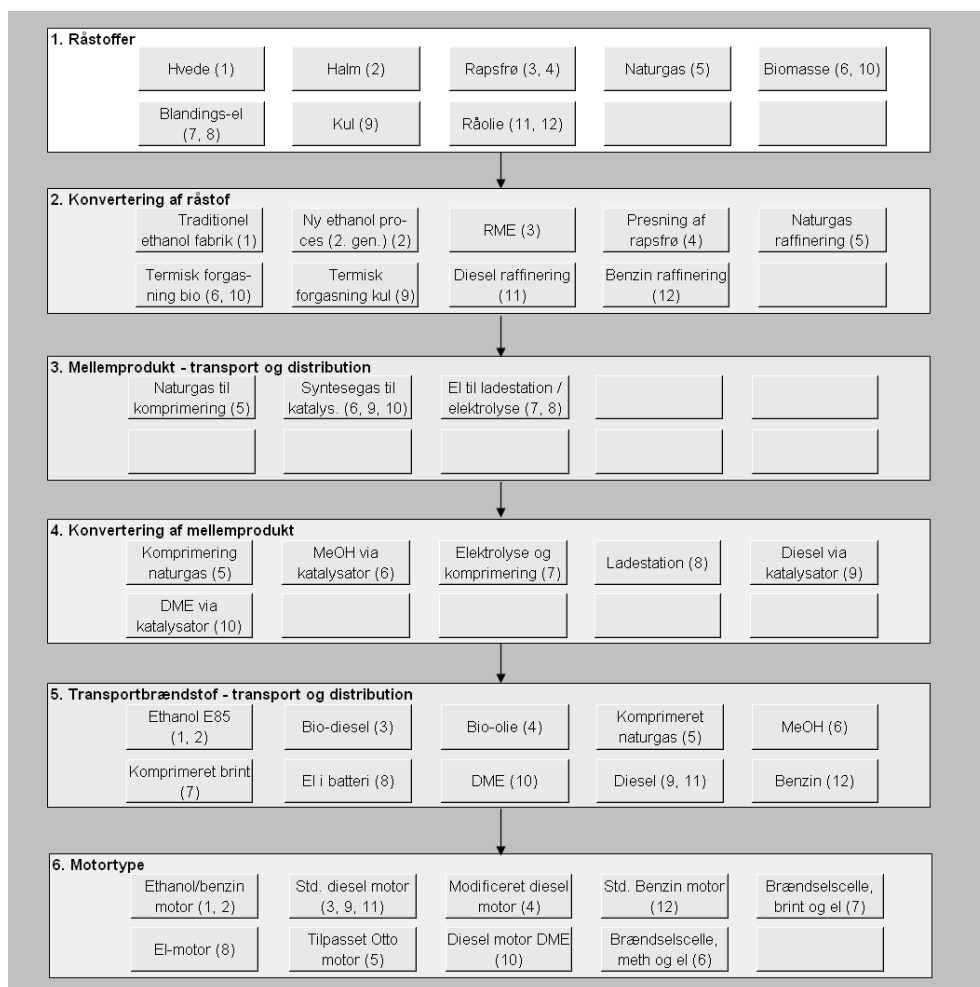
Den overordnede oversigt er suppleret med en mere detaljeret oversigt som illustrerer leddene i de udvalgte teknologispør (se figuren nedenfor).

---

<sup>8</sup> De lave og høje skøn er udfyldt for de estimer hvor det giver mening. Lave skøn og høje skøn er angivet uafhængigt af hvilken vej det påvirker resultatet. Sagt med andre ord: med centralt på 10 er 8 altid lavt og 12 altid højt.

Dette betyder imidlertid at det lave skøn for et estimat ikke altid vil trække i retning af et lavt resultat for den samlede økonomi-beregning for et teknologi-spor (f.eks. levetid på investering).

Figur 4-2 Detaljeret oversigt over leddene i de udvalgte teknologi-spor



Oversigten viser de enkelte elementer som indgår i hvert teknologi-spor. Tallet i parentes refererer til konkrete teknologi-spor, hvori elementet indgår. Ved at trykke på elementerne flyttes man til det sted i arket hvor elementet er beskrevet.

## 5 Vurdering af teknologierne

I dette afsnit præsenteres de indsamlede data og resultater af beregningerne. Der gives en samlet vurdering af teknologi-sporene, mens beskrivelserne af de enkelte teknologi-elementer inklusiv fakta-ark fremgår af bilag B.

### 5.1 Teknologi-elementer

De enkelte teknologi-elementer er beskrevet med hensyn til deres teknologiske stadie, tekniske potentiale, miljø og økonomi mm. Beskrivelserne består dels af en overordnet beskrivelse af teknologien og dens fordele og ulemper, dels af et fakta-ark med energitekniske, økonomiske og miljømæssige data. Opbygningen er inspireret af formatet fra Energistyrelsens teknologikatalog ([www.ens.dk/teknologikatalog](http://www.ens.dk/teknologikatalog)).

Beskrivelserne af de enkelte teknologi-elementer fremgår af bilag B.

### 5.2 Teknologi-spor

De overordnede resultater af systemberegningerne for teknologisporene for år 2006 er sammenfattet i tabellerne nedenfor. På trods af at det kun er de centrale resultater, som er sammenfattet, er der mange resultater at forholde sig til. Hvert af disse resultater er en funktion af en række forudsætninger fra de 6 led i kæden for teknologi-sporene, hvilket gør det meget vanskeligt at give forklaring på det enkelte resultat i sammenligning med de øvrige. Der er derfor ikke givet en fuldstændig indføring i samtlige resultater. I stedet er udvalgte resultater søgt forklaret.

Det skal i denne forbindelse bemærkes, at der er foretaget en intern kvalitetskontrol af modellens input og resultater. Desuden er resultaterne valideret i forhold til konklusionerne i VIEWLS og W-t-W. Modellens input er desuden underkastet endnu en kvalitetskontrol i form af en kort høring blandt relevante eksperter.

Resultaternes følsomhed i forhold til centrale antagelser er ikke afrapporteret eksplicit i denne dokumentation. Antallet af antagelser er så omfattende at det vil være umuligt at præsentere følsomhedsanalyser for dem alle. En præsentation af partielle følsomhedsanalyser for udvalgte parametre vil meget nemt komme til at prætere en præcision i beregningerne som der ikke er belæg

for. Dette betyder dog ikke at følsomhedsanalyser af resultaterne ikke er vigtige og centrale i forhold til fortolkning af resultaterne. Modellen er velegnet til at afdække betydningen af de enkelte parametre, idet man ved ændringer i udvalgte parametre enkelt kan afdække betydningen for resultatet. Modellen har netop været flittigt anvendt i denne forbindelse og i forhold til kvalitetssikring, fortolkning af resultaterne og den samlede vurdering.

*Table 5.1 Sammenfatning af de centrale resultater, økonomi for teknologisporene, 2006*

År 2006	Økonomi			
	Totalomk. DKK/GJ mek	heraf brændstof DKK/GJ mek	Værdi emissioner DKK/GJ mek	Samfundsøko. omk. DKK/GJ mek
Konventionel diesel	2.884	439	110	2.994
Konventionel benzin	2.948	618	81	3.029
Bioethanol (1. gen.)	3.294	964	72	3.365
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bio diesel (RME)	3.046	601	84	3.131
Bio-olie	3.196	544	82	3.278
Naturgas	2.985	482	71	3.056
Methanol fra biomas.	20.252	631	25	20.277
Brint	15.915	425	146	16.062
Elbiler	3.972	173	54	4.026
Diesel fra kul	2.968	523	135	3.103
Diesel fra biomasse	3.741	925	83	3.823

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO<sub>2</sub>-kvoternes forventede indvirkning. Det betyder konkret at omkostningerne til brændstof er ekskl. CO<sub>2</sub>-omkostninger for medgået el. De samlede CO<sub>2</sub>-omkostninger er efterfølgende værdisat med en forventet kvotepris på 150 kr. per ton, hvorfor CO<sub>2</sub>-emissionernes betydning for det samlede resultat er afspejlet i opgørelsen af de samlede samfundsøkonomiske omkostninger.

De samlede samfundsøkonomiske omkostninger er de samme uanset om CO<sub>2</sub>-emissionerne beregnes via en internalisering i elprisen eller om de efterfølgende værdisattes. I den udviklede beregningsmodel findes en funktionalitet, hvor brugen selv kan vælge hvorvidt CO<sub>2</sub>-emissionerne skal medregnes via elprisen eller uden om elprisen og så efterfølgende værdisættes.

Tabellen viser at konventionel diesel pt. er det billigste drivmiddel målt i forhold til de samlede omkostninger inkl. og ekskl. værdien af emissioner.

Diesel fra kul kan produceres til meromkostninger på ca. 100 kr./GJ mek, hvilket skal ses i lyset af en rå-olie pris på ca. 51 kr./GJ og en kul pris på ca. 15 kr/GJ.

Diesel-brændstof udtrykt som kr. pr GJ mekanisk energi er ca. 50% billigere end benzin (til gengæld er diesel-motoren dyrere end benzin-motoren). Dette skyldes dels at prisen på brændstof er dyrere for benzin (68 kr/GJ) end for die-

sel (64 kr/GJ), dels at virkningsgraden er højere for diesel (0,21) end for benzin (0,16).

Brændstofprisen for bio-olie er ca. 100 kr./GJ mek højere end prisen for konventionel diesel og lidt under prisen for bio-diesel. Dette skal ses lyset af at omkostninger til presningen af raps er forholdsvis beskedne, mens raffineringen af olien til diesel er forbundet med yderligere omkostninger. Hvis man ser på de samlede omkostninger er bio-olie til gengæld dyrere end både konventionel diesel og bio-diesel. Dette skyldes at omkostningerne til køretøjet er højere, da olien kræver en modificeret dieselmotor (86.000 kr. mod 98.000 kr.).

Bio-ethanol (1. generation) er væsentlig dyrere end benzin. Dette skyldes højere omkostninger til brændstoffet. Benzinprisen er 68 kr/GJ mens ethanol-prisen er beregnet til 110 kr/GJ, hvilket bl.a. er en konsekvens af den relativt høje pris på hvede (75 kr/GJ).

Der er ikke estimater for 2. generation bio-ethanol, fordi denne teknologi endnu ikke er færdigudviklet.

Brint og methanol fra biomasse (3. generations teknologi) er forbundet med omkostninger som er meget højere end for de konventionelle brændstoffer. Dette er fordi køretøjet er baseret på en brændselscelle til elmotor, hvilket er en meget dyr teknologi i dag. Køretøjet er vurderet at koste små 1 mio. kr. mod ca. 80.000 kr. for en konventionel benzin-bil.

*Tabel 5.2 Sammenfatning af de centrale resultater, virkningsgrad for teknologisporene, 2006*

År 2006	Virkningsgrad	
	Systemvirkningsgrad GJ/GJ	Output mek/input GJ mek/GJ input
Konventionel diesel	19%	8%
Konventionel benzin	14%	5%
Bioethanol (1. gen.)	12%	7%
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	n.a.
Bio diesel (RME)	17%	9%
Bio-olie	17%	9%
Naturgas	15%	15%
Methanol fra biomas.	15%	15%
Brint	10%	8%
Elbiler	30%	30%
Diesel fra kul	13%	13%
Diesel fra biomasse	11%	11%

Den samlede systemvirkningsgrad (beregnet som produktet af virkningsgraderne i hvert led i kæden) for de konventionelle brændstoffer (diesel og benzin) er hhv. 19% og 14% for diesel og benzin. Forskellen i virkningsgraden mellem de to skyldes de forskellige motorvirkningsgrader som er hhv. 21% og 16% for diesel og benzin. Systemvirkningsgraden for diesel er relativt høj - kun elbiler har højere systemvirkningsgrad. Omvendt viser beregningerne at bio-ethanol, diesel fra biomasse og brint relativt set har de ringeste systemvirkningsgrader.

Virkningsgraderne, målt som mekanisk energi i forhold til input er relativt høje for elbiler, methanol fra biomasse og naturgas. For elbiler og methanol fra biomasse skal forklaringen findes i forklaringen i de relativt høje virkningsgrader i motoren. For naturgas skal forklaringen findes i det beskedne energiforbrug til distribution og komprimering af naturgas. For diesel og benzin er disse virkningsgrader små, hvilket skal ses i lyset af at raffineringen resulterer i betydelige biprodukter som ikke tillægges nogen vægt i beregningen af virkningsgraden som udtrykker den mekaniske energi i forhold til de samlede energiinput.

Tabel 5.3 Sammenfatning af de centrale resultater, miljøpåvirkning for teknologisporene, 2006

År 2006	Miljøpåvirkning (luftemissioner)					
	CO2 kg/GJ mek	CH4 kg/GJ mek	N2O kg/GJ mek	SO2 kg/GJ mek	NOx kg/GJ mek	Partikler kg/GJ mek
Konventionel diesel	394 (390)	0,00	0,02	0,01	1,12	0,04
Konventionel benzin	516 (511)	0,00	0,00	0,02	0,22	0,00
Bioethanol (1. gen.)	350 (221)	0,01	0,01	0,14	1,00	0,00
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bio diesel (RME)	177 (164)	0,00	0,02	0,02	1,60	0,04
Bio-olie	164 (152)	0,00	0,02	0,01	1,61	0,04
Naturgas	422 (396)	1,32	0,00	0,03	0,20	0,00
Methanol fra biomas.	114 (32)	0,00	0,00	0,08	0,32	0,00
Brint	670 (88)	0,01	0,03	0,59	1,61	0,00
Elbiler	249 (31)	0,01	0,01	0,22	0,60	0,00
Diesel fra kul	513 (446)	0,00	0,02	0,07	1,49	0,04
Diesel fra biomasse	158 (45)	0,01	0,02	0,12	1,38	0,04

Note: Tabellen viser de samlede CO<sub>2</sub>-emissioner for de forskellige teknologi-spor.

Tallene i parentes angiver CO<sub>2</sub>-emissionerne ekskl. CO<sub>2</sub>-emissionerne fra elproduktion. Disse tal angiver dermed de CO<sub>2</sub>-emissioner som ikke er underlagt kvote-ordningen.

Som forventet er de konventionelle fossile brændstoffer (diesel og benzin) forbundet med den højeste udledning af CO<sub>2</sub>. Dog ses den største CO<sub>2</sub>-udledning for brint, hvilket skal ses i lyset af at det forudsættes at den anvendte el er "blandingsel". Udledningen er også høj for naturgas og diesel fra kul, som også er fossilt. For naturgas er udledningen af CO<sub>2</sub> noget lavere end for benzin og på

niveau med diesel (ved sammenligning af CO<sub>2</sub> eq). Omvendt er CO<sub>2</sub> udledningen lav for bio-olie, bio-diesel samt methanol og diesel fra biomasse.

For de øvrige emissioner er billedet mere blandet. Der er meget lave emissioner fra methanol på biomasse, hvilket skyldes at der ingen emissioner er fra motoren (brændselscelle til elmotor), et meget lavt opstrøms-energiforbrug samt et beskedent energiforbrug i konverteringerne. For de teknologi-spor som er forbundet med betydeligt el-forbrug i et eller flere led i kæden er emissionerne af NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> relativt høje (brint og elbiler).

De overordnede resultater af systemberegningerne for teknologisporene for år 2025 er sammenfattet i tabellerne nedenfor.

*Table 5.4 Sammenfatning af de centrale resultater, økonomi for teknologisporene, 2025*

År 2025	Økonomi			
	Totalomk. DKK/GJ mek	heraf brændstof DKK/GJ mek	Værdi emissioner DKK/GJ mek	Samfundsøko. omk. DKK/GJ mek
Konventionel diesel	2.798	369	76	2.874
Konventionel benzin	2.751	421	55	2.806
Bioethanol (1. gen.)	2.989	659	43	3.032
Bioethanol (2. gen.)	2.918	588	25	2.943
Bio diesel (RME)	2.935	506	54	2.988
Bio-olie	3.109	457	52	3.161
Naturgas	2.659	331	46	2.705
Methanol fra biomas.	3.924	467	15	3.939
Brint	3.109	380	75	3.184
Elbiler	3.067	192	35	3.102
Diesel fra kul	2.869	440	94	2.962
Diesel fra biomasse	3.530	731	47	3.577

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO<sub>2</sub>-kvoternes forventede indvirkning.

Tabel 5.5 Sammenfatning af de centrale resultater, virkningsgrad for teknologi-sporene, 2025

År 2025	Virkningsgrad	
	Systemvirkningsgrad GJ/GJ	Output mek/input GJ mek/GJ input
Konventionel diesel	22%	10%
Konventionel benzin	21%	7%
Bioethanol (1. gen.)	18%	10%
Bioethanol (2. gen.)	19%	9%
Bio diesel (RME)	20%	10%
Bio-olie	21%	11%
Naturgas	22%	22%
Methanol fra biomas.	19%	19%
Brint	18%	15%
Elbiler	37%	37%
Diesel fra kul	16%	16%
Diesel fra biomasse	13%	13%

Tabel 5.6 Sammenfatning af de centrale resultater, miljøpåvirkning for teknologi-sporene, 2025

År 2025	Miljøpåvirkning (luftemissioner)					
	CO2 kg/GJ mek	CH4 kg/GJ mek	N2O kg/GJ mek	SO2 kg/GJ mek	NOx kg/GJ mek	Partikler kg/GJ mek
Konventionel diesel	331 (328)	0,00	0,01	0,01	0,62	0,02
Konventionel benzin	351 (348)	0,00	0,00	0,01	0,13	0,00
Bioethanol (1. gen.)	223 (151)	0,00	0,01	0,04	0,57	0,00
Bioethanol (2. gen.)	138 (101)	0,00	0,00	0,02	0,27	0,00
Bio diesel (RME)	147 (138)	0,00	0,01	0,01	1,01	0,02
Bio-olie	136 (127)	0,00	0,01	0,01	1,03	0,02
Naturgas	284 (270)	0,44	0,00	0,01	0,10	0,00
Methanol fra biomas.	79 (26)	0,00	0,00	0,02	0,18	0,00
Brint	397 (54)	0,01	0,02	0,16	0,67	0,00
Elbiler	182 (25)	0,01	0,01	0,07	0,31	0,00
Diesel fra kul	421 (375)	0,00	0,01	0,02	0,87	0,02
Diesel fra biomasse	117 (38)	0,00	0,01	0,04	0,74	0,02

Note: Tabellen viser de samlede CO<sub>2</sub>-emissioner for de forskellige teknologi-spør.

Tallene i parentes angiver CO<sub>2</sub>-emissionerne ekskl. CO<sub>2</sub>-emissionerne fra elproduktion. Disse tal angiver dermed de CO<sub>2</sub>-emissioner som ikke er underlagt kvote-ordningen.

Det skal bemærkes at estimerne for 2025 er behæftet med en betydelig usikkerhed pga. begrænset viden og forventninger til den fremtidige udvikling. For mange af estimerne er der anvendt de samme tal som for år 2006. Kun for de parametre hvor der er fundet en troværdig kilde med en forventning til den fremtidige udvikling er der anvendt et andet estimat for 2025. Som følge heraf er en række af resultaterne uændret eller stort set uændret i forhold til 2006.

I den økonomiske opgørelse er den mest markante forskel for brint og methanol for biomasse, hvor totalomkostninger er faldet dramatisk som følge af en forventning om et markant fald i prisen for en bil med brændselscelle til elmotor (fra ca. 1 mio. kr. til 125.000 kr.). For brint regnes der desuden med en betydelig effektivisering af virkningsgraden ved elektrolyse.

Naturgas fremstår som det billigste drivmiddel, hvilket skal ses i lyset af en forventning om en forbedret energieffektivitet (som for benzinbiler) samt reduceret omkostninger til køretøjerne.

Prisen for 2. generation bioethanol forventes at være lavere (ca. 90 kr./GJ mek) end for 1. generation.

I opgørelsen af virkningsgraderne finder man en række små forskelle. Mest markant forskel er der for elbiler og brint, hvor virkningsgraderne i køretøjerne forventes forbedret markant (for elbiler fra 0,79 til 0,90 og for brændselscelle, brint til elmotor fra 0,38 til 0,48). For elbiler forventes der desuden en betydelig udvikling i batteri-teknologien som vil øge holdbarheden og effekten og dermed reducere omkostningerne.

I opgørelsen af miljøbelastning ser man generelt en reduktion for alle de 12 analyserede teknologi-spor. Dette skyldes først og fremmest en antagelse om reducerede emissioner fra køretøjerne i fremtiden og i mindre grad effektiviseringer af processerne samt mindre opstrømsenergiforbrug ved elproduktion.

## 5.3 Potentialer

I dette afsnit belyses de forskellige teknologispør perspektiver og potentiale ud fra en vurdering af produktionskapaciteten for biomasse og en vurdering af fossile energiressourcer (olie/oliesand, naturgas og kul) på kort og langt sigt.

### 5.3.1 Fossile reserver

Dette afsnit indeholder en oversigt over senest tilgængelige opgørelser over vurderinger af fossile energiressourcer (olie/oliesand, naturgas og kul) på kort og langt sigt. Oversigten er udarbejdet dels for globale energiressourcer, dels for danske energiressourcer. Afsnittet indledes med en definition af opdelingen af de fossile reserver. Herefter følger vurderingen af de nationale og globale ressourcer og til sidst præsenteres en samlet tabel over resultaterne, hvor de enkelte ressourcer er opgjort i sædvanlige handelsværdier og i energiindhold (PJ).

For de danske energiressourcers vedkommende er tallene fra på Energistyrelsens rapport Danmarks olie- og gasproduktion 2005. For de globale ressourcers vedkommende er tallene fra IEA-rapporten World Energy Outlook 2004 WEO (2004).

### Definitioner

De fossile energiressourcer opgøres som hovedregel i to kategorier:

1. Reserver
2. Ressourcer

Reserver er defineret som de energimængder, som indenfor en overordnet økonomisk ramme kan indvindes med kendt teknologi fra ancorede strukturer, hvor der er påvist kulbrinter.

Ressourcer er defineret som et skøn over de mængder, der vil kunne indvindes ved anvendelse af ny teknologi samt indvindingspotentialitet/efterforskningspotentialitet i ikke-ancorede strukturer. Dette medfører, at skøn for ressourcer er behæftet med stor usikkerhed.

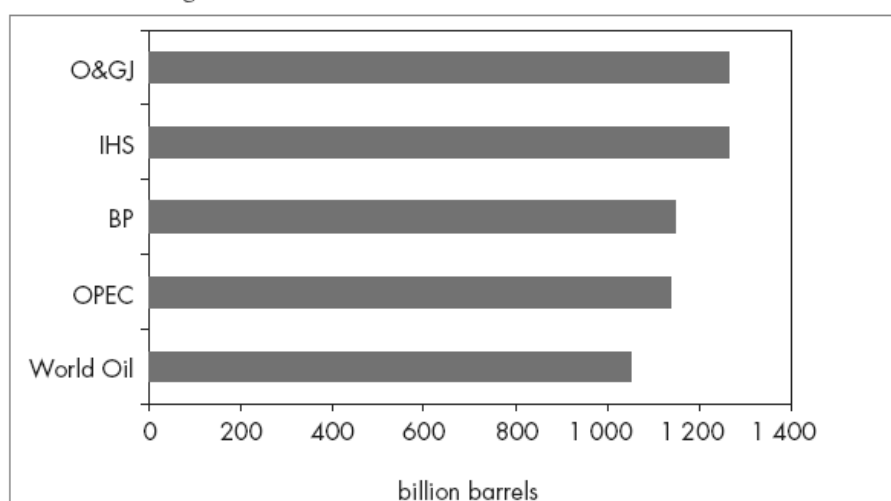
### Globale vurderinger

Oliereserver

De mest anerkendte kilder til oplysninger om de globale oliereserver er Oil and Gas Journal, World Oil, OPEC, IHS Energy, BP og US Geological Survey (USGS).

I nedenstående figur er anført nogle af disse vurderinger af oliereserver.

Figur 5-1 Råolie og flydende naturgasreserver ultimo 2003 (kilde WEO 2004)



Note: The IHS Energy figures are for "proven and probable technically-recoverable resources". They include developed oil-sands reserves in Canada and certain developed Venezuelan extra-heavy oil resources in the Orinoco.

1. In 2003 based on production of 79,6 mb/d.

Det bemærkes at tallene indeholder en vis mængde reserver fra Canada i form af oliesand. På basis af denne figur vurderes de globale oliereserver at udgøre ca. 1.250 milliarder tønder olie, svarende til ca. 43 års produktion (2003-niveau).

## Olieressourcer

I henhold til IEA-rapporten foreligger der kun relativt få estimater over olieresourcer. For almindelig olies vedkommende opgør USGS summen af reserver og ressourcer til ca. 2.628 milliarder tønder jævnfør nedenstående tabel.

Table 5.7 USGS vurderinger af olieresourcer (Kilde WEO 2004)

Table 3.3: USGS Estimates of Ultimately Recoverable Oil and NGL Resources (billion barrels)

Category/probability*	95%	50%	5%	Mean
Undiscovered	495	881	1 589	939
Reserves growth	229	730	1 230	730
Remaining reserves				959
Cumulative production				717
Total ultimately recoverable resources				3 345
Remaining ultimately recoverable resources				2 628

\* Per cent chance of there being at least the amount indicated.

Source: USGS (2000). Data are as of 1 January 1996 and for those parts of the world actually assessed.

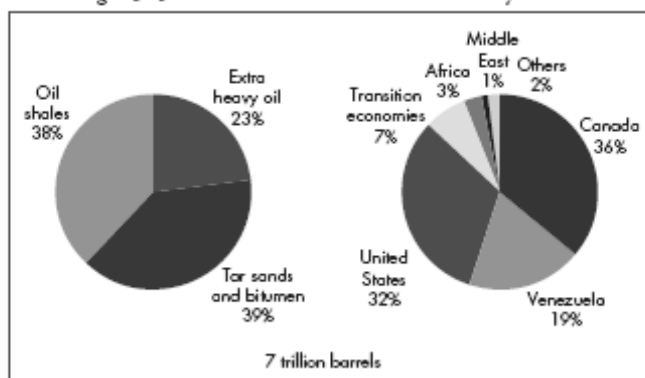
Fratrækkes der de i ovenstående afsnit opgjorte reserver på ca. 1250 milliarder tønder fås olieresourcerne til ca. 1400 milliarder tønder.

Udover ovennævnte ressourcer er det ligeledes vurderet at der findes betydelige mængder olieresourcer som ekstra svær olie i Venezuela, tjæresand i Canada og olie fra olieskifer forekomster (shale oil).

Dette potentiale er opgjort til så meget som 7.000 milliarder tønder, jævnfør nedenstående figur.

Figur 5-2 Ikke konventionelle oliereserver

Figure 3.13: Non-Conventional Oil Resources Initially in Place



Sources: IEA analysis based on Cupcic (2003); Dyni (2003) and IHS Energy databases.

Det fremgår af IEA rapporten at der er endog meget stor usikkerhed omkring hvor store oliemængder, der reelt kan produceres fra disse forekomster.

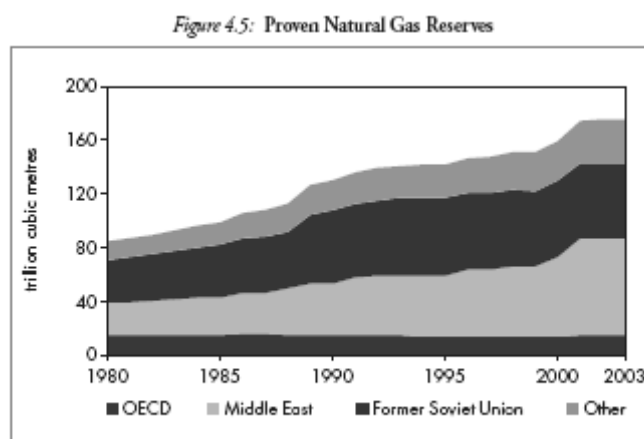
Antages det, at det er muligt at udnytte ca. 30 % af de ikke-konventionelle olieressourcer udgør de samlede olieressourcer inklusive de førnævnte 1.400 milliarder tønder ca. 3.500 milliarder tønder olie.

### Naturgas

Reserver

Naturgasreserverne har været jævnt voksende siden 1980 og udgjorde i 2004 ca. 180.000 mia. m<sup>3</sup>, jævnfør nedenstående figur.

Figur 5-3 Naturgasreserver i perioden 1980-2003 (kilde WEO 2004)



Disse reserver svarer til ca. 66 års produktion (primo 2004-tal).

Ressourcer

De opgjorte ressourcer er noget højere end reserverne og udgør i alt ca. 387.000 mia. m<sup>3</sup>.

### Kul

Reserver

Kulreserverne udgør 907 mia. tons og svarer til 200 års forbrug ved det nuværende forbrug.

Ressourcer

Der foreligger ingen oplysninger om yderligere kulressourcer.

### Danmark

Reserver (olie og gas)

Pr. 1. januar 2006 er de danske reserver opgjort til 257 mio. m<sup>3</sup> olie og 122 mia. Nm<sup>3</sup> gas.

Ressourcer (olie og gas)

Teknologibidrag for olie og naturgas er opgjort til ca. 100 mio. m<sup>3</sup> olie og 10 mia. Nm<sup>3</sup> naturgas. Efterforskningspotentialet er i 2003 vurderet til 205 mio. m<sup>3</sup> olie og 152 mia. m<sup>3</sup> naturgas. De samlede fossile energiresourcer udgør således 305 mio. m<sup>3</sup> olie og 162 mia. Nm<sup>3</sup> naturgas.

### Sammenfatning

I nedenstående tabel er anført samlet opgørelse over reserver og ressourcer. Tallene er anført i sædvanlige handelsenheder, dvs. i tønder for olies vedkommende, m<sup>3</sup> for naturgas's vedkommende og i tons for kul.

De danske råolieværdier er omregnet til tønder ud fra gennemsnitsværdien for 2005 som anført i Energistyrelsens rapport. 1 m<sup>3</sup> olie svarer til 6,293 tønder olie.

Tabel 5.8 Sammenfatning af fossile reserver og ressourcer - tønder

Energikilde	Enhed	Globale værdier	Danmark
<b>Olie</b>			
Reserver	Milliarder tønder	1.250	1,6
Ressourcer	Milliarder tønder	3.500	1,9
<b>Naturgas</b>			
Reserver	Milliarder m <sup>3</sup>	180.000	122
Ressourcer	Milliarder m <sup>3</sup>	387.000	162
<b>Kul</b>			
Reserver	Milliarder tons	907	0

Energiindhold i råolie, naturgas og kul varierer verden over.

Forudsættes der de danske værdier fra 2005 for henholdsvis råolie (1 m<sup>3</sup> = 36,3 GJ), naturgas (1000 m<sup>3</sup> = 39,6 GJ) og kraftværkskul (1 ton = 24,6 GJ), fås energiindholdet i de fossile brændselsreserver og ressourcer til (afrundede tal).

Tabel 5.9 Sammenfatning af fossile reserver og ressourcer - PJ

Energikilde	Enhed	Globale værdier	Danmark
<b>Olie</b>			
Reserver	PJ	7.200.000	9.300
Ressourcer	PJ	20.000.000	11.000
<b>Naturgas</b>			
Reserver	PJ	7.100.000	4.800
Ressourcer	PJ	15.300.000	6.400
<b>Kul</b>			
Reserver	PJ	22.300.000	

### 5.3.2 Biomasse

Der hersker usikkerhed om den fremtidige adgang til biomasse, både i dansk og i EU sammenhæng. Opgørelser af potentialer afhænger i høj grad af de forudsætninger der anvendes med hensyn til produktivitetsforøgelse i landbruget, arealer til fødevarerproduktion, miljømæssige krav i landbrug og skovbrug mv.

I dette afsnit gives en vurdering af biomasse-potentialet i forhold til energiforbruget i almindelighed og i forhold til energiforbruget i transportsektoren. Der refereres dels fra Energistyrelsen vurdering af de danske biomasse ressourcer, dels til det Europæiske Miljø Agenturs vurdering af EU's potentielle bioenergi produktion frem til 2030.

#### *Nuværende danske ressourcer af biomasse og disses udnyttelse til energiformål*

Nedenstående beskrivelse af de danske biomasseressourcer er et direkte citat fra Energistyrelsen sammenfattende baggrundsrapport til Energistyrelsens Energi-strategi 2025<sup>9</sup>:

"De danske nuværende ressourcer af biomasse, som kan anvendes til energi-produktion, vurderes set fra et teknisk perspektiv til cirka 150 PJ/år. De ca.150 PJ er de teoretisk, tekniske ressourcer af biomasse. Set i et økonomisk perspektiv med forventninger til relativt højere omkostninger på de marginale ressourcer af fx halm, vurderes de reelle ressourcer at være mindre.

Omkring 2/3 af de tekniske ressourcer formodes at være udnyttet i dag, med nogen usikkerhed vedrørende træressourcer. De tilgængelige tal over fordelingen på halm, træ, biomasse til biogas, affald, biodiesel og fiskeolie fremgår af tabel 4.1. For indeværende eksporteres al biodiesel. De uudnyttede ressourcer udgøres primært af halm og biomasse til biogasproduktion (husdyrgødning m.m.).

Hvor stor en del heraf, der kan realiseres som brændsel, afhænger af en lang række tekniske og økonomiske forhold, som bl.a. styres og reguleres via tilskuds- og afgiftsregler.

#### *Tabel 5.10. Ressourcer af biomasse samt forbrug til energiformål i Danmark i 2003.*

Tabelnote: Halmressourcen er fratrukket landbrugets egetforbrug samt 10 % ikke bjergbart. De 14 PJ i ressource gælder både skovflis og brænde. Der savnes mere præcise informationer vedr. forbruget af træ, bl.a. importeres store mængder brænde og træaffald.

*Kilde: Energistyrelsens statistik 2003, Halmressourcer i Danmark 1994, Dansk Skovbrugs Tidsskrift hæfte 1, 2003.*

---

<sup>9</sup> Sammenfattende baggrundsrapport, afsnit 5, Energistyrelsen, 2005. Detaljerede henvisninger i teksten er fjernet, i stedet henvises til baggrundsrapporten: [http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/Energipolitik/Sammenfattende\\_baggrundsrapport\\_E\\_strategi\\_2025/html/chapter06.htm](http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/Energipolitik/Sammenfattende_baggrundsrapport_E_strategi_2025/html/chapter06.htm)

<b>Biomasse i PJ i 2003</b>	DK Ressource ca.	DK Produktion 2003	Import	Forbrug 2003	Vurderet andel udnyttet, ca.
Halm	52	16,7	0	16,7	32 %
Skovflis	14	6,2	0,7	6,9	
Brænde	Mangler præcis information	11,5	Ukendt	11,5	
Træpiller		4,7	5,7	10,4	
Træaffald		7,0	Ukendt	7,0	
Biomasse til biogas	40	3,6	0	3,6	9 %
Affald	38	36,2	0	36,2	95 %
Biodiesel	-	1,7	0	1,7 (eksport)	
Fiskeolie	-	0,3	0	0,3	
<b>I alt</b>	154 PJ	87,9 PJ		94,0 PJ	

Produktionspotentiallet for de danske skoves skønnes til 14 PJ. Produktionen i 2003 af brænde og skovflis i de danske skove over en halv hektar var ca. 10 PJ, så det vurderes, at der er muligheder for at øge den indenlandske produktion af træbrændsel. Hertil kommer, at skovrejsning løbende forøger produktionsmulighederne.

Det vurderes således, at det er muligt at øge de danske ressourcer i et vist omfang i fremtiden, idet øget energiudbytte kan prioriteres i avlsarbejde og valg af afgrøder og sorter i jordbruget. Omvendt kan ressourcegrundlaget blive mindre end det nuværende. Udlægning af større arealer til uudnyttet natur eller markante ændringer i landbrugspolitikken kan trække i den retning. Samtidig kan effektiviteten i udnyttelsen af biobrændslerne forbedres.

Biomasse ekskl. affald og biogas dækker ca. 8 % af det danske bruttoenergiforbrug. Forbruget af biomasse til energiproduktion i Danmark blev næsten 3-doblet i perioden 1980 til 2002. I de seneste 2 år er der sket en yderligere stigning med 15-20 PJ til 100-105 PJ i perioden frem til 2005. Det skyldes primært implementeringen af Biomasseaftalen om anvendelse af halm og flis på kraftværkerne. Samtidig udbygges anvendelsen af biomasse fortsat i den øvrige energiforsyning primært til varmforsyning i fjernvarmeverker og i mindre anlæg til husstande og virksomheder eller institutioner."

Danmarks energiforbrug til transport udgjorde i 2005 ca. 213 PJ/år<sup>10</sup>. Sammenholdes Energistyrelsens vurdering af det aktuelle, teoretiske biomassepotentiale med energiforbruget til transport ses at hvis hele det teoretiske biomassepotentiale både kunne og blev anvendt til transportformål ville ca. 70% af behovet dækkes med indenlandsk biomasse. Tages højde for det aktuelle forbrug af biomasse på 94 PJ/år til anvendelse primært i stationære anlæg vil der

<sup>10</sup> Energistatistik 2005, Energistyrelsen 2006

dog kun være biomasse tilbage til at dække knap 30% af den danske transportsektors forbrug med indenlandske ressourcer. I praksis vil det muligvis ikke være hele det teoretiske biomasse potentiale der realiseres, ligesom det ikke vil være alle biomasse typer der umiddelbart kan konverteres til drivmiddel for transport.

Siden Energistyrelsens opgørelse af biomasse ressourcerne og forbruget heraf er der foretaget undersøgelser af forskellige typer af biomasse. Således har Energistyrelsen offentliggjort en rapport om anvendelsen af brænde i Danmark<sup>11</sup>, som tyder på højere forbrug end angivet i tabel 5.10.

Produktionen af biomasse til energiformål er endvidere ikke statisk. Ressourcerne i tabel 5.10 er der således opgjort under forudsætning af den eksisterende arealanvendelse og den eksisterende udnyttelse af afgrøderne. Det er imidlertid muligt også at udnytte f.eks. kornet til bioenergi i stedet for som foder. Desuden vil der være yderligere muligheder for at dyrke energiafgrøder (f.eks. raps, korn, pil og elefantgræs) på en del af brakarealet. Den samlede produktion af biomasse til energiformål vil således i praksis fastlægges i et samspil mellem de tekniske muligheder, priser på forskellige afgrøder og produkter, regelsæt og politisk/etiske beslutninger.

#### *Vurdering af fremtidige biomasseresourcer til energiformål i EU*

Det Europæiske Miljø Agentur, EEA, har udarbejdet en analyse af de miljøtilpassede biomasseresourcer i EU-25, EU-15 og de enkelte medlemsstater for perioden frem til 2030<sup>12</sup>. Miljøtilpasset defineres som biomassemængder der kan udnyttes uden at give anledning til forøget negativ pres på diversitet, jord eller vandressourcer og som er i tråd med andre nuværende og kommende miljøpolitikker og -formål.

De væsentlige bioenergiressourcer opgøres som biomasse fra landbrug, skov og affald. I nedenstående tabel angives de beregnede mængder. Til sammenligning er endvidere angivet EU 25's forventede bruttoenergiforbrug de pågældende år.

---

<sup>11</sup> [http://www.ens.dk/graphics/Energi\\_i\\_tal\\_og\\_kort/BF\\_2005\\_Rapport.pdf](http://www.ens.dk/graphics/Energi_i_tal_og_kort/BF_2005_Rapport.pdf)

<sup>12</sup> How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA, 2006

*Tabel 5.11 EU miljømæssigt bæredygtigt bio-energi potentiale samt bruttoenergiforbrug, 1000 PJ*

	2010				2020				2030			
	Landb.	Skov	Aff	I alt	Landb.	Skov	Aff	I alt	Landb.	Skov	Aff	I alt
EU 15	1,2	1,5	3,6	<b>6,2</b>	2,6	1,4	3,6	<b>7,5</b>	4,1	1,4	3,6	<b>9,1</b>
EU 10	0,8	0,3	0,7	<b>1,8</b>	1,5	0,3	0,7	<b>2,5</b>	2,0	0,2	0,7	<b>3,0</b>
EU 25	2,0	1,8	4,2	<b>8,0</b>	4,1	1,7	4,3	<b>10,0</b>	6,1	1,7	4,4	<b>12,1</b>
EU 25 brutto energiforbrug				<b>77,4</b>				<b>80,5</b>				<b>80,9</b>

Kilder:

Bioenergi-potentiale: EEA, 2006

Energiforbrug: European energy and transport. Trends to 2030 - update 2005. EU DG Tren 2006

Det fremgår at affald forventes at udgøre en væsentlig del af potentialet for bioenergi, svarende til ca. 35% i EU, landbruget forventes at bidrage med 50% og skov med 15%.

Sammenholdes de forventede bioenergi ressourcer med det forventede energiforbrug i 2030 kan op til 15% af bruttoenergiforbruget i 2030 dækkes af bioenergi.

Energiforbruget i transportsektoren i EU 25 forventes at udgøre ca. 15.500 PJ i 2030. Anvendes hele bioenergi-potentialet til transportsektoren vil dette i 2030 kunne udgøre 75% af transportsektorens forventede energiforbrug. Også i EU 25 må dog forventes konkurrence om biomassen til forskellige energiformål, herunder anvendelse i elværker og andre stationære energianlæg. Der forventes således i basisfremskrivningen anvendt 3.000 PJ bioenergi til elproduktion i 2030<sup>13</sup>, ligesom også andre energianlæg må forventes at forbruge biomasse. Endvidere vil det ikke vil være alle biomasse typer der umiddelbart kan konverteres til drivmiddel for transport.

#### *Globalt udbud af biomasse til energiformål*

Der eksisterer et globalt marked for biomasse og for bio brændstoffer. Således importeres bioethanol både til Sverige og Danmark fra bl.a. Brasilien til iblanding i benzin. Der er ikke her foretaget et skøn over det fremtidige udbud af biomasse til energiformål på det globale marked, men Danmark må forventes at have adgang til et dette marked for biomasse og biobrændstoffer også i fremtiden. I lyset af mange landes ønske om at reducere afhængigheden af fossil energi må der imidlertid forventes at opstå en global konkurrence om biomasse ressourcerne, hvilket kan begrænse adgangen til biomasse og biobrændstoffer ved attraktive priser.

<sup>13</sup> European energy and transport. Trends to 2030 - update 2005. EU DG Tren 2006

## 5.4 Samlet vurdering

I denne analyse er der udviklet en metode til konsistent at kunne vurdere hvilke alternative drivmidler til transport, der har de største *teknologiske* og *økonomiske* potentialer. Der er desuden udviklet og opstillet et struktureret, brugervenligt og gennemsigtigt regnearksværkstøj med beregninger af omkostninger, energieffektivitet og miljøbelastning.

Resultaterne af beregningerne er behæftet med en væsentlig usikkerhed. Der er ganske stor usikkerhed om en række væsentlige inddata, f.eks. opstrømsenergiforbrug for råvarer, emissioner, prisudvikling osv. Endvidere hersker der stor usikkerhed om den teknologiske udvikling i de kommende 20 år, især for de nye teknologier såsom 2. generation bioethanol og brændselsceller, både med hensyn til tekniske forhold og til omkostningsudvikling. Resultaterne af beregningerne skal derfor tages med forbehold, ligesom der ligger en opgave i løbende at forbedre datagrundlag og forudsætninger.

De danske muligheder for at producere og anvende biobrændstoffer er ikke begrænset af den indenlandske tilgang af biomasse og energiafgrøder, idet der eksisterer et internationalt marked herfor. Det internationale marked for biomasse og biobrændstoffer forventes yderligere udviklet, der forventes således en stigende produktion af biomasse for energiformål i Østeuropa med henblik på eksport i de kommende år.

Ved vurderingen af de alternative teknologier er der taget udgangspunkt i økonomien - suppleret med information om miljø og virkningsgrad - i højere grad end i de indenlandske potentialer og ressourcer.

På kort sigt ser naturgas, bio-olie og bio-diesel (produceret på raps) ud til at være økonomisk de mest attraktive alternativer til benzin og diesel. For bio-olie og bio-diesels vedkommende skyldes dette at teknologien er veludviklet, og de væsentligste økonomiske parametre er hhv. verdensmarkedsprisen på rapsfrø versus verdensmarkedsprisen på fossil diesel. For naturgas skal forklaringen findes i at naturgassen som udgangspunkt er billigere end benzin (36 kr/GJ vs 64/GJ), mens motoren har samme virkningsgrad.

Omkostningerne ved produktion af syntetisk diesel ud fra kul ligger i beregningerne forholdsvis tæt ved omkostningerne ved almindelig diesel. Det skyldes prisrelationen mellem råolie (51,5 DKK/GJ eller ca. 50 \$/tdr) og kul (15 DKK/GJ). Prisen for diesel på kul er dog ca. 100 kr/GJ mek dyrere end konventionel diesel.

På længere sigt er der også andre alternative drivmidler som bliver interessante ud fra et økonomisk perspektiv. Først og fremmest bliver brint og metanol til brug i biler med brændselsceller væsentlig mere attraktive som følge af den forventede teknologiske udvikling især i brændselscelleteknologien. En væsentlig fordel ved disse teknologier er de meget små emissioner fra hele sporet og især fra køretøjet.

Også for 2.generations bioethanol forventes der at være sket en teknologisk udvikling, som kan gøre dette drivmiddel realistisk.

Endelig synes naturgas som drivmiddel også at være et økonomisk relevant alternativ på længere sigt.

Der forventes udviklet mere effektive og holdbare batterier, mens der regnes med uændrede omkostninger til selve køretøjet. Samlet set betyder dette imidlertid at elbiler forventes at udgøre et rimeligt attraktivt alternativ i fremtiden. Det skal samtidig bemærkes, at der her er regnet med "blandingsel", og ikke med en optimeret anvendelse af elsystemet til brug for opladning af biler. Dette ville kunne reducere de samfundsøkonomiske omkostninger ved elforsyningen af bilerne. Det skal ligeledes fremhæves at der hersker betydelig usikkerhed i forhold til de fremtidige omkostninger til batterier i elbiler.

De mindst attraktive teknologier er biler som drives på methanol fra biomasse samt diesel fra biomasse (DME). DME skal opbevares under tryk for at være på flydende form, hvilket indebærer en fordyrelse både af køretøjet og distribution af brændstoffet. Der er i analysen antaget 25% fordyrelse af begge omkostningselementer.

Det bør bemærkes, at infrastrukturen har stor betydning for hvor hurtigt en teknologi rent praktisk kan indpasses i den danske energiforsyning. Nogle drivmidler, f.eks. bio-diesel (RME) kan anvendes direkte i eksisterende dieslbiler og distribueres gennem eksisterende tankstationer. Andre, f.eks. benzin med højt indhold af ethanol (f.eks. 85%) kan anvendes i modificerede benzinbiler, men skal distribueres som separate brændstoffer til tankstationer og lagres i nye faciliteter.

Det skal i denne forbindelse bemærkes, at det i analysen er søgt at afspejle de langsigtede omkostninger. Det betyder at der ikke er medregnet ekstra omkostninger som følge af afholdelse af investeringer i ny infrastruktur for de alternative teknologi-spor. Der er således ikke taget hensyn til forskellene i kravene til infrastrukturen. Endvidere er udviklingsomkostningerne for de forskellige teknologier ikke medtaget.

Der kan desuden gøres følgende observationer:

- Omkostningerne til produktion af bio-ethanol ud fra 1. generationsteknologien er høj, hvilket først og fremmest skal tilskrives den relativt høje pris på hvede.
- I år 2025 forventes 2. generations bioethanol at kunne produceres billigere end 1. generations bioethanol (ca. 90 kr/GJ mek). For 2. generations bioethanol er omkostningerne ved selve konverteringen 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.

- Omkostningerne for tilvejebringelse af el til elbiler er lav (ca. 200 kr/GJ mek). Dette er en direkte konsekvens af lave priser til råstoffer ved elproduktion samt relativt lave omkostninger til ladestationer.
- Virkningsgraden, målt i forhold til den mekaniske energi, er relativt høj for elbiler og naturgas. For elbiler skal forklaringen findes i de relativt høje virkningsgrader i motoren. For naturgas skal forklaringen findes i det beskedne energiforbrug til distribution og komprimering.
- Som forventet er de konventionelle fossile brændstoffer (diesel og benzin) forbundet med den højeste udledning af CO<sub>2</sub>.
- Udledningen af CO<sub>2</sub> er også relativt høj for naturgas og diesel fra kul, som også er fossilt - om end udledningen for naturgas er ca. 20% lavere end for benzin. Omvendt er CO<sub>2</sub> udledningen lav for bio-olie, bio-diesel samt methanol og diesel fra biomasse.
- Samlet set er methanol fra biomasse, diesel fra biomasse og elbiler mest attraktive set ud fra et miljøperspektiv, idet værdien af de udledte emissioner er mindst for disse teknologi-spor. For methanol skal de lave emissioner først og fremmest ses i lyset af at der anvendes en elmotor på brændselscelle. For elbilen skal forklaringen findes i en meget høj virkningsgrad i køretøjet.
- Naturgas har CO<sub>2</sub> emissioner som er lavere end for konventionel benzin og på niveau med diesel på kort sigt. På længere sigt bevirker den teknologiske udvikling at naturgas fremstår med lidt lavere CO<sub>2</sub>-emissioner end diesel (uden emissionerne fra elforbrug). De øvrige emissioner er desuden lidt lavere end for benzin, hvilket bl.a. skyldes mindre svovl-indhold i naturgassen.
- Generelt forventes der kun beskedne effektiviseringer i forhold til energidnyttelse for de analyserede teknologispør. For elbiler og brint forventes den samlede virkningsgrad dog øget betydeligt som følge af forventninger om markante forbedringer af virkningsgraderne i køretøjerne.
- Der forventes til gengæld generelt en forbedring i forhold til udledningen af luffemissioner som følge af teknologiforbedringer. Der forventes således en reduktion for samtlige af de 12 analyserede teknologi-spor. Dette skyldes først og fremmest en antagelse om reducerede emissioner fra køretøjerne i fremtiden og i mindre grad effektiviseringer af processerne samt mindre opstrøms-energiforbrug ved elproduktion.

## 6 Litteraturliste

Listen nedenfor er en fortegnelse over anvendt og visiteret litteratur.

### Generelt anvendt litteratur:

Biofuels Research Advisory Council (2006): *Biofuels in the European Union - a vision for 2030 and beyond*, 2006.

Concawe (2006): *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European Context*. May 2006.

Dansk Energi (2006): *Anvendelse af biomasse i transportsektoren*. Udarbejdet af COWI for Dansk Energi.

Energistyrelsen (1997): *EMBio Energistyrelsens Model til økonomisk og miljømæssig vurdering af BIObrændstoffer*. Udarbejdet af COWI for Energistyrelsen.

Energistyrelsen (2003): *Dokumentation for beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ved anvendelse af biodiesel - revideret udgave*. December 2003.

Energistyrelsen (2004): *Anvendelse af brint til transport*, COWI for Energistyrelsen, oktober 2004.

Energistyrelsen (2005): *Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. Energistyrelsen, april 2005.

Energistyrelsen (2005): *Strategi for forskning og udvikling vedr. fremstilling af flydende biobrændstoffer*. Energistyrelsen, Juni 2005.

Energistyrelsen (2005): *Brintteknologier - strategi for forskning, udvikling og demonstration i Danmark*. Energistyrelsen, Juni 2005.

Energistyrelsen (2006): *Appendiks: Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. Energistyrelsen, juli 2006.

International Energy Agency (2003): *Renewable energy working party - Biofuels project*. March 2003.

International Energy Agency (2006): *Energy Technology Perspectives*. 2006.

Lieberz S. M. (2004): *Biofuels in Germany - Prospects and limitations*. USDA Foreign Agricultural Service, November 2004.

Teknologisk Institut (2004): *Energistrategi 2025: Teknologiuudvikling i transportsektoren*.

VIEWLS (2005a): *Environmental and economic performance of biofuels - Volume I & II*.

VIEWLS (2005b): *Shift gear to Biofuels - Results and recommendations from the VIEWLS project*. November 2005.

### **Litteratur anvendt til biomasse potentialer:**

Andersen, Sigurd, "Planteproduktion i landbruget". Jordbrugsforlaget, Frederiksberg, 1994.

Berndes, Göran et al, "The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies". Biomass and Bioenergy, Vol. 25, pp. 1-28, 2003.

Biofuels Research Advisory Council, "Biofuels in the European Union – a vision for 2030 and beyond". Bruxelles 2006.

Danmarks Statistik, Statistikbanken, statistikdata om landbrug mv.

Edwards, R. et al, "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context: CONCAWE, EUCAR and the JRC of the EU Commission, Ispra, Version 2b. Well-to-tank Report", maj 2006

Energistyrelsen, "Vurdering af biomasse til energiforsyning". Baggrundsrapport nr. 5 til Energi 2000". , København, 1990.

Energistyrelsen, "Danmarks vedvarende energiresourcer". København, 1996.

Energistyrelsen, "Strategi for forskning og udvikling vedr. fremstilling af flydende biobrændstoffer". København, juni, 2005.

EEA, "How much bioenergy can Europe produce without harming the environment" (EEA Report 7/2006). København, 2006.

FAO, "Worlds agriculture towards 2015/2030". Rom, 2002.

FAOSTAT, faostat.fao.org

Fischer, G & L Schrattenholzer, "Global bioenergy potentials through 2050", Biomass & Bioenergy Vol. 20, pp. 151-159, 2001.

Gylling, Morten et al, "*Langsigtede biomasseressourcer til energiformål - mængder, omkostninger og markedets betingelser*" (Rapport nr. 125). SJFI, Fødevareministeriet, Frederiksberg, 2001.

Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs  
(<http://www.hbefa.net/Tools/DE/MainSite.asp>)

Hoogwijk, Moniques et al, "*Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios*". Biomass and Bioenergy (articles in press)

Hougs Lind, Carsten, "*Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - opgørelse og prognose*". Forskningscenter for Skov og Landskab, Landbrugsministeriet, Lyngby, 1994

IEA, "*Biofuels for transport – an international perspective*". Paris, 2004

IPCC, "*Special report on emission scenarios*", Cambridge, 2000

Kavalov, Boyan, "*Biofuel potentials in the EU*" (Report EUR 21012). Institute for Prospective Technology Studies, European Commission, januar 2004.

Kavalov, Boyan et al, "*Biofuel production potential of EU-Candidate countries*" (Report EUR 20835). Institute for Prospective Technology Studies, European Commission, januar 2003.

Larsen, Poul Henning & Vivian Kvist Johannsen, "*Skove og plantager 2000*". Danmarks Statistik mv., København, 2002.

Nord-Larsen, Thomas & Niels Heding, "*Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - opgørelse og prognose 2002*". Dansk Skovbrugs Tidsskrift Vol. 87, No. 1, p. 1-72, 2003

Smeets, E. et al, "*A quickscan of global bioenergy potentials to 2050. Report NWS-E-2004-109*". Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht, marts 2004.

Sørensen, Bent et al, "*Long-term scenarios for global energy demand and supply - four global greenhouse mitigation scenarios*". IMFUFA, RUC, Roskilde, 1999

UNEP & EEA, "*High nature value farmland: characteristics, trends and policy changes*" (EEA Report 1/2004). København, 2004.

Wakker, A. et al, "*Biofuel and bioenergy implementation scenarios - Final report of the VIEWLS WP5*". November 2005

World Energy Council, "*2001 Survey of world energy sources*". WEC, London, 2001.

Wurster, Reinhold et al, "GM Well-to-Wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems – a European study". Otobrun, Tyskland, 2002

### **Litteratur anvendt til fakta ark om køretøjer og motorteknologi:**

Delucchi, Mark & Timothy Lipman, "An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles", Transportation Research Part D, Vol. 6, pp. 371-404, 2001.

Delucchi, Mark A., "A lifecycle emissions model (LEM): lifecycle emissions from transportation fuels, motor vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels, and materials - documentation of methods and data". Institute of Transportation Studies, UC Davis, Californien, 2003

Dunne, Seth, "Hydrogen futures: towards a sustainable energy system". Internal Journal of Hydrogen Energy, Vol. 27, pp. 235-264, 2002.

Edwards, R. et al, "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context (the JEC Study): CONCAWE, EUCAR and the Joint Research Centre of the EU Commission. Version 2b" Ispra, Italien, 2006.

Friis Hansen, Ken et al (2004), "Teknologiudvikling i transportsektoren. Teknologikatalog", Teknologisk Institut, Århus

Greene, David & Andreas Schafer, "Reducing greenhouse gas emissions from US transportation", Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia, 2003

Greene, David et al, "Future potential of hybrid and diesel powertrains in the U.S. Light-Duty Vehicle market", Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 2004

Horstmann, Jørgen & Kaj Jørgensen, "Perspektiver for elbiler". Miljøstyrelsen, København 1997.

Jørgensen, Kaj, "Teknologikatalog over tekniske muligheder for energibesparelser i transportsektoren". Energistyrelsen, København 2000

IEA Secretariat, "Prospects for hydrogen and fuel cells", Draft. Paris 2005

IEA, "Energy technology perspectives 2006 - scenarios and strategies to 2050", Paris, 2006

Koljonen, Tiina et al: "Systems analysis and assessment of technological alternatives for Nordic H2 Energy Foresight". Risø, Roskilde, December 2004

Lipman, Timothy & Mark A Delucchi, "*A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles*", Transportation Research Part D, vol. 11, pp. 115-132, 2006

Lipman, Timothy et al, "*Fuel cell system economics: comparing the costs of generating power with stationary and motor vehicle PEM fuel cell systems*", Energy Policy, Vol. 32, No. 1, pp. 101-125, 2004

Ogden, Joan et al, "*A comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicles: implications for vehicle design and infrastructure development*", Journal of Power Sources, vol. 79, pp. 143-168, 1999

Ogden, Joan et al, "*Toward a hydrogen-based transportation system*", Princeton University, Center for Energy & Environmental Studies, Princeton, New Jersey, May 2001.

Ogden, Joan et al, "*Societal lifecycle costs of cars with alternative fuels/engines*", Energy Policy, Vol. 32, No. 1, pp. 7-27, 2004

O'Keefe, M. P. & K. Vertin, "*An analysis of hybrid electric propulsion systems for transit buses*". NREL, Golden, Colorado, 2002

Sørensen, Bent et al: "*Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i Danmarks fremtidige energisystem*", RUC, Roskilde, 2001

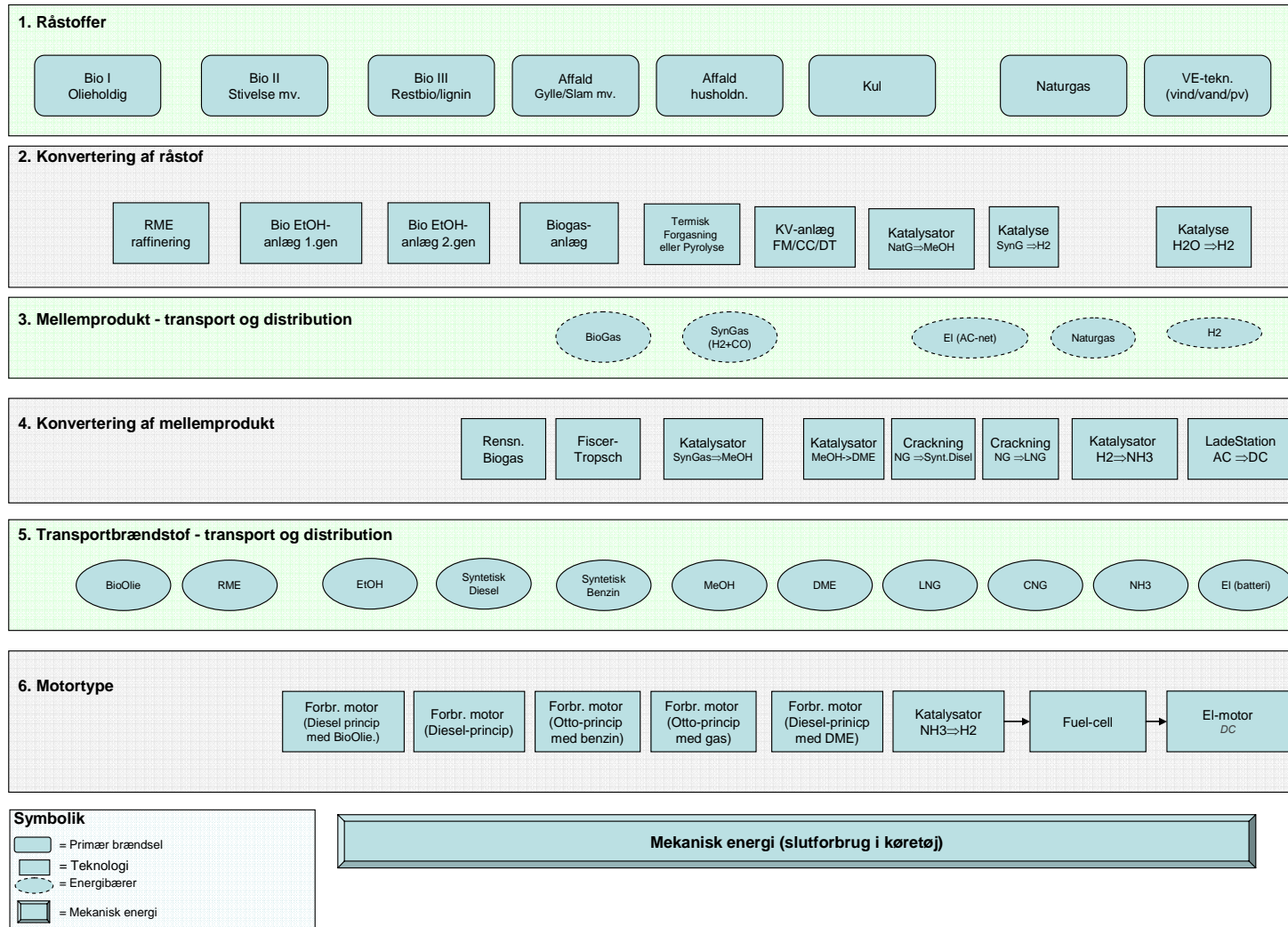
Trafikministeriet, "*TEMA2000*"

Weiss, Malcolm A. et al, "*On the road in 2020*", MIT, Cambridge, Massachusetts, 2000

Winther, Morten, "*Danish emission inventories for road transport and other mobile sources*" (Research Notes from NERI No. 201)", DMU, Roskilde, 2004

Wurster, Reinhold & Trudy Weber, "*GM Well-to-Wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems - a European Study*", L-B-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn, Tyskland, 2002

# Bilag A Oversigt over energiteknologier til forsyning af transportsektoren



## **Bilag B Beskrivelse af teknologi-elementer**