

COWI

Alternative drivmidler

Energistyrelsen

28. februar 2012

ISBN www: 978-87-7844-923-8

COWI A/S

Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

Telefon 45 97 22 11
Telefax 45 97 22 12
www.cowi.dk

Alternative drivmidler

Energistyrelsen

28. februar januar 2012

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	4
1 Indledning	15
1.2 Baggrund	16
1.3 Indhold	17
2 Præsentation af modellen	19
2.1 Opbygning af modellen	20
2.2 Centrale elementer i modellens analyseramme	24
3 Ændrede nøgleforudsætninger	31
3.1 Langsigtet marginal analyseramme	31
3.2 Udbygning af infrastruktur	35
3.3 Priser	37
3.4 Ændringer i øvrige basisdata	41
3.5 Konsekvenser for resultater af ændrede forudsætninger	42
4 Drivmiddelspor	44
4.1 Drivmidler	45
5 Resultater for personbiler	49
5.1 Samfundsøkonomi ved dansk afgrænsning	49
5.2 CO ₂ - emissioner ved dansk afgrænsning	51
5.3 Betydning af ændringer i arealanvendelsen (LUC/ILUC)	52
5.4 Energieffektivitet	53
6 Tunge køretøjer	55
6.1 Busser	55
6.2 Lastbiler	55
7 Resultater for tunge køretøjer	58
7.1 Samfundsøkonomi	58

7.2	Emissioner	61
7.3	Energieeffektivitet	62
8	Resultat-oversigt	64
9	Referencer	66

Sammenfatning

Frem mod 2020 og derefter peger analysen på at især el, biogas og naturgas som drivmidler er samfundsøkonomisk attraktive i forhold til traditionel benzin og diesel, mens de øvrige drivmidler har samme eller større omkostninger som benzin og diesel.

Særligt biogas og el indebærer samtidig væsentlige reduktioner i CO₂ udledningerne, men også brint, methanol, DME samt i mindre omfang 2. generation bioethanol og hovedparten af de øvrige alternative drivmidler reducerer CO₂-udledningen. Anvendelse af de traditionelle fødevarer-baserede 1. generations biobrændstoffer indebærer derimod i bedste fald kun beskedne klimafordele, hvis ændringer i arealanvendelse medregnes, og i værste fald væsentlige negative klimaeffekter.

Naturgas som drivmiddel indebærer en beskedent klimagevinst, men kan spille en rolle for opbygningen af infrastruktur og markedet for gasformige drivmidler i større flåder og dermed bidrage til indfasning af biogas til transport.

De elbaserede drivmidler er de mest effektive på grund af en høj virkningsgrad i motoren og en stigende vindandel i elforsyningen. Methanol sporet har også en relativ høj effektivitet. Blandt de øvrige, er spor baseret på dieselmotorer (biodiesel) mere effektive end spor baseret på benzin/Otto-motorer (gas og ethanol), på grund af dieselmotorens bedre virkningsgrad.

For de tunge køretøjer medfører alle de valgte alternative drivmidler i varierende omfang reducerede udledninger af CO₂, i særlig grad DME sporet baseret på træ. Den eneste undtagelse herfra er - som for personbilerne - drivmidlet syntetisk diesel baseret på kul.

Beregningsværktøjet

I denne analyse er videreudviklet og opdateret en metode til konsistent og på tværs at kunne vurdere de alternative drivmidler til transport, der forventes at have et væsentligt *teknologisk* og *økonomisk* potentiale. Der blev i 2006 udviklet et regnearksværktøj til beregninger af omkostninger, energieffektivitet og miljøbelastning af forskellige drivmidler. Dette værktøj er nu blevet opdateret og på flere punkter ændret, så det omfatter flere drivmidler, og så det bedre understøtter formålet.

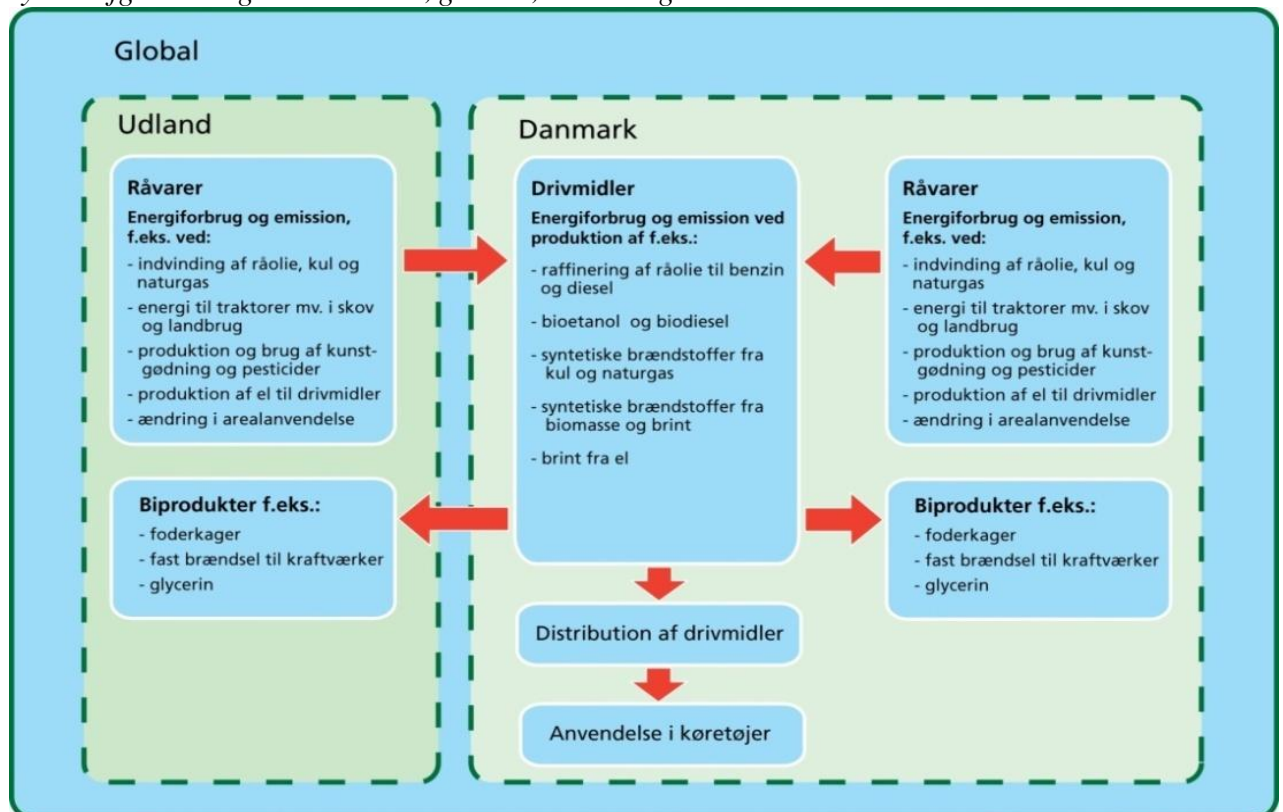
Resultaterne af beregningerne kan anvendes med henblik på en vurdering af om den enkelte teknologi kan forventes at bidrage til en effektiv opfyldelse af målsætninger om CO₂ reduktion og reduktion af afhængigheden af fossile brændstoffer.

Der er tale om en vurdering af enkeltteknologier og disses omkostninger, mens omkostninger til udvikling, regulering, implementering mv. af teknologierne ikke indgår. Der er tale om samfundsøkonomiske omkostninger i udvalgte år. Dette indebærer, at skatter og afgifter ikke er medtaget, og at der ikke er taget højde for den risikopræmie, som virksomheder måtte kræve for at udvikle og realisere især de mindst modne teknologier.

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 teknologisporet - fra frembringelse af råstoffet over konvertering til brændstof og distribution heraf frem til leveringen af den mekaniske energi i køretøjet. Et teknologispør er således den samlede kombination af råvare, drivmiddel (brændstof) og køretøj.

For at sikre sammenlignelighed på tværs af de forskellige teknologispør er der forudsat en ensartet mellemklassebil, en lastbil og en bus, som er udstyret med forskellige fremdrivningsmidler. Blandt et meget stort antal muligheder er udvalgt 13 alternative teknologispør samt to reference spor, nemlig almindelig benzin og diesel. Nedenstående figur illustrerer beregningernes indhold og afgrænsning.

Systemafgrænsninger i modellen, globalt, udland og Danmark



Beregningerne ser både på drivmidlernes aktuelle muligheder og omkostninger illustreret ved status i 2010, og på de forventede fremtidige muligheder og omkostninger, illustreret på mellemlangt sigt i 2020 og på længere sigt i 2030.

Analyserammen

Overordnet er der tale om et teknologistudie, der anvender en såkaldt *Well-to-Wheels* tilgang, hvor alle energiforbrug og emissioner forbundet med produktion og anvendelse af drivmidlet er medtaget, helt fra produktion af råvarerne til dets anvendelse i køretøjet. Tilgangen indebærer, at der medtages drivhusgasudledninger både i Danmark og udenfor landet, typisk i forbindelse med produktion af råvarer. Beregningsværktøjet er udformet, så det tilnærmelsesvist er muligt at identificere de danske udledninger, hvilket vil have betydning for en vurdering af, hvor meget de enkelte drivmidler belaster det danske klimaregnskab.

Analysen af drivmidlerne er *partiel*, idet der fokuseres på de enkelte teknologier hver for sig og under ensartede forudsætninger. Der er således ikke tale om en samlet analyse af den bedste udnyttelse af råstoffer mv. i forhold til anvendelse andre steder i energisektoren i Danmark, men en sammenligning af teknologier til transportformål. Andre teknologier kan også være relevante, og modellen giver mulighed for at introducere både nye drivmidler og nye køretøjer. Der er gennemført beregninger for udvalgte år, hvor teknologierne antages at være implementeret i et vist omfang.

Som led i den partielle tilgang er anlagt en *langsigtet marginalbetragtning*, som sikrer konsistens på tværs af drivmidlerne og mellem de anvendte pris- og emissionsforudsætninger. Metoden betyder, at der for 2020 og 2030 antages lave CO₂ emissioner ved øget elforbrug, idet den fremtidige danske eludbygning forventes at være baseret på vedvarende energi. Den langsigtede marginalbetragtning indebærer desuden en lidt højere emission fra fossile brændstoffer, da disse forventes indvundet fra vanskeligere og dyrere kilder.

At analysen er partiel indebærer også, at der ikke er indregnet forskellige mulige systemfordele for visse drivmidler, der har potentiale til at kunne levere ekstra og økonomisk værdifulde ydelser til andre dele af samfundet, herunder energisektoren, eksempelvis i forhold til indpasning af vindkraft, ved nyttiggørelse af bio-kulstof eller i et VE-balancerende gasnet.

Modellen inkluderer konsekvenserne af reduceret *kulstofoptag i jorden* ved anvendelse af halm til energiformål i stedet for nedpløjning, og giver desuden ved tilvalg mulighed for at vurdere konsekvenserne ved *ændret arealanvendelse* (LUC og ILUC) som følge af brugen af biomasse som råvare til produktion af drivmidler.

Inddragelse af effekter af ændret arealanvendelse har stor indvirkning på de beregnede emissioner af drivhusgasser, som undervurderes såfremt disse ikke medtages. Den ændrede arealanvendelse belyser bl.a. forskellen mellem anvendelse af råvarer, der både leverer transport og fødevarer og anvendelse af råvarer, der leverer samme transportydelse, men ingen fødevarer.

Effekten er dog behæftet med stor usikkerhed og er derfor her ikke med i opgørelsen af de tilnærmede¹ danske udledninger. Emissioner som følge af ændret arealanvendelse kan i beregningsmodellen vælges udeladt eller medtaget, og vil, når der foreligger et bedre grundlag end i dag, blive medtaget.

¹ Tilnærmet fordi det i alle detaljer ikke er muligt at afgrænse alle opstrøms emissioner til enten udlandet eller Danmark. Det har begrænset betydning for resultaterne.

Der er medregnet omkostninger til produktion og vedligeholdelse af køretøjet, til råvarer og produktion af brændstoffet, til distribution af drivmidlet, samt omkostninger/værdi af udledninger af CO₂ og andre udledninger samt støj. Disse omkostninger er beregnet uden skatter og afgifter.

Infrastrukturomkostninger er medtaget i beregningerne. For flydende drivmidler anvendes de samme distributionsomkostninger som for benzin og diesel, mens der for gasformige drivmidler og for el er beregnet omkostninger til fyldestationer og lade anlæg. For disse nye anlæg er forudsat en tilstrækkelig efterspørgsel efter drivmidler så anlægget udnyttes på rentabel måde, f.eks. i starten hos større flåde-ejere. Som nævnt tidligere indgår der ikke omkostninger til udvikling, regulering, implementering mv. af teknologierne. For infrastrukturen indebærer dette, at drift og fornyelse af en infrastruktur af en vis ens størrelse på tværs af drivmiddelsporene er medtaget, mens omkostninger til udvikling, regulering, m.v. af infrastrukturen ikke er medtaget.

Modellen tillader valg af en række centrale forudsætninger for beregningerne, nemlig valg af afgrænsning (som udgangspunkt en tilnærmet dansk afgrænsning), inddragelse af ændring i arealanvendelse, inddragelse af EU's kvotesystem samt alternativ emission fra elproduktion. Inddragelse af EU's kvotesystem medfører at emissioner ikke ændres ved stigende transportforbrug af el, da kvotesystemet vil balancere det med andre besparelser.

Forudsætninger og usikkerhed

Beregningerne og resultaterne baseres på et stort antal forudsætninger om køretøjsteknologier, teknologier til produktion af drivmidler, priser og omkostninger, energiforbrug mv. Der er anvendt en række forskellige kilder til disse forudsætninger, der alle er dokumenteret i modellen, men særligt Concawe/JRC's Well-to-Wheels studie (EU Kommissionen 2011) er centralt både for teknologier og køretøjer. Baseret på dette studie er der på tværs af drivmidlerne defineret en standard personbil i VW Passat klassen, som udstyres med forskellige drivlinier (motor, transmission, tank mv.) afhængig af hvilket drivmiddel der anvendes.

Standardbilen er noget større end den gennemsnitlige nye bil i Danmark, hvilket kan betyde, at både vurderingen af omkostninger og energi- og emissionsforhold for drivmidlerne er i overkanten i en dansk sammenhæng. Det afgørende er imidlertid, at dette ikke påvirker den indbyrdes vurdering af drivmidlerne, da det er den samme bil, der anvendes. Med hensyn til bilens præstationer adskiller især elbilen sig fra de øvrige drivmiddelspor, idet den har markant kortere rækkevidde på ca. 150-200 km pr. opladning. Dette element indgår ikke i analysen og dens resultater, men må vurderes separat.

Endvidere udgør Energistyrelsens forudsætninger for samfundsøkonomiske beregninger en central kilde, især til en række tværgående prisforudsætninger. For tunge køretøjer anvendes data stillet til rådighed af Volvo og Scania, som muliggør sammenligning af køretøjet på tværs af de udvalgte drivmidler. Der er tale om køretøjer, der er tilgængelige på markedet nu, men der er imidlertid ikke foretaget en nærmere vurdering af udviklingen af disse køretøjer. Teknologiforudsætningerne for de tunge køretøjer i 2020 og især 2030 er derfor ganske usikre.

Der er anvendt en samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 5 % i beregningerne, og ikke en forventelig risikopræmie, som virksomheder måtte kræve for at udvikle nye teknologier.

Det hersker usikkerhed om en række af forudsætningerne. Denne usikkerhed er naturligvis stigende jo længere ud i fremtiden, der ses, både med hensyn til den forventede teknologiudvikling og tilhørende prisudvikling, og for udviklingen i energi- og råvarepriser. Dette betyder, at resultaterne er behæftet med væsentlig usikkerhed. Denne usikkerhed er størst for de mindst modne teknologier, herunder køretøjsteknologier baseret på el og brint, og drivmiddelteknologier som methanol og 2. generations bioethanol baseret på træ og halm, og dette kan både resultere i over- og undervurdering af omkostningerne.

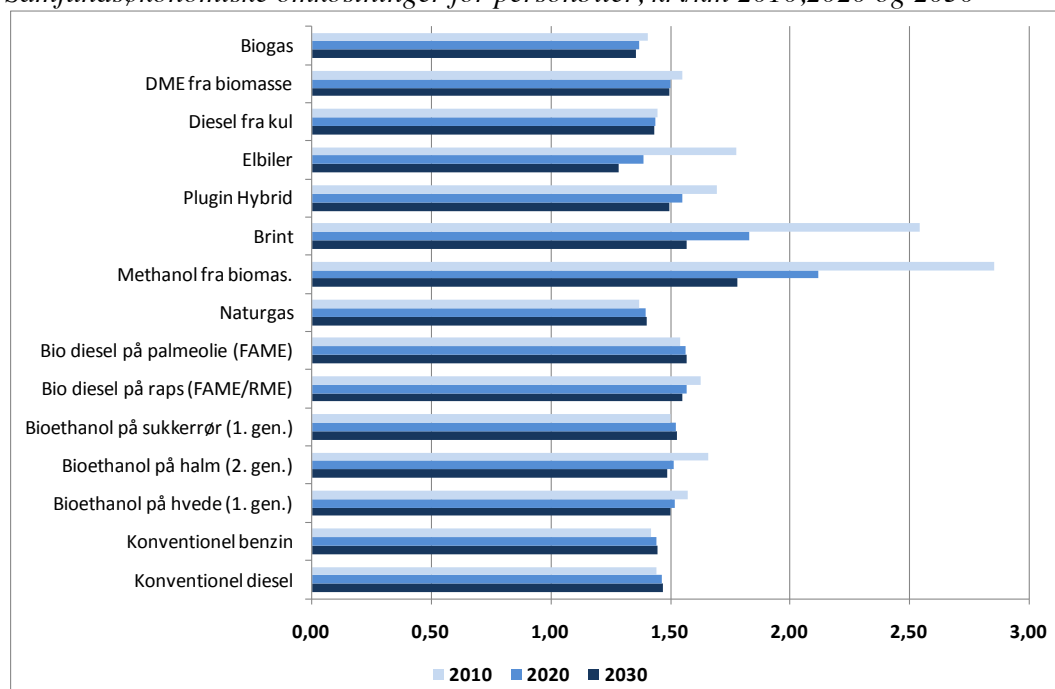
Modellen og dens forudsætninger har været præsenteret for en række aktører på et temamøde i Energistyrelsen og gennem en høringsproces i december 2011 og januar 2012. Resultaterne af høringen er i vidt omfang medtaget i modellen og dens forudsætninger.

Hovedresultater

I nedenstående figurer er de centrale resultater af modelberegningerne præsenteret.

Først er omkostninger pr. km præsenteret for personbiler for årene 2010, 2020 og 2030. Omkostningerne til afskrivning af selve køretøjet udgør det største element for alle køretøjer, og der er forskel herpå på tværs de forskellige drivmidler. Forskellen mellem de samlede omkostninger/km på tværs af drivmidlerne skyldes en kombination af forskelle i omkostninger til selve køretøjet og til drivmidlet (inkl. infrastruktur-omkostninger) samt i værdien af udledninger af CO₂ og andre emissioner pr. kørt km.

Samfundsøkonomiske omkostninger for personbiler, kr./km 2010, 2020 og 2030



Der er anvendt en samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 5 %. En evt. risikopræmie, herunder for teknologiusikkerhed, er ikke medregnet. Faktiske investorer vil typisk anvende en højere rente og inddrage risikopræmie.

De her viste resultater medtager virkningerne af EU's CO2 kvotesystem og inddrager ikke effekterne af LUC og ILUC, der præsenteres i afslutningen af denne sammenfatning. Det skal understreges, at der ses på situationen i de udvalgte år, og at en række omkostninger forbundet med udvikling og implementering af de alternative teknologier frem mod disse år ikke fuldt er medtaget. Det er f.eks. ikke medtaget en risikopræmie til afdækning af de tekniske og markedsmæssige risici forbundet med de nye teknologier, ligesom private og offentlige omkostninger forbundet med opbygning af markedet for nye drivmidler ikke er medtaget.

Visse af drivmidlerne forventes at have stigende omkostningerne frem mod 2030, hvilket skyldes forudsætningerne om stigende priser på fossile brændstoffer. Dette forventes også at påvirke priserne på de importerede biobrændstoffer (baseret på hhv. palmeolie og sukkerrør).

På kort sigt ser naturgas og biogas ud til at være samfundsøkonomisk attraktive alternativer til benzin og diesel. Dette skyldes, at naturgas og biogas er relativt billige energikilder, og at bilen ikke er væsentlig dyrere end konventionelle biler. I praksis er der dog kun etableret en enkelt gasfyldestation i Danmark, og der er kun få gaskøretøjer i brug, så selv om teknologien er kendt og anvendes i en række lande fordrer den etablering af infrastruktur i Danmark for en bredere anvendelse. Det skal bemærkes, at da naturgas er et fossilt brændsel, bidrager det ikke til nedbringelsen af det fossile energiforbrug.

Frem mod 2020 forventes at ske væsentlige reduktioner i omkostningerne for især elbiler. Dette skyldes primært forventning om faldende priser på batterier. I beregningerne har elbilen kun en rækkevidde på 150-200 km, og er derfor ikke fuldt sammenlignelig med de øvrige biler. Plug-in hybridbilen har samme rækkevidde som de øvrige biler, og selv om der forventes et fald i omkostningerne vedbliver den i beregningerne med at være relativt dyr, fordi den udover batteri også er udstyret med en kraftig forbrændings motor til at producere el, når elektriciteten i batteriet er opbrugt.

Både 1. og 2. generation bioethanol er i 2010 væsentlig dyrere end benzin. Forskellen mellem 1. og 2. generation bioethanol reduceres frem mod 2020, men begge spor forventes stadig at være lidt dyrere end benzin i 2030.

Biodiesel baseret på raps og importeret biodiesel baseret på palmeolie forventes at forblive et relativt dyrt drivmiddel gennem hele perioden.

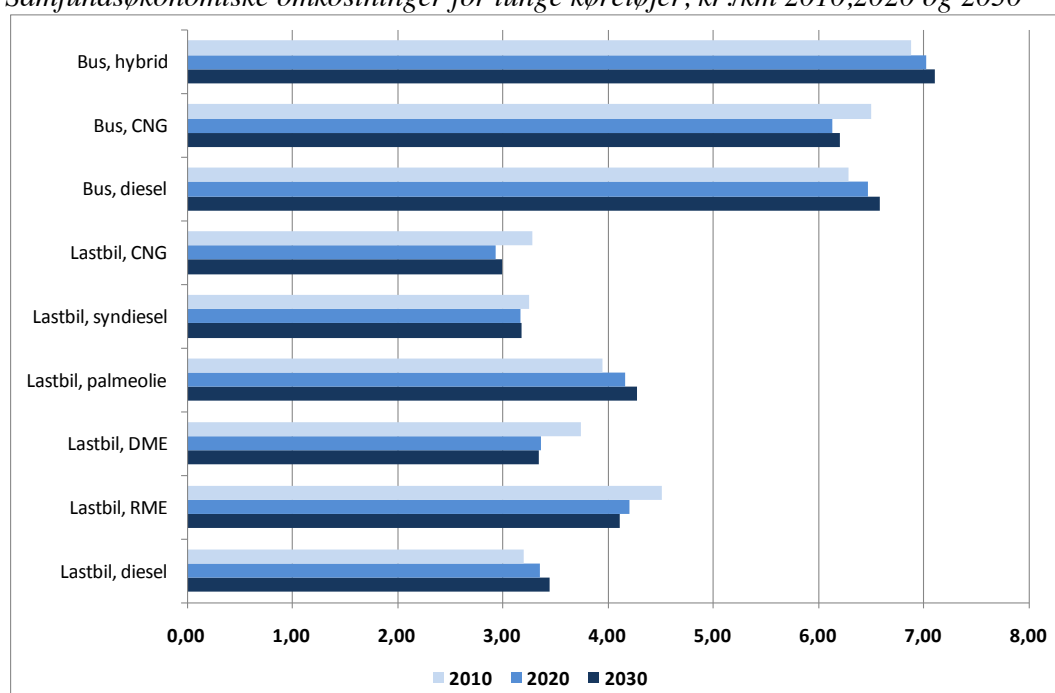
Brint- og methanol drivmidlerne forudsættes anvendt i biler med brændselsceller, der producerer elektricitet. Der forventes væsentlige omkostningsfald, når produktionen af disse køretøjer bliver skaleret op, men de forventes gennem hele perioden at forblive dyrere end de øvrige alternativer. For brintbilen skyldes det omkostningerne til bilen og til infrastruktur samt til produktionen af brint. For metanolbilen skyldes det relativt høje omkostninger til bilen grundet større omkostninger i forbindelse med brændselscellen. Det skal understreges, at der er usikkerhed om omkostningerne og

disses udvikling, og at denne usikkerhed naturligvis er særlig stor for brint- og methanolbilen, der endnu ikke produceres i større skala.

DME (dimethyl ether) baseret på biomasse vedbliver at være en smule dyrere end konventionel diesel, og dette skyldes primært, at der forudsættes installeret en tryk-tank i bilen, som derfor er dyrere end en konventionel dieselbil. DME har dog væsentlig bedre CO₂ karakteristika end fossil diesel.

Der er gennemført beregninger for anvendelsen af forskellige alternative drivmidler til busser og lastbiler. Beregningerne er baseret på oplysninger fra Volvo og Scania om konkrete modeller, og resultaterne er vist i nedenstående figur.

Samfundsøkonomiske omkostninger for tunge køretøjer, kr./km 2010, 2020 og 2030



Stigningen i omkostningerne frem mod 2030 for de fossile drivmidler skyldes forventningen om stigende olie- og gaspriser. De mest attraktive af de valgte alternativer til fossil diesel for lastbiler og busser er CNG (compressed natural gas), som for lastbiler forventes at være et billigere drivmiddel end diesel inden 2020. Køretøjet er dyrere, da der skal være installeret tryktanke til opbevaring af brændstoffet, mens brændstoffet til gengæld er væsentlig billigere end diesel.

Med de oplysninger, der er stillet til rådighed for beregningerne, vurderes meromkostningerne for en hybridbus at overstige gevinsterne ved den forbedrede energieffektivitet af køretøjet. Det skal imidlertid understreges, at der er tale om en nuværende bus, og forbedringsmulighederne ikke er vurderet.

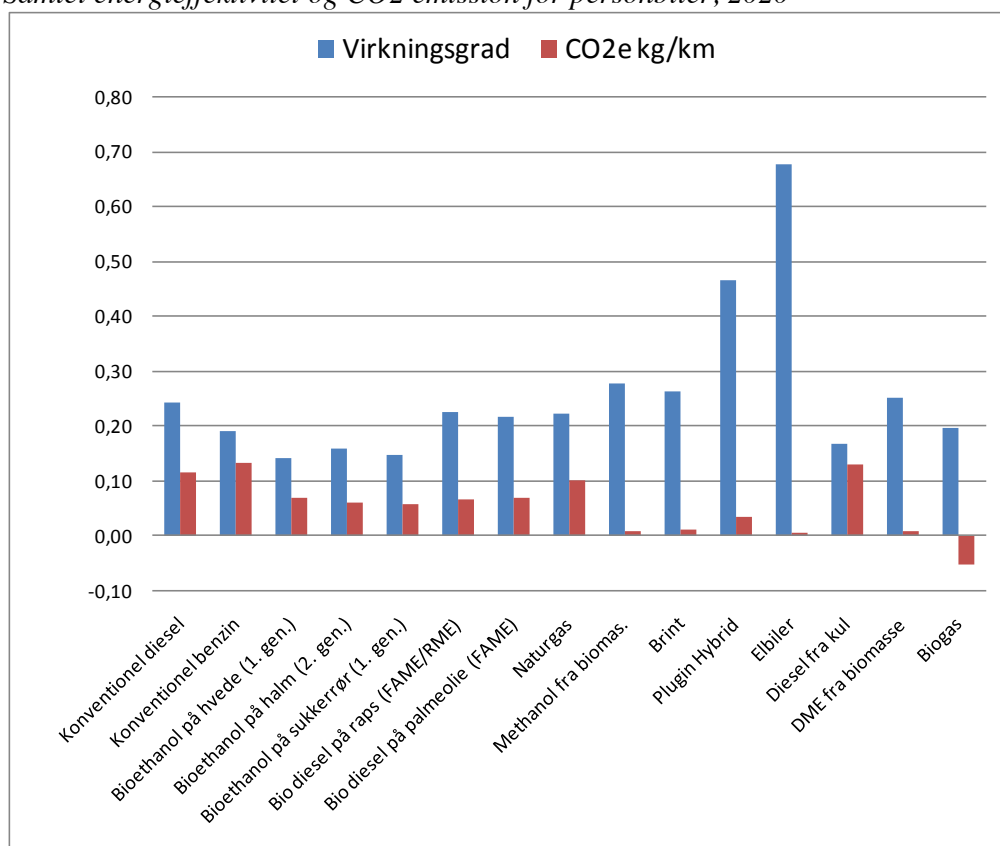
For lastbiler er DME endvidere en attraktiv mulighed frem mod 2020 og derefter. Dette skyldes forventede faldende omkostninger ved produktion af DME. Anvendelse af biodiesel forventes at forblive dyrere end konventionel diesel, mens anvendelse af

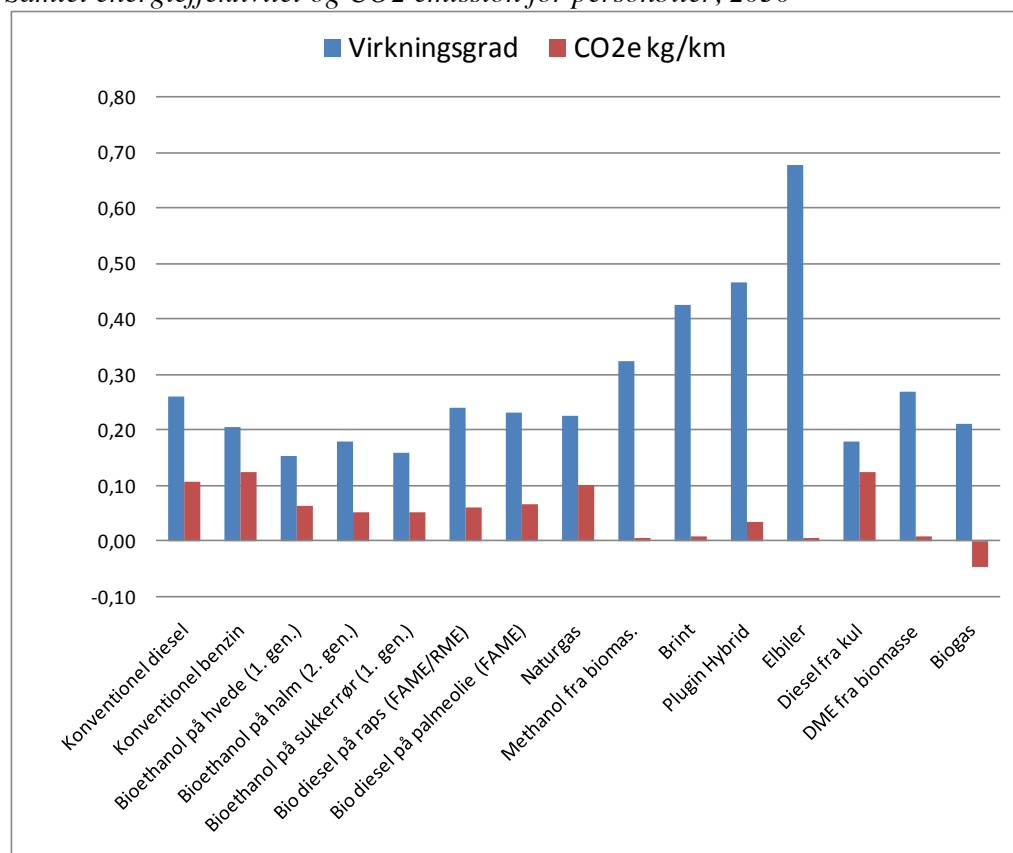
syntetisk diesel baseret på kul bliver billigere end konventionel diesel på grund af lave kulpriser. Der er imidlertid store udledninger af CO₂ forbundet med dette drivmiddel.

Både for busser og lastbiler skal det bemærkes, at der er tale om konkrete køretøjer på markedet, og det er således ikke model-køretøjer som for personbilerne (fra Well-to-Wheels studiet). Dette indebærer, at der ikke er vurderet potentialet for omkostningsreduktion af hybridbusser, selv om der i realiteten må vurderes at være mulighed for sådanne ved større skala af produktion.

I nedenstående figurer er den beregnede fremtidige samlede energieffektivitet og CO₂ emissionerne for de forskellige drivmidler præsenteret, omfattende hele drivmiddel-sporet fra råstof til køretøj.

Samlet energieffektivitet og CO₂ emission for personbiler, 2020



Samlet energieffektivitet og CO₂ emission for personbiler, 2030

De elbaserede drivmidler er de mest effektive på grund af en høj virkningsgrad i motoren og en stigende vindandel i elforsyningen. Methanol sporet har også en relativ høj effektivitet. Blandt de øvrige, er spor baseret på dieselmotorer (biodiesel) mere effektive end spor baseret på benzin/Otto-motorer (gas og ethanol), på grund af dieselmotorens bedre virkningsgrad.

For de danske spor omfatter beregningerne de fysiske CO₂ udledninger ved en tilnærmet dansk afgrænsning. For importsporene *Biodiesel på palmeolie* og *Bioethanol på sukkerrør* finder emissionen af CO₂ sted i produktionslandene og tæller ikke med i Danmarks CO₂ opgørelser. Alligevel er sporene medtaget således at man kan sammenligne de beregnede emissioner ved de danske biobrændstoffer med emissionen i udlandet forbundet med de importerede biobrændstoffer². Emissioner som følge af ændringer i arealanvendelse (LUC og ILUC) er ikke medtaget, idet disse antages at ske i udlandet.

Anvendelse af biogas produceret på gylle indebærer en reduceret udledning af metan fra landbrugets gyllehåndtering, uanset om biogassen bruges til transport eller andre formål. Dette betyder, at biogas som drivmiddel beregningsmæssigt har en negativ CO₂ udledning.

² De fysiske emissioner finder sted, når drivmidlet anvendes i en motor i Danmark, men forudsættes balanceret af kulstofoptag ved dyrkningen af råvarer. Ekstra udledninger forbundet med gødning, forarbejdning, etc. antages medregnet i andre sektorer samt under LULUCF reglerne

Effektiviteten af de forskellige drivmidler forventes generelt at stige som følge af forbedret virkningsgrad af motorer gennem perioden og som følge af bedre teknologi til produktion og frembringelse af drivmidlerne. Elbiler og plug-in hybridbiler, og til en vis grad også brintbiler, fremviser en meget høj energieffektivitet. Et væsentligt element heri er, at den el der anvendes til bilerne stort set antages produceret ved hjælp af vindenergi.

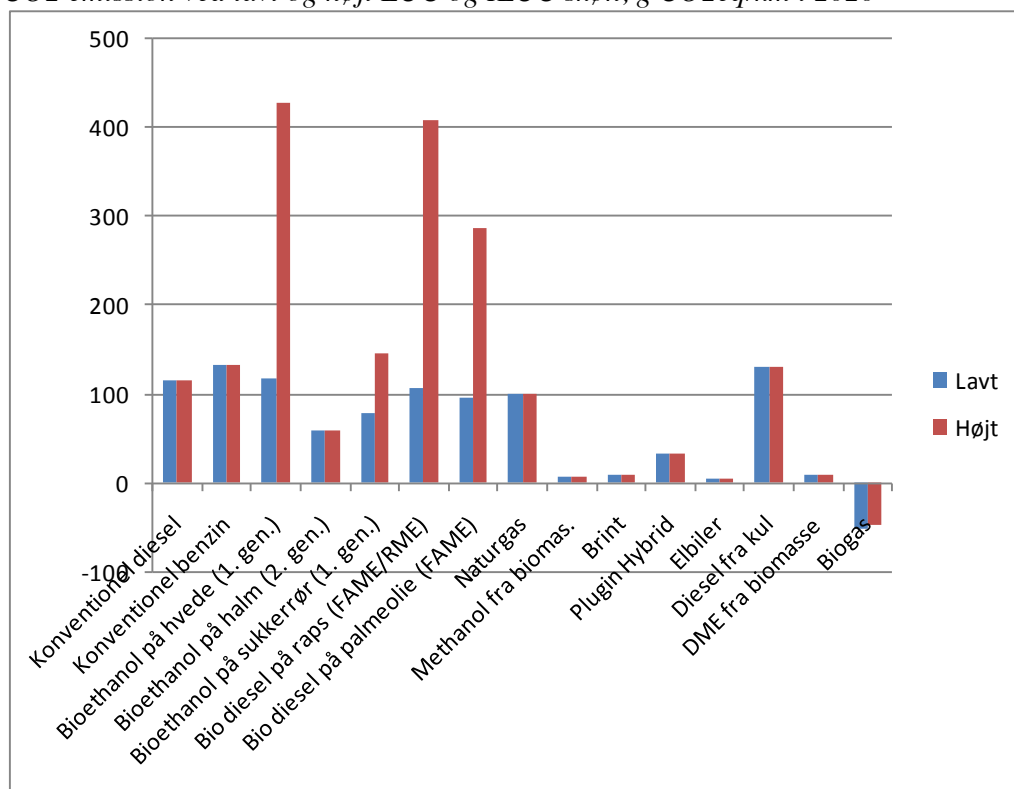
For de tunge køretøjer medfører alle de valgte alternative drivmidler i varierende omfang reducerede udledninger af CO₂, i særlig grad DME sporet baseret på træ. Den eneste undtagelse herfra er - som for personbilerne - drivmidlet syntetisk diesel baseret på kul

Bredere perspektiver

I et globalt perspektiv indebærer en række af drivmidlerne emissioner i andre lande. Det gælder i særlig grad for de drivmiddelspor, der forventes at indebære ændringer i arealanvendelsen (LUC og ILUC). Det drejer sig i denne analyse om de drivmidler der baserer sig på fødevarer som råvarer, nemlig 1. generation bioethanol, ethanol på sukkerrør, biodiesel på raps og biodiesel på palmeolie. Øget anvendelse af fødevarer til energiformål forventes i et vist omfang og globalt set at blive modsvaret af øget fødevarerproduktion, som imødekommes gennem ændret arealanvendelse.

I nedenstående figur er emissionerne som følge af LUC og ILUC medtaget. På grund af den store usikkerhed om disse emissioner er vist både et højt og lavt skøn.

CO₂ emission ved lavt og højt LUC og ILUC skøn, g CO₂eq/km i 2020



Med sigte på begrænsning af de globale udledninger af drivhusgasser peger resultaterne på at biogas og elbaserede drivmidler (både elbiler og biler baseret på brændselsceller) er de mest attraktive drivmidler, og at der også er betydelige klimafordele ved anvendelsen af 2. generations bioetanol.

Anvendelse af de traditionelle fødevare-baserede 1. generations biobrændstoffer indebærer derimod i bedste fald kun beskedne klimafordele når ændringer i arealanvendelse medregnes, og i værste fald væsentlige negative klimaeffekter.

Tilsvarende indebærer de fossile alternativer relativt høje CO₂ emissioner. Syntetisk diesel baseret på kul har højere emissioner end end benzin og diesel, mens naturgas har lidt lavere emissioner. Naturgas som drivmiddel kan imidlertid spille en vigtig rolle for opbygningen af infrastruktur og markedet for gasformige drivmidler og dermed også bidrage til indfasning af biogas til transport.

Beregningerne i denne analyse er desuden partielle og inddrager ikke alle effekter af de forskellige drivmidler på samfundet og på energisystemet. For en række af teknologierne er samspillet med energisystemet og med eksisterende anlæg imidlertid af stor betydning, selv om det ikke er inddraget i beregningerne. Dette gælder f.eks. for 2. generations bioethanol, hvor lokalisering af anlæg i sammenhæng med eksisterende energianlæg kan indebære væsentlige muligheder for en samlet økonomisk og energimæssig optimering. Tilsvarende kan hensigtsmæssig tilrettelæggelse af elforbrug til el- og brintbiler bidrage til at indpasse mere el fra vindmøller og andre fluktuerende kilder i elsystemet. Også anvendelse af el til hydrogenering og produktion af drivmidler baseret på syntesegasser, kan bidrage til en samlet reduktion af anvendelsen af fossile energikilder i transportsektoren.

Teknologistudiets partielle tilgang indebærer, at sådanne systemmæssige sammenhænge og bidrag for en række af drivmidlerne vanskeligt kan håndteres. Tilsvarende inddrager beregningerne heller ikke effekterne af en række eksisterende/forventede reguleringstiltag, men fokuserer alene på de forskellige teknologier. Resultaterne bør derfor suppleres med systemmæssige overvejelser og andre overvejelser ved anvendelse til bredere formål.

1 Indledning

I 2011 er der foretaget en opdatering af Energistyrelsens model til beregning af konsekvenser ved brug af alternative drivmidler i personbiler, busser og lastbiler.

Denne rapport dokumenterer sammen med det tilhørende beregningsværktøj "*AD model 2011.xlsm*" opdateringen og den supplerende analyse i forlængelse af det tidligere projekt om teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren. Rapporten er udarbejdet af COWI A/S på opdrag fra Energistyrelsen.

Selvom der i analysen sammenlignes køretøjer baseret på samme grundmodel, skal der i sammenligningen af resultater tages hensyn til, at karakteristika som vægt, rækkevidde og ydeevne kan variere, som følge af de forskellige køretøjsteknologier.

1.1.1 Formål

Det overordnede formål er at styrke og forbedre analysegrundlaget gennem målrettet opdatering af udvalgte basisdata samt at forbedre beregninger og forudsætninger om omkostninger og energiforbrug for yderligere drivmiddelspor.

AD beregningsværktøjet vurderer konsekvenserne ved at anvende forskellige alternative drivmidler til transport ved at sammenligne energieffektivitet og samfundsøkonomiske omkostninger. Desuden sammenlignes emission af CO₂ og forurenende stoffer pr. km kørt for henholdsvis biler, lastbiler og busser, dvs. inden for sammenlignelige transportmidler og på grundlag af et standardkøretøj af samme størrelse og ydeevne. Hermed gives grundlag for at vurdere konsekvenserne af at indpasse forskellige alternative drivmidler i den danske transportsektor.

Konsekvenserne ses i forhold til ikke at indpasse de pågældende drivmidler. I beregningerne indgår således det merforbrug fra well-to-wheels, w-t-w (brønd til hjul) af el, olie, naturgas, landbrugsprodukter mv., som de forskellige drivmidler forårsager og de tilhørende omkostninger, emissioner mv.

Da der er tale om ændringer i forbruget, anvendes ikke gennemsnitspriser og emissioner, men derimod de priser og emissioner, der er knyttet til det yderligere forbrug, en marginaltilgang. For priserne anvendes markedspriserne, for emissionerne er det lidt mere kompliceret, da der ikke eksisterer markedspriser.

1.2 Baggrund

Den danske transportsektor vil frem mod 2020 og 2030 være del af en omstillingsproces mod alternative drivmidler. Dette illustreres af regeringens hovedmål og fokus på energi- og transportområdet, som beskrevet i "Vores Energi", november 2011.

Hovedmål gengives i boksen nedenfor³:

Energiforsyning skal dækkes af vedvarende energi, VE, i 2050

- i dag er lidt over 20 % af bruttoenergiforbrug dækket af VE
- kræver massiv indsats både på forbrugs- og forsyningssiden
- transportsektoren den største udfordring

El- og varmeforsyning skal dækkes af vedvarende energi i 2035

- i dag: knap 300 PJ kul, olie og gas til el og varme. VE ca. det halve
- kræver markant og hurtig omlægning af forsyningssektoren
- forudsætter meget store effektiviseringer

Kul udfases fra danske kraftværker senest i 2030

- i dag: ca. 40 % af elproduktion og knap 20 % af fjernvarme.
- forudsætter betydelig ekspansion af biomasse og vind samt evt. skrotning af værker

Halvdelen af det traditionelle elforbrug skal dækkes af vind fra 2020

- i dag: vind dækker lidt over 20 % af elforbrug
- kræver fortsat udbygning (reetablering + ny)

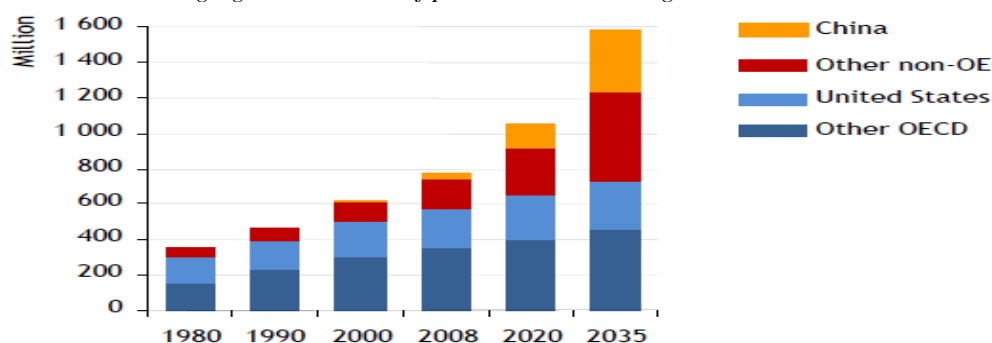
1.2.1 International udvikling

Udvikling i transportteknologier og efterspørgsel - og dermed priserne bestemmes af den internationale udvikling. Udgangspunktet for den internationale udvikling er i modellen derfor det ambitiøse "new policy Scenario" (World Energy Outlook 2010). Scenariet danner baggrund for forventede olie- og råvarepriser. Disse priser er lidt lavere, end ved et "business as usual scenario", da presset på efterspørgslen efter råvarer er mindre.

På trods af ambitiøse internationale målsætninger/initiativer vil der komme langt flere biler på verdensplan i 2020 og 2030, end i dag, hvilket vil presse olieefterspørgslen i vejret. Nedenstående figur viser IEA's forventninger til antallet af personbiler i fremtiden, ved "New policy Scenario".

³ EU Kommissionen offentliggjorde endvidere 22. september 2011 sin hvidbog om transport, som sigter på 60 % reduktion af CO₂ fra transportsektoren frem mod 2050, heraf hovedparten fra vejtransport.

Figur 1-1 Forventet udvikling i global bestand af personbiler i 2020 og 2035



Kilde: IEA World Energy Outlook, 2010. New policy Scenario.

1.3 Indhold

I rapportens kapitel 2 gives en kort beskrivelse af den anvendte model og hvordan den er bygget op, og der redegøres for centrale elementer i analyserammen, inkl. centrale teknikdata for køretøjet, samt centrale ændringer i denne seneste version af modellen.

I kapitel 3 beskrives ændrede nøgleforudsætninger og konsekvenser af disse, herunder brug af det langsigtede marginalbegreb.

I kapitel 4 beskrives drivmidler som indgår i modellens drivmiddelspor.

I kapitel 5 præsenteres resultatet af analyserne for personbiler i tabeller og figurer.

I kapitel 6 præsenteres de indsamlede data og resultater af beregninger for de udvalgte spor for tunge køretøjer, henholdsvis lastbiler og busser.

Kapitel 7 indeholder en litteraturfortegnelse over de centrale datakilder i 2011 udgaven.

I Bilag B præsenteres de teknologiark, som modellen baseres på.

1.3.1 Projektteam og følgegruppe

En arbejdsgruppe af fageksperter fra relevante ministerier og forskningsinstitutioner, har drøftet de væsentligste forudsætninger. Den efterfølgende dataindsamling har COWI stået for. Gruppen blev ledet af Michael Rask, projektleder for projektet i Energistyrelsen, og bestod af:

Thomas Jensen
Morten Winter
Dorte Kubel
Lone Hansen
Anders Bavnghøj Hansen

DTU Transport
DCE, tidligere DMU
Trafikstyrelsen
Energinet.dk
Energinet.dk

Katja Asmussen	Miljøstyrelsen
Christian Fogh	Miljøstyrelsen
Peder Jensen	Det Europæiske Miljøagentur
Thomas Capral Henriksen	Klima- Energi- og Bygningsmi-
Lisa Bjergbakke	nisteriet
Claus Lewinsky	Energistyrelsen
Anne Nielsen	Energistyrelsen

Endelig har en række eksterne eksperter deltaget og bidraget med data, perspektiverende oplæg og synspunkter.

Projektteam:

Henrik Duer, projektleder	COWI
Morten Hørmann	COWI
Camilla Rosenhagen	COWI
Mads Paabøl Jensen/Mikkel Kromann	COWI, kvalitetssikring

Endvidere har Henrik Wenzel, Syddansk Universitet, SDU, og Anders Kofoed-Wiuf, EA Energianalyse, bidraget med ekspertinput.

2 Præsentation af modellen

Tilgangen i denne analyse er at sammenligne hele teknologisor. Frembringelsen og anvendelsen af brændstoffer til transportformål sker gennem en kompliceret kæde af trin (teknologisor), som f.eks. omfatter produktion af råstoffer, transport af råstoffer, konvertering/raffinering, transport og distribution af det færdige drivmiddel og endelig anvendelse af drivmidlet i køretøjet.

Den bagvedliggende model estimerer omkostninger for alle disse trin, idet der anlægges en såkaldt Wells-to-Wheels tilgang. En væsentlig fordel ved metoden er, at forskellige drivlinier (motor og transmissionssystemer i køretøjerne) og drivmidler sammenlignes ved, at de bruges i samme grundkøretøj. Dermed kan der ses bort fra de væsentlige dele af køretøjerne, der er ens, og der kan fokuseres på teknologiernes forskelligheder.

Brugeren af modellen har mulighed for at afgrænse resultaterne på forskellig måde ved hjælp af en række afgrænsningsknapper. Som udgangspunkt er afgrænsningen global, men uden emissioner fra arealændringer. Der kan i stedet vælges en national afgrænsning, og der kan vælges at tilføje emissioner fra landbrugsændringer (højt og lavt LUC estimat). Denne løsning er valgt, da emissionsbidraget herfra er væsentligt, men der stadig er stor sikkerhed/uenighed om den mere præcise størrelse af LUC og ILUC.

Endvidere kan vælges brug af CO₂-kvoter på elområdet samt brug af en gennemsnitlig CO₂ emission fra elproduktion, som alternativ til den langsigtede marginale teknologi (primært vind).

Ar
2020 ▼

LUC
Højt LUC skøn ▼

CO2 kvoter
Elpris uden CO2-kvoter ▼

Emission fra El produktion
Langsigtet marginal ▼

Danmark

Spor	Blandt det meget store antal mulige teknologispor er udvalgt 13 alternative teknologispor samt to referencespor, som er baseret på benzin og diesel for personbiler og i alt ni nye spor for busser og lastbiler.
Ændringer	I forbindelse med opdateringen af arbejdet med Alternative Drivmidler 2011, er foretaget følgende væsentlige ændringer i modellen:

1. Opdatering af data til nye analyseår. De tidligere nedslagsår 2006 (undervejs opdateret til 2008 data) og 2025 afløses af årene **2010, 2020, 2030**
2. Konsekvent anvendelse af langsigtet marginal betragtning for ressourcer og emissioner
3. Der etableres tre nye teknologispor for personbiler, nemlig ethanol baseret på sukkerrør, og biodiesel, baseret på palmeolie som anses at være realistiske importalternativer. Desuden medtages en plug-in hybrid bil.
4. Modellen udvides, så den ud over personbiler også kan sammenligne alternative drivmidler til lastbiler og busser, i alt 9 spor.
5. Analysemodel og dokumentation gøres mere brugervenlig i anvendelse og præsentation
6. En mere grundlæggende afklaring af spørgsmålet om marginal kontra langsigtet udbygningsmarginal for emissioner
7. En tydeligere belysning af infrastrukturomkostninger

Konsekvenserne af væsentlige ændringer/opdateringer i modellen i forhold til den tidligere modelversion på hovedområder vises i kapitel 3.

2.1 Opbygning af modellen

Det nye 2011-regneark består ligesom det tidligere regneark af en række selvstændige ark, som ud over en oversigt og en vejledning (indhold) indeholder data for teknologielementerne, systemberegninger for teknologisporene og en samlet præsentation af resultaterne.

Regnearket er udarbejdet, så det i høj grad er selvdokumenterende, dvs. at der er introduktion, forklaringer og kildeangivelser i regnearket, og tilknyttet de enkelte tal. Nedenfor gives en kort forklaring af, hvordan regnearket er struktureret. Der henvises herudover til regnearket, som indeholder information om indhold og betjening.

Seks led

Modellen er opbygget af seks led, som involverer selve råstoffet, distribution/transmission samt konverteringer. De seks 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. Et eksempel er givet i boksen nedenfor.

Opstrøms energiforbrug og emissioner for landbrugsafgrøder

Opgørelserne er baseret på w-t-w analysen, november 2011, og indeholder følgende elementer:

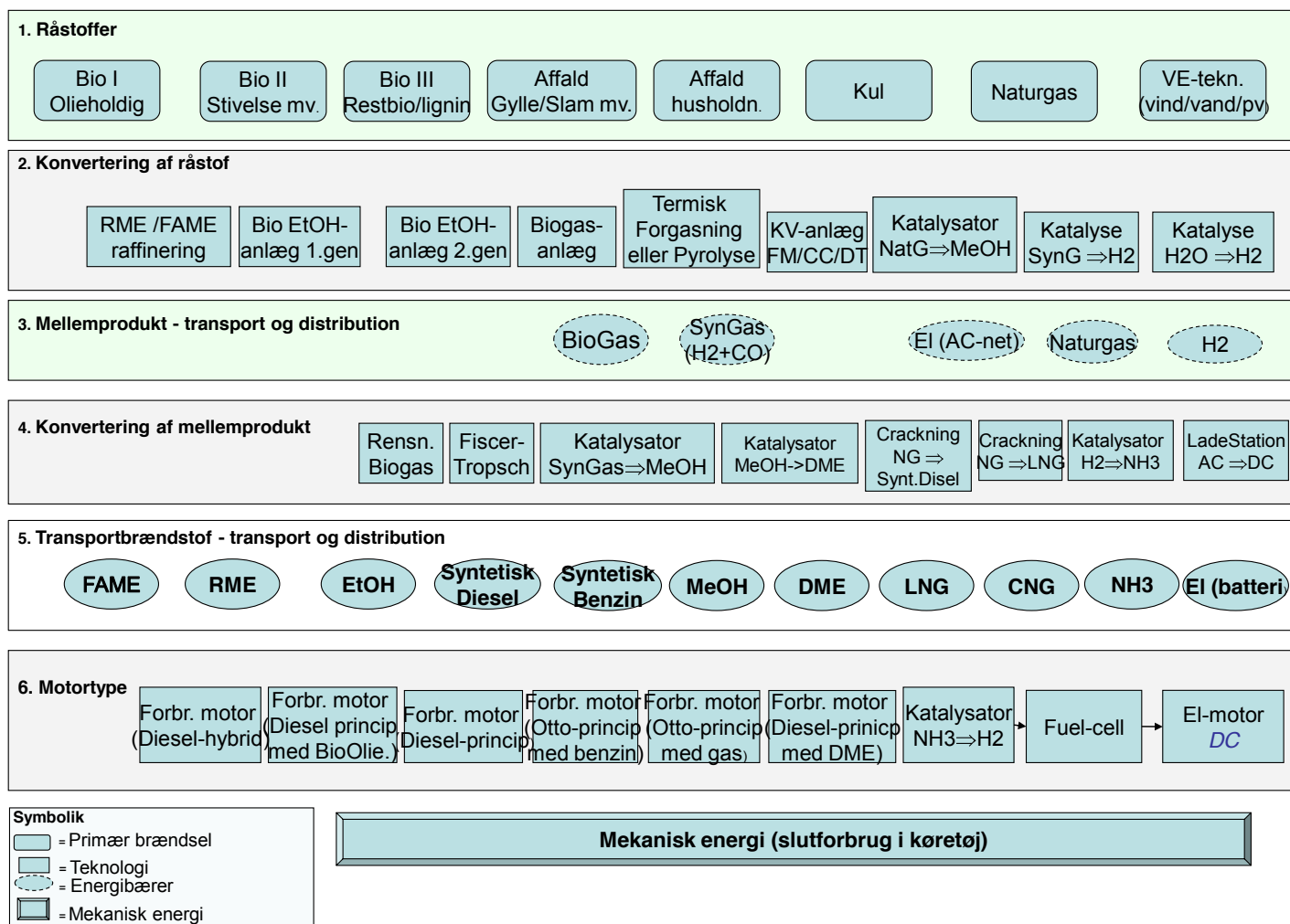
- Energiforbrug anvendt til produktion og distribution af gødning (fordelt på N, P, Ca og K), pesticider (inkl. fungicider, hormoner) samt såsæd
- Tilhørende emissioner af CO₂, CH₄ og N₂O
- Energiforbruget og emissioner ved markarbejde og lokal transport

Energiforbrug og emissioner er opgjort i forhold til en reference for arealanvendelsen bestående af et miks af skovområder, landbrugsjord og marginaljorder.

De seks led i modellen illustreres i Figur 2-1 nedenfor. Kombinationer af elementer fra hvert trin 1-6 giver et samlet drivmiddelspor, hvilket giver et meget højt antal mulige kombinationer. Ikke alle kombinationer er dog praktisk mulige eller realistiske. I Kapitel 4 vises de spor, som er udvalgt i denne analyse.

Figur 2-1 Oversigt over indhold i modellens hovedtrin

Oversigt over energiteknologier til forsyning af transportsektoren som alternativ til olie



1. Råstofferne er et bredt udvalg af både fornybare og fossile råstoffer.

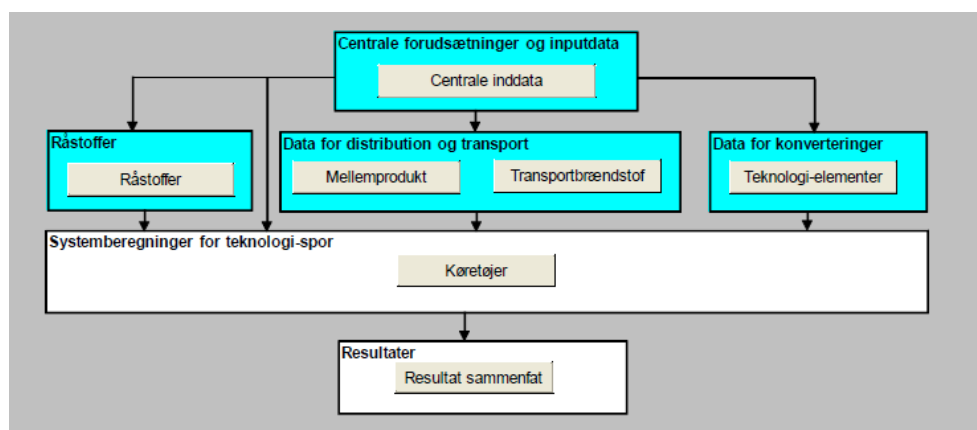
2. Konverteringen af råstoffer (samt konverteringen af mellemprodukt) er beskrevet ud fra et faktaark i modellen samt en kort teknologibeskrivelse, input, output, fordele og ulemper (herunder miljø) og eksempler på Best Available Technology. Faktaarket indeholder oplysninger opdelt på overordnede tekniske data (udbytte, kapacitet, levetid), output, energi (energiindhold i input og output samt virkningsgrad), økonomi og miljø.

3. -5. 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.

6. Motortype er beskrevet ud fra et faktaark samt en kort beskrivelse af motorteknologien. Faktaarket indeholder oplysninger opdelt på overordnede energi/tekniske data (virkningsgrad, levetid, ydelse), økonomi og miljø.

Figuren nedenfor illustrerer regnearkets overordnede opbygning.

Figur 2-2 Modellens overordnede opbygning



Kilde: COWI

Blå bokse

De blå bokse ovenfor repræsenterer baggrundsdata for råstoffer og teknologi-elementer samt centrale fælles ind-data. De hvide bokse 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" vises en sammenstilling af resultaterne af systemberegningerne for teknologi-sporene.

Modellen indeholder en række dataark med følgende indhold:

Arkets navn	Arkets formål
Introduktion	Denne introduktion til regnearket med tilhørende forklaring af definitioner for farvekoder og beskrivelse af arkens indhold.
Oversigt	Oversigt over opbygningen af regnearket med tilhørende mulighed for at klikke sig til de forskellige ark i modellen.
Centrale data	Arkets indeholder centrale forudsætninger og fælles inddata om emissionsfaktorer enhedspriser mm.
Referencer	Arkets indeholder en liste med anvendte og visiterede referencer.
Resultater	Sammenfatning af de overordnede resultater af systemberegningerne
Råstoffer	Data for råstoffer.
DistMellemProdukt	Data for mellemprodukter - distribution og transport.
TransDist	Data for transportbrændstoffer - distribution og transport
Køretøjer	Systemberegninger for teknologi-sporene
12 ark med:	Fakta-ark for konvertering af råstof
8 ark med:	Fakta-ark for konvertering af mellemprodukt
13 ark med:	Fakta-ark for motortype

Modellens dataark er vedlagt som bilag.

2.2 Centrale elementer i modellens analyseramme

2.2.1 Emissioner

Global tilgang

Well-to-Wheels (w-t-w) metoden, som bruges i modellen, indebærer, at emissionsberegningerne omfatter de globale emissioner, altså også emissioner, der finder sted uden for Danmark i forbindelse med indvinding eller produktion af drivmidler.

Danske emissioner

I modelarbejdet er der lagt vægt på, at emissionsberegningen og samfundsøkonomi også kan afgrænses til de danske emissioner, der ligger til grund for de danske forpligtigelser og opgørelser knyttet til det danske klimaregnskab.

Med hensyn til produktion af olie og gas var Danmark selvforsynende i 2010, derfor antages opstrøms at være dansk. Situationen kan dog være en anden i 2020 og 2030. Kul er altid importeret, dvs. al opstrøms inklusiv transport sker uden for Danmark.

Det antages, at landbrugsafgrøder produceres i Danmark, undtaget for drivmidler baseret på sukkerrør og palmeolie.

For dansk halm antages, at der sker en vis kulstof-oplagring i jorden ved nedmuldning.

CO₂-kvotesystemet

I analysemodellen er der en mulighed for at slå EU's CO₂-kvotesystem til og fra. Da CO₂-udledningen fra elproduktionen er fastlagt af kvoteloftet, giver et øget elforbrug, herunder til elbiler, ikke en øget CO₂-udledning i denne beregning.

Emissioner fra arealændringer, direkte og indirekte (LUC + ILUC)

De direkte og indirekte landbrugs-/arealændringer medtages på den måde, at brugeren af modellen har mulighed for at tilknytte LUC (Land Use Change) og ILUC (Indirect

Land Use Change) til forbruget af landbrugsafgrøder i form af raps, hvede, sukkerør og palmeolie, med en henholdsvis lav og høj værdi. Denne løsning er valgt, da der stadig er stor usikkerhed/uenighed om størrelsen af LUC og ILUC. Emissionsbidraget herfra er imidlertid så væsentligt, at det har værdi at tydeliggøre dette eksplicit.

Betydningen af bidraget fra LUC og ILUC er meget afhængig af de konkrete effekter forbruget af biomassen har på danske og internationale markeder, herunder skalaen af forbruget. I modellen er kun medtaget værdier for de samlede globale emissioner ud fra internationale kilder, og det ikke er muligt inden for modellens rammer at vurdere de specifikke danske LUC og ILUC effekter. Modellen medtager således ikke eventuelle arealeffekter på dansk grund af de ikke importerede afgrøder, der indgår i modellen, dvs. raps, hvede og halm. Derimod er det muligt at fravælge eller medtage effekterne af optag af kulstof som følge af nedpløjning af halm frem for anvendelse som råstof til 2. gen. biobrændstof.

2.2.2 Effektivitetsforbedringer

Udgangspunktet for analysen er at bruge benzin og dieslbiler som reference både i 2020 og 2030. Benzin- og dieslbiler har opnået relative store effektivitetsgevinster de senere år, og denne udvikling antages i modellen at fortsætte frem til 2030 uden omkostningsstigninger.

IEA

Der tages udgangspunkt i IEA, Det internationale Energiagenturs, scenarier for fremtidens energiteknologier og effektivitetsfremskrivninger for køretøjer.⁴ Der er benyttet IEA's lave estimat for den fremtidige effektivitetsforbedring for den forventede udvikling frem til 2020 og det høje estimat for den fremtidige effektivitetsforbedring for situationen i 2030. Dette viser et realistisk spænd/udvikling over tid, fra en central kilde. Den forholdsvis store forbedring frem til 2020 harmonerer med de skærpede EU CO₂-krav for nye personbiler i 2020.

Tabel 2-1 Samlede effektivitetsforbedringer i bilens samlede brændstofforbrug i procent i forhold til referencebil i 2008⁵

Motortype	2020-forbedring ift. 2008	2030-forbedring ift. 2008
Benzinbil	18,5	28
Diesebil	21,5	30

Kilde: IEA, 2008 *Energy Technology: Status and Outlook*

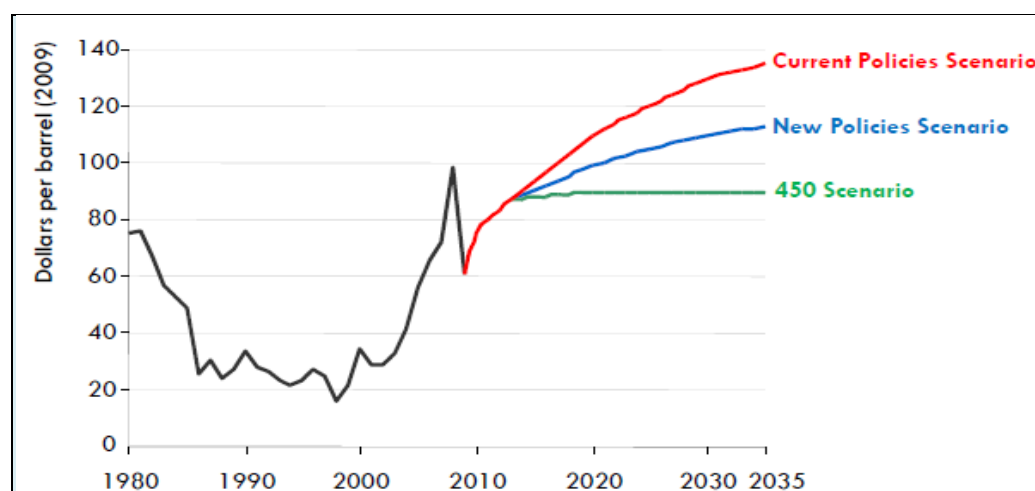
2.2.3 Oliepris

Nedenstående figur viser IEA's olieprisforventninger i World Energy Outlook 2010. Disse ligger til grund for Energistyrelsens fremskrivning i april 2011⁶ og for AD modellen.

⁴ International Energy Agency, 2008, *Energy Technology Perspectives, Scenarios & Strategies to 2050* chapter 15. Tallene er baseret på IEA workshops, analyser og tilgængelig litteratur.

⁵ Modellens standardbil og bilen i IEA analysen er sammenlignelige, derfor bruges potentialerne direkte.

Figur 2-3 IEA's olieprisforventninger, World Energy Outlook 2010



Kilde: Energy Outlook 2010. International Energy Agency.

Tabel 2-2 IEA's brændselsprisantagelser, "New policy-Scenariet", World Energy Outlook 2010, 2009-prisniveau

	2009	2015	2020	2030
Råolie (USD/tønne)	60,4	90,4	99,0	110,0
Naturgas, Europa (USD/Mbtu)	8,2	11,7	12,8	14,3
Kul (USD/ton)	97,3	97,7	101,7	105,6

Olieprisantagelserne i World Energy Outlook 2011 er lidt højere end i 2010-udgaven. Hvis disse tal blev brugt i stedet, ville det umiddelbart betyde, at referencekøretøjerne stod lidt ringere. - Da en række af de øvrige data er udledt bl.a. med udgangspunkt i "New policy scenariet" 2010 er det dog valgt at fastholde denne for at sikre konsistens på tværs, da en række andre priser, inklusiv priser på bio brændstoffer til dels afhænger af prisen på olie.

Generelt vil en højere langsigtet råoliepris end forudsat sandsynligvis i en eller anden udstrækning blive overvæltet i priserne på naturgas, kul, bioenergi, el og varme, således at de relative energipriser ændres væsentligt mindre end forudsat. Den indbyrdes rangordning af køretøjerne samfundsøkonomi forventes derfor ikke at ændre sig ved brug af lidt højere oliepriser.

⁶ Kilde: Energistyrelsens Beregningsforudsætninger 2011. Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. April 2011.

2.2.4 Standarddata for bilerne i EU-projektet Well-to-Wheels

Standardbilerne i EU projektet Well-to-Wheels anvendes som reference i AD beregningerne. 2010+-referencebilen i Well-to-Wheels studiet, som bruges som udgangspunkt her, er et standardkøretøj, som blev defineret i efteråret 2008 i studiet Tank-to-Wheel, t-t-w, version 3. Standardkøretøjet er defineret for forskellige drivmidler og ud fra det, der betegnes 2010+-teknologi, dvs. teknologi til rådighed efter 2010.

Mellemlassebil	Bilen vurderes stadig at være rimelig repræsentativ for en ny effektiv bil i mellemlassen, men dog i den større ende sammenlignet med den gennemsnitlige størrelse af nye danske biler. Referencen er modificeret enkelte steder, hvor der er fundet betydelige afvigelser fra andre hovedkilder, bl.a. da nogle af w-t-w baggrundskilderne er forældede.
Euronormer	w-t-w 2010+-referencebilen opfylder Euro 4-normerne, men referencebilen i den danske AD-version antages dog at opfylde Euro5-normerne i 2010 og Euro6-normerne i 2020 ⁷ . Dette antages at ske, uden at bilen bliver dyrere. Bilen kører ca. 17 km/l benzin, relateret til NEDC ⁸ (New European Driving Cycle). Dette antages at modsvare hvad bilen faktisk kører per liter i gennemsnit, selvom faktiske erfaringer tyder på, at biler ofte kører mindre pr liter end angivet i NEDC-testen.

2.2.5 Tekniske karakteristika for køretøjet

Referencebil	W-t-W's 2010 + referencebil er en mellemlassebil, som har følgende tekniske karakteristika ⁹ :
--------------	---

⁷ Euro6-normerne gælder fra 2015, men det er ikke et af modellens "nedslagsår".

⁸ Da dette er en "modelbil", er dette uproblematisk. "Faktiske biler kører dog ofte kortere/liter end NEDC angiver. Morten Winther, DMU, har undersøgt forskellene mellem energiforbruget i EU's kørecyklus NEDC målt ved mere realistiske kørebetingelser mht. dækmodstand, aerodynamik mv. (men altså samme kørecyklus) giver mellem 15 og 17 % højere energiforbrug for dieselmotorer, og hhv. 9 % (Euro 4) og 24 % (Euro 5) højere energiforbrug for benzinmotorer, når der sammenlignes med NEDC-værdierne oplyst ved typegodkendelsen. Gennemsnittet er 17 % for alle biler. Hvis "real world"-gennemsnittet (for alle undersøgelsens køremønstre) på trods af usikkerhed sammenlignes med typegodkendelsesværdierne baseret på NEDC fås et 21 % højere energiforbrug, der svinger mellem 9 % og 28 %.

⁹ Data baseret på JRC, Concawe etc. W-t-W, version 3c, oktober 2011,

Tabel 2-3 Tekniske karakteristika for referencebil, benzin (PISI), og referencebil diesel (DISI)

		PISI				DISI	DICI
		Gasoline	LPG bi-fuel	CNG bi-fuel	CNG	Gasoline	Diesel/DME
Powertrain							
Displacement	l	1.6	1.6	1.6	1.9	1.6	1.9
Powertrain	kW	77	77/77	77/68	85	70	74
Engine mass	kg	120	120	120	150	120	145
Gearbox mass	kg	50	50	50	50	50	50
Storage System							
Tank pressure	MPa	0.1	1	25	25	0.1	0.1/1
Tank net capacity	kg	31.5	14/16.5	14/17.5	30	30	25/40
Tank mass empty	kg	15	12/12	12/61	103	15	15/30
Tank mass increase including 90% fuel	kg	0	8	59	87	0	0/28
Vehicle							
Reference mass	kg	1181	1181	1181	1181	1181	1248
Vehicle mass	kg	1181	1189	1240	1298	1181	1248/1276
Cycle test mass	kg	1250	1250	1360	1360	1250	1360
Performance mass	kg	1321	1329	1380	1438	1321	1388/1416

PISI: Port Injection Spark Ignition, DISI: Direct Injection Spark Ignition, DICI: Direct Injection Compression Ignition. DISI-biler skal i fremtiden have påmonteret udstyr til at rense for partikler, men denne ekstra omkostning er ikke medtaget her.

For elbilen tillægges en ekstra vægt på 200 kg pga. batteriernes vægt.

Bilernes motorer modereres til at kunne håndtere forskellige typer biobrændstoffer.

Brændselscellebil

W-t-w's fremtidige brintbil bruges i den danske version som 2020 versionen af brintbilen. Der antages samme tekniske karakteristika i 2030, men prisen antages lavere. En 2010 version medtages, men med højere omkostninger på grund af produktionens lille skala. I den anvendte version af brintbilen, er der tilføjet et lille 6 kWh batteri, som w-t-w medtager i det ellers helt parallelle methanol-brændselscellespor.

Plug-in

Der er medtaget et plug-in hybrid køretøj. En sådan drivlinje skønnes yderst relevant for årene 2020 og 2030, og baseres på principielt på funktionaliteten i en "Opel Ampera", som kommer på det danske marked i 2012. Bilen er defineret som havende en elmotor, et 16 kWh batteri, og en 1,4 ECO benzinmotor med tilhørende generator. Det gør køretøjet tungere og lidt mindre energieffektivt end en ren elbil, men til gengæld har plug-in hybriden en rækkevidde på op til 500 km. Opel har ikke oplyst en gros priser på motordele af konkurrencehensyn, så der er brugt priser på tilsvarende dele i w-t-w analysen 2011. I modelberegningerne vedbliver bilen med at være relativt dyr på grund af den relativt store benzinmotor, og det skal understreges, at der ikke er tale om en optimering af designet af model-køretøjet ikke gennemført.

Elbil

W-t-w studiet har ikke defineret en "hel elbil" med tilhørende omkostninger, men analysen indeholder oplysninger om batteripris og en pris for en elmotor, som er taget som udgangspunkt for 2010 estimatet for elbilen i AD modellen. Elmotoren er betydelig billigere end de øvrige motortyper, og bilen uden batteri bliver derfor samlet set billigere end referencekøretøjet på længere sigt. For 2010 er valgt at prissætte elbilen uden batteri lige så højt som referencebilen på grund af produktionens lille skala. Herudover kommer omkostningerne til batteri. Samlet bringer dette omkostningen på niveau med kendte priser for elbiler uden afgifter.

Batteripakke	Den batteripakke, som elbilen er udstyret med i modellen betyder, at bilen har kortere rækkevidde end de øvrige biler, og at elbilen derfor ikke er fuldt sammenlignelig med de øvrige biler.
Afgrænsninger	Der er mange relevante tekniske kombinationer, som ikke er medtaget her. - F.eks. kan det være relevant også at se på en lille bil som standardkøretøj, hybridbiler, andre transportformer som fly, skibe og tog samt andre brændstoffer, f.eks. baseret på hydrogenisering og genanvendelse af kulstof mv. Det kan derfor være relevant i fremtidige opdateringer at medtage endnu flere transportmidler og drivmiddelspor.
Modenhed	Der er væsentlig forskel på modenheten af de forskellige teknologier. Dette påvirker naturligvis usikkerheden om de fremtidige tekniske og økonomiske forhold for disse teknologier. Denne usikkerhed, og forskellen herpå mellem drivmiddelsporene, kan påvirke vurderingerne af de fremtidige omkostninger og effektiviteten for drivmidlerne både i positiv og negativ retning, idet data fra pilotanlæg i visse tilfælde danner basis for relativt teoretiske omkostningsskøn mv., mens der i andre tilfælde allerede eksisterer fuldskala anlæg og mere erfaringsbaserede resultater. Denne usikkerhed er uundgåelig for nye teknologier der forventes at blive videreudviklet i de kommende 20 år, hvilket bør erindres når resultaterne af beregningerne anvendes.

2.2.6 Usikkerhed

Data i modellen for 2020 og 2030 er alle behæftede med en betydelig usikkerhed. Det er vigtigt at være opmærksom på disse usikkerheder, når modellens resultater anvendes. Generelt er der større usikkerheder på nyere teknologier, f.eks. brændsescellebiler, ligesom der er store usikkerheder for priserne på 2. generations biobrændstoffer i fremtiden. Her skal ikke kun tages hensyn til rene produktionsomkostninger, men også til øget efterspørgsel og specifikke krav til produktionen.

Danske forhold	I modellen er ikke alle effekter og virkninger medtaget, herunder eventuelle positive samspil med energisystemet eller eksisterende eller kommende reguleringer. Eksempler på dette er bl.a.: • Gasbiler kan bidrage til at sikre en fortsat god udnyttelse af gasnettet og gas-systemet kan bruges som et meget fleksibelt energilager, som både kan modtage bidrag fra biogas, og brintproduktion. • El- og brintbiler kan ligeledes på sigt bidrage til at balancere energisystemet i en situation med meget fluktuerende elproduktion f.eks. fra vindmølleparker. • EU har fastsat bæredygtighedskrav for biobrændstoffer, som træder fuldt i kraft fra 2016 og som sætter begrænsninger anvendelsen af biobrændstoffer med høje emissionerne som følge af produktion og arealændringer.¹⁰ • Visse typer af produktionsanlæg, f.eks. 2. G bioetanolanlæg, kan placeres ved eksisterende energianlæg med henblik på at optimere produktionen på anlægget
----------------	--

¹⁰ For mere information se *Energistyrelsens håndbog om dokumentation for biobrændstoffers bæredygtighed*, Energistyrelsen juni 2011.

økonomisk og energimæssigt. Dette vil i høj grad finde sted i praksis, men i beregningsmodellen er anvendt en mere generel tilgang som ikke fordrer eksisterende energianlæg.

3 Ændrede nøgleforudsætninger

Nedenstående forudsætninger er væsentlige for resultaterne i modellen og er blevet justerede / ændrede siden sidste opdatering. Herudover er en række andre forudsætninger blevet justerede, men disse har ikke væsentlig indflydelse på resultaterne af analysen.

3.1 Langsigtet marginal analyseramme

Hvor den første version af Alternative Drivmidler belyste ændringen ved at udskifte et enkelt køretøj (f.eks. en elbil), og anvendte en korttids marginalbetragtning for emissionerne, ønskes nu i højere grad en belysning af effekten af indfasning af ny drivmiddelteknologi i større omfang og med udgangspunkt i, at den tilhørende infrastruktur tilpasses til den øgede efterspørgsel.

Dette indebærer, at hele modellen baseres på en langsigtet marginalbetragtning, herunder at:

- Modellens opstrøms emissionsdata baseres på de marginale langsigtede produktionsteknologier. Dette indebærer væsentlige ændringer både for el, olie, og biomassebaserede drivmidler.
- Hvor det ikke er muligt at identificere pålidelige tal for den marginale udledning og pris, bruges gennemsnitstal, hvis disse er mere pålidelige.
- Den overordnede ramme er det politiske mål om, at Danmark i 2050 er uafhængig af fossile brændsler, og dette indgår som forudsætning i beregningerne.

Valget af analyseramme har betydning for resultaterne, herunder for de beregnede CO₂- emissioner for de forskellige drivmiddelspor. I nedenstående boks er kort redgjort for alternative betragtninger, der kan anvendes ved vurdering af CO₂- emissionen ved øget elforbrug.

Boks: Alternative betragtningsmåder ved vurdering af CO₂ emission ved øget elforbrug

1. Gennemsnitsbetragtningen	En gennemsnitlig kWh el udleder CO ₂ svarende til det vægtede gennemsnit af den elproduktion, der har frembragt elektriciteten.
2. Kvotebetragtningen	Elsektoren i Danmark og Europa er – sammen med en række energiintensive industrier – reguleret af CO ₂ -kvoter. Det betyder, at der ved lov er etableret et loft over CO ₂ -

	udledningen for disse virksomheder set under ét. Virksomhederne betaler hvert år for deres fysiske udledning med kvoter, og der er et omfattende kontrolsystem til at sikre, at dette overholdes, således at den samlede kvote ikke overskrides. Det betyder bl.a. at hvis én virksomhed øger sin CO₂-udledning (hvilket kræver anskaffelse af ekstra kvoter), da må en anden virksomhed nedsætte sin udledning tilsvarende. Hvis nogen et eller andet sted øger sit elforbrug med 1 kWh, sørger kvotesystemet for, at der ikke udledes ekstra CO₂ herved. Spørger man om, hvad den ekstra CO₂-udledning fra fx 1000 elbiler er, kan man derfor argumentere for, at svaret er nul. Dette gælder så længe kvotesystemet findes, dvs. mindst til og med 2020. Kvotesystemet har internaliseret CO₂ i de øvrige produktionsomkostninger, og kvoterne giver anledning til en forøgelse af elprisen. Elbesparelser og CO₂-fri elproduktion bliver økonomisk mere attraktive – men de reducerer ikke CO₂-udledningen. Øget elforbrug bliver økonomisk mindre attraktivt, men det øger ikke CO₂-udledningen.
3. Langsigtsmarginalbetragtningen	Hvis nogen øger eller mindsker elforbruget på længere sigt, fx gennem en omfattende besparelsesindsats, udbygning med varmepumper eller introduktion af elbiler, vil CO₂-udledningen bestemmes af det næste elværk, der sættes ind for at dække det ekstra elforbrug - eller alternativt: CO₂-udledningen vil bestemmes af det elværk, som besparelsesindsatsen muliggør skrotning af. For at svare på, hvad en kWh el udleder, må man derfor have en mening om det næste elværk eller det første værk, der skrottes. Så længe man har en energipolitik, der tilstræber fossil uafhængighed, kan man argumentere for, at CO₂-udledningen er tilnærmelsesvist nul fra ekstra elforbrug, fordi det første man vil bygge, er vindmøller, biomasseværker eller lignende. Man kan også argumentere for, at CO₂-effekten af elbesparelser er stor, fordi det første man vil skrotte er gammel kulkraft.
4. Kortsigtsmarginalbetragtningen	Hvis nogen øger (eller mindsker) sit elforbrug med 1 kWh, sker der umiddelbart det, at det marginale kraftværk i elmarkedet regulerer ned eller op med 1 kWh. El skal nemlig produceres i præcis samme takt som det forbruges. Det marginale kraftværk er det dyreste værk, der er i drift på det aktuelle tidspunkt, og det vil som oftest være et brændselsfyret kondensværk, typisk helt eller delvist kulfyret. Denne betragtningsmåde leder til, at en ekstra kWh udleder relativt meget CO₂ – typisk omkring 700-800 gram/kWh. Og tilsvarende, at en kWh sparet el reducerer CO₂-udledningen med en tilsvarende højt tal. Denne kortsigtsmarginalbetragtning ser bort fra, at en vedvarende øgning af CO₂-udledningen umuliggøres af kvotesystemet. Når det marginale ("kulfyrede") værk har udledt tilstrækkelig meget ekstra CO₂, begynder der at opstå mangel på CO₂-kvoter et eller andet sted, kvote-prisen stiger, og en eller anden reducerer sin udledning.

Kilde. *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. Energistyrelsen april 2011

3.1.1 Det hidtil anvendte kortsigtede marginalbegreb i beregningsværktøjet

I den hidtidige AD model anvendtes et kortsigtet marginalbegreb, og dette var ikke fuldt implementeret på tværs af sektorer. For olie og gas blev anvendt gennemsnits-emissioner som forklaret nedenfor.

Boks: Marginalbegreb anvendt i tidligere AD model

Elsekto- ren:	Her anvendtes den marginale elproduktion til forsyning af et yderligere elforbrug på 1 kWh. Dette indebærer en elpris og emission baseret på yderligere produktion på eksisterende anlæg på det pågældende tidspunkt, dvs. typisk elproduktion baseret på fossil kondensdrift. Data var baseret på Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger (ENSSØK).
Olie og gas:	Pris baseret på verdensmarkedspriser, kilde: ENSSØK, hvilket kan betragtes som en global kortsig- tet marginal pris. Emissionen forbundet med indvinding og raffinering var derimod en skønnet gen- nemsnitsemission baseret på Concawe W-t-W studier og andre kilder.
Biomasse til energi- formål:	Priser er baseret på markedspriser, og således principielt marginale, kilde ENSSØK og priser fra kornbørser. CO ₂ -emission og energiforbrug var derimod skønnede, gennemsnitlige data baseret på Concawe W-t-W-studiet. Der var ikke medtaget land use change (LUC), hverken emissionen fra den direkte ændring i arealanvendelse (LUC) eller den indirekte (ILUC).

3.1.2 Den langsigtede marginalbetragtning

Som følge af ønsket om at belyse effekten af indfasning af ny drivmiddelteknologi i større omfang anvendes nu systematisk et langsigtet marginalbegreb for alle energi- og råvarer. Hvordan forklares i boksen nedenfor.

Boks: Marginalbegreb anvendt i nærværende AD model

Elsekto- ren:	Beregningerne baseres på de langsigtede marginale produktionsanlæg, defineret som <i>de nye produktionsanlæg</i> , der vil blive etableret for at forsyne den yderligere efterspørgsel fra transportsektoren i de udvalgte år. Dette indebærer, at der anvendes en langsigtet marginal elpris og emissionsfaktor baseret på de anlægstyper, der forventes etableret til at forsyne dette forbrug. Med udsigt til udfasning af fossilt brændsel i energisektoren frem til 2050 forventes nye elproducerende anlæg stort set udelukkende at være baseret på vedvarende energi, især vind og biomasse. Samlet set antages det således, at der sker en udbygning af VE-elkapaciteten i rimelig takt med transportsektorens øgede elforbrug. Der forudsættes på den baggrund en langsigtet marginal CO ₂ -emission der nærmer sig 0 g/kWh.
Olie:	Priser baseres fortsat på verdensmarkedspriser (ENSSØK), men emissionen forbundet med indvinding og raffinering baseres nu på w-t-w 2011 estimat af "best estimate of available basket of oil coming to Europe. Estimateret er noget højere end de hidtidige opstrømsemissioner i den tidligere modelversion. Denne marginal indeholder ikke olie udvundet fra tjæresand.
Gas:	Pris baseres fortsat på ENSSØK. W-t-W analysens opstrømsemission anvendes i alle år. For naturgas anvendes i 2010 dansk produktion, i 2020 fra Nordsøen og Norge (1000 km

	pipeline), og fra 2030 et EU mix (4000 km pipeline).
Biomasse til energiformål: ¹¹	Priser baseres fortsat på ENSSØK og kornbørser. CO₂-emission, og energiforbrug ved produktion af biomassen baseres ligeledes fortsat på gennemsnitlige data (Concawe W-t-W), men der sker derudover indregning af alternativanvendelse af biomassen ved beregning af klimaeffekter. Dette indebærer følgende: <i>Halm til ethanol:</i> Halmen forudsættes alternativt nedmuldet på marken, og 7 % af halmens kulstofindhold lagret i jorden. Yderligere anvendelse af halm til energiformål udløser derfor et kulstoftab på 7 %¹². I 2020 og 2030 forudsættes halvdelen af halmen alternativt anvendt i kraftvarmeværker. <i>Fødevarerafgrøder til ethanol og biodiesel:</i> Fødevarerne forudsættes alternativt anvendt som fødevarer eller foder. Anvendelse af fødevarer som energiråvare vil udløse en øget arealanvendelse til kompenserende fødevarerproduktion (ILUC), og dette medregnes som en omkostning hvis LUC/ILUC-funktionen sås til i modellen..
Træ til energiformål:	Træ forudsættes at stamme fra skovarealer i nordligt køligt miljø med langsom omsætning, således at skovarealet er konstant og kulstofbalancen uændret. Forudsætningen er COWIs, men baserer sig på diskussion med Aarhus Universitet, Det Nationale Center for Miljø og Energi. (Steen Gyldenkærne).
Arealændringer, LUC:	LUC og ILUC har ikke været medtaget i tidligere udgaver af modellen. De direkte og indirekte landbrugs-/arealændringer medtages på den måde, at brugeren af modellen har mulighed for at tilknytte LUC emissioner til biobrændstofferne, med en henholdsvis lav og høj værdi. - Denne løsning er valgt, da der stadig er stor usikkerhed/uenighed om størrelsen af LUC, og da emissionsinputtet herfra er så væsentligt, at der er en værdi i at tydeliggøre det eksplicit, nu hvor det er med i modellen for første gang. Der er ikke medtaget eventuelle arealeffekter i Danmark af danske afgrøder (halm, raps, træ).

Konsekvenser af at anvende den langsigtede marginal

Der er en højere grad af konsistens i grundlaget for beregningerne, dels på tværs af drivmidler, og dels mellem pris og emissionsfaktor for de fremtidige situationer. Der er ikke længere en blandet anvendelse af marginale og gennemsnitlige priser. Der er heller ikke blandet anvendelse af gennemsnitlige eller kortsigtede marginale emissioner, men en konsistent anvendelse af den langsigtede marginalbetragtning på både priser, emissioner og arealer.

Konkret indebærer anvendelsen af den langsigtede marginalbetragtning noget lavere emissionsfaktorer på el til transportformål i 2020 og 2030, hvilket skyldes den planlagte omfattende danske udbygning med vedvarende energi i elsektoren. Som følge heraf er det muligt at vælge at bruge gennemsnitlig emission ved fremtidig elproduktion.

Desuden giver den nye tilgang højere (opstrøms) emissioner for fossile olie- og gasbaserede drivmidler, samt mulighed for vurdering af højere emissioner forbundet med frembringelse af afgrøder fra landbruget til energiformål/produktion af drivmidler på grund af reduceret kulstoflagring eller frigivelse af lagret kulstof ved inddragelse af nye arealer.

¹¹ I valg af spor indgår ikke flerårige energiafgrøder. Dette kan imidlertid være attraktivt og kunne evt. indgå i en fremtidig opdatering.

¹² Estimeret som en langsigtetligevægt for danske jorder både i 2010, 2020 og 2030, med udgangspunkt i empiriske studier. COWI estimat baseret på ekspertdialog med Steen Gyldenkærne, Aarhus Universitet, Det Nationale Center for Miljø og Energi. og Jørgen E. Olesen, Foulum Forsøgscen-ter.

3.2 Udbygning af infrastruktur

Infrastrukturen har stor betydning for, hvor hurtigt en teknologi i praksis kan indpasses i den danske energiforsyning. Den kan også være en meget væsentlig omkostning i det samlede regnestykke for et drivmiddel, indtil infrastrukturen er tilbagebetalt eller udnyttes optimalt. Modellen antager, at der er sket en "tilpas" udbygning med infrastruktur til, at infrastrukturen kan udnyttes effektivt. Alle infrastrukturomkostninger medtages.

Håndtering i model	Der medregnes fuld infrastrukturomkostning for alle drivmidlerne. Disse optræder dog lidt forskelligt i modellen, alt efter om der eksisterer en reel markedspris på drivmidlet i dag, som allerede inkluderer infrastrukturomkostningen eller ej. Dette er tilfældet for de flydende brændstoffer inkl. biobrændstofferne. - For de nye brændstoffer gas og brint ligger omkostningen derfor rent teknisk på "Konvertering 2 af mellemprodukt", i modellen. For elbilen er der det særlige, at der investeres i hjemme- og privatejet infrastruktur samtidig med, at der investeres i selve bilen 1. gang, - og derfor ligger omkostningen på bilen. Omkostningen skal betales uanset om installationen benyttes lidt eller meget.
Forskelle	Infrastrukturen har stor betydning for, hvor hurtigt en teknologi rent praktisk kan indpasses i den danske energiforsyning. Det anses dog for realistisk, at tilstrækkelig infrastruktur for de forskellige spor i princippet kan være implementeret inden 2020, hvis dette ønskes. Nogle drivmidler, f.eks. ethanol og biodiesel kan anvendes direkte i eksisterende køretøjer og distribueres gennem eksisterende tankstationer. Andre, f.eks. benzin med højt indhold af ethanol (f.eks. 85 %), komprimeret naturgas og DME (Di-Methyl-Ether) fra biomasse distribueres som separate brændstoffer til tankstationer, og bilmodeller designet til disse brændstoffer. Der findes allerede tankningsanlæg for el, gas og brint i Danmark i dag, men få, og prisen på disse, afspejler ikke nødvendigvis den pris, som kan forventes i 2020 og 2030.
Gas	Selvom gas/biogas kan distribueres fra eksisterende tankområder/benzintanke, er der tale om en ny teknologi og ny tilslutning til gasinfrastrukturen i Danmark.
Brint og el	Brint og el forudsætter etablering af ny infrastruktur til produktion og distribution af brint/el, ligesom teknologien kræver udskiftning af bilerne. Transmissions- og distributionssystemet for el eksisterer i dag, og omkostninger til udbygning af nettet er indeholdt i de transmissions- og distributionstakster, som anvendes i modellen. Ved et stort antal el- og brintbiler kan disse evt. påvirke styringen og udbygningen af smart grids (intelligente elnet), hvis det ønskes fra systemoperatørernes side. Etablering af sådanne systemer og værdien heraf er ikke medtaget i modellen Den langsigtede marginale elproduktion forventes at være stort set udelukkende baseret på vindenergi, hvilket dels indebærer højere el-produktionsomkostninger og dels lave CO₂ udledninger¹³.

¹³ Energinet.dk har til brug for denne analyse beregnet den forventede langsigtede elmarginal emission i 2020 og 2030.

Der forudsættes investeret i private og offentlige ladestandere som en del af omkostningerne ved el-sporet.

Fyldestationer

Analysen fokuserer på de langsigtede omkostninger. I beregningerne medtages distributionsomkostninger frem til og med fyldestationerne. Således er omkostninger til fyldestationer for CNG¹⁴ (Compressed Natural Gas), CBG (Compressed Biogas) og brint i de gasbaserede spor medtaget. Her er antaget en omkostning på ca. 3 MDKK for en gasfyldestation og 6-9 MDKK for hhv. en lille (50 kg H/time) idag og en mellem (200 kg H/time) brintfyldestation i 2020 med decentral brintproduktion¹⁵.

De konkrete omkostninger beregnes ud fra grove antagelser om, at udbygningen af fyldanlæg sker gradvist og primært hos flådeejere eller på udvalgte traceer. Ved at etablere dem i forbindelse med flåder af køretøjer kan det sikres, at anlæggene udnyttes i rimelig grad i opbygningsfasen, men omvendt vil de ikke dække hele landet. I det omfang der udbygges bredere, kan der være introduktionsperioder med beskeden efterspørgsel efter drivmidlet på de enkelte fyldeanlæg. Disse eventuelle ekstra omkostninger i en periode er ikke medtaget i modellen.

Benyttelsesgrad

Den generelle antagelse er, at infrastrukturen er etableret, så den får en rimelig benyttelsesgrad og dermed rentabilitet.

I analysen antages, at 2-5 % af bilparken, svarende til 100.000 personbiler anvender et givent drivmiddel i 2020 og ca. 10 % i 2030. Dette er en teknisk forudsætning om et volumen, som kan retfærdiggøre en vis infrastrukturudbygning og sikre en rimelig benyttelsesgrad og dermed rentabilitet. Der kan derfor ikke slutes noget om det samlede antal af en given køretøjstype i Europa på baggrund af forudsætningen.

De tunge køretøjer tænkes indfaset i mindre antal, men i flåder og lign., som kan muliggøre en rentabel logistik.

3.2.1 Eksempel: Udbygning med elinfrastruktur

I Danmark er der et mindre antal el-ladestandere i det offentlige rum og enkelte fyldestationer for gas og brint.

En ekspertarbejdsgruppe under Energistyrelsen har i januar 2011 vurderet, at der købes flere elbiler, hvis et tilstrækkeligt antal ladestandere er til rådighed.¹⁶ Det betyder, at der i en første udrulningsfase (2011-13) vil være behov for at øge det nuværende antal ladestationer på ca. 150 til mellem 1.000 til 2.000 standere (med flere udtag pr. stander) i det offentlige rum. Det forventes at komme til at koste i omegnen af ca. 100 millioner kroner i 1. fase.

¹⁴ Priser mv. på gasfyldestationer fra W-t-W Version 2

¹⁵ Priser på brintfyldestation er fra *Brint til transport i Danmark frem mod 2050*. Brint og Brændselsceller Partnerskabet, december 2011. Pris på gasfyldestation er fra w-t-w.

¹⁶ Redegørelse om rammebetingelser for opstilling af ladestationer til elbiler. Infrastruktur for ladestandere til elbiler i et "offentlige rum". Januar 2011, Energistyrelsen m.fl.

Omkostninger

I udgangspunktet koster det mellem DKK 40.000 og 80.000 at opstille en almindelig offentlig ladestander, inkl. gravearbejde og tilslutning, (6-8 timer pr. opladning). Hurtigladning er langt mere attraktivt på offentlige steder. En hurtig ladningsstation koster med dagens priser ca. DKK 400.000-500.000 at etablere (ca. 10-20 min./ opladning med opladning til 80 % af batteriets kapacitet, kortere ved mindre opladninger)¹⁷.

Better Place, ChoosEV og andre aktører foretager nu og i de kommende år en kraftig udvikling af elbilsinfrastrukturen¹⁸. Dette sker både på private, offentlige og semioffentlige steder, som på parkeringspladser i forbindelse med indkøbscentre.

Der tillægges i modellen 5000 kr./elbil til dækning af omkostninger til den offentlige/semioffentlige tilgængelige ladeinfrastruktur i både 2010 og 2020, og 3750 kr. i 2030. Omkostningen antages at være relativt højt sat og højere end i tidligere versioner af modellen. Det skyldes, at der nu antages opladefaciliteter af stadig højere kvalitet (og pris), som hurtigladestander og batteriskiftestationer. Omkostningerne fordeles på køretøjets levetid.

Den aftagende pris illustrerer, at der med stadig flere elbiler nærmes et "mæthedspunkt", for den fornødne infrastruktur. I praksis antages de offentlige ladestander at blive brugt langt mindre end de private.

Ca. 75 % af elbilejerne vil have mulighed for at oplade på egen installation hjemme. I modellen indregnes en omkostning på 5000 kr./stk./hjemmeoplader/elbil. Investeringens levetid er sat til 30 år.

3.3 Priser

Alle priser er i den nye modelversion opdateret fra 2005-priser til 2010-priser.

Biomasse

Priser på fødevarer afgrøder (hvede, raps,) baseres på DLG's noteringer. For sukkerrør og palmeolie er brugt tal fra *IEAs Technology Roadmap for biofuels, 2011* for priser i 2020 og 2030. IEA-analysens "high cost scenario" er valgt, da dette passer bedst med den øgede efterspørgsel i IEAs "New policy scenario", som i øvrigt anvendes, og til forventninger til krav om bæredygtig produktion af biomasse mv.

Prisen sammensættes af et transportelement og en råvarepris. Nedenstående boks angiver, hvor modellens mest anvendte basisforudsætninger kan findes.

W-t-w rapportererne *WTW, version 3c*, efteråret 2011, EU Kommissionens Joint Research Centre findes på: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec>. Priser findes i "Annex I".

Energistyrelsens *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*, april 2011, findes på: <http://www.ens.dk/da-DK/Info/TalOgKort/Fremskrivninger/beregningsforudsatninger/Sider/Forside.aspx>

¹⁷ Redegørelse om rammebetingelser for opstilling af ladestationer til elbiler. Infrastruktur for ladestander til elbiler i et "offentlige rum". Januar 2011, Energistyrelsen m.fl.

¹⁸ Den danske iværksættervirksomhed Cleancharge og "2Seechange" opstiller ladestander i Danmark. Selskabet har netop opstillet en ladestander i Kalundborg og har i forvejen etableret ladestander i København og Odense. På europæisk niveau samarbejder Cleancharge med andre i et netværk på ca. 1800 ladestander, hvor kunderne bl.a. kan finde den nærmeste stander via mobiltelefonen.

Transportøkonomiske Enhedspriser 2010, Danmarks Tekniske Universitet, kan findes på:
<http://www.dtu.dk/centre/Modelcenter/Nyheder.aspx?guid=%7BA89F9087-C647-4E17-A393-33CAD053C12C%7D>

IEAs *Energy Outlook 2010*, kan købes på www.iea.org, og et summary kan ses på:
www.iea.org/Textbase/npsum/weo2010sum.pdf

Henvisningerne er fundet i december 2011.

Bioethanol

DONG Energy's planer om et 2. generations fuldskalaanlæg ligger delvist til grund for modellens beregninger vedr. bioethanol. Beregningerne er baseret på et forholdsvis lille anlæg og på halm med et vist vandindhold, der giver følgende udvikling i ethanol produktionen: 58.000 tons i 2012, 99.000 tons i 2020, og 110.000 tons i 2030.¹⁹

Det anvendte udbytte fra 2.g. bioethanol for 2010 er baseret på fermentering af C6 sukre. DONG Energy arbejder allerede i dag med fermentering af C5 sukre, hvorved ethanoludbyttet forøges til 0,15 t ethanol/t halm i 2012, 0,24 t i 2020 og 0,26 t i 2030. I 2020 og 2030 forventes C5 fermentering implementeret og der produceres derfor ikke længere biproduktet melasse. Der antages egen varmeproduktion.

Både 1. og 2. generation bioethanol er i 2010 væsentlig dyrere end benzin. Forskellen mellem 1. og 2. generation bioethanol reduceres frem mod 2020, men begge spores forventes stadig at være lidt dyrere end benzin i 2030. Det skal understreges at der kunne tænkes mere effektive 2. generations anlæg, f.eks. i samspil med eksisterende energianlæg, men dette indgår i denne analyse.

Generelt er værdien af biprodukter fra biobrændstofproduktion medtaget.

3.3.1 Priser på energi og CO₂

Der tages udgangspunkt i Energistyrelsens fremskrivning, april 2011²⁰, idet dette er den seneste opgørelse som indeholder konsistente data på tværs af brændstoffer og energiformer. Endvidere anvendes data fra IEA Energy Outlook 2010, det ambitiøse policyscenarie, "New policy scenario", som også Energistyrelsens fremskrivning tager udgangspunkt i. Hvor tal ikke forefindes i 2010-priser, er de omregnet med udgangspunkt i nyeste tilgængelige tal.

Der er brugt Energistyrelsens 2020 og 2030 tal for priser på halm og flis (april 2011).

Ud over ovenstående priser lægges transporttillæg på, som angivet i Energistyrelsens beregningsforudsætninger, april 2011.

¹⁹ Høringssvar fra DONG Energy januar 2012.

²⁰ Kilde: Energistyrelsens Beregningsforudsætninger 2011. *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. April 2011.

Der forventes at eksistere et internationalt marked for handel med CO₂ gennem hele perioden frem til 2030. Priserne på CO₂ vil afhænge af ambitionsniveauet for reduktionskravene og forudsættes at udvikle sig som angivet i Energistyrelsens beregningsforudsætninger.

3.3.2 Omkostninger knyttet til emissioner fra arealændringer ved dyrkning af afgrøder til energiformål

LUC/ ILUC	Ved beregninger af konsekvenser af areal-/landbrugsændringer (LUC og ILUC²¹) er der anvendt data stillet til rådighed af Syddansk Universitet, som sammenstiller en række analyseresultater for produktion af forskellige biomassetyper. Der er meget stor usikkerhed om denne type analyse, hvad det store spænd i resultaterne i tabel 3.1 illustrerer. Det er derfor valgt, at modellen skal kunne vises både med og uden LUC/ILUC, samt et højt og et lavt estimat hvis medtaget.
Nye analyser	Et notat udarbejdet af JRC (Technical note, November 2011. <i>Estimate of GHG emissions from global land use change scenarios</i>) er det seneste arbejde på området og er brugt som kvalitetssikring af tallene. Data fremgår af tabellen nedenfor. Endelig medtages IFPRI-analysen fra oktober 2011, som også er baggrundsanalyse for EU Kommissionens igangværende arbejde med en Impact Assessment af området.
TLUC	Her er valgt at se på de totale emissioner stammende fra ændringer i landbrugsproduktionen, både direkte og indirekte sammen, (TLUC), da det i praksis har vist sig vanskeligt at adskille direkte og indirekte ændringer, og det er de totale ændringer som er relevante til brug i modellen.
Høj usikkerhed	Da der ikke findes velkonsoliderede tal på området ultimo 2011, skal tallene i modellen ses som en illustration af betydningen af at inddrage emissioner fra ændret landbrugsproduktion, som følge af en øget efterspørgsel efter energiafgrøderne, mere end en fremhævelse af enkelte specifikke analyseresultater. De tal, som er markeret med fed nedenfor anvendes i analysen som mulige tilvalg.

²¹ World Resources Institute definerer i "Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard" LUC bl.a. på følgende måde: *Land-use change occurs when the demand for a specific land use results in a change in carbon stocks on that land. A change in carbon stock can occur from one land-use category to another (e.g., converting forest to cropland) or within a land-use category (e.g., converting a natural forest to a managed forest or converting agricultural land from till to no-till). Land-use change does not include changes in crop cover or crop rotations that occur within the cropland category or forest harvesting and regeneration into the same general forest type, for which the regenerated forest is expected to have comparable carbon stocks to the harvested forest. Land-use categories include forest land, cropland, grassland, wetlands, settlements, and other lands such as bare soil, rock, ice, etc. Land-use change impacts are the emissions and removals due to land-use change.* World Resources Institute, Sept 2011

Tabel 3-1 Estimer af emissioner som følge af landbrugsændringer som følge af øget biomasseproduktion. Emissioner (g CO₂eq./MJ) pga. (TLUC – 20-års annualisering)

	Min. estimer (median af 8 studier)	Max estimer (median af 8 studier)	JRC-technical note November 2011	David Laborde (IFPRI) Oktober 2011 (forventet i 2020, frihandel)
Biodiesel				
Raps (EU)	(-33 to 80) 22	(80 to 800) 180	51,6 - 56,6	55
Palmeolie (Asien)	(9 to 45) 19	(34 to 214) 160	36,4 - 50,6	55
Soya (Sydamerika)	(13 to 67) 31	(75 to 1380) 196	51,5 - 55,7	57
Ethanol				
Hvede (EU)	(-79 to 37) 21	(-8 to 329) 154	17,2 - 17,4	13
Majs (EU)	(5 to 54) 22	(44 to 358) 68	13,9 - 14,4	10
Sukkerrør (Sydamerika)	(6 to 48) 18	(19 to 95) 71	7,7 - 20,3	17
Sukkerroer			3,7 - 6,5	4

Kilder: Ros et al. (2010) ²² og Estimate of GHG emissions from global land use change scenarios L. Marelli, F. Ramos, R. Hiederer, R. Koebler, JRC 2011, Technical note. Biofiels policy. ATLASS Consortium

I modellen er valgt medianen for henholdsvis minimum og maksimum estimer som lavestimat og højestimat tilvalg. For sukkerrør, hvede og majs er estimerne i den høje ende, sammenlignet med JRC-analysen.

I de tilgængelige analyser viser sukkerroer både lave opstrømsemissioner og lave emissioner som følge af arealændringer. Denne råvare er dog ikke medtaget i denne udgave af modellen, men kan være relevant i senere opdateringer, bl.a. da afgrøden kan dyrkes i Danmark.

Det er dog også muligt at dyrke olieholdige afgrøder på tørre marginaljorde, hvilket kan give meget lave CO₂-emissioner, så billedet er ikke entydigt. For flerårige planter kan de indirekte virkninger af arealændringen ligefrem medføre negative emissioner, hvis større mængder kulstof bindes i jord og planter. Dette gælder imidlertid ikke for de afgrøder, der er medtaget her.

Halm

For brug af halm til energiformål antages, at halmen i Danmark alternativt var blevet nedmuldet i jorden. Vurderingen af optaget af kulstof i jorden ved nedmuldning er vanskelig og afhængig af lokale forhold. Som et gennemsnit for Danmark antages et kulstofoptag på 7% af halmens kulstofindhold. Denne "alternativoptagelse" tabes, når halmen bruges til brændstofformål eller i kraftværker.²³

²² Modeling land use changes in consequential LCA, Lorie Hamelin Environmental group meeting – March 22nd, 2011

²³ Optaget i jorden er fastsat efter dialog med DCE, Århus Universitet

3.3.3 Priser på batterier

Priserne på batterier er opdaterede, så de svarer til de nyeste analyser af udviklingen på området. Batteriets størrelse er bestemt til 24 kWh, svarende til batteriet i en Renault Fluence. Der er antaget en levetid for batteriet på ca. 8 år²⁴, dvs. der antages et batteriskifte i bilens levetid. Kilderne er w-t-w, JRC annek 1, 2011 for 2010-bilen, og et gennemsnit af 2020- og 2030priser i udvalgte nyere analyser²⁵. De priser på batteriet, som er anvendt i modellen, vises i tabellen nedenfor. Priserne er en gros pris på et batteri af høj kvalitet. Priserne omfatter kun selve batterierne og er priser af fabrik.

Nedenstående tabel viser de anvendte prisforudsætninger.

Tabel 3-2 Batteriomkostninger anvendt i modellen kr. 2010 priser. DKK i bilens levetid

Batteriomkostning 2010	Batteriomkostning 2020	Batteriomkostning 2030
108.000 DKK	54.000 DKK	30.000 DKK

Kilde: COWI, baseret på litteraturstudie, w-t-w pris anvendt som 2010 tal.

De fremtidige batteripriser er forbundet med stor usikkerhed. Der er her tale om en forholdsvis optimistisk forventet prisudvikling, baseret på de seneste par års store prisfald, ny storproduktion, mange nyopdagelser på området og stærkt øget udviklingsstøtte i en række lande. I modsat retning kan trække en eventuelt øget pris på de anvendte råstoffer. - Batterierne forventes at være genanvendelige i 2020 og 2030.

3.4 Ændringer i øvrige basisdata

EU-regulering og den øvrige internationale regulering af CO₂-udledninger fra køretøjerne vil i høj grad være drivende for tempoet og omfanget af den teknologiske udvikling i motoreffektivitet og brændstoffer. Effekten af de politiske målsætninger og tekniske normer er inkluderet i den forventede udvikling, illustreret ved IEA's "New Policy Scenario".

Emissioner

Emissioner fra bilmotorer er stadig den væsentligste luftforureningskilde i de større byer, men kommende EU-normer på bilernes²⁶ og de tunge køretøjers udstødning vil

²⁴ 8 år er den forventede levetid, som oplyses for Renault Fluences batteri.

²⁵ Catalyst, *Forsøgsordning med el-biler - tredje runde. Juni 2011*. Better Place, Renault Fluence, hjemmeside og faktaark tilsendt pr. e-mail, oktober 2011. Better Place, *Fact Sheet, Batterier, September 2010. Batteries for electric cars, outlook for 2020*, The Boston Group, September 2011, KEMET, Italy, Stor italiensk producent; *Transitions to Alternative Transportation Technologies-- Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, udført for US Department of Energy, 2010. *IEA Roadmap for Plug-in hybrids and electric vehicles, Opportunities for the use of renewable energy in road transport. Policy Makers Report 2009*.

²⁶ Kommissionens forordning (EF) Nr. 692/2008 af 18. juli 2008 om gennemførelse og ændring af Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 715/2007 om typegodkendelse af motorkøretøjer med hensyn til emissioner fra lette personbiler og lette erhvervskøretøjer (Euro 5 og Euro 6) og om adgang til reparations- og vedligeholdelsesinformationer om køretøjer. Køretøjerne skal

sænke denne forurening markant fra de nye køretøjer. Det betyder, at forskelle i emissionerne fra de forskellige varianter af køretøjer bliver mindre end i den tidligere version af modellen.

Modellens standardkøretøjer opfylder Euro 5 normerne i 2010, mens 2020- og 2030-bilerne opfylder Euro 6 normerne. For lette køretøjer er anvendt emissionsfaktorer svarende til normerne, Der ikke medtaget emission af N₂O og SO₂ for de lette køretøjer da der ikke er Euro normer herfor, og da emissionerne vurderes som værende af begrænset omfang. For de tunge køretøjer er emissionsfaktorerne baseret på forventede emissioner ved et faktisk køremønster for nye køretøjer omfattet af de forskellige Euro normer, baseret på COPERT IV modellen.

Støj

Støj. Med hensyn til støj (og værdisætning af øvrige emissioner) bruges DTU's trafikøkonomiske enhedspriser, som omfatter støj, fra almindelige køretøjer og elbiler. Støj har ikke tidligere været medtaget i analysen, og modellen kan kun medtage støj på en forenklet måde, der ikke tager hensyn til, hvor bilerne kører. Der er derfor tale om en grov tilnærmelse. Desuden har de forskellige drivmiddelspor et forskelligt støjmønster. Både el- og gasdrevne biler støjer mindre ved kørsel end referencekøretøjerne, men gasbilerne får ikke en særlig godskrivning for dette".

I nedenstående tabel er angivet udvalgte basisdata, der er blevet ændret.

Tabel 3-3 Ændringer i udvalgte basisdata i Alternative Drivmidler 2011

	Oprindelig AD		2011 Opdatering		
	2010	2025	2010	2020	2030
Prisudvikling	Fra 2012: 2,13 %		Til 2012 2,56 % og varierende i de kommende år mellem 2,1 og 3,12 %		
Emissionsfaktorer el CO ₂ kg/MWh	862	828	391	5	5
Enhedsomkostninger for CO₂ emissioner (CO ₂ -kvotepris)	(2005 priser) 113,38	(2005 priser) 256,98	105	214	259
LUC + ILUC	Ikke muligt		Ingen/Lav/høj		

3.5 Konsekvenser for resultater af ændrede forudsætninger

Konsekvenserne ved de væsentligste ændringer i forudsætningerne er forklaret i tabellen nedenfor.

opfyldte Euro5-normer fra 2010, 2011, 2012 og Euro6-normen fra 2013-15, alt efter typen af køretøj.

- 1 Dyrere standardkøretøj: Generelt indebærer dette en øget omkostning på 41 øre/km på tværs af alle spor i forhold til forrige version, men ændrer ikke de absolutte forskelle mellem sporene. W-t-w. 2010+ bilen, blev konstrueret i 2008 som en relativt avanceret "fremtidsbil", som bliver til rådighed for markedet i tiden efter 2010. Bilen opfylder bl.a. høje emissionskrav, hvad der er med til at begrunde den relativt høje pris.
- 2 Langsigtet marginal el frem for kortsigtet marginal i forrige version: højere elpriser og lavere emission for især brint og el-bil.
- 3 LUC: Hvis medtaget påvirker det især 1.g ethanol (hvede, sukkerrør) og FAME (raps, palmeolie).
- 4 Olieprisen er 38% højere i denne version i forhold til forrige på grund af IEAs ændrede vurdering af de fremtidige priser. De højere priser påvirker især benzin og diesel.

4 Drivmiddelspor

De udvalgte teknologispør er kun analyseret i deres "rene" form i denne opdatering, dvs. der er ikke set på de utallige kombinationsmuligheder, som eksisterende og nye hybridløsninger vil kunne tilbyde. For hvert teknologispør er der gennemført en systematisk analyse af de samlede omkostninger, energieffektivitet og miljøpåvirkninger. I evt. fremtidige opdateringer kan andre relevante spor vælges.

De udvalgte, analyserede teknologier for personbiler i denne version dækker:

- 1) Benzin (referencespor) og
- 2) Diesel (referencespor)
- 3) Naturgas (komprimeret som CNG) til brug i forbrændingsmotor
- 4) Kulbaseret diesel (forgasset kul, syntetiseret til diesel)
- 5) Biodiesel (RME) produceret på raps samt
- 6) Biodiesel produceret på palmeolie, FAME (som et realistisk importeret alternativ)
- 7) Bioethanol produceret på hvede (E85, dvs. 85 % ethanol og 15 % benzin) samt
- 8) Bioethanol produceret på sukkerrør (som et realistisk importeret alternativ)
- 9) 2. generationsteknologier i form af bioethanol produceret på halm (E85), men generelt kan teknologien udnytte celluloseholdige produkter, dvs. helsæd, energiafgrøder, husholdningsaffald mm.
- 10) Biogas
- 11) DME (Di-Methyl-Ether, der kan udnyttes i tilpassede dieselmotorer) baseret på forgasning af biomasse med efterfølgende katalysator-proces
- 12) Elbiler baseret på batterier
- 13) Plug-in hybridbiler med benzin motor
- 14) Elbiler baseret på brændselsceller på brint
- 15) Elbiler baseret på brændselsceller på methanol (fra forgasset biomasse)

Nedenfor er illustreret, hvordan modellen over flere stadier konverterer råstoffet til drivmiddel. Ikke alle muligheder er lige relevante at analysere for de store køretøjer, busser og lastbiler. Her er taget udgangspunkt i få realistiske spor, hvor pålidelige data kan fremskaffes.

Datakilder nævnes helt kort under hver drivmiddelttype. De mere komplette referencer findes i modellen og referencelisten i kapitel 7.

4.1.1 Reference-drivmidlerne, benzin og diesel

Da der vurderes stadig at være en stor andel af konventionelle diesel og benzinkøretøjer i 2020 og 2030, er disse to spor valgt som referencespor.

Her anvendes data for råolie, som raffineres til benzin og diesel og anvendes i henholdsvis en benzin og en dieselmotor.

4.1.2 Bioethanol på hvede, halm og sukkerrør

Der skelnes mellem 1. og 2. generation, også når det gælder biodiesel, og bioethanol. Definitionen fremgår af boksen nedenfor, hvor ethanolsporet vises. Det, der definerer 1. og 2. generation, er typen af produktionsproces.

1. generation	1. generation biobrændstoffer produceres ud fra sukker- eller stivelseholdige afgrøder eller ud fra olieholdige frø. Modellens 1. generations biobrændstofspor er baseret på hvede, som omdannes til ethanol (E85), og sporet medtages, da teknologien er så udbredt i dag. Der må dog forventes større krav til bæredygtighed i fremtiden, hvilket kan begrænse udbuddet og hæve prisen.
Importspor	Ud over bioethanol baseret på hvede medtages også importeret bioethanol fra Brasilien, baseret på sukkerrør, som er et prisbilligt alternativ med mindre CO ₂ udledning.
2. generation	2. generation biobrændstoffer er produceret ud fra restprodukter, f.eks. halm, grene og lignende, eller biobrændstof produceret ud fra forgasset biomasse, affald eller animalske restprodukter. Her er sporet baseret på halm, da det er en tilgængelig dansk ressource, som anvendes til produktion af ethanol af (E85), i flere danske pilotanlæg.

Biprodukter

Biprodukter fra bioethanol kan være lignin og melasse. Biprodukterne fra biodiesel på raps er typisk raps-foderkager. Disse biprodukter har en høj værdi, og kan derfor være en vigtig del af produktionen.

4.1.3 Biodiesel baseret på raps og palmeolie

Biodiesel er her baseret på raps, men alle typer af vegetabiliske og animalske olier samt fedtstoffer kan anvendes til produktion af biodiesel.

Biodiesel fremstilles ved en kemisk ændring af animalsk eller vegetabilisk fedt eller olie for at opnå et produkt med diesellignende egenskaber. Dette opnås ved en reaktion mellem olier/fedtstoffer og metanol, hvorved man får dannet fedtsyre metyl ester, også benævnt FAME efter det engelske Fatty Acid Methyl Ester.

Teknologien er det mest udbredte biobrændstof i Europa i dag.

Biodiesel kan anvendes iblandet fossilt brændstof eller som rent produkt, som det er tilfældet i det valgte spor.

Biodiesel i lave iblandinger er direkte substituerbart med fossile brændstoffer til brug i almindelige dieselmotorer. Anvendelse af biodiesel i høje iblandinger eller rent kan/vil kræve mindre ombygninger af motorenes brændstofsistem.

Importspor

Biodiesel baseret på palmeolie. Biodiesel baseret på palmeolie er et nyt spor, som medtages som illustration af et muligt importeret biobrændstof.

4.1.4 Biogas baseret på gylle

Det er forholdsvis udbredt at anvende biogas (metan) til transport, f.eks. i Sverige. Biogas produceres i modelberegningerne på gylle blandet med en andel af fast gødning og energiafgrøder. Gylle mv. forgasses i en reaktor og metanen indsamles og anvendes til energiformål. Den afgassede gylle har en større plantetilgængelighed og dermed gødningsværdi end almindelig gylle og anvendes til gødningsformål. Afgasning af gyllen indebærer en varmebehandling, der også reducerer risikoen for smitte og lugtgener i forbindelse med spredning af gyllen.

Når biogassen skal anvendes til transportformål, er det nødvendigt med en opgradering og komprimering af biogassen, som ikke er nødvendig ved brug i et kraftvarmeanlæg. Biogassen kan så bruges som transportbrændsel i en tilpasset otto-motor. Biogassen kan distribueres via naturgasnettet²⁸.

Den biogas der produceres i biogassporet er ikke propaniseret, men regnearket har også mulighed for beregning af en propaniseret version, da der også ligger et faktaark for dette.

4.1.5 Naturgas

Naturgas kan bruges direkte som transportbrændsel i en tilpasset otto-motor. Her anvendes naturgas i komprimeret form (CNG) for personbiler, busser og lastbiler.

Det er almindeligt for personbiler og busser at køre på gas i Sverige, og teknologien kunne indføres på relativt kort sigt i Danmark. Der er/ har været mindre danske flåder bl.a. busser på gas, og der er etableret en gastankstation på Fyn, hvor Naturgas Fyn har indkøbt et mindre antal personbiler. Naturgas kan suppleres eller erstattes af biogas, og kan således fremme mulighederne for at anvende biogas til transport. Da anlæg af fyldestationer er omkostningskrævende vil det være mest rentabelt at opbygge infrastrukturen i forbindelse med flåder af køretøjer så der sikres en høj udnyttelse.

Der antages anvendt fabriksbyggede gasbiler.

4.1.6 Diesel fra kul

Brændstoffet fås ved, at kul omdannes til gas, som igen via syntese omdannes til et dieselbrændstof, som kan bruges i en dieselmotor.

²⁸ Der er dog ikke antaget propanisering af biogassen i dette spor. Der er også faktaark for biogas med propan i modellen, som kan benyttes.

Sporene diesel fra kul medtages, da der findes rigelige mængder kul, da kulforgasning er en kendt og anvendt teknologi, bl.a. brugt under 2. verdenskrig, og hvor brændstoffet er velegnet til f.eks. brug i biler.

Bl.a. Kina har vist interesse for brændstoffet som alternativ til olie, og en større produktion kan i princippet i gang sættes hurtigt. Der kan være høj CO₂ emission fra disse spor sammenlignet med konventionel diesel.

4.1.7 DME fra forgasset biomasse affald og lign.

Forgasning af biomasse er en proces, hvor i princippet alle former for biomasse forgasses og omdannes via syntese til DME (dimethyl ether), som kan bruges i en dieselmotor. Der kan produceres store mængder ikke-konventionelle olieprodukter og syntetiske brændsler ved hjælp af forgasning og katalysatorprocesser. Processerne har stadig begrænsede virkningsgrader og er forbundet med betydelige meromkostninger sammenlignet med konventionel diesel og benzin. Overskydende vindmøllestrøm kan indgå i processerne.

4.1.8 Brint og methanol til brug i brændselsceller, som leverer strøm til elmotor

Elmotoren er så godt som lydløs, og energieffektiviteten i selve motoren er høj.

Brint produceres ved elektrolyse af elektricitet, og er særlig interessant i de tilfælde, hvor Danmark vil få store mængder potentiel overskudsstrøm pga. stor vindstrømsproduktion. Brinten komprimeres og benyttes i en brændselscelle.

Brint kan produceres både centralt og decentralt. I modellen antages decentral produktion af brint.

Metanol fra biomasse produceres ved, at biomassen omdannes til gas, som igen omdannes til metanol (MeOH), som kan bruges i en brændselscelle. Processen kan foregå både centralt og decentralt.

4.1.9 El til brug i elmotor

Sporet indebærer, at strøm lades på et batteri, som driver bilens elmotor.

Elmotoren har en høj virkningsgrad, og der forventes udviklet mere effektive og holdbare batterier.

5 Resultater for personbiler

Nedenfor præsenteres resultaterne af de opdaterede modelkørsler. Der er forskellige muligheder for at afgrænse data, og dette afspejles i den nedenstående gennemgang. Der vises resultater for hvert af de tre år 2010, 2020 og 2030. Resultaterne præsenteres i følgende rækkefølge:

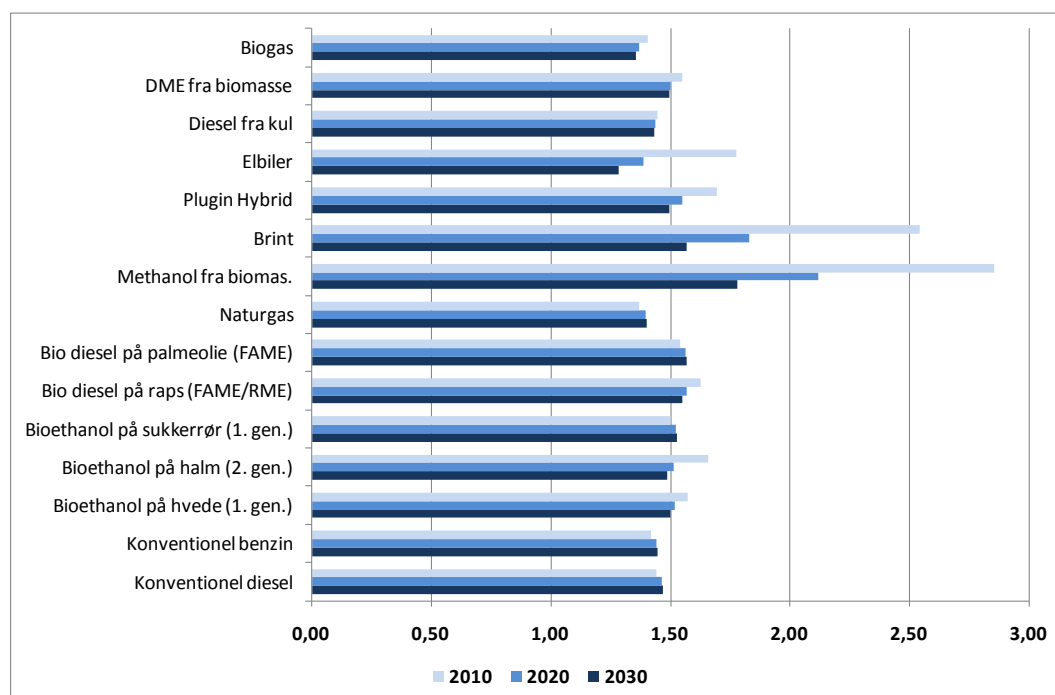
- 1 Resultater for dansk afgrænsning. Dette inkluderer en global w-t-w tilgang, brug af en langsigtet udbygningsmarginal for el, og uden medtagelse af CO₂-kvoter og emissioner fra landbrugsændringer som følge af biomasseproduktion til brændslet (LUC+ ILUC).
- 2 Resultater inklusiv høj og lav værdi af ændringer i arealanvendelse (LUC+ iLUC)

5.1 Samfundsøkonomi ved dansk afgrænsning

Den nedenstående figur sammenfatter resultater uden inddragelse af LUC/iLUC emission og uden hensyntagen til CO₂-kvotesystemet.

I figuren er de centrale resultater af modelberegningerne i form af omkostninger per km præsenteret for personbiler for årene 2010, 2020 og 2030. Omkostningerne til selve køretøjet udgør det største element for alle køretøjer, men forskellen mellem de samlede omkostninger skyldes på tværs af drivmidlerne skyldes forskel i omkostninger til hhv. køretøj, drivmiddel og udledninger for biler baseret på de forskellige drivmidler.

Figur 5-1 Resultater. Samfundsøkonomi for biler (kr./km.) 2010, 2020 og 2030 dansk afgrænsning



Samtlige drivmiddelspor kan have sin berettigelse i et fremtidigt dansk transportsystem ud fra disse samfundsøkonomiske beregninger, da de relativt beskedne forskelle i omkostninger i 2030 evt. kan opvejes af andre fordele/ ulemper ved drivmiddelspor.

Større modenhed

Forskellen mellem de forskellige drivmiddelspor i 2020 og 2030 er mindre i denne opdatering end i den forrige udgave af modellen, og skyldes både det relativt dyrere fælles grundkøretøj, og at der er opnået tekniske forbedringer på nogle af de nye drivmiddelspor. Selvom en del af de nye teknologier fremstår dyre og kun produceret i meget lille antal i 2010, er alle på et teknisk stade i dag, hvor de med stor sandsynlighed kan være i en (mere eller mindre) kommerciel serieproduktion i 2020 og 2030. De nye teknologier fremstår derfor mere modne i dag end i den tidligere opdatering.

Natur- og biogas og el

På længere sigt frem mod 2020 og 2030 fremstår **naturgas og biogas** sammen med **elbiler**, som de billigste drivmiddelspor, mens konventionel benzin og diesel, samt 2. generations bioethanol på halm, og diesel fra kul også klarer sig relativt godt i den samfundsøkonomiske analyse.

For naturgas og biogas skal forklaringen på den gode økonomi bl.a. findes i, at naturgassen som udgangspunkt er billigere end benzin og diesel, og også forventes at være det fremadrettet.

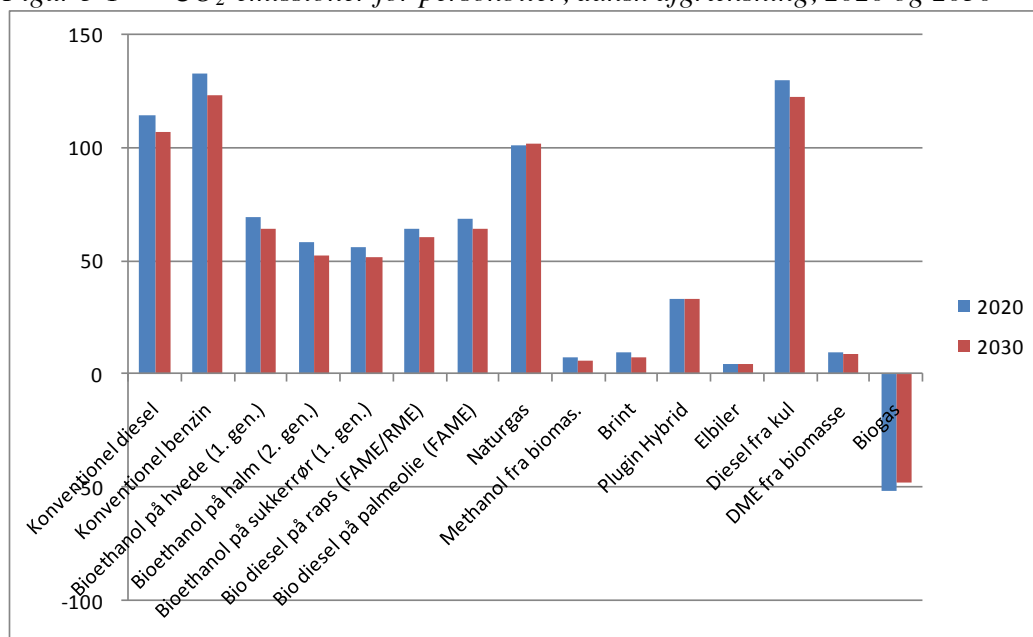
Emissioner	Vedtagelsen af nye emissionsnormer (Euro 5 + Euro 6), samt bindende EU krav til personbilers brændstofeffektivitet betyder, at køretøjerne har lavere emissioner end i foregående udgave af modellen, mens opstrømsemissionerne er justeret opad.
Elbiler	Der er et stort potentiale inden for batteridrevne elbiler, som samlet set udviser den markant bedste energieffektivitet, samtidig med at elbilen rummer lokale miljøfordele i kraft af mindre støj og ingen skadelige emissioner til luften i nærmiljøet. Batterierne kan desuden medvirke til at balancere elforbruget og forbedre mulighederne for indpasning af fluktuerende elforsyning, herunder fra vindkraft, i elforsyningen. Frem mod 2020 forventes at ske væsentlige reduktioner i omkostningerne for især elbiler. Dette skyldes primært forventning om faldende priser på batterier. I beregningerne har elbilen kun en rækkevidde på 150-200 km, og er derfor ikke fuldt sammenlignelig med de øvrige biler. Plug-in hybridbilen har samme rækkevidde som de øvrige biler, men er relativt dyr, fordi den udover batteri også er udstyret med en kraftig forbrændings motor til at producere el, når elektriciteten i batteriet er opbrugt.
Brint/metanol	Løsninger, hvor el produceres ombord på køretøjet, kan blive et muligt alternativ til at udnytte elektromotorens gode egenskaber i transportmidler. Dette indbefatter elproducerende brændselsceller med brint eller methanol som energibærer, selv om den samlede energiudnyttelse her er mindre på grund af flere energikonverteringer med et samlet større energitab til følge. Brint kan bl.a. produceres ved hjælp af elektricitet fra vedvarende energi, og metanol kan bl.a. produceres på basis af biomasse. Det er relativt dyr løsning, men der forventes væsentlig reduktion i omkostningerne frem mod 2030
Plug-in hybrid	Plug-in hybridbilen indeholder batteri til opladning fra elnet og som udnyttes på kortere køreture, mens der på længere køreture produceres el om bord, i denne analyse ved hjælp af en benzinmotor. Mere detaljerede resultater er præsenteret i afsnit 8.

5.2 CO₂- emissioner ved dansk afgrænsning

Med undtagelse af diesel produceret på kul er alle de alternative drivmidler forbundet med et CO₂-reduktions potentiale i forhold til referencesporene.

Reduktionen er størst for brug af biogas, men også betydeligt for metanol på biomasse, diesel fra biomasse, bio-ethanol (2. gen.), elbiler, plug-in hybrid, bio-diesel, og el og brint, mens det er mindst for naturgas. Dette illustreres i figur 5.2. nedenfor.

Anvendelse af biogas produceret på gylle indebærer en reduceret udledning af metan fra landbrugets gylleåndtering, uanset om biogassen bruges til transport eller andre formål. Dette betyder, at biogas som drivmiddel beregningsmæssigt har en negativ CO₂ udledning.

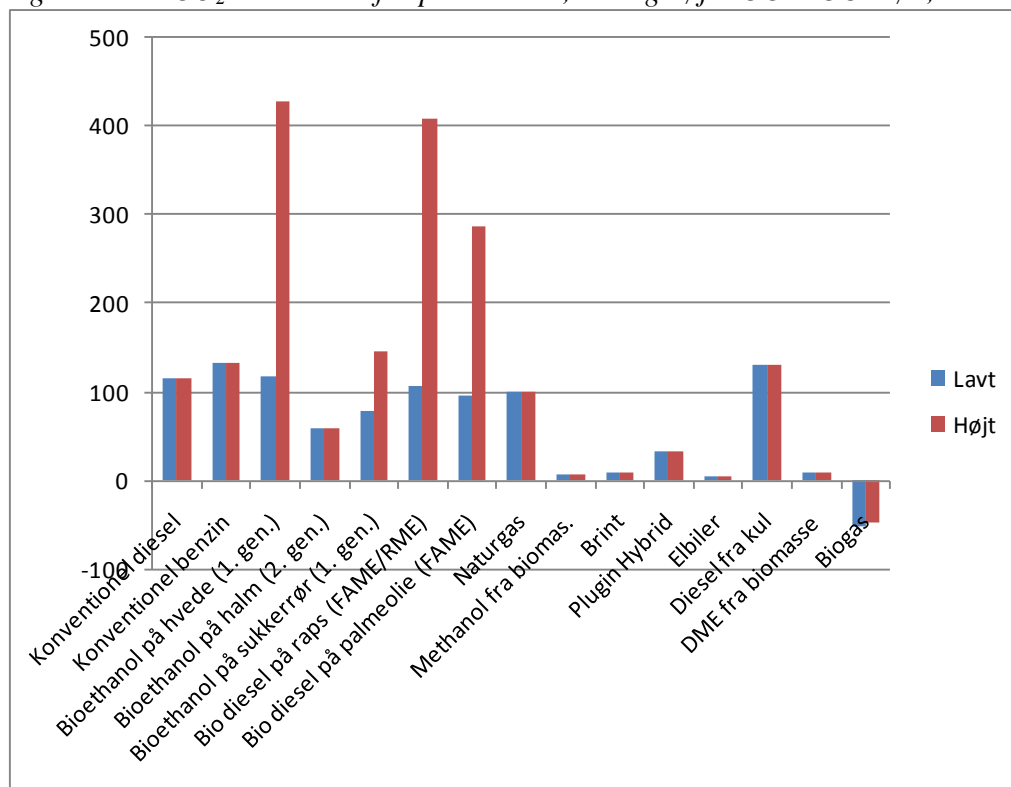
Figur 5-1 *CO₂-emissioner for personbiler, dansk afgrænsning, 2020 og 2030*

For de danske spor omfatter beregningerne de fysiske CO₂ udledninger ved en tilnærmet dansk afgrænsning. For importsporene *Biodiesel på palmeolie* og *Bioethanol på sukkerrør* finder emissionen af CO₂ sted i produktionslandene og tæller ikke med i Danmarks CO₂ opgørelser. Alligevel er sporene medtaget således at man kan sammenligne de beregnede emissioner ved de danske biobrændstoffer med de tilsvarende emissioner ved produktion i udlandet.

5.3 Betydning af ændringer i arealanvendelsen (LUC/ILUC)

De globale miljømæssige konsekvenser af øget anvendelse af biobrændstoffer er særdeles vanskelige at vurdere, men har været inddraget i modellen. LUC/ILUC emissioner, som opstår som følge af ændret landbrugspraksis og arealændringer som konsekvens af det ekstra forbrug af landbrugsafgrøder der opstår ved øget produktion af biobrændstof.

CO₂-emissioner med lavt og højt skøn for LUC/ILUC emissionerne er vist i nedenstående figur.

Figur 5-2 *CO₂-emissioner for personbiler, lavt og højt LUC/ILUC skøn, 2020*

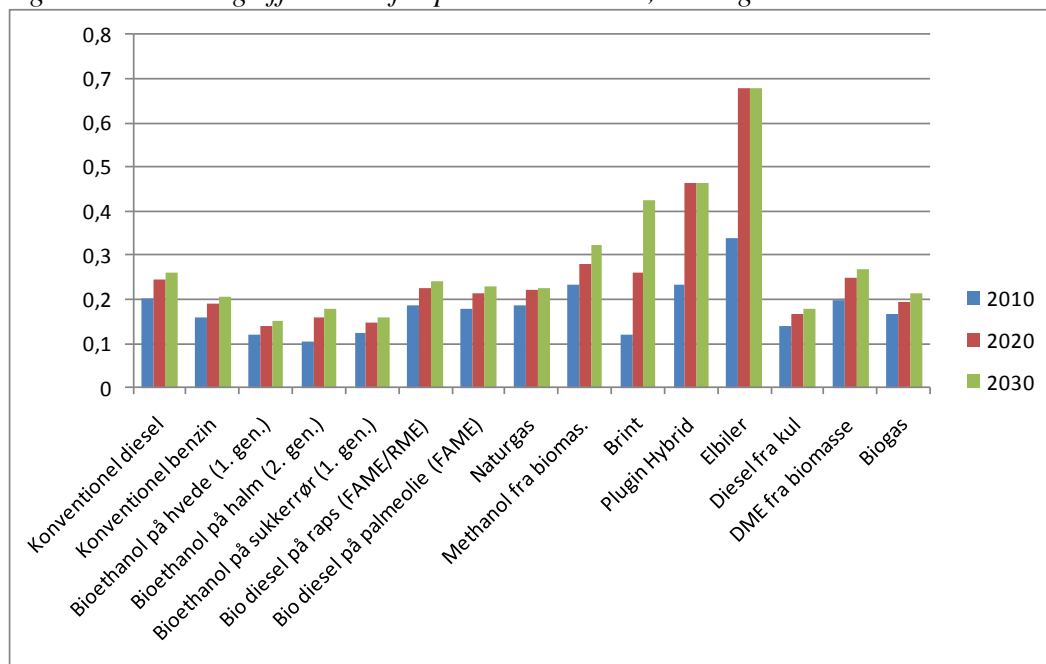
Som nævnt hersker der stadig væsentlig usikkerhed om størrelsen af LUC/ILUC effekten, men figuren illustrerer at når der tages der højde for LUC/ILUC i CO₂ emissionsopgørelsen indebærer det en væsentlig forværring af 1.gen. biobrændstofferne CO₂ regnskab. Dette er særlig klart, hvis den høje værdi benyttes.

Selvom en høj værdi af LUC/ILUC kraftigt forværrer emissionsprofilen på 1.gen biobrændstofferne vejer dette dog ikke tungt i omkostningsberegningen på grund CO₂ prisens størrelse.

5.4 Energieffektivitet

De forventes stigende effektivitet alle drivmiddelspor i forhold til 2010, i for de fleste helt frem til 2030. For de fleste er der tale om begrænsede forbedringer, dels som følge af forbedret effektivitet i diesel- og benzin (Otto-) motorer, og for elbilens vedkommende en væsentlig effektivisering i perioden 2010-2020 især som følge af omstilling af elproduktionen til vedvarende energi. Elbilen er meget effektiv sammenlignet med alle andre spor. Omvendt indgår et større antal energi-konverteringer i brint-bilen end i de øvrige spor, og dermed også energitab.

Figur 5-3 *Energieffektivitet for personbiler 2010,2020 og 2030*



6 Tunge køretøjer

I seneste opdatering af AD-modellen er medtaget enkelte spor for tunge køretøjer. Disse erstattes i denne udgave af modellen af spor baseret på faktiske køretøjer.

6.1 Busser

Som referencekøretøjer er valgt en bustyper, hvor data er leveres af Volvo Danmark. Bussen er af typen "bybus på diesel", som opfylder Euro5-normerne i 2010 og Euro6-normerne i 2020. Volvo er en væsentlig leverandør af busser i Danmark og har stillet data til rådighed for AD modellen. Endvidere har både Scania og Daimler bidraget med supplerende oplysninger om gasbaserede motorer.

6.1.1 Drivmiddelspor for busser

Bussen er en bybus. Der er fokuseret på drivmiddelsporene diesel, CNG og hybrid. CNG busser har betydelige ekstraomkostninger (størrelsesordenen 2-300.000 kr/køretøj, størst i 2010, mindre i 2020 og 2030 pga. større produktionsvolumen) til tryktanke i kompositmaterialer til gassen, samt 30-50 % højere vedligeholdelseskostninger. Motoren er også 13 % mindre effektiv i 2010 i forhold til en almindelig dieselmotor. Denne forskel forventes udjævnet i 2020.

Hybridmotorer har en højere virkningsgrad (42 % i stedet for 32 %), men koster til gengæld også omtrent 0,5 mio. kr. mere i anskaffelse. Det er antaget, at alle busser kører 60.000 km/år. Bussernes forventede levetid er 8 år. Som udgangspunkt koster en bus godt 950.000 kr.

6.2 Lastbiler

Der er ikke defineret en standard lastbil i denne analyse, men taget udgangspunkt i en konkret lastbil, udstyret med forskellige drivmidler. Volvo har leveret data på en middelstor regional distributionslastbil på 26 tons. Modellen opfylder Euro5-normerne i 2010 og Euro6-normerne i 2020. I praksis er der stor forskel på lastbiler og deres krav til drivmidler, på baggrund af aktuell last/funktion, og hvor langt de kører pr. dag. Fordelingen af danske lastbiler vises i Tabel 6-1 nedenfor. Der er valgt et referencekøretøj, hvor Volvo i forvejen har testet alternative drivlinjer, og hvor der derfor eksisterer pålidelige data.

Den danske bestand af lastbiler vises i tabellen nedenfor. Her ses, at distributionslastbiler udgør den største andel af vognparken.

Tabel 6-1 Bestanden af lastbiler i Danmark

Bestand	per	13-02-2011	
tons	stk	%	Typisk brug
10-16 tons	5640	15	Distribution, renovation
16-18 tons: Trækker	3727	10	Regional- eller udenrigskørsel
16-18 tons: Forvogn	6033	16	Distribution, renovation
18-26 tons: Trækker	8716	23	Regional- eller udenrigskørsel
18-26 tons: Forvogn	8916	24	Distribution, tank og bulk m.m.
26-32 tons: Trækker	336	1	Blokvognstrækker
26-32 tons: Forvogn	4421	12	Entreprenør, slamsuger, tank og bulk m.m.
Sum	37789	100	

Kilde: Danske bilimportører og Volvo, 2011.

Den valgte type køretøj tilbagelægger typisk 500-800 km på en dag med en samlet årskørsel på 100.000 km. Med denne årskørsel har køretøjet en økonomisk levetid på 8 år eller 800.000 km.

Energiforbruget svarer til 3,3 km/l diesel. Modellen opfylder Euro V normerne i 2010, og det antages at fremtidige modeller vil opfylde og Euro VI normerne i 2020 og 2030. Volvo skønner, at det årlige vedligehold ekskl. dæk beløber sig til 50-60 øre/km, så der er her valgt at regne med 55 øre/km.

6.2.1 Drivmiddelspor for lastbiler

For lastbiler til regionaldistribution er beregnet drivmiddelsporene diesel, RME og DME, og CNG (CNG som et tilnærmet på baggrund af supplerende data fra Scania). Der er ikke regnet på LNG/ dual fuel i dette studie, men Volvo har en sådan vogn i produktion. Denne vil kunne indgå i fremtidige opdateringer.

I følge Volvo har lastbiler, som kører på DME, samme omkostninger og emissioner af regulerede stoffer som lastbiler der kører på almindelig diesel. Her er det således kun evt. meromkostninger ved DME og CO₂ emissionsforskellen som adskiller DME fra almindelig diesel.

For lastbiler med RME som drivmiddel gælder, at de kun kører 3,0 km/l. Dette skyldes dog udelukkende lavere energitæthed i RME, så energieffektiviteten er den samme. Den eksisterende dieselmotor kan køre på RME såfremt der installeres pakninger som bedre kan modstå den kemisk lidt mere reaktive RME. Volvo skønner, at meromkostningen ved at indrette en motor til RME brug er 10.000 kr. Volvos erfaringer med RME er, at NO_x emissionerne bliver 20 % højere, mens emissioner af partikler og CO er 10 % lavere på nuværende tidspunkt. Olieskift skal foretages tre gange så hyppigt som ved almindelig diesel.

CNG lastbiler har pt. 13 % mindre brændstofeffektivitet og koster 15.000 kr/år i ekstra vedligehold. Disse ulemper forventes at være overvundet fra 2020. Drivmidlet op-

bevares i tryktanke af kompositmaterialer. Disse er dyre, og giver anledning til ekstraomkostninger på 300.000 kr. per lastbil i 2010. Med masseproduktion fra 2020 forventes ekstraomkostningen at falde til 200.000 kr. per lastbil fra 2020.

7 Resultater for tunge køretøjer

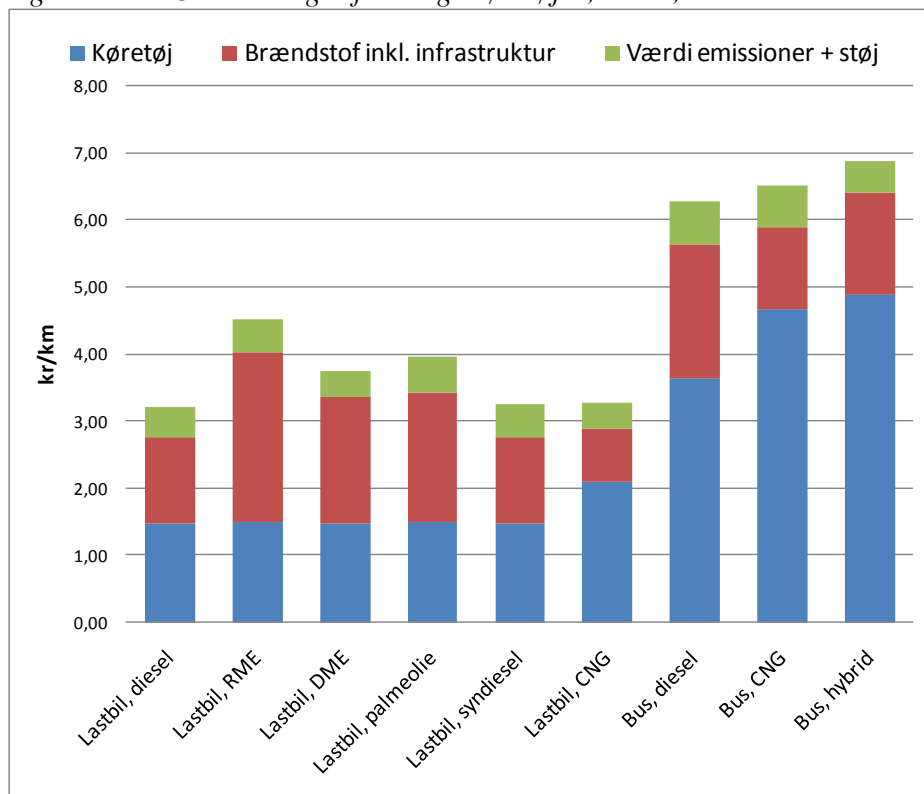
Nedenfor præsenteres resultaterne af de opdaterede modelkørsler. Der er forskellige muligheder for at afgrænse data, og dette afspejles i den nedenstående gennemgang. Der vises resultater for hver af de tre år 2010, 2020 og 2030. Resultaterne præsenteres i følgende rækkefølge:

- 1 Resultater for dansk afgrænsning.
- 2 Med inddragelsen af ændringer i arealanvendelse (LUC+ i LUC)

7.1 Samfundsøkonomi

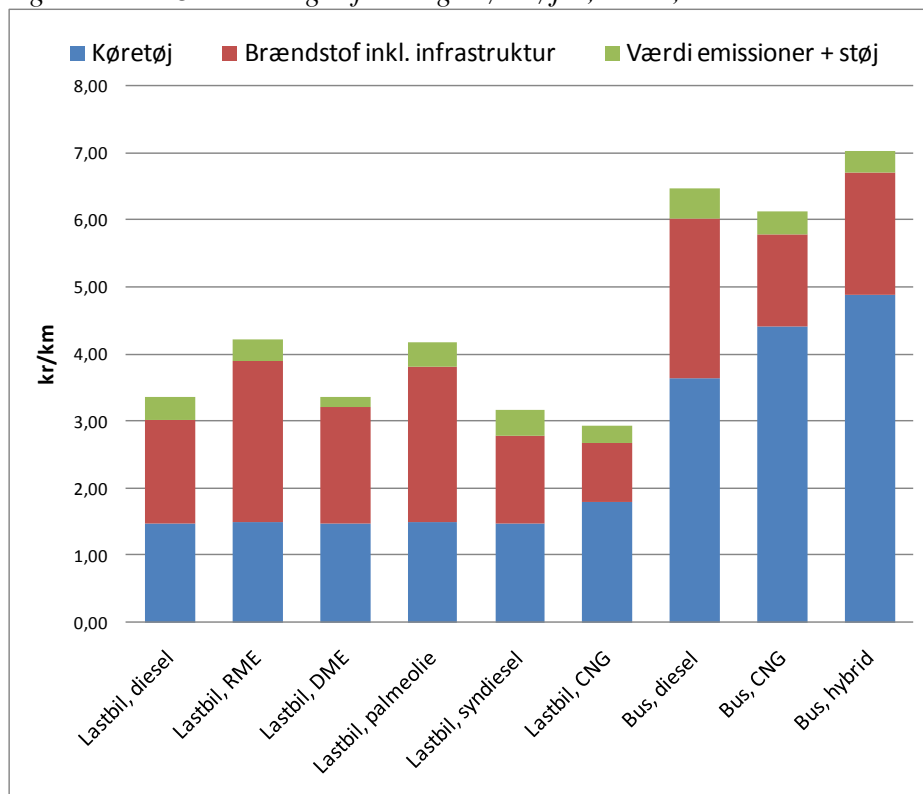
I 2010 er diesellastbiler og dieselbusser de økonomisk mest attraktive spor, mens både diesel på syntesegas fra kul og CNG ligger forholdsvis tæt på, dvs. inden for 10 % ekstraomkostning. Omkostningerne til de forskellige spor er vist i nedenstående figurer.

Figur 7-1 Omkostninger for tunge køretøjer, kr/km, 2010



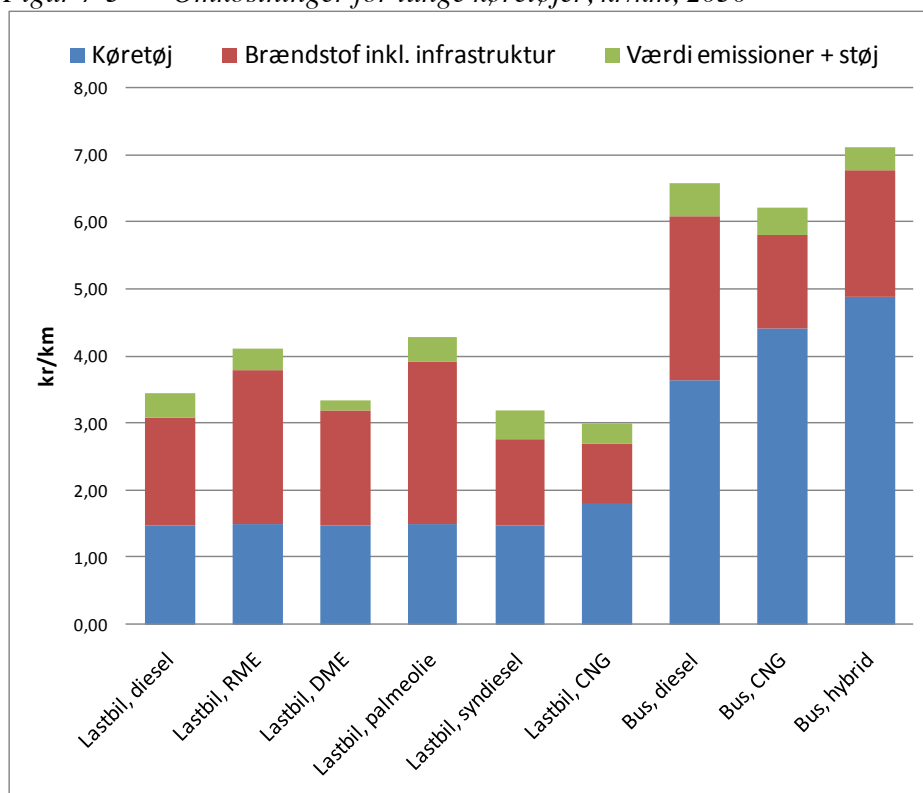
Med de forudsatte stigninger i oliepriserne bliver de oliebaserede alternativer relativt dyrere i 2020 og 2030. Hermed bliver CNG relativt mere attraktivt. Stigningerne i oliepriserne er dog ikke tilstrækkeligt til at opveje for de ekstra drivmiddelrelaterede omkostninger ved RME, DME og palmeolie. Dette fremgår af figurene herunder.

Figur 7-2 Omkostninger for tunge køretøjer, kr/km, 2020



Det ses af alle de tre figurer, at det særligt for lastbiler er brændstofomkostningerne som gør en stor forskel, mens busserne i højere grad også er påvirket af meromkostninger til køretøjet. Dette er i nogen grad påvirket af, at lastbiler er forudsat at køre 100.000 km/år, mens (by)busserne er forudsat at køre 60.000 km/år. Herved har CNG- og hybridbusserne en mindre årskørsel til at indhente de øgede indkøbsomkostninger gennem lavere kilometeromkostninger.

Figur 7-3 Omkostninger for tunge køretøjer, kr/km, 2030

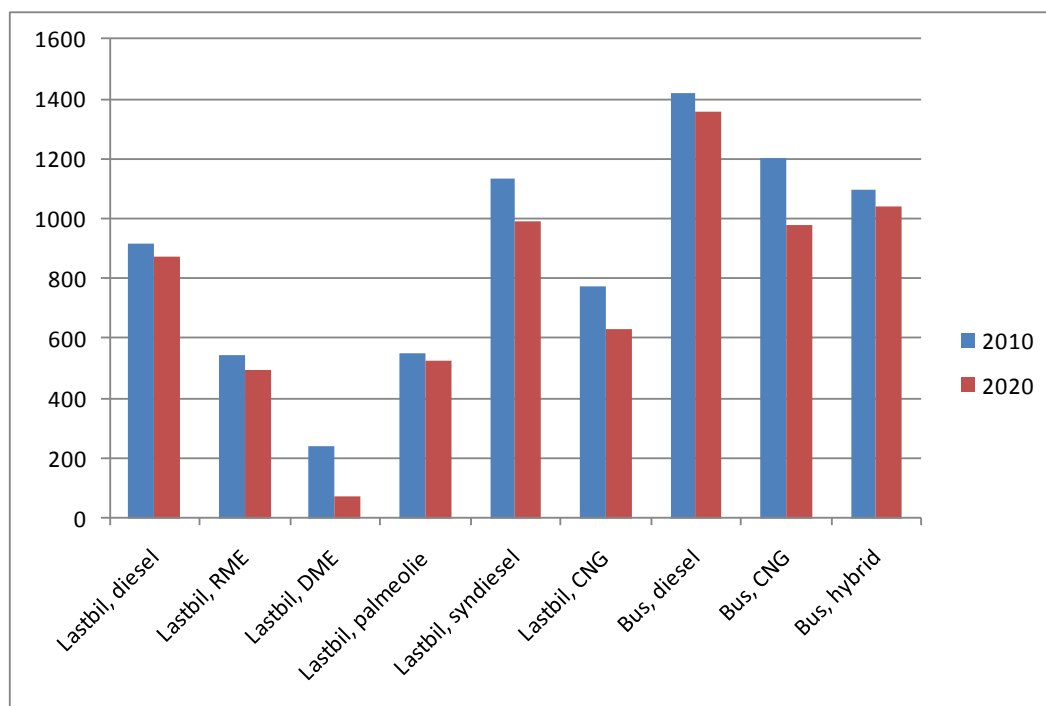


7.2 Emissioner

Emissionerne ved de forskellige drivmiddelspor udviser stor variation afhængigt af hvilket råstof der er anvendt til drivmiddelfremstillingen, j.f. Figur 7-4. DME fremstillet på biomasse har meget små emissioner, mens syntetisk diesel baseret på kul har de største emissioner.

CNG fra både lastbiler og busser udviser en mindre fordel i forhold til diesel. At forskellen mellem CO₂ indholdet i brug af diesel og metan ikke træder tydeligere frem, skyldes at det er forudsat at metanudslippet fra CNG motorer andrager omtrent 3 g CH₄/km. Denne forudsætning er baseret på oplysninger fra Daimler, mens forudsætningerne om metanudslip fra øvrige motortyper er baseret på oplysninger fra Århus Universitet. Der er efter al sandsynlighed tale om forskellige opgørelsesmetoder, så derfor bør dette resultat tages med forbehold.

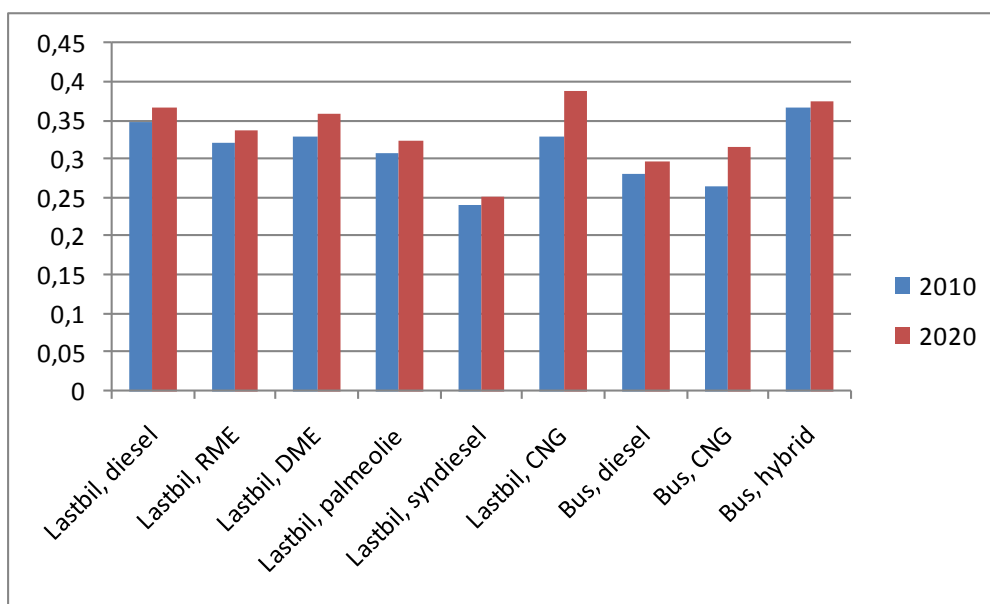
Figur 7-4 Resultater. Emissioner for tunge køretøjer, dansk afgrænsning, g CO₂ ækv./km, 2010 og 2020



I figuren er kun præsenteret resultater for 2010 og 2020. Dette skyldes at der er et relativt svagt grundlag for vurderingen af udviklingen på længere sigt af de tunge køretøjer, da der er taget udgangspunkt i konkrete nuværende køretøjer og ikke i studier over den forventelige udvikling.

7.3 Energieffektivitet

Energieffektiviteten af hhv. lastbiler og busser kan ikke direkte sammenlignes, idet der er væsentlig forskel på det bagvedliggende kørselsmønster og dermed den gennemsnitlige effektivitet i motoren. Som for CO₂ er kun præsenteret resultater for 2010 og 2020. Dette skyldes ligeledes at der er et relativt svagt grundlag for vurderingen af udviklingen af de tunge køretøjer, da der er taget udgangspunkt i konkrete nuværende køretøjer og ikke i studier over den forventelige udvikling.

Figur 7-5 *Energieffektivitet for tunge køretøjer, procent 2010 og 2020*

8 Resultat-oversigt

I nedenstående tabeller er resultaterne ved dansk afgrænsning præsenteret for 2010, 2020 og 2030.

Centrale resultater		År:		2010								
Teknologi-spor	Økonomi				Virkningsgrad	Miljøpåvirkning (luftemissioner)						
	Køretøj DKK/km	Brændstof inkl.	Værdi emissioner	SØK omk.		Systemvirkn ing GJ/GJ input	CO2 g/km	CH4	N2O	SO2	NOx	Partikler
		infrastruktur + støj										
Konventionel diesel	1,163	0,196	0,081	1,440	20,0%	138,48	0,0500	0,0000	0,0030	0,2739	0,0050	
Konventionel benzin	1,088	0,251	0,078	1,417	16,0%	157,38	0,0321	0,0000	0,0036	0,1745	0,0050	
Bioethanol på hvede (1. gen.)	1,088	0,399	0,084	1,570	11,8%	113,38	0,0532	0,0005	0,0171	0,3333	0,0050	
Bioethanol på halm (2. gen.)	1,088	0,490	0,078	1,656	10,3%	112,12	0,0487	0,0004	0,0136	0,2379	0,0050	
Bioethanol på sukkerrør (1. gen.)	1,088	0,341	0,071	1,500	12,3%	65,64	0,0320	0,0000	0,0001	0,2455	0,0050	
Bio diesel på raps (FAME/RME)	1,163	0,379	0,083	1,625	18,4%	79,99	0,0527	0,0001	0,0022	0,4516	0,0050	
Bio diesel på palmeolie (FAME)	1,163	0,291	0,086	1,541	17,7%	81,22	0,0500	0,0000	0,0002	0,5268	0,0050	
Naturgas	1,162	0,138	0,069	1,369	18,8%	124,54	0,0033	0,0001	0,0026	0,0764	0,0050	
Methanol fra biomas.	2,561	0,265	0,028	2,855	23,1%	31,82	0,0154	0,0003	0,0118	0,0989	0,0000	
Brint	2,074	0,401	0,068	2,542	12,0%	175,72	0,1024	0,0022	0,0784	0,3107	0,0000	
Plugin Hybrid	1,529	0,116	0,046	1,692	23,3%	93,66	0,0374	0,0008	0,0291	0,1283	0,0000	
Elbiler	1,635	0,106	0,037	1,777	33,9%	66,88	0,0390	0,0009	0,0298	0,1183	0,0000	
Diesel fra kul	1,163	0,196	0,088	1,447	13,8%	171,49	0,0598	0,0002	0,0076	0,3349	0,0050	
DME fra biomasse	1,200	0,278	0,072	1,550	19,8%	33,55	0,0663	0,0004	0,0125	0,2843	0,0050	
Biogas	1,162	0,208	0,051	1,421	16,5%	-52,57	0,1307	0,0002	0,0057	0,0818	0,0050	
Lastbil, diesel	1,478	1,281	0,440	3,199	34,8%	906,75	0,0065	0,0370	0,0244	4,3838	0,0358	
Lastbil, RME	1,494	2,518	0,497	4,508	32,1%	531,78	0,0242	0,0380	0,0196	6,4263	0,0364	
Lastbil, DME	1,478	1,878	0,385	3,742	32,7%	226,59	0,1159	0,0392	0,0894	4,4994	0,0358	
Lastbil, palmeolie	1,494	1,938	0,519	3,951	30,8%	539,99	0,0063	0,0374	0,0064	6,9263	0,0364	
Lastbil, syndiesel	1,478	1,284	0,490	3,252	23,9%	1.122,88	0,0701	0,0382	0,0546	4,8075	0,0358	
Lastbil, CNG	2,092	0,788	0,396	3,276	32,8%	695,34	3,2889	0,0367	0,0197	3,8174	0,0353	
Bus, diesel	3,643	1,986	0,653	6,283	28,1%	1.406,36	0,0066	0,0489	0,0376	7,3219	0,0554	
Bus, CNG	4,660	1,222	0,618	6,500	26,5%	1.078,47	5,1010	0,0485	0,0305	7,1210	0,0546	
Bus, hybrid	4,875	1,528	0,476	6,879	36,5%	1.081,82	0,0051	0,0376	0,0289	5,6322	0,0426	

Centrale resultater		År: 2020										
Teknologi-spor	Økonomi				Virkningsgrad	Miljøpåvirkning (luftemissioner)						
	Køretøj DKK/km	Brændstof	Værdi	SØK omk.		Systemvirkn ing	CO2 g/km	CH4	N2O	SO2	NOx	Partikler
		infrastruktur	+ støj									
Konventionel diesel	1,175	0,202	0,085	1,462	24,3%	112,61	0,0900	0,0000	0,0024	0,1573	0,0050	
Konventionel benzin	1,088	0,264	0,089	1,440	19,0%	132,21	0,0320	0,0000	0,0027	0,1559	0,0050	
Bioethanol på hvede (1. gen.)	1,088	0,351	0,079	1,518	14,0%	68,67	0,0322	0,0000	0,0009	0,2578	0,0050	
Bioethanol på halm (2. gen.)	1,088	0,353	0,072	1,512	15,7%	57,95	0,0321	0,0000	0,0007	0,1501	0,0050	
Bioethanol på sukkerrør (1. gen.)	1,088	0,361	0,074	1,523	14,6%	55,40	0,0320	0,0000	0,0001	0,2166	0,0050	
Bio diesel på raps (FAME/RME)	1,175	0,312	0,080	1,567	22,4%	62,56	0,0901	0,0000	0,0002	0,2995	0,0050	
Bio diesel på palmeolie (FAME)	1,175	0,302	0,084	1,561	21,5%	66,85	0,0900	0,0000	0,0002	0,3655	0,0050	
Naturgas	1,162	0,156	0,077	1,394	22,3%	100,86	0,0000	0,0000	0,0001	0,0687	0,0050	
Methanol fra biomas.	1,885	0,213	0,022	2,121	27,8%	7,08	0,0001	0,0000	0,0002	0,0587	0,0000	
Brint	1,482	0,325	0,023	1,829	26,2%	9,28	0,0009	0,0000	0,0009	0,0505	0,0000	
Plugin Hybrid	1,347	0,169	0,033	1,550	46,5%	33,54	0,0004	0,0000	0,0008	0,0373	0,0000	
Elbiler	1,215	0,153	0,020	1,387	67,7%	4,35	0,0004	0,0000	0,0004	0,0236	0,0000	
Diesel fra kul	1,175	0,172	0,090	1,437	16,7%	128,19	0,0901	0,0000	0,0002	0,1949	0,0050	
DME fra biomasse	1,219	0,221	0,061	1,500	25,0%	7,37	0,0901	0,0000	0,0002	0,1411	0,0050	
Biogas	1,162	0,177	0,044	1,383	19,6%	-53,82	0,1041	0,0000	0,0001	0,0668	0,0050	
Lastbil, diesel	1,478	1,532	0,342	3,353	36,5%	863,57	0,0020	0,0352	0,0233	0,9407	0,0037	
Lastbil, RME	1,494	2,398	0,313	4,205	33,7%	481,25	0,0023	0,0359	0,0061	2,1486	0,0038	
Lastbil, DME	1,478	1,727	0,158	3,363	35,8%	57,64	0,0028	0,0351	0,0063	0,8573	0,0037	
Lastbil, palmeolie	1,494	2,324	0,344	4,163	32,3%	514,28	0,0017	0,0356	0,0060	2,6557	0,0038	
Lastbil, syndiesel	1,478	1,305	0,380	3,163	25,1%	981,59	0,0023	0,0351	0,0061	1,2488	0,0037	
Lastbil, CNG	1,788	0,890	0,257	2,934	38,9%	561,86	2,7561	0,0305	0,0045	0,3697	0,0033	
Bus, diesel	3,643	2,371	0,452	6,466	29,6%	1.336,36	0,0026	0,0614	0,0357	0,8976	0,0079	
Bus, CNG	4,402	1,377	0,350	6,129	31,5%	869,48	4,2650	0,0533	0,0070	0,6623	0,0069	
Bus, hybrid	4,875	1,824	0,321	7,020	37,4%	1.027,97	0,0020	0,0472	0,0275	0,6905	0,0061	

Centrale resultater		År: 2030										
Teknologi-spor	Økonomi				Virkningsgrad	Miljøpåvirkning (luftemissioner)						
	Køretøj	Brændstof	Værdi	SØK omk.		Systemvirkn ing	CO2	CH4	N2O	SO2	NOx	Partikler
		infrastruktur	+ støj									
	DKK/km				GJ/GJ input	g/km						
Konventionel diesel	1,175	0,206	0,088	1,469	26,0%	105,25	0,0900	0,0000	0,0023	0,1522	0,0050	
Konventionel benzin	1,088	0,266	0,092	1,446	20,5%	122,39	0,0320	0,0000	0,0025	0,1487	0,0050	
Bioethanol på hvede (1. gen.)	1,088	0,329	0,081	1,498	15,2%	63,57	0,0322	0,0000	0,0008	0,2431	0,0050	
Bioethanol på halm (2. gen.)	1,088	0,324	0,072	1,484	17,8%	51,44	0,0321	0,0000	0,0007	0,1385	0,0050	
Bioethanol på sukkerrør (1. gen.)	1,088	0,365	0,075	1,528	15,8%	51,28	0,0320	0,0000	0,0001	0,2050	0,0050	
Bio diesel på raps (FAME/RME)	1,175	0,291	0,081	1,547	24,0%	58,47	0,0901	0,0000	0,0002	0,2852	0,0050	
Bio diesel på palmeolie (FAME)	1,175	0,309	0,086	1,569	23,0%	62,48	0,0900	0,0000	0,0002	0,3468	0,0050	
Naturgas	1,162	0,155	0,083	1,399	22,6%	101,66	0,0000	0,0000	0,0001	0,0781	0,0050	
Methanol fra biomas.	1,569	0,189	0,022	1,781	32,4%	6,07	0,0001	0,0000	0,0001	0,0502	0,0000	
Brint	1,254	0,291	0,022	1,567	42,4%	7,00	0,0006	0,0000	0,0007	0,0381	0,0000	
Plugin Hybrid	1,266	0,195	0,035	1,496	46,5%	33,54	0,0004	0,0000	0,0008	0,0373	0,0000	
Elbiler	1,093	0,171	0,020	1,285	67,7%	4,35	0,0004	0,0000	0,0004	0,0236	0,0000	
Diesel fra kul	1,175	0,166	0,093	1,434	17,9%	120,45	0,0901	0,0000	0,0001	0,1899	0,0050	
DME fra biomasse	1,219	0,214	0,061	1,493	26,8%	6,89	0,0901	0,0000	0,0001	0,1370	0,0050	
Biogas	1,162	0,164	0,042	1,368	21,2%	-49,82	0,0964	0,0000	0,0001	0,0663	0,0050	
Lastbil, diesel	1,478	1,598	0,370	3,446	38,3%	824,31	0,0019	0,0336	0,0222	0,8979	0,0036	
Lastbil, RME	1,494	2,289	0,325	4,108	35,3%	459,38	0,0022	0,0342	0,0058	2,0509	0,0036	
Lastbil, DME	1,478	1,709	0,158	3,345	37,5%	55,02	0,0027	0,0335	0,0057	0,8175	0,0036	
Lastbil, palmeolie	1,494	2,427	0,356	4,277	33,9%	490,90	0,0016	0,0340	0,0058	2,5350	0,0036	
Lastbil, syndiesel	1,478	1,284	0,413	3,176	26,3%	941,95	0,0022	0,0335	0,0056	1,2115	0,0036	
Lastbil, CNG	1,788	0,915	0,293	2,997	38,2%	585,14	2,6308	0,0292	0,0045	0,4121	0,0031	
Bus, diesel	3,643	2,446	0,491	6,581	31,3%	1.262,12	0,0025	0,0580	0,0338	0,8477	0,0074	
Bus, CNG	4,402	1,402	0,403	6,207	31,2%	895,92	4,0281	0,0503	0,0069	0,7163	0,0065	
Bus, hybrid	4,875	1,882	0,352	7,109	38,3%	970,86	0,0019	0,0446	0,0260	0,6521	0,0057	

9 Referencer

Nye hovedreferencer brugt i den opdaterede model er vist nedenfor.

ATLASS Consortium. *Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies, October 2011* David Laborde (IFPRI)

Better Place, Renault Fluence, hjemmeside og faktaark tilsendt pr. e-mail, oktober 2011. *Better Place, Fact Sheet, Batterier, September 2010.*

<http://www.dlg.dk/Afgroeder/Noteringer/Boersnotering.htm>. Afgrødedata.

Catalyst, *Forsøgsordning med el-biler - tredje runde. Juni 2011*. ENS

Concawe/JRC EU Commission (2011): *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power-trains in the European Context. November 2011*. Både hovedrapporter og bilag.

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

Danmarks statistik. *Nyt fra Danmarks Statistik, Motorparken 2010*.

DTU. *Transportøkonomiske enhedspriser 2010*, DTU, Institut for transport, bl.a. emissions og støjpriser.

Energistyrelsen. *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet.. April 2011*.

Energistyrelsen. *Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. April 2010*.

Energistyrelsen. *Biogasanlæg business case: Model 1000 m³/dag med salg af gas til decentral KV-værk og halmprocesvarme. Rev. 2009.05.25*

Energistyrelsen. *Energistatistik 2011*.

Energistyrelsen. *Energistyrelsens håndbog om dokumentation for biobrændstoffers bæredygtighed, juni 2011*.

EU-Kommissionens forordning nr. 692/2008 om EURO V og VI normer.
KOMMISSIONENS FORORDNING (EF) Nr. 692/2008, af 18. juli 2008 om gennemførelse og ændring af Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 715/2007 om typegodkendelse af motorkøretøjer med hensyn til emissioner fra lette personbiler og lette erhvervskøretøjer (Euro 5 og Euro 6) og om adgang til reparations- og vedligeholdelsesinformationer om køretøjer.

IEA, *Energy Technology Perspectives*, 2008.

IEA, *Energy Technology Perspectives*, 2010.

IEA, *Technology Roadmap - Biofuels for Transport*, 2011.

JRC, Technical note, November 2011. *Estimate of GHG emissions from global land use change scenarios.*

World Resources Institute (2010?) "*Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*"

Ikke offentliggjorte kilder

COWI, Litteraturstudie vedrørende aktuelle og forventede priser på batterier, sendt til ENS, juni 2011.

Michael Sloth, *Note om prisreduktionspotentiale for brændselsceller til biler*. Tilsendt pr. e-mail. Ikke offentliggjort.

http://www.biofuelsb2b.com/useful_info.php?page=Typic

Oplysninger per e-mail fra Steffen Müller, produktionschef i Volvo Danmark, november 2011. Specifikke data vedr. busser og lastbiler.

Data fra danske bilimportører.

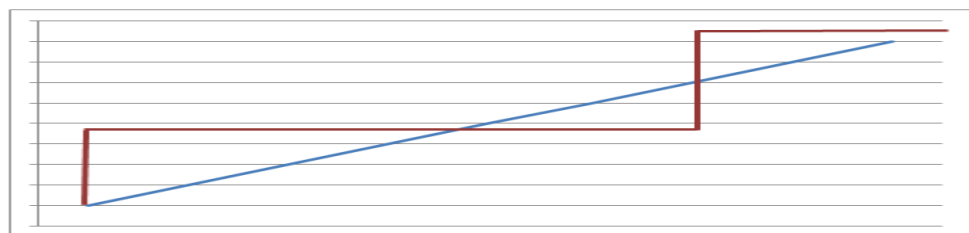
Bilag A.

Langsigtet marginalbegreb anvendt for elsektoren

Beregningerne baseres på de langsigtede marginale produktionsanlæg, defineret som *de nye produktionsanlæg*, der vil blive etableret for at forsyne den yderligere efterspørgsel fra transportsektoren i de udvalgte år. Dette indebærer, at der anvendes en langsigtet marginal elpris og emissionsfaktor baseret på de anlægstyper, der forventes etableret til at forsyne dette forbrug. Med udsigt til udfasning af fossilt brændsel i energisektoren frem til 2050 forventes nye elproducerende anlæg stort set udelukkende at være baseret på vedvarende energi, især vind og biomasse. Det samme gælder for det nordiske elmarked, hvor Norge især bygger vandkraft og vindkraft, Sverige bygger vindkraft og biomasse samt opgraderer kernekraft, og Finland bygger kernekraft. Der anlægges endvidere en langsigtet national afgrænsning på elsektoren, således, at der på sigt antages at være national balance mellem forbrug og produktion, selvom der i enkelte eller flere år kan være nettoimport eller -eksport af el. Danmark antages således ikke permanent at være nettoimportør af el. Der anvendes en elpris baseret på VE-baseret elproduktion²⁹.

Den langsigtede marginale produktionskapacitet etableres ud fra følgende proces: Et øget elforbrug til f.eks. transport som følge af indfasning af et stigende antal elbiler udløser i første runde behov for øget elproduktion på eksisterende værker med mulighed for øget produktion, dvs. primært fossile værker. Den øgede efterspørgsel giver imidlertid på lidt længere sigt basis for etablering af ny elkapacitet til forsyning af efterspørgslen, og denne forventes i lyset af målsætningerne om udfasning af fossil energi at være baseret på VE, f.eks. en vindmøllepark. Der vil i tiden efter etableringen af den nye park være for stor produktion ift. elbilernes efterspørgsel, og produktionen på fossile anlæg i Danmark eller udlandet kan reduceres i denne periode. Den gradvist voksende efterspørgsel efter flere elbiler (og anden elforbrug) vil efter nogle år aftage mere produktion end fra den nye park, og der er udsigt til øget produktion på de fossile anlæg. Dette skaber grundlag for ny kapacitet som forudsættes at være ikke fossilt baseret. etc. Dette forløb er illustreret i nedenstående figur, hvor den røde linje indikerer produktionen af el på vindanlæg etableret til forsyning af forbruget i den forventede elbilpark. Over den blå linje overstiger elproduktionen fra vindparken efterspørgslen til elbilerne, således at fossilbaseret elproduktion fortrænges på andre danske eller udenlandske anlæg. Arealerne under den blå linje indikerer forbrug af fossil baseret el, fordi efterspørgslen overstiger parkens elproduktion.

Illustration af forbrug af fossil el til elbiler ved udbygning af bilparken over tid



²⁹ Store forskydninger i efterspørgslen efter el vil have en effekt på markedsprisen og omkostningerne. Disse aspekter kan have en betydning, men er ikke medtaget i AD analysen.

Over tid vil perioder med forbrug af fossil el til de kommende elbiler således modsvares af perioder med for stor produktionskapacitet på de anlæg, der etableres til forsyning af et øget elforbrug til f.eks. elbiler. Det konkrete forløb afhænger af den valgte eludbygningsstrategi, og kan omsættes til en langsigtet marginal emissionsfaktor og pris, baseret på den valgte udbygningsteknologi, i dette tilfælde vind. Et øget elforbrug til transport kan på kortere sigt imødekommes ved at udskyde skrotning af et fossilt anlæg eller ved at tage et anlæg ud af mølposen. Begge dele ville indebære en udskydelse af etableringen af et nyt VE-anlæg. Omfanget af sådanne udskydelse afhænger dels af sektorens udvikling, og dels af politiske beslutninger. Som grundlæggende forudsætning i AD-analysen antages elforbruget at stige i perioden frem mod 2050, også uden at transportsektoren får et større elforbrug. Den voksende efterspørgsel begrænser mulighederne for at udskydelse af etablering af nye anlæg. Endvidere antages udbygningen af nye anlæg i høj grad at blive påvirket gennem regulering og politiske beslutninger. Samlet set antages det således, at der sker en udbygning af VE-elkapaciteten i rimelig takt med transportsektorens øgede elforbrug. Der forudsættes på den baggrund en langsigtet marginal CO₂-emission der nærmer sig 0 g/kWh.