

Energistyrelsen

Supplerende alternative drivmidler analyser

Dokumentationsrapport

Juni 2010

COWI A/S

Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

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

Energistyrelsen

Supplerende alternative drivmidler analyser

Dokumentationsrapport

Juni 2010

Dokumentnr. 1
Version 3
Udgivelsesdato 30-06-10

Udarbejdet MPN, MHO, HDU
Kontrolleret MPN
Godkendt HDU

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	2
1.1	Baggrund	2
1.2	Formål	2
1.3	Indhold	3
2	Tilgang og metode	4
2.1	Delopgaver og output	4
2.2	Overordnet tilgang	5
2.3	Centrale ændringer	5
3	Ny regnearksstruktur og beregningsgang	8
3.1	Grundlaget for en ny beregningsmodel	8
3.2	Regnearkets opbygning	9
4	Opdaterede basisforudsætninger	14
4.1	Ændringer i basisforudsætninger	14
4.2	Konsekvenser af ændrede forudsætninger	17
5	Revurdering af biogas	19
5.1	Bio-forgasning af gylle	19
5.2	Drivhusgasser	20
5.3	Resultatet for biogas anvendt i standardbilen	21
6	Vurdering af teknologierne	23
6.1	Resultater for de oprindelige teknologispor	23
6.2	Resultater for de nye teknologispor	27
6.3	Sammenfatning og perspektivering	30
7	Litteratur	32

1 Indledning

Denne rapport dokumenterer sammen med det tilhørende beregningsværktøj "AD model 2010.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.

1.1 Baggrund

COWI afsluttede i 2008 projektet "*Alternative drivmidler til transportsektoren*" for Energistyrelsen. Det overordnede formål med projektet var at tilvejebringe et grundlag for at kunne vurdere hvilke alternative drivmidler til transport, der synes at have de største *teknologiske* og *økonomiske* potentialer på langt sigt. Der blev i forbindelse med projektet udviklet et regneark, som præsenterer de indsamlede data og som anvendes til beregninger af økonomi, energieffektivitet og miljøbelastning for de forskellige teknologi-spor.

I foråret 2008 gennemførte COWI supplerende aktiviteter i relation til det oprindelige Alternative drivmidler projekt til brug for et tværministerielt udredningsarbejde om transportsektorens CO₂ udledninger. De hidtidige beregninger om CO₂ udledninger og samfundsøkonomi for alternative drivmidler blev således suppleret med nye udvalgte alternative drivmiddelteknologier og et udvalg af tungere køretøjer.

I forbindelse med arbejdet med disse supplerende aktiviteter blev der identificeret en række muligheder for at forbedre grundlaget for analyserne. Energistyrelsen har derfor anmodet COWI om at opdatere og gennemføre supplerende alternative drivmidler analyser.

1.2 Formål

Det overordnede formål er at styrke og forbedre analysegrundlaget gennem målrettet opdatering af udvalgte basis-data samt at forbedre beregninger og forudsætninger om omkostninger og energiforbrug for drivmiddelteknologierne.

Beregningsmodellen revideres med henblik på at øge brugervenlighed og muligheden for at inddrage nye drivmidler og køretøjer, samtidig med centrale forudsætninger fortsat er dokumenteret i modellen. Der er endvidere gennem-

ført en opdatering af centrale basis forudsætninger. Endelig er gennemført en revurdering af de anvendte input og forudsætninger omkring biogasproduktion. Som en ekstra følsomhed er medtaget en supplerende beregning af 2. generations bio-etanol, udelukkende baseret på data leveret af Novozymes. Denne beregning har ikke været underkastet kvalitetssikring som de øvrige beregninger og er derfor ikke umiddelbart sammenlignelig med andre spor i beregningsmodellen.

1.3 Indhold

Rapporten indledes i kapitel 2 med en kort beskrivelse af den anvendte tilgang og metode og der redegøres for centrale ændringer i forhold til det oprindelige regneark.

I kapitel 3 beskrives den ny regnearksstruktur og beregningsgang.

I kapitel 4 redegøres der for de centrale opdateringer af basisforudsætninger og øvrige forudsætninger.

I kapitel 5 beskrives resultatet af en analyse af biogasproduktion baseret på gylle. Denne analyse er omsat til et teknologielement som indgår i de opdaterede alternative drivmidler beregninger.

I kapital 6 præsenteres de indsamlede data og resultater af beregninger med vægt på beskrivelse af ændringer i forhold til den oprindelige version. Endelig giver der en samlet vurdering af teknologi-sporene.

Kapital 7 indeholder en litteraturfortegnelse over de anvendte supplerende datakilder.

2 Tilgang og metode

I dette afsnit beskrives den anvendte tilgang og metode i forhold til opdateringen og gennemførelsen af de supplerende alternative drivmidler analyser og der redegøres for centrale ændringer i forhold til den oprindelige analyse og regneark. Der henvises til den oprindelige dokumentation¹ for nærmere beskrivelse af den anvendte metode og centrale og specifikke forudsætninger i forhold til drivmiddelberegningerne. Her findes således beskrivelse af den anvendte tilgang for systemberegningerne for de udvalgte teknologi-spor samt en beskrivelse af de anvendte datakilder.

2.1 Delopgaver og output

Dette projekt har overordnet haft til formål at forbedre det eksisterende datagrundlag samt supplere med yderligere data og information. Projekt har bestået af 3 delopgaver:

- 1 Revision af analysemodel til beregning og præsentation af tekniske og økonomiske karakteristika for forskellige teknologispør
- 2 Opdatering af udvalgte basisforudsætninger
- 3 Re-vurdering af de tekniske og økonomiske forudsætninger og beregninger ved biogas-produktion

De tre delopgaver giver tilsammen følgende udbytte:

- En ny beregningsmodel som øger brugervenligheden og gør det nemmere at inddrage nye drivmidler og køretøjer.
- Resultater for en række nye teknologispør, hvilket primært drejer sig om resultater hvor drivmidlerne er anvendt i andre køretøjer end standard-bilen fra det oprindelige projekt.
- Resultaterne for de oprindelige teknologispør opdateres i forhold til udviklingen i centrale forudsætninger som bl.a. emissionsfaktorer, brændselspriser og samfundsøkonomiske forudsætninger (diskonteringsfaktor mm.)
- Nyt teknologispør med biogas produceret på gylle anvendt i standardbilen fra det oprindelige projekt.

¹ Energistyrelsen, 2007: *Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren*, COWI for Energistyrelsen.

2.2 Overordnet tilgang

Projektets overordnede tilgang ligger i direkte forlængelse af tilgangen som blev anvendt i det oprindelige Alternative drivmidler projekt.

Det betyder at et *alternativ drivmiddel til transport*, beskrives ud fra et *teknologi-spor*, som består af en række *teknologi-elementer*, der giver en samlet løsning fra energiproduktion til slutanvendelse i et transportmiddel². Der er således tilvejebragt et overblik over de udvalgte alternative drivmidler til transport ud fra *struktureret og systematisk* tilgang, hvor økonomi, teknik/energiforbrug og miljøbelastning er afdækket enkeltvis for hvert teknologi-element. Der anvendes en partiel beregningsmetode, hvor hvert af de alternative drivmidler vurderes for sig efter ensartede principper med henblik på at muliggøre sammenligning mellem de alternative drivmidler. Der foretages derimod ikke en analyse af om der er andre, og eventuelt bedre, anvendelser af ressourcerne i stedet for at bruge dem til drivmidler i transportsektoren, f.eks. vurderes anvendelsen af biogas i transportsektoren ikke i over for at anvende biogassen i energisektoren, selv om dette kunne være fordelagtigt. Tilsvarende vurderes anvendelsen af halm til 2. generations bio-etanol ikke over for at anvende halm som brændsel i energisektoren.

Sigtet har været at integrere den nye information som tilvejebringes i en revideret struktur under hensyntagen til den oprindelige systematik.

2.3 Centrale ændringer

I forhold til det oprindelige projekt og det tilhørende regneark er det sket enkelte centrale ændringer.

Ny regnearksstruktur	Den mest markante ændring er at beregningsmodellen er opbygget i en ny regnearksstruktur. Der er redegjort nærmere for strukturen i afsnit 3 nedenfor.
Ny resultatenhed	En anden central ændringer er resultaterne nu præsenteres <i>pr. km</i> og ikke længere <i>pr. GJ mek</i> som i det oprindelige projekt. Denne ændring skal se i lyset af at resultaterne udtrykt <i>pr km</i> er nemmere at forholde sig til.

² Et teknologi-element en teknologi til konvertering af energi fra en form til en anden, eller overførsel/akkumulering af energi. Et teknologispor består af et eller flere teknologielementer, der samlet fører fra en energi-råvare til et slutforbrug i en energitjeneste.

Tabel 1 Omregningsfaktorer fra mekanisk energiforbrug til energiforbrug pr. km for de oprindelige teknologispor

Spor	MJ mek/km
Konventionel diesel	0,3639
Konventionel benzin	0,3576
Bioethanol (1. gen.)	0,3576
Bioethanol (2. gen.)	0,3576
Bio diesel (RME)	0,3639
Bio-olie	0,3639
Naturgas	0,3781
Methanol fra biomas.	0,3300
Brint	0,4180
Elbiler	0,3792
Diesel fra kul	0,3639
Diesel fra biomasse	0,3639

Kun én virkningsgrad I det oprindelige projekt blev der beregnet tre forskellige virkningsgrader, hhv. en outputs ift. inputs, en systemvirkningsgrad og output mek ift. inputs. I det nye regneark beregnes er det kun den samlede systemvirkningsgrad som udtrykker produktet af virkningsgraderne i alle led som beregnes. Årsagen hertil skal findes i at det vurderes at systemvirkningsgraden repræsenterer det bedste billede af teknologisporenes samlede virkningsgrad.

Prisniveau I den oprindelige analyse blev alle priser udtrykt i faste 2005 priser. I denne analyse har det været nødvendigt at fastholde dette som udgangspunkt, idet alle de forskellige teknologiers (teknologi-ark) omkostninger er udtrykt i dette niveau.

De centrale forudsætninger som er opdateret inkluderer imidlertid også beregningspriser. Disse priser er opdateret til det seneste tilgængelige år, men er så tilbageskrevet til 2005 prisniveau med prisindekset for at opnå konsistens i forhold til de øvrige priser.

Beregningsår Der er som hidtil gennemført beregninger og vurderinger for dagens situation og en fremtidig situation. Disse er repræsenteret ved årene "2006" og "2025". Data for "2006" er estimeret med henblik på at afspejle det nutidige teknologiske stadie samt økonomiske forhold. Data for "2025" er estimeret med henblik på at afspejle den forventede fremtidige situation på langt sigt. Det er naturligvis forbundet med stor usikkerhed at vurdere den fremtidige udvikling, og "2025" skal derfor ikke tolkes som et fast årstal, men alene som et mål for den forventede fremtidige situation på langt sigt.

Efter denne opdatering gælder det, at data om teknologier stammer fra de oprindelige vurderinger, mens data for biogas samt data om priser mm. er opdateret på basis af den seneste tilgængelige viden (jf. afsnit 4).

3 Ny regnearksstruktur og beregningsgang

I dette afsnit beskrives den ny regnearksstruktur og beregningsgang.

3.1 Grundlaget for en ny beregningsmodel

Den ny beregningsstruktur er fastlagt på basis af to forskellige beregningsmodeller.

Det første er fra det oprindelige Alternative drivmidler projekt hvor der blev udviklet et regneark med de økonomiske, tekniske og miljømæssige beregninger for de udvalgte teknologi-spor. Regnearket består af en række selvstændige ark som udover en oversigt og en vejledning (indhold) indeholder data for hvert af teknologi-elementerne, systemberegninger for teknologisporene og en samlet præsentation af resultaterne. Regnearket indeholder bl.a. en oversigt, som viser de enkelte elementer som indgår i hvert teknologi-spor. Ud fra oversigten kan man for hvert teknologi-spor se hvilke teknologi-elementer der indgår, ligesom det er muligt at manøvrere rundt i regnearket.

Der blev lagt vægt på at opbygge regnearket så logisk og overskueligt som muligt i forhold til dels at dokumentere resultater og forudsætninger, og dels i forhold til at kunne dokumentere de anvendte data for teknologi-elementerne. Der er udførligt dokumentation af anvendte kilder for data. Der blev til gengæld lagt mindre vægt på at gøre systemberegningerne "regnearks-teknisk" enkle at gennemføre eller udvide med flere teknologi-spor.

Den anden beregningsmodel stammer fra et efterfølgende projekt (som havde et formål i forhold til at opgøre CO₂-potentialer) fra foråret 2008, hvor beregningerne i det oprindelige ark blev omlagt til en ny struktur og der blev anvendt en revideret beregningssystematik. Der blev således udviklet et helt nyt regneark med beregningerne.

Helt grundlæggende er der tale om den samme beregningsmæssige tilgang men den regnearksmæssige behandling af data er ny. Omlægningen skal ses i lyset af, at det blev vurderet at dette var en hurtigere og mere effektiv måde at gennemføre projektet på. Sigtet med projektet var nemlig langt mere fokuseret, idet det alene bestod i at tilvejebringe beregning af CO₂ reduktionspotentialet udtrykt i gram pr. km samt de samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til reference-alternativet (konventionelle benzin og diesel køretøjer). Teknologielementerne isoleret set var ikke længere i fokus, ligesom systemvirkningsgra-

derne ikke blev beregnet. Sidst men ikke mindst skulle beregningerne ikke udleveres som en del af den samlede dokumentation.

Den anden beregningsmodel er i al væsentlighed baseret på AD projektets data. Disse er overført uden også at overføre kilde-angivelserne. Det nye ark indeholder således en mindre grad af dokumentation af forudsætningerne end det oprindelige ark. Det skal tilføjes, at det nye ark opgør omkostningerne i kr./km og i øvrigt beregner alt i markedspriser og ikke i faktorpriser som i det oprindelige ark.

De to oprindelige beregningsark har hver deres styrker og svagheder. På baggrund af en dialog med Energistyrelsen blev det besluttet at lave en ny beregningsmodel som kombinerer styrkerne fra de to modeller. Dette skal se i lyset af at der er et behov for dels at kunne genfinde detaljeret dokumentation af kilder samt at se teknologierne præsenteret selvstændigt, dels at der er et behov for at beregningerne suppleres med de nye drivmidler og de nye køretøjer samt at resultaterne bliver udtrykt som i den nye model.

3.2 Regnearkets opbygning

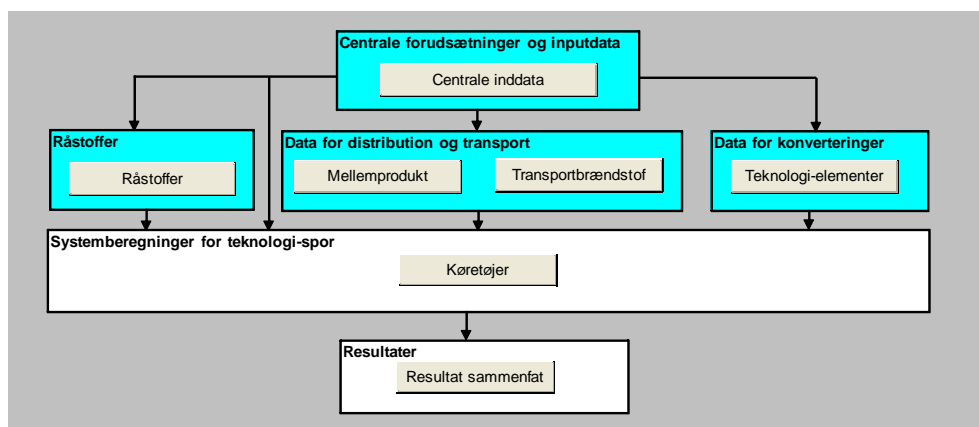
Det nye regneark består ligesom det tidligere regneark af en række selvstændige ark som udover en oversigt og en vejledning (indhold) indeholder data for teknologi-elementerne, systemberegninger for teknologisporene og en samlet præsentation af resultaterne.

Regnearket er udarbejdet så det i høj grad er selvdokumenterende. Der er fortsat lagt vægt på at modellen er bruger-venlig så den egner sig til offentliggørelse som den oprindelige model. Nedenfor gives en kort forklaring af hvordan regnearket er struktureret. Der henvises herudover til regnearket, som indeholder information om indhold og betjening.

Struktur

Regnearket er opbygget med en struktur som lægger vægt på overskuelighed og samtidig gør det muligt relativt enkelt at opdatere modellen og evt. supplerede med yderligere beregninger (spor). Der er benyttet selvstændige ark til introduktion, oversigt, centrale forudsætninger, data for teknologi-elementerne, systemberegninger for teknologi-spor samt sammenstilling af resultaterne. Figuren nedenfor illustrerer regnearkets overordnede opbygning.

Figur 1 Regnearkets overordnede opbygning



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

Alle data der indgår som baggrundsdata i beregningerne i modellen er farvet blå og til hver kategori af data er der knyttet en forklarende tekst som henviser til kilde mv. Alle beregninger og resultater er sorte, mens grønne tal indikerer at tallene er linkede til centrale input-parametre eller resultater fra andre steder i regnearket. På arket "Resultat sammenfat" præsenteres en sammenstilling af resultaterne af systemberegningerne for teknologi-sporene.

Den primære forskel i forhold til den oprindelige model består i at systemberegningerne nu foregår på blot ét ark mod tidligere et ark for hvert spor. Modellen er således fortsat opbygget med data-ark for de enkelte teknologier for dokumentation og overblik samtidig med at den noget enklere sammenregning fra den nye model er bevaret.

Nedenfor præsenteres 2 billeder fra modellen, der illustrerer hvordan de to tidligere modeller knyttes sammen. De enkelte teknologispør præsenteres i den veldokumenterede form fra den oprindelige model - dog i tilpasset og mere overskuelig form (jf. Figur 2). Beregningsresultater og sammenligning af teknologier (drivmidler og køretøjer) foregår i den ny samlet struktur på et ark i modellen (jf. Figur 3).

Figur 2 Eksempel på et teknologi-element

RME		Oversigt	Print dette ark	
Beskrivelse				
Kort teknologi-beskrivelse:				
<p>Biodiesel fremstilles typisk af rapsfrø, men nye metoder gør det også muligt at anvende mange andre råvarer som f.eks. slagteraffald i form af fedt. Når biodiesel fremstilles af Rapsfrø benævnes det RME (Raps Methyl Esther). Biodiesel forkortes nogle gange FAME (Fatty Acid Methyl Ester). Ved produktion af biodiesel gennemgår olien en raffineringsproces, hvor glycerinen fjernes fra olien. Hermed bliver olien til en metylester, der kan bruges som brændstof i almindelige dieselmotorer - enten rent eller iblandet almindelig dieselolie.</p>				
Input: <input type="text" value="Rapsfrø"/>				
Output:				
RME (Biodiesel)				
Fordel:				
Biodiesel er direkte anvendelig i de fleste moderne dieselmotorer.				
Ulempe:				
Landbrugsafgrøder til fremstilling af flydende biobrændstoffer medfører umiddelbart de samme miljøpåvirkninger som landbrugsafgrøder anvendt til fødevarerformål, f.eks. lokale/regionale miljøbelastninger i form af udvaskning af næringsstoffer samt nedsvining af pesticider. Endvidere vil en intensiv dyrkning påvirke biodiversiteten og naturområder, f.eks. hvis braklagte arealer tages i anvendelse.				
Eksempler på Best Available Technology:				
Fakta-ark				
	Enhed	2006	2025 Ref	Note
Tekniske data				
Udbytte	t RME/t rapsfrø	0,35	0,35	
Energiindhold	GJ/t RME	37,5	37,5	
Kapacitet	t RME/år	100.000	100.000	11 Anlæg som Emmelev A/S
Levetid, investering	år	20	20	11
Outputs (bi-produkter)				
Bi-produkt 1: Rapskage	t/t rapsfrø	0,63	0,63	11
Bi-produkt 2: Glycerin	t/t rapsfrø	0,05	0,05	11
Bi-produkt 3:	t/t rapsfrø			
Bi-produkt 4:	t/t rapsfrø			
Bi-produkt 5: Andet	t/t rapsfrø	0,02	0,02	11
Energi				
Energiindhold - raps input	GJ/t rapsfrø	26,5	26,5	
Energiindhold - øvrige input	GJ/t rapsfrø	1,73	1,7	11 Egne beregning på baggrund af oplysninger om input/output og energiindhold i disse
Energiindhold - biprodukter	GJ/t rapsfrø	13,11	13,1	11
RME	GJ/t rapsfrø	13,2	13,2	
Netto energiforbrug	GJ/t rapsfrø	1,89	1,89	
Samlet virkningsgrad (output GJ/input GJ)		93%	93%	
Økonomi data				
Investering, anlæg	DKK	283.690.581	283.690.581	11 Omregnet til 2006-priser, Lavt/højt sat som +/- 20%
Samlede omkostninger	DKK/GJ RME	96,1562	96,3	
heraf investeringer	DKK/GJ RME	6,6	6,6	
heraf drift, faste	DKK/GJ RME	0	0	11
heraf primær energikilde	DKK/GJ RME	136,16	136,16	
heraf drift, øvrige variable*	DKK/GJ RME	29,4773	29,6	
heraf indtægter, bi-produkter	DKK/GJ RME	-76,1	-76,1	
Miljø data				
CO2	kg/GJ rapsfrø	5,87438	5,40183	11
CH4	kg/GJ rapsfrø	0,00091	0,00092	11
N2O	kg/GJ rapsfrø	0,00018	0,00016	11
SO2	kg/GJ rapsfrø	0,00267	0,00099	11
Nox	kg/GJ rapsfrø	0,00823	0,00539	11
Partikler	kg/GJ rapsfrø	0,00000	0,00000	11

* varierer med valg af elpris med eller uden kvote

Figur 3 Udsnit af systemberegningens ark

Køretøjer		2006											
Alle priser i faktorpriser hvor relevant (dvs. ekskl. afgifte og ekstermaliteter)													
Motor teknologier		Standard AD personbiler											
Spør-koder	Konv. diesel	Konv. benzin	E85-1g	E85-2g	RME	Bioolie	B-Naturgas	B-MeOH	B-Brint	Ebil	B-syndiesel	DME	AD
Råstof	råolie	råolie	hvede	hvede	rapspfrø	rapspfrø	naturgas	træ	int-elektrichide	elektrik	kul	træ	
Mellemprodukt - trans dist							Naturgas komprim	gas til kat	et) til elektrisk	til lade	gas til kat	gas til kat	
TransDist	Diesel	Benzin	I. g. ethanol	E85	ethanol	RME	Bio-olie	rgas raffine	MeOH	Brint	E i batteri	Diesel	DME
Primært drivmiddel	Diesel	Benzin	I. g. ethanol	E85	ethanol	RME	Bio-olie	rgas raffine	MeOH	Brint	E	Syndiesel	DME
Sekundært drivmiddel		Benzin	Benzin										
Konvertering af råstof	Diesel	Benzin	I. g. ethanol	E85	ethanol	RME	Bio-olie	rgas raffinemisk	for gas bio			Termisk	for gasisk
Konvertering af mellemprodukt								Naturgas komprim	H via katalyse	og komp.	adestation	H via kataly	via katalys
Mellemprodukt primært drivmiddel								Naturgas komprim	H via katalyse	og komp.	adestation	H via katalysator	
Mellemprodukt sekundært drivmiddel													
Motor primært drivmiddel		Std diesel	mo benzin	moanol benzin	moool benzin	r diesel	moeret	diesesset	Otto	miscelle,	mei	Elmotor	J diesel
Motor sekundært drivmiddel													
Primært drivmiddel (fossil, ej fossil)	Fossil	Fossil	Fossil	Fossil	Ej fossil	Ej fossil	Fossil	Ej fossil	Fossil	Fossil	Fossil	Fossil	Ej fossil
Sekundært drivmiddel (fossil, ej fossil)			Fossil	Fossil									
Primært drivmiddel (energiforbrug)	100%	100%	79%	79%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Sekundært drivmiddel (energiforbrug)			21%	21%									
Kørselsomkostninger													
AD SØK kørselsomkostninger	DKK / km	1,0893	1,0834	1,1974	0,9562	1,1392	1,1929	1,0994	6,6914	6,6961	1,5266	1,1290	1,3913
Ekstermaliteter	DKK / km	0,04	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,02	0,05	0,03
Totale kørselsomkostninger	DKK / km	1,05	1,05	1,17	0,96	1,11	1,16	1,07	6,68	6,65	1,51	1,08	1,36
Brændstof	DKK / km	0,16	0,22	0,34	0,12	0,22	0,20	0,13	0,21	0,18	0,07	0,19	0,34
Reparationer, slid	DKK / km	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,89	0,35	0,35
Afskrivninger	DKK / km	0,54	0,48	0,48	0,48	0,54	0,62	0,60	6,12	6,12	0,55	0,54	0,67
Brændstof													
Brændstofpris i alt	DKK / GJd	92,20	98,86	151,48	55,01	126,26	114,23	53,42	189,34	161,49	136,65	109,83	194,26
primært brændstof	DKK / GJd	92,20	98,86	165,77	43,10	126,26	114,23	53,42	189,34	161,49	136,65	109,83	194,26
Sekundært brændstof	DKK / GJd	0,00	0,00	98,86	98,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Konvertering af råstof - primært brændstof													
Totale omkostninger	DKK / GJd	64,250	68,362	122,674	0,000	96,156	86,729	42,400	69,563	160,000	202,000	41,356	69,563
- levering an mellemprodukt	DKK / GJd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	0,00	160,000	202,000	0,00	0,00
- råvare	DKK / GJd	119,68	158,47	131,09	0,00	136,16	131,48	36,00	39,72	0,00	0,00	16,69	39,72
- øvrige variable	DKK / GJd	0,00	0,00	3,28	0,00	29,48	9,14	0,00	3,33	0,00	0,00	3,86	3,33
- øvrige faste	DKK / GJd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	5,00
- biprodukt indtægter	DKK / GJd	-78,13	-120,28	-24,47	0,00	-76,07	-58,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- afskrivninger	DKK / GJd	22,69	30,17	12,78	0,00	6,59	4,24	0,00	21,51	0,00	0,00	15,80	21,51
Udbytte	Mellemprodukt/ input	0,43	0,32	0,30	0,00	0,35	0,37	1,00	3,00	0,00	0,00	2,20	3,00
Energindhold	GJ/lighed mellemprodukt	42,70	43,80	26,70	0,00	37,51	37,00	39,60	5,00	0,00	0,00	10,00	5,00

På systemberegningens ark beregnes både økonomi, virkningsgrad og miljø. Beregning af systemvirkningsgrader og miljø er opbygget fra bunden, da dette ikke var en del af den tilpassede model. Der beregnes alene den samlede systemvirkningsgrad som udtrykker produktet af virkningsgraderne i alle led som beregnes.

Alle resultater er nu i kr./km (og g CO2/km) i stedet for som tidligere i kr./GJ mek (og g CO2/GJ mek).

Nye teknologi-elementer og spor

I forbindelse med opbygningen af den alternative beregningsmodel i 2008 til brug for opgørelse af CO₂-potentialer blev der indsamlet data til brug for beregning af nye teknologi-spor. Dette omfattede udvalgte nye alternative drivmiddelteknologier og et udvalg af andre (tungere) køretøjer.

En række af de nye spor er integreret i den nye model. Det bør bemærkes, at de indsamlede forudsætninger for disse spor er mindre konsoliderede og således har en anden kvalitet end de 12 oprindelige spor. Dette skyldes bl.a. af forudsætningerne for disse spor ikke har gennemgået den samme høringsproces som de oprindelige.

De nye teknologispor omfatter følgende:

- Biogas (personbil)
- Ny 2. G bioethanol, E85 (personbil) [nye oplysninger fra Novozymes]
- Bio-ethanol E100 (personbil)
- Standard Lastbil/bus
- Lastbil - RME
- Lastbil - DME
- Lastbil - Naturgas
- Lastbil - Biogas
- Elbus

4 Opdaterede basisforudsætninger

Siden den oprindelige Alternative Drivmidler analyse har en række af de centrale basisforudsætninger og data der anvendes til beregning af de samfundsøkonomiske omkostninger og af emissionerne anvendes på tværs af de forskellige drivmiddel-spor ændret sig. Der er derfor behov for en opdatering af disse forudsætninger. De data som er opdateret omfatter dels en række generelle økonomiske og emissionsmæssige forudsætninger, dels forudsætninger om priserne på brændsler, energi råvarer og el. De reviderede data er baseret på Energistyrelsen forudsætninger for SØK analyser, april 2010, samt DLG's børsnoteringer for hvede og raps.

I afsnittene nedenfor præsenteres de væsentligste opdateringen af disse forudsætninger, hvorefter effekterne på beregningsresultaterne præsenteres.

4.1 Ændringer i basisforudsætninger

4.1.1 Generelle forudsætninger

Basisforudsætningerne for de samfundsøkonomiske beregninger er helt overvejende baseret på Energistyrelsens seneste beregningsforudsætninger³. Værdien af de emissioner der ikke primært betragtes som klimagasser er fortsat baseret på de seneste transportøkonomiske enhedspriser idet disse tal primært relaterer sig til transportsektoren.

I nedenstående tabel er ændringerne i en række generelle økonomiske og emissionsmæssige forudsætninger angivet.

³ Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. Energistyrelsen, maj 2009.

Tabel 2 Ændringer i basis data i Alternative Drivmidler 2010 (2005 priser)

	Oprindelig AD	2010 Opdatering	Kommentarer
Kalkulationsrente	6%	5%	
Prisudvikling	Fra 2012: 2,13%	2012: 2,56% og varierende i de kommende år mellem 2,1 og 3,12%	Generelt højere prisstigninger forventet
Emissionsfaktorer el CO ₂ /kWh (kg/MWh) Øvrige emissioner: (g/MWh) N ₂ O: NO _x SO ₂ Emissioner fra øvrig energiforbrug	2006 2025 600 493,33 27 24,3 1220 579 602 224	2010 2025 862 828 7,6 7,6 729 551 573 216	Bestemt som emission ved den forventede marginale danske kondensdrift, beregnet an forbruger Væsentlige fald især i 2010 ift.2006 samt for N ₂ O også ift. 2025. Mindre ændringer, dog ca. fordobling af CO ₂ emission fra affald
Enhedsomkostninger for emissioner CO ₂ SO ₂ NO _x Partikler	kr/t 2006 samt 2025: 150,00 Kr/kg 39,32 13,25 782,05	kr/t (2205 priser) 2010: 113,38 2025: 256,98 Kr/kg 59,48 20,36 1186,11	Både CO ₂ og øvrige er forhøjet med nettoafgiftsfaktoren CO ₂ : Lavere pris i 2010 men væsentlig højere i 2025. Øvrige: Generelt højere i 2010 end 2006

4.1.2 Priser på energi og energi råstoffer

Forudsætningerne om priser for olie, naturgas, kul, halm, træ og blandings-el stammer fra Energistyrelsen samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger april 2010.

Priser for fødevare-afgrøder (hvede og raps) baseres på danske noteringer. Der har været store prisstigninger på hvede og raps i 2007 og 2008 som følge af en kombination af øget efterspørgsel og dårlig høst, efterfulgt af faldende priser i 2009. Der anvendes de nyest tilgængelige priser. Prisen sammensættes af et transportelement og en råvarepris.

Hvede og rapspriser:

Priserne for hvede og raps er baseret på de danske børsnoteeringer⁴.

⁴ <http://www.dlg.dk/Afgroeder/Noteringer/Boersnotering.htm>

Hvede: Priserne har i de sidste måneder af 2009 og i starten af 2010 ligget i intervallet 95-101 kr/100 kg, men primært omkring 100 kr/100kg. Der anvendes på den baggrund en pris på 1000 kr/ton plus transporttillæg

Raps: Priserne har siden september ligget mellem 195 og 217 kr/100kg. Dette minder om priserne i perioden 2006-medio 2007, hvorefter priserne steg til 280 i oktober 2007. Siden december 2008 har priserne ligget på et niveau på 195-240, gradvist stabiliserende sig omkring 200-220 kr/100 kg. Der anvendes en pris på 2100 kr/t plus transport.

Transportomkostninger:

Energistyrelsen (april 2010) angiver transportomkostningerne for halm til 8,3 kr/GJ og til træpiller til 8,4 kr/GJ. Dette svarer til 116,2 kr/ton for halm og 151,2 kr/ton for træpiller. Her anvendes samme transport omkostning for hvede og raps som for træpiller, altså 150 kr/ton.

I nedenstående tabel er de oprindelige og de reviderede priser på energiråstoffer og el præsenteret.

Tabel 3 Priser på energi råstoffer og el (2005 priser)

	Oprindelig AD	Nye i 2010 (2005 priser):	Kommentarer
Hvede kr/t.	1050	2010: 1044,52 2025: 1253,43	Mindre prisfald i 2005 priser ift. 2006, moderat stigning i 2025. 2010 beregnet på baggrund af DLG data om korn notering, for 2025 er antaget samme vækst i priser som for halm, nemlig 20% (Energistyrelsen april 2010)
Raps (kr/t)	1800	2010: 2034,89 2025: 2441,88	Som for hvede
Halm (kr/GJ)	33,8	2010: 34,9 2025: 41,7	Moderat stigning for halm og træ
Træ (kr/GJ)	33,10	2010: 41,16 2025: 49,65	
Olie (kr/GJ)	51,40	2010: 63,44 2025: 97,66	Væsentlig stigning for fossile brændsler
Naturgas (kr/GJ)	36	2010: 44,67 2025: 74,57	
Kul (kr/GJ)	2005: 14,60 2010: 14,40	2010: 20,21 2025: 23,07	
Blandings-el inkl kvote (kr/MWh)	2005: 305 2025: 412	2010: 294 2025: 451	Væsentlig stigning i elprisen gennem perioden som følge af stigende brændselspriser

4.2 Konsekvenser af ændrede forudsætninger

Konsekvenserne af de ændrede basisforudsætninger og prisforudsætninger er beregnet med henblik på at vurdere effekterne af de væsentligste ændringer af forudsætningerne. Dette er belyst ved at indfase de væsentligste ændringer i forudsætningerne enkeltvis og beregne de ændringer af de samfundsøkonomiske omkostninger og emissioner for hvert drivmiddelspor som den pågældende ændring i forudsætningerne giver anledning til.

De væsentligste ændringer i forudsætningerne vedrører følgende:

- 1 Ændring af kalkulationsrenten
- 2 Ændring af brændsels, råvare og elpriser
- 3 Ændring af emissionsfaktorer og enhedsomkostninger for emissioner

Ændringerne har primært indvirket på de beregnede samfundsøkonomiske omkostninger. I nedenstående tabeller er resultaterne fra en gradvise indfasning af ændringer beskrevet. Ændringernes *isolerede* indvirkning på økonomi, virkningsgrad og CO₂-emissioner er forklaret og til sidst gives en forklaring af den samlede konsekvens af alle tre ændringer.

Table 4 Konsekvenser for resultater af de ændrede forudsætninger (år 2006)

	Økonomi	Virkningsgrad	CO ₂ -emissioner
1. Ændring af kalkulationsrenten	Netto-omkostningerne reduceres, hvilket skyldes at kapitalomkostningerne falder når renten ændres fra 6% til 5%. Reduktionen er størst for de spor med høje investeringer - f.eks. "Methanol fra biomasse" og Brint.	Ingen ændringer	Stort set uændrede. Dog marginale reduktioner, hvilket skyldes at de relative værdier af hovedprodukter og bi-produkter ændrer sig marginalt, hvilket påvirker "værdifordelingen" af emissioner.
2. Ændring af brændsels, råvare og elpriser	Råvarerpriserne er generelt steget en anelse ved denne opdatering, hvilket medfører at prisen pr. km er steget (brændstofomkostningerne er steget). Elpriserne forventes at ligeledes at stige en anelse, men da distributionsomkostninger tidligere var medregnet dobbelt ser et mindre fald i elprisen, og dermed i brændstofudgifterne til brint og elbil. Samlet set er ændringen for alle spor mindre end 3%.	Ingen ændringer	Kun små ændringer. Igen som følge af ændringer i de relative værdier af hovedprodukter og bi-produkter, hvilket påvirker "værdifordelingen" af emissioner.
3. Ændring af emissionsfaktorer og enhedsomkostninger for emissioner	De forventes nu højere udledning af CO ₂ , mens de øvrige emissionsfaktorer generelt er opdateret med lavere værdier, særligt for udledningen af N ₂ O, NO _x og SO ₂ ved elproduktion. Samtidig er værdien af CO ₂ faldet.	Ingen ændringer	CO ₂ -emissionsfaktoren ved elproduktion er nu højere, hvilket relativt set øger CO ₂ udledningen fra de el-intensive spor som Brint og Elbiler og i mindre grad "Methanol fra Biomasse" samt "Diesel fra Kul". Udledningen fra diesel og benzin er uændret.

	Økonomi	Virkningsgrad	CO ₂ -emissioner
	<p>Det samme gælder prisen på øvrige drivhusgasser, mens prisen er steget for SO₂, NO_x og partikler.</p> <p>Disse ændringer giver anledning til et meget blandet billede, hvor den samfundsøkonomiske pris er steget for nogle spor og faldet for andre. Samlet er der dog tale om meget små ændringer.</p>		
Samlet konsekvens	Samlet set reduceres de samfundsøkonomiske omkostninger for alle spor. Reduktionen er relativt set størst for Naturgas, "Methanol fra biomas", Brint og Elbiler og mindst for konventionel diesel, benzin, RME og bio-olie.	Ingen ændringer	Samlet set øges CO ₂ -emissionerne generelt for alle spor. Dette skyldes alene at der nu anvendes en højere CO ₂ -emissionsfaktor ved elproduktion. CO ₂ udledningen øges mest fra fra de el-intensive spor som Brint og Elbiler.

Table 5 Konsekvenser for resultater af de ændrede forudsætninger (år 2025)

	Økonomi	Virkningsgrad	CO ₂ -emissioner
1. Ændring af kalkulationsrenten	Som ovenfor.	Ingen ændringer	Som ovenfor.
2. Ændring af brændsels, råvare og elpriser	Prisen på råolie samt de øvrige råstoffer er justeret kraftigt i opadgående retning. Dette resulterer i kraftige stigninger på brændselsomkostningerne. Stigningen er størst for fossile spor som konventionel diesel og benzin og mindst for sporene baseret på biomasse. Det samme billede ses i stigningen mål på de samlede samfundsøkonomiske priser.	Ingen ændringer	Som ovenfor. Dog er ændringerne lidt større som følge af de større ændringer i råstofpriserne.
3. Ændring af emissionsfaktorer og enhedsomkostninger for emissioner	Som ovenfor. Da prisen på CO ₂ forventes at stige kraftigt ses dog generelt en stigning på værdien af emissioner for alle spor.	Ingen ændringer	Som ovenfor.
Samlet konsekvens	Samlet set stiger de samfundsøkonomiske omkostninger for stort set alle spor - dog med undtagelse af elbiler og "Methanol fra biomasse". Stigningen er relativt set størst for konventionel diesel og benzin og mindst for Brint, diesel fra kul og diesel fra biomasse.	Ingen ændringer	Som ovenfor.

5 Revurdering af biogas

I forbindelse med opdateringen i foråret 2008 blev biogas inkluderet som drivmiddel og der blev beregnet teknologispør med brug af biogas i køretøjer.

Forudsætninger og beregninger af biogasproduktionen blev baseret på W-t-W's data for biogas fra *tør* gødning. Efterfølgende er der bl.a. fra DONG side blevet gjort opmærksom på at *våd* gødning er en langt mere realistisk og attraktiv option i en dansk sammenhæng. Der er derfor gennemført en supplerende analyse af dette, som er dokumenteret nedenfor.

5.1 Bio-forgasning af gylle

Biogas produceres 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 gødningsværdi og anvendes til gødningsformål. Afgasning af gyllen indebærer en forøgelse af gyllens gødningsværdi som følge af varmebehandlingen der reducerer risikoen for smitte og de reducerede lugtgener i forbindelse med spredning af gyllen.

De anvendte forudsætninger vedr. investeringer, driftsomkostninger, energiforbrug mv. for biogas produktion er baseret på et biogas business case udarbejdet af Energistyrelsen til brug for forarbejdet til Grøn Vækst aftalen af 16. juni 2009, fremsendt til COWI 13.8.2009⁵.

Der er tale om et 1000 m³/dag fælles biogasanlæg med en samlet investering på ca. 130 mio. kr. Anlægspris og driftsomkostninger er baseret på erfaringer fra de gennemførte opfølgingsprogrammer (dvs. bl.a. regnskabstal fra de eksisterende store anlæg). Gasproduktionen er fordelt med 66 % fra gylle, 18 % fra fast gødning og gødningsfibre og 16 % fra energiafgrøder (aktuelt energimajs). Der er ikke forudsat anvendt organisk affald. Gasudbytte er baseret på optimering via seriedrift m.m., jf. nyeste erfaringer herom. Overskydende gødning (afgasset gylle) afsættes omkostningsneutralt for biogasselskabet.

Det skal understreges, at der i beregningerne ikke er foretaget samme vurdering af energiindholdet i råvarerne (gylle og andre affaldsstoffer) som i andre spor, men kun er medregnes den energi der netop udvindes fra gylle og andre input

⁵ Kilde: Business case, Energistyrelsen maj 2009

på biogasanlægget samt tilført energi i form af el og varme. Dette adskiller beregningen af energieffektiviteten i dette drivmiddelspor fra de øvrige spor, hvor der er foretaget en vurdering af energiindholdet i råstofferne og hvor energioutput fordeles på hovedprodukt (drivmidlet) og eventuelle biprodukter efter deres værdi. Gylle der tages retur fra biogasanlægget er ikke tildelt en økonomisk værdi og heller ikke et energiindhold. Begrundelsen herfor er at gyllen under alle omstændigheder ville blive anvendt til gødningsformål også selv om den ikke blev afgasset.

Der henvises til det tilhørende beregningsark (AD model 2010.xlsm) for yderligere dokumentation af forudsætninger for konverteringen af gylle til biogas.

5.2 Drivhusgasser

Reduktion af drivhusgasemission ved anvendelse svine- og kvæggylle til biogasproduktion er vurderet i FVM 2008. Der er ca. 15% større reduktion per ton kvæggylle end per ton svinegylle ved anvendelsen til biogasproduktion.

Emissionsreduktionen består af elementerne angivet i tabellen nedenfor.

Table 6 Drivhusgasreduktion ved konvertering af gylle til biogas

	Kg CO ₂ eq./ton svinegylle ved biogasproduktion til KV produktion	Kg CO ₂ eq./ton kvæggylle ved biogasproduktion til KV produktion
Metan fra lager	24,2	26,9
Lattergas fra lager	8,0	9,9
Lattergas fra udbringning	2,5	2,9
Metan fra biogas motor	-4,8	-5,4
Substitution af naturgas	18,6	22,7
Lattergas fra N-udvaskning	0,2	0,3
Kulstoflagring i jorden	-4,8	-5,8
I alt	44,0	51,5
I alt uden energisubstitution	25,4	28,8
I alt uden energisubstitution og kulstoflagring i jorden	30,2	34,5

Kilde: FVM 2008, p. 34

Som udgangspunkt anvendes *reduktionen af CO₂ eq. uden energisubstitution men med kulstoflagring i beregningerne*, svarende til den anvendte metode for anvendelsen af halm til biobrændstof produktion. Der anvendes 30% kvæggylle og 70% svinegylle, resulterende i en emissionsreduktion på 26,4 kg/ton gylle.

Det skal bemærkes at reduktionen af drivhusgasser ved produktion og forbrænding af biogas frem for lagring og udbringning af gyllen er uafhængig af om biogassen anvendes til energiproduktion på KV og varmegærker eller anvendes som drivmiddel til transportformål. Ved beregning af CO₂ reduktionen ved at anvende af biogas baseret på gylle til transportformål er således her forudsat at være at gyllen alternativt var blevet lagret og udbragt på marken. Det er således ikke antaget at gyllen alternativt var blevet anvendt til produktion af biogas til brug for el- og varmeproduktion.

5.3 Resultatet for biogas anvendt i standardbilen

I tabellerne nedenfor præsenteres resultatet af teknologisporet med biogas anvendt i standardbilen og sammenlignes med resultatet for konventionel benzin.

Tabel 7 Økonomi for biogas-spor i standardbilen

Teknologi-spor	Økonomi			
	Køretøjomk. DKK/km	Brændstofomk. DKK/km	Værdi emissioner DKK/km	Samfundsøko. omk. DKK/km
Konventionel benzin, 2006	0,805	0,257	0,023	1,086
Biogas, 2006	0,912	0,166	0,000	1,077
Konventionel benzin, 2025	0,805	0,244	0,034	1,083
Biogas, 2025	0,850	0,113	-0,004	0,959

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO₂-kvoternes forventede indvirkning.

Som det fremgår af tabellen er de samfundsøkonomiske omkostninger ved biogas i 2006 på niveau med de samfundsøkonomiske omkostninger for konventionel diesel - og lavere i 2025. Resultatet skal ses i lyset af at brændstofudgifterne er lavere til biogas end til benzin pga. lave omkostninger til råstoffer (gylle) som opvejer de høje omkostninger til konvertering (og opgradering og rensning). Besparelsen på brændstof opvejer de lidt højere omkostninger til køretøjet. Endelig er der en lille besparelse på værdien af emissioner.

Tabel 8 Virkningsgrad for biogas-spor i standardbilen

Teknologi-spor	Systemvirkningsgrad	
	År 2006 GJ/GJ	År 2025 GJ/GJ
Konventionel benzin	14,4%	21,1%
Biogas	13,5%	19,8%

Virkningsgraden for biogas er lidt dårligere for end for benzin. Dette skal ses i lyset af at der bruges betydelige mængder energi på konverteringen (og opgradering og rensning) af gylle til biogas. Det bør i øvrigt bemærkes, at det i beregningen af systemvirkningsgraden for biogas er antaget at al energiindholdet i det gylle, som går ind i processen ender i slutprodukterne.

Tabel 9 CO₂-emissioner for biogas-spor i standardbilen

Teknologi-spor	CO ₂ -eq	
	År 2006 gram/km	År 2025 gram/km
Konventionel benzin	183	124
Biogas	-20	-22

Som det fremgår af tabellen ovenfor er biogas forbundet med et meget stort CO₂-reduktionspotentiale. Beregningen viser at biogas kan fortrænge 150-200 gram/km når transportarbejdet flyttes fra en benzinbil til en bil, som er drevet af biogas. Den store reduktion er et resultat af at CO₂ udledningen fra biogassen er neutral, idet den er baseret på biomasse. Hertil kommer at det antages at der fortrænges store mængder metan (og lattergas) når gyllen omdannes til biogas, idet det alternativt er antaget at gyllen ville blive spredt på marken med metan (og lattergas) udslip til følge.

6 Vurdering af teknologierne

I dette afsnit præsenteres modellens resultater og der gives desuden en samlet vurdering af teknologi-sporene.

6.1 Resultater for de oprindelige teknologispor

De overordnede resultater i form af økonomi, virkningsgrad og CO₂-emission for de 12 oprindelige teknologispor samt det ny spor med biogas er sammenfattet i tabellerne nedenfor.

Tabel 10 Økonomiske resultater for de oprindelige teknologispor, 2006

Teknologi-spor	Økonomi			
	Køretøjomk. DKK/km	Brændstofomk. DKK/km	Værdi emissioner DKK/km	Samfundsøko. omk. DKK/km
Konventionel diesel	0,859	0,186	0,044	1,089
Konventionel benzin	0,805	0,257	0,023	1,086
Bioethanol (1. gen.)	0,805	0,343	0,026	1,174
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bio diesel (RME)	0,859	0,249	0,040	1,147
Bio-olie	0,930	0,227	0,039	1,196
Naturgas	0,912	0,150	0,022	1,083
Methanol fra biomas.	6,122	0,220	0,009	6,351
Brint	6,122	0,141	0,044	6,307
Elbiler	1,409	0,057	0,023	1,489
Diesel fra kul	0,859	0,197	0,054	1,109
Diesel fra biomasse	0,986	0,355	0,040	1,380
Biogas	0,912	0,166	0,000	1,077

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO₂-kvoternes forventede indvirkning. Det betyder konkret at omkostningerne til brændstof er ekskl. CO₂-omkostninger for medgået el. De samlede CO₂-omkostninger er efterfølgende værdisat med den forventet kvotepris (hhv. 100 og 215 kr. per ton i "2006" og i 2025), hvorfor CO₂-emissionernes betydning for det samlede resultat er afspejlet i opgørelsen af de samlede samfundsøkonomiske omkostninger.

De samlede samfundsøkonomiske omkostninger er de samme uanset om CO₂-emissionerne beregnes via en internalisering i elprisen eller om de efterfølgende værdisattes. I den udviklede beregningsmodel findes en funktionalitet, hvor brugen selv kan vælge hvorvidt CO₂-emissionerne skal medregnes via elprisen eller uden om elprisen og så efterfølgende værdisættes.

Tabel 10 viser at det fortsat gælder at de konventionelle brændstoffer er relativt omkostningseffektive i 2006. Dog er det værd at bemærke at naturgas og biogas har resultater, hvor de samlede samfundsøkonomiske omkostninger er af samme størrelsesorden. Bio-ethanol (1. generation) er fortsat en del dyrere end benzin. Dette skyldes højere omkostninger til brændstoffet. Det samme gælder biodiesel og bioolie. Brint og methanol fra biomasse (3. generations teknologi) er forbundet med omkostninger som er meget højere end for de konventionelle brændstoffer. Dette er fordi køretøjet er baseret på en brændselscelle til elmotor, hvilket er en meget dyr teknologi i dag. Elbiler er ligeledes meget dyrere end de konventionelle biler, hvilket også skyldes meget højere omkostninger til køretøjet.

Tabel 11 Økonomiske resultater for de oprindelige teknologspor, 2025

År 2025	Økonomi			
	Køretøjs- omk. DKK/km	Brændstofomk. DKK/km	Værdi emissioner DKK/km	Samfundsøko. omk. DKK/km
Konventionel diesel	0,853	0,218	0,042	1,113
Konventionel benzin	0,805	0,244	0,034	1,083
Bioethanol (1. gen.)	0,805	0,272	0,030	1,108
Bioethanol (2. gen.)	0,805	0,246	0,018	1,069
Bio diesel (RME)	0,853	0,252	0,031	1,136
Bio-olie	0,930	0,233	0,030	1,192
Naturgas	0,850	0,150	0,030	1,030
Methanol fra biomas.	1,095	0,173	0,011	1,279
Brint	1,095	0,112	0,066	1,273
Elbiler	1,059	0,058	0,032	1,149
Diesel fra kul	0,853	0,167	0,055	1,075
Diesel fra biomasse	0,980	0,296	0,028	1,305
Biogas	0,850	0,113	-0,004	0,959

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO₂-kvoternes forventede indvirkning.

Tabel 11 viser at de alternative drivmidler generelt forventes at være blevet mere konkurrencedygtige i forhold til de konventionelle brændstoffer i 2025.

Den mest markante forskel ses for brint og methanol fra biomasse, hvor totalomkostninger falder dramatisk som følge af en forventning om et markant fald i prisen for en bil med brændselscelle til elmotor.

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

Prisen for 2. generation bioethanol forventes at være lavere end for 1. generation og på niveau med de samlede samfundsøkonomiske omkostninger for benzin, hvilket bl.a. skal ses i lyset af forventningen til olieprisen.

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

Nedenfor vises de beregnede virkningsgrader for de oprindelige teknologispor.

Tabel 12 Virkningsgrad for de oprindelige teknologispor

Teknologi-spor	Systemvirkningsgrad	
	År 2006 GJ/GJ	År 2025 GJ/GJ
Konventionel diesel	18,9%	22,5%
Konventionel benzin	14,4%	21,1%
Bioethanol (1. gen.)	12,0%	17,6%
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	19,2%
Bio diesel (RME)	16,8%	20,0%
Bio-olie	17,3%	20,6%
Naturgas	14,7%	21,6%
Methanol fra biomas.	14,7%	18,7%
Brint	10,0%	18,2%
Elbiler	30,0%	37,1%
Diesel fra kul	13,2%	15,7%
Diesel fra biomasse	10,6%	12,6%
Biogas	13,5%	19,8%

Den samlede systemvirkningsgrad (beregnet som produktet af virkningsgraderne i hvert led i kæden) er uændret siden den første opgørelse, idet der ikke er lavet revisioner af de forudsætninger som indgår i beregningen heraf. Den samlede systemvirkningsgrad for de konventionelle brændstoffer (diesel og benzin) er hhv. 19% og 14% for diesel og benzin. Systemvirkningsgraden for diesel er relativt høj - kun elbiler har højere systemvirkningsgrad. Omvendt viser beregningerne at bio-ethanol, diesel fra biomasse og brint relativt set har de ringeste systemvirkningsgrader.

Tabel 13 CO₂-emissioner for de oprindelige teknologispor

Teknologi-spor	CO ₂ -eq	
	År 2006 gram/km	År 2025 gram/km
Konventionel diesel	144	120
Konventionel benzin	183	124
Bioethanol (1. gen.)	146	99
Bioethanol (2. gen.)	n.a.	60
Bio diesel (RME)	73	66
Bio-olie	68	61
Naturgas	175	115
Methanol fra biomas.	49	38
Brint	251	228
Elbiler	131	110
Diesel fra kul	198	165
Diesel fra biomasse	77	63
Biogas	-20	-18

Tabel 13 viser at de konventionelle fossile brændstoffer (diesel og benzin) som forventet er forbundet med den højeste udledning af CO₂. Dog ses den største CO₂-udledning for brint i 2006. Udledningen er også høj for naturgas og diesel fra kul, som også er fossilt. Omvendt er CO₂ udledningen lav for bio-olie, bio-diesel samt methanol og diesel fra biomasse.

I 2025 ses generelt en reduktion for alle de analyserede alternative teknologispor relativt i forhold til de konventionelle brændstoffer. Dette skyldes først og fremmest en antagelse om reducerede emissioner fra køretøjerne i fremtiden og i mindre grad effektiviseringer af processerne samt mindre opstrøms energiforbrug ved elproduktion.

6.2 Følsomhedsberegning og resultater for nye køretøjer

Den ny model er som beskrevet suppleret med en følsomhedsberegning for 2. generations bioethanol, baseret på data fra Novozymes, samt et udvalg af (tungere) køretøjer, som giver en række nye teknologispor. Resultaterne for disse spor fremgår nedenfor.

Det bør bemærkes, at de indsamlede forudsætninger for disse spor er mindre konsoliderede og således har en anden kvalitet end de 12 oprindelige spor. Det-

te skyldes bl.a. af forudsætningerne for disse spor ikke har gennemgået den samme høringsproces som de oprindelige.

Tabel 14 Økonomiske resultater for de nye teknologispor, 2006

År 2006	Økonomi			
	Køretøjsomk. DKK/km	Brændstofomk. DKK/km	Værdi emissioner DKK/km	Samfundsøko. omk. DKK/km
Konventionel diesel	0,859	0,186	0,044	1,089
Konventionel benzin	0,805	0,257	0,023	1,086
Novozymes 2. G bioethanol, E85 (personbil)	0,805	0,384	0,016	1,205
Bio-ethanol E100 (personbil)	0,805	0,366	0,026	1,197
Standard Lastbil/bus	3,392	1,047	0,236	4,674
Lastbil - RME	3,392	1,400	0,213	5,005
Lastbil - DME	3,446	1,997	0,076	5,519
Lastbil - Biogas	3,422	0,898	-0,002	4,318
Lastbil - Naturgas	3,422	0,812	0,118	4,351
Elbus	5,896	0,296	0,118	6,311

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO₂-kvoternes forventede indvirkning.

Tabel 15 Økonomiske resultater for de nye teknologispor, 2025

År 2025	Økonomi			
	Køretøjsomk. DKK/km	Brændstofomk. DKK/km	Værdi emissioner DKK/km	Samfundsøko. omk. DKK/km
Konventionel diesel	0,853	0,218	0,045	1,117
Konventionel benzin	0,805	0,244	0,034	1,083
Novozymes 2. G bioethanol, E85 (personbil)	0,805	0,274	0,020	1,099
Bio-ethanol E100 (personbil)	0,805	0,280	0,029	1,114
Standard Lastbil/bus	3,392	1,230	0,296	4,917
Lastbil - RME	3,392	1,420	0,237	5,049
Lastbil - DME	3,446	1,669	0,105	5,220
Lastbil - Biogas	3,411	0,610	-0,020	4,000

Lastbil - Naturgas	3,411	0,811	0,165	4,386
Elbus	3,967	0,305	0,170	4,441

Note: Resultaterne er vist med elprisen ekskl. CO₂-kvoternes forventede indvirkning.

Tabel 14 og Tabel 15 viser de økonomiske resultater for en række nye teknologspor for hhv. 2006 og 2025. Der er beregnet to spor med standard personbilen som kan sammenlignes med de oprindelige spor - nemlig et 2. G bioethanol spor, som er baseret på nye oplysninger fra Novozymes samt et spor baseret 100% på 1. G bioethanol (E100) i stedet for 85% som i de oprindelige spor.

Ved udarbejdelsen af den oprindelige rapport var der ikke tilgængelig information om omkostningerne ved 2. G bioethanol, E85 i 2006 (konverteringen af biomasse til bioethanol). Siden har Novozymes bidraget med et eksempel baseret på deres erfaringer som er inkluderet i denne rapport som en følsomhedsberegning. Det skal understreges at de anvendte data ikke er blevet kvalitetssikret på linje med de øvrige spor.

I forhold til Bioethanol E100 bør det bemærkes, at dette er baseret på en antagelse om brug af en standard benzinbil. Dette er formentlig ikke en realistisk forudsætning men beregningen er alligevel medtaget for at vise brændstoffets potentiale.

Der er opstillet spor for en standard lastbil/bus og 4 lastbiler og 1 bus baseret på alternative brændstoffer. Tabellerne viser at det - ligesom for personbiler - er biogas og naturgas - som giver de mest omkostningseffektive resultater. Disse spor er både i 2006 og 2025 mere omkostningseffektive end det konventionelle alternativ. Det bør understreges, at forudsætninger for disse spor er mindre konsoliderede end forudsætningerne for de oprindelige spor og at der er taget udgangspunkt i nyere teknologi, hvorfor resultaterne skal tolkes med forsigtighed. Resultaterne kan tages som indikationer, men forudsætningerne for køretøjerne bør valideres yderligere for at resultaterne kan tillægges større værdi.

Tabel 16 Virkningsgrad for de nye teknologspor

Teknologi-spor	Systemvirkningsgrad	
	År 2006 GJ/GJ	År 2025 GJ/GJ
Konventionel diesel	18,9%	22,5%
Konventionel benzin	14,4%	21,1%
Ny 2. G bioethanol, E85 (personbil)	11,9%	19,5%
Bio-ethanol E100 (personbil)	12,0%	17,6%
Standard Lastbil/bus	18,9%	22,5%
Lastbil - RME	16,8%	20,0%

Lastbil - DME	10,6%	12,6%
Lastbil - Biogas	13,5%	19,8%
Lastbil - Naturgas	14,7%	21,6%
Elbus	31,1%	38,0%

Tabel 17 *CO₂-emissioner for de nye teknologispor*

Teknologi-spor	CO ₂ -eq	
	År 2006 gram/km	År 2025 gram/km
Konventionel diesel	144	120
Konventionel benzin	183	124
Ny 2. G bioethanol, E85 (personbil)	93	66
Bio-ethanol E100 (personbil)	135	92
Standard Lastbil/bus	812	682
Lastbil - RME	403	368
Lastbil - DME	426	351
Lastbil - Biogas	-106	-95
Lastbil - Naturgas	948	623
Elbus	681	581

Ligesom for personbiler ses et markant reduktionspotentiale ved lastbiler baseret på biogas. Herudover vil RME og DME også kunne reducere CO₂-udledningen fra store køretøjer markant.

6.3 Sammenfatning og perspektivering

Med afslutningen af denne analyse forligger der nu en ny og opdateret version af modelværktøjet til beregning af Alternative Drivmidlers tekniske og økonomiske potentialer.

Resultaterne for de oprindelige teknologispor er opdateret i forhold til udviklingen i centrale forudsætninger som bl.a. emissionsfaktorer, brændselspriser og samfundsøkonomiske forudsætninger (diskonteringsfaktor mm.). De oprindeli-

ge spor er desuden suppleret med et nyt teknologispor med biogas produceret på gylle anvendt i standardbilen fra det oprindelige projekt.

Disse opdateringer har medført ændringer i resultaterne, men overordnet set har det ikke forrykket på konklusionerne fra den oprindelige rapport. Det gælder således fortsat at de mest omkostningseffektive spor i dag synes at være de konventionelle køretøjer baseret på hhv. benzin og diesel. Dog er det værd at bemærke at biogas synes at være forbundet med samlede samfundsøkonomiske omkostninger af sammen størrelsesorden og samtidig er biogas forbundet med et meget stort CO₂-reduktionspotentiale.

Der foreligger desuden nye resultater for en række nye spor hvor drivmidlerne er anvendt i andre køretøjer end standard-bilen fra det oprindelige projekt (lastbiler og bus). Det bør dog bemærkes, at de indsamlede forudsætninger for disse spor er mindre konsoliderede end de 12 oprindelige spor.

Den ny beregningsmodel øger brugervenligheden og gør det nemmere at inddrage nye drivmidler og køretøjer. Det ny værktøj rummer således et betydeligt potentiale i forhold til at gennemføre supplerende analyser af nye spor, ligesom det kan anvendes til at gå i dybden med forudsætningerne for et eller flere af de spor som allerede er gennemregnet. En af modelværktøjets største styrker er fortsat at alle spor behandles på samme måde og gennemregnes ud fra den samme tilgang med brug af de samme grundforudsætninger. Desuden skaber værktøjet transparens om de forudsætninger som er anvendt, om end det dog kan være meget vanskeligt at overskue forudsætningerne af den simple grund at der anvendes så mange data og forudsætninger for alle de spor som gennemregnes.

7 Litteratur

(Kun supplerende litteratur ift. Alternative drivmidler)

Energistyrelsen. Afledte reduktioner i drivhusgasudledninger ved udbygning med biogas. Notat af 19. marts 2009

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

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

Energistyrelsen. Værdi af biogas anvendt til kraftvarme i stedet for naturgas. Notat – udkast af 12. maj 2009

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Landbrug og klima. Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvenser. Fødevareministeriet december 2008

Torben Kvist Jensen. Biogas til nettet. Projektrapport. Dansk Gasteknisk Center A/S, maj 2009.