



Ea Energianalyse

# Personbilers CO<sub>2</sub>-emission

Analyse udarbejdet for brancheforeningen Energi- og olieforum

Udarbejdet af Ea Energianalyse

8. september 2009



Ea Energianalyse

Udarbejdet af:

Ea Energianalyse a/s  
Frederiksholms Kanal 1, 1.  
1220 København K  
Tel: 88 70 70 83  
Fax: 33 32 16 61  
E-mail: [info@eaea.dk](mailto:info@eaea.dk)  
Web: [www.eaea.dk](http://www.eaea.dk)



## Indhold

1 Resumé og konklusioner .....	4
2 Baggrund og metode .....	9
3 Rammer for reduktion af CO <sub>2</sub> -emissioner .....	12
4 Well-to-Wheels emissioner .....	14
5 Gennemgang af bilernes drivlinjer i 2010 og frem mod 2025 .....	17
6 Resultater .....	21
Bilag 1: Standardbilens egenskaber og energibehov .....	26
Bilag 2: Tabeller og nøgletal .....	28
Bilag 3: CO <sub>2</sub> -emission fra biobrændsler .....	30
Bilag 4: Referencer .....	31



# 1 Resumé og konklusioner

## Baggrund

Transportsektorens muligheder for at bidrage til en reduktion af udslippet af drivhusgasser og afhængigheden af fossile brændsler er et af de centrale emner i den aktuelle klima- og energidebat. I den forbindelse inddrages der ofte sammenligninger mellem CO<sub>2</sub>-emissionen fra el-biler og mere traditionelle biltyper.

For at være retvisende, bør disse sammenligninger ske mellem biltyper, der er sammenlignelige i forhold til deres størrelse, vægt, komfort, aktionsradius, sikkerhed m.m. Endvidere bør emissioner fra hele energikæden inddrages, ud fra en såkaldt Well-to-wheels betragtning.

## Problemstilling

For at skabe et objektivt sammenligningsgrundlag, har Energi- og olieforum bedt Ea Energianalyse om at vurdere og sammenligne CO<sub>2</sub>-emissionen ved at fremdrive en mindre mellemklassebil med forskellig motorteknologi og fremdriftssystem nu (2010) og i fremtiden (2015 og 2025). Analysen inddrager følgende fremdriftskonfigurationer: Benzinmotor, dieselmotor, hybrid, plug-in hybrid og "ren" elbil.

For de benzin- og dieseldrevne biler er der indregnet 5 % biobrændsel i 2010, 7,5 % biobrændsel i 2015 og 10 % biobrændsel i 2025. Analysen benytter en regnearkbaseret energistrømsmodel, som tager udgangspunkt i bilens behov for mekanisk arbejde, elektrisk arbejde i form af lys, ventilation m.v. samt for opvarmning.

## Elbiler og aktionsradius

Bilproducenterne forventes i den nærmeste fremtid at kunne levere el-biler med en begrænset aktionsradius (mindre end 150 km på en opladning) og en tophastighed (cirka 130 km/t), der er lavere end de øvrige konfigurationer i analysen. På disse punkter er elbilen dermed ikke umiddelbart sammenlignelig med de øvrige konfigurationer. Analysen inddrager derfor en sjette konfiguration. Konfigurationen - benævnt "Elbil max" - er en elbil med et betydeligt større batteri og aktionsradius på knap 500 km i 2010, 630 km i 2015, og over 1000 km i 2025 hvor den er på niveau med benzin bilen. Det større og tungere batteri betyder - ud over konsekvenserne for økonomi og pladsforhold - at bilens energibehov stiger. Systemer til batteriskift for øget aktionsradius indgår ikke i analysen.

## Definition af en "standardbil"

For at kunne sammenligne de forskellige biltyper trods de store forskelle i deres egenskaber, har det i analysen været nødvendigt at definere en "standardbil", som herefter er blevet udstyret med de forskellige fremdriftskonfigurationer. Herved bliver det muligt at sammenligne de forskellige drivsystemers CO<sub>2</sub>-emissioner.



Standardbilen er defineret med udgangspunkt i almindeligt forekommende mindre kompakte mellemklassebiler såsom Peugeot 207, Ford Focus og VW Polo og Golf. Standardbilen er opbygget i fem forskellige konfigurationer, hvor forskellene består i drivsystemets vægt og egenskaber, genvinding af bremseenergi, bilens opvarmning, samt om bilens energi tilføres i form af benzin, diesel eller elektricitet.

Standardbilens energibehov til at overkomme rullemodstand, vindmodstand og bremsetab ved blandet kørsel er beregnet til ca. 90 Wh/km i benzin- og dieseludgaven. Hertil kommer 15 Wh/km til lys, ventilation m.m., hvilket giver et samlet "nettoenergibehov" på knap 105 Wh/km. De øvrige konfigurationer er tungere og har dermed et større nettoenergibehov.

#### Well-to-wheels

De emissioner, der ses på i analysen, omfatter emissioner, der knytter sig til hele kæden fra oliebrønd eller kulmine, over raffinaderi eller kraftværk (her kaldet "opstrøms") til emissioner fra energiforbruget i selve bilens drivsystem.

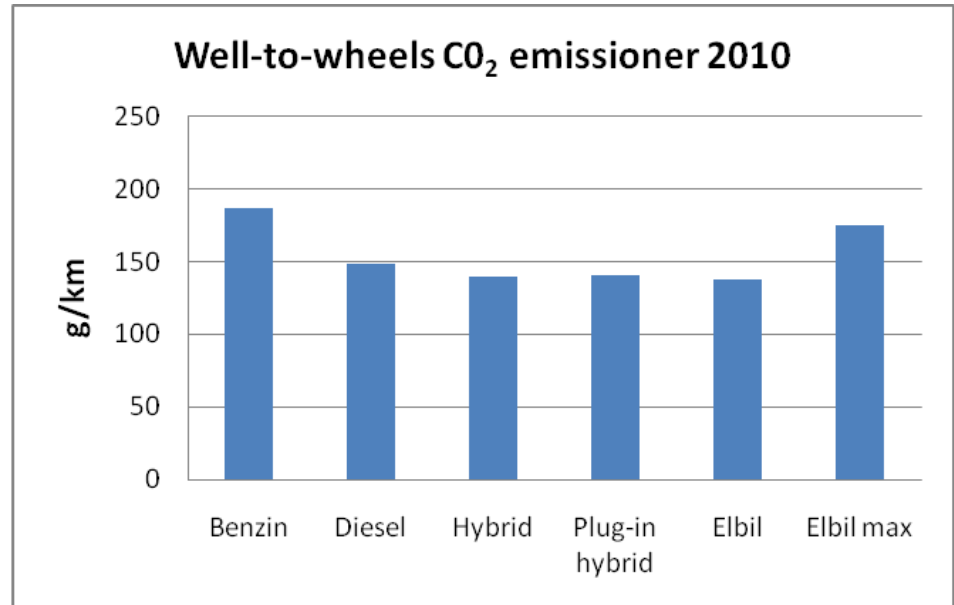
#### Marginal energi- produktion

Omfanget af de emissioner, der er forbundet med produktion og forbrug af benzin, diesel og elektricitet er meget afhængigt af, hvilke olieklæder og raffinaderier, der er tale om, samt hvilke kraftværker, der producerer elektriciteten. I denne analyse tages der udgangspunkt i den såkaldte marginale energiproduktion. De marginale produktionsanlæg er netop de anlæg, der producerer mere energi når efterspørgslen stiger, mens de øvrige anlæg ikke berøres af mindre udsving i forbruget. I et velfungerende marked vil de marginale produktionsanlæg typisk have de højeste produktionsomkostninger.

Ved at anvende marginal energiproduktion i analysen fås det mest retvisende udtryk for de faktiske CO<sub>2</sub>-mæssige konsekvenser af beslutninger om at øge eller sænke forbruget af olie eller af elektricitet.

For olie, gas og kul er det vanskeligt at afgøre præcis, hvilke miner og kilder, som er marginale. Der regnes i dette arbejde som tilnærmelse med, at de marginale kilder har et 50 % højere energiforbrug end gennemsnittet ved udvinding af kul, olie og gas.

I det nordeuropæiske el-system som Danmark er en integreret del af, er den marginale el-produktion som hovedregel baseret på kul, og i mindre grad på naturgas. CO<sub>2</sub>-emissionen ved det marginale elforbrug på lavspændingsniveau i Norden er beregnet til knap 1000 g CO<sub>2</sub>/kWh i 2010, inklusiv opstrømstab ved udvinding.



**Figur 1:** Standardbilens CO<sub>2</sub>-emission i 2010, i seks forskellige udførelser. Elbil max svarer til Elbil, men med øget batterikapacitet og dermed øget aktionsradius. Tallene indeholder også emissioner "opstrøms" fra olieklender og kulminer samt fra raffinaderier og kraftværker. Der indgår 5 % bio-brændsler i benzin og diesel.

## Resultater

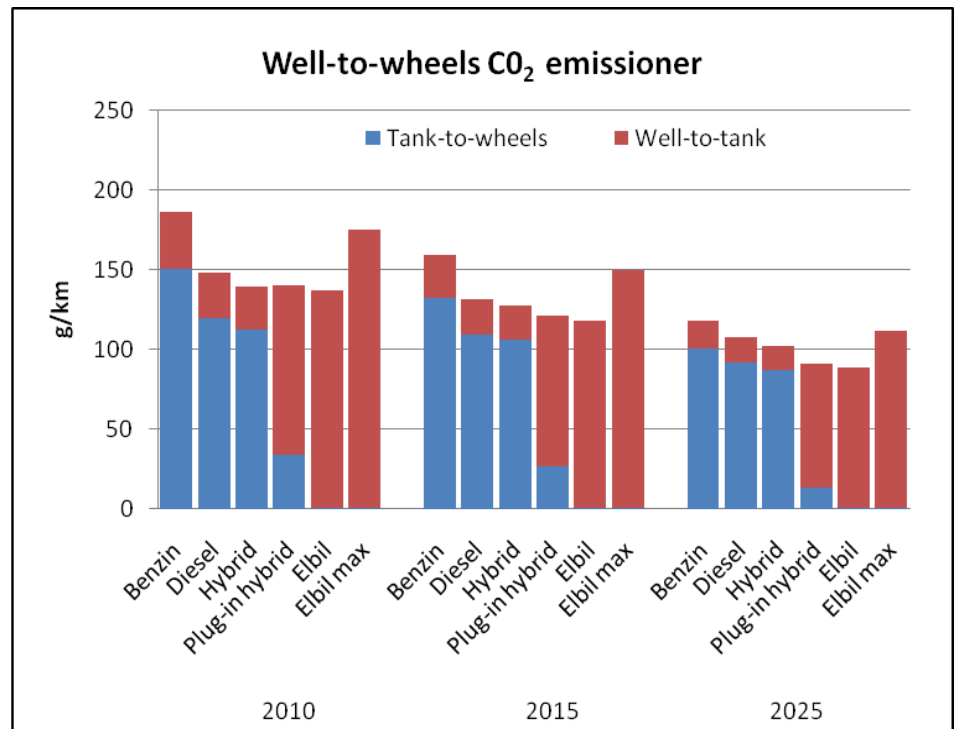
Ovenstående Figur 1 viser den samlede well-to-wheels CO<sub>2</sub>-udledning pr. kørt kilometer for de seks konfigurationer i 2010.

CO<sub>2</sub>-emissionen fra hybridbilerne og elbilen er på samme niveau, medens dieselbilen udleder 8 % mere. For benzinbilen samt for elbil max (elbil med øget batterikapacitet), er emissionen noget højere. Dette skyldes, at benzinbilen udnytter energien lidt dårligere end dieselbilen og at den øgede batterikapacitet gør Elbil max tungere.

## Forventet udvikling frem mod 2025

I denne analyse forventes de forskellige konfigurationers CO<sub>2</sub>-emission at blive reduceret betydeligt i fremtiden som følge af mere energieffektive motorer, transmissioner m.v. Det vurderes eksempelvis, at benzinbilens effektivitet kan forbedres med ca. 30 % frem mod 2025, noget mindre for dieselbilen. Elbilens forbedringspotentiale ligger især i bedre elmotorer samt mindre tab i batteri og lader. For de el-baserede bilers vedkommende er lavere emissioner desuden en konsekvens af en faldende CO<sub>2</sub>-emission fra den marginale el-produktion i Norden.

I Figur 2 ses resultaterne for 2010 over 2015 til 2025. For alle konfigurationer reduceres emissionen med 30 % - 40 % i 2025 i forhold til 2010.



**Figur 2:** Udvikling i standardbilens CO<sub>2</sub>-emission i 2010, 2015 og 2025 i seks forskellige konfigurationer.

**Tablel 1:** Nøgletal fra Figur 2. Tank-to-wheels (TtW) Well-to-tank (WtT)

Bil type	CO <sub>2</sub> -emissioner (g/km)								
	2010			2015			2025		
	TtW	WtT	Total	TtW	WtT	Total	TtW	WtT	Total
Benzin	150	36	<b>186</b>	132	27	<b>159</b>	101	17	<b>118</b>
Diesel	120	29	<b>149</b>	109	22	<b>132</b>	92	16	<b>108</b>
Hybrid	113	27	<b>140</b>	106	22	<b>128</b>	87	15	<b>102</b>
Plug-in hy.	34	106	<b>140</b>	27	95	<b>122</b>	14	77	<b>91</b>
Elbil	1	136	<b>137</b>	1	117	<b>118</b>	1	88	<b>89</b>
Elbil max	1	174	<b>175</b>	1	149	<b>150</b>	1	111	<b>112</b>

Samlet set har elbilen lavest emission i både 2010 og 2015, men i disse år kan elbilens aktionsradius og topfart dog ikke måle sig med de øvrige biler. En elbil med samme aktionsradius vil have CO<sub>2</sub>-emissioner, der overstiger tallene for dieselbilen og hybridbiler.

I 2025 forventes elbilen i den beregnede konfiguration at have en aktionsradius på ca. 350 km, baseret på forbedret batteriteknologi og større batteri. Det er derfor muligt, at elbiler i 2025 vil blive markedsført som en mellemting mellem "elbil" og "elbil max" konfigurationer. Med denne forudsætning vil CO<sub>2</sub>-emissionen fra en elbil med aktionsradius på over 500 km i 2025 være nogenlunde den samme som fra hybridbilen og dieselbilen.



## Konklusioner

Analyserne i denne rapport viser, at hybridbiler og elbiler har nogenlunde samme niveau for emission af CO<sub>2</sub> pr. kørt kilometer i 2010, medens dieselbilen udleder 8 % mere og benzinbilen ca. 35 % mere. I denne sammenligning kan elbilen dog ikke måle sig med de øvrige biler i forhold til aktionsradius og tophastighed. En elbil med samme aktionsradius (Elbil max) bliver tungere, mere energikrævende og udleder derved mere CO<sub>2</sub> end dieselbilen og kun lidt mindre end benzinbilen.

Frem mod 2025 forventes CO<sub>2</sub>-emissionen fra især benzinbilen og elbilen at blive reduceret væsentligt. Disse forventninger baserer sig på en række antagelser om blandt andet udvikling af motorteknologi, batteriteknologi og elsystemets udvikling, som er temmelig usikre.

At skifte fra benzin, diesel og hybridbiler til elbiler medfører, at emissionerne flyttes ind under EU's system for handel med CO<sub>2</sub>-kvoter. Det er dog sådan, at både inden for og uden for kvotesystemet skal enhver emission af CO<sub>2</sub>, der overskrider det på europæisk niveau aftalte loft, udlignes af en reduktion et andet sted, jævnfør EU's Energi- og klimapakke.

*Inden for* kvotesystemet håndteres ovennævnte udligning med et allerede aftalt handelssystem, mens regulering *uden for* kvotesystemet håndteres gennem afgifter, standarder, målsætninger om VE, bindende aftaler med bilindustrien, besparelser m.v. Flytning af sektorer til kvotesystemet ved at udskifte benzin- og dieselbiler med fx elbiler, vil på kort og mellemlang sigt hverken øge eller sænke EU's samlede CO<sub>2</sub>-emission, da målet er aftalt frem til 2020.

Hovedspørgsmålet er derfor hvordan CO<sub>2</sub>-målet nås mest omkostningseffektivt, ikke om reduktionen sker indenfor eller udenfor kvotesystemet. I dette analysearbejde er der dog ikke foretaget en vurdering af de økonomiske aspekter. En sådan vurdering bør indeholde omkostninger til udvikling og produktion af selve køretøjet, brændselsomkostninger samt investeringer og omlægninger i elsystemet, hvor det drejer sig om elbiler.

Det er sandsynligt, at elbiler og plug-in hybridbiler i kombination med investeringer i elsystemet bliver vigtige brikker i bestræbelserne på at mindske CO<sub>2</sub>-emissionerne på længere sigt, efter 2020. Opgaven bliver hermed, at tilrettelægge og prioritere denne udvikling så målsætningerne om CO<sub>2</sub> og andre prioriterede mål for samfundet kan opfyldes, uden at omkostningerne bliver unødigt store.





## 2 Baggrund og metode

Transportsektorens muligheder for at bidrage til reduktion af klimagasser og afhængigheden af fossile brændsler er et af de vigtige emner i klima- og energidebatten. I de kommende år vil der blive truffet politiske beslutninger i Danmark og andre lande om de økonomiske vilkår, der skal gælde for forskellige "bil-teknologier" i fremtiden. Ofte inddrages sammenligninger mellem el-biler og almindelige biler i den politiske debat om transportsektorens effekt på CO<sub>2</sub>-udslippet.

Det er imidlertid en svaghed, hvis disse sammenligninger ikke sker mellem biltyper, der er reelt sammenlignelige i forhold til deres størrelse, vægt, komfort, aktionsradius, sikkerhed m.m.

Baggrunden for dette projekt er et ønske fra opdragsgivers side om at bidrage til, at ovennævnte politiske beslutninger kommer til at hvile på et så gennemskueligt og objektivt grundlag som muligt. Formålet med analysen er således at sammenligne CO<sub>2</sub>-emission og brændselseffektivitet mellem forskellige drivlinjer i en standardiseret personbil nu og i fremtiden.

### Well-to-wheels metoden

Der er i de senere år gennemført en række undersøgelser og analyser af mulige teknologspor for at reducere energiforbrug og CO<sub>2</sub>-emission i transportsektoren. Herunder kan især nævnes "Well to wheels" udført af EU-kommissionens Joint Research Center i samarbejde med EUcar og CONCAWE, som senest blev opdateret i november 2008. Elbiler indgår dog endnu ikke i dette studie. Rapporter, som også omfatter elbiler, er blandt andet fremlagt af den danske energistyrelse i 2008. I Bilag 4 ses en liste over relevante studier, rapporter, dokumenter og artikler.

Det har ikke været intentionen i dette studie at skabe ny viden baseret på empiriske studier af teknologier til fremdrift af personbiler. Det er i stedet formålet at gennemgå og vurdere foreliggende, relevante publikationer, for at få overblik over energiforbruget og dermed CO<sub>2</sub>-emissionerne forbundet med de mest aktuelle fremdriftsteknologier for personbiler - herunder potentialet for nedbringelse af CO<sub>2</sub>-emissioner.

Analysen omfatter emissioner, der knytter sig til hele kæden fra oliebrønd eller kulmine, over raffinaderi eller kraftværk, til emissioner fra energiforbruget i selve bilens drivsystem<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Vi har udeladt CO<sub>2</sub> emission, der opstår i forbindelse med produktion og senere bortskaffelse af selve bilen (motor, karosseri, batterier m.v.), som bør medtages, hvis der anlægges en fuldt omfattende vugge-til-grav betragtning.



## Metode

I dette studie opdeles det samlede energiforbrug, der følger af at køre en kilometer i en personbil i fire elementer:

1. Nettoenergibehovet forbundet med fremdriften af bilen
2. Energital ved omsætning i bilen
3. Energital ved raffinaderi eller kraftværk
4. Energital ved opstrømsproduktion og transport

*1. Nettoenergibehovet* betegner vi som bilens energibehov til at overkomme rullemodstand, vindmodstand og bremsetab samt til funktioner som lys, køling, opvarmning etc.

*2. Energital ved omsætning i bilen.* Nettoenergibehovet "dækkes" gennem energiomsætning i bilens motor eller for elbilens vedkommende fra batteriet og en separat kabinevarmer. Alt dette medfører tab af energi.

*3. Energital ved raffinaderi eller kraftværk.* Bilen skal have energien tilført i form af benzin eller diesel fra et raffinaderi, biobrændsler, eller elektricitet fra et kraftværk. Omsætning fra råolie til benzin og diesel, fra plantemateriale til biobrændsler eller fra fossile brændsler til elektricitet samt transport fra raffinaderi til servicestation og tab i elledningsnettet fra kraftværk til stikkontakt medfører også tab af energi.

*4. Energital ved opstrømsproduktion og – transport.* Endelig er der energital forbundet med udvinding af olie, gas og kul, samt ved transport af råstofferne frem til raffinaderi og kraftværk.

Ovenstående elementer 1 + 2 kan tilsammen kaldes "Tank-to-wheels", mens elementerne 3 + 4 kaldes "Well-to-tank".

## Energistrømsmodel

Til analysen er der udarbejdet en regnearksbaseret energistrømsmodel, der beregner de fire elementer i det samlede energiforbrug, der knytter sig til at køre én kilometer i en personbil.

Modellen tager udgangspunkt i standardbilens *nettoenergibehov* og beregner dette behov i de relevante konfigurationer med forskellige drivsystemer. Forskellene består i drivsystemets vægt og egenskaber (forbrændingsmotor, hybrid eller ren el), genvinding af bremseenergi, samt energi til bilens opvarmning.

*Energital ved omsætning i bil* afhænger af drivsystemernes effektivitet med hensyn til at omsætte den tilførte energi (benzin, diesel, elektricitet) til kørearbejde, lys, ventilation m.m. Endvidere beregnes *energital fra raffinaderi og kraftværk til bil* samt *energital ved opstrøms produktion*.



Et samlet energiforbrug for hver konfiguration kan herefter beregnes. Ved hjælp af forskellige omregningsfaktorer for energiforbrug til emission af CO<sub>2</sub>, kan sluttelig den samlede CO<sub>2</sub>-emission beregnes for hver fremdriftskonfiguration.

#### Definition af en standardbil

Der er i dag ikke elbiler eller plug-in-elbiler på markedet, der er på niveau med benzin- og dieselbiler med hensyn til størrelse, vægt, komfort, sikkerhed og aktionsradius. Da fokus i dette studie er på forskelle med hensyn til CO<sub>2</sub>-emission ud fra fremdriftskonfigurationen, har det været nødvendigt at definere en "standardbil". Denne bil er herefter udstyret med de forskellige fremdriftskonfigurationer, som indgår i analysen.

Eksempler på almindeligt forekommende, mindre kompakte mellemklassebiler der sælges i Danmark er Peugeot 207, Ford Focus og VW Polo eller Golf. Analysens standardbil er defineret med udgangspunkt i sådanne biler (se Tabel 2). Herefter er der opstillet grunddata om forskellige drivsystemers virkningsgrader, bilernes vægt samt energibehov til fremdrift i henhold til EU-normen for blandet kørsel. Dette grunddatasæt tager blandt andet udgangspunkt i ovennævnte rapporter fra Energistyrelsen og CONCAWE kombineret med nyeste oplysninger om brændstoføkonomi fra leverandørerne.

Standardbilens energibehov til at overkomme rullemodstand, vindmodstand og bremsetab ved blandet kørsel er beregnet til ca. 90 Wh/km i benzin- og dieseludgaven. Hertil kommer 15 Wh/km til øvrigt forbrug, hvilket giver et samlet nettoenergiebehov på knap 105 Wh/km. De øvrige konfigurationer er tungere og har dermed et større nettoenergiebehov.

#### Valgte konfigurationer

Det er valgt at analysere seks forskellige konfigurationer, som alle spiller en væsentlig rolle i debatten om transportsektorens muligheder for at reducere CO<sub>2</sub> frem mod 2025. Andre teknologier som brændselsceller baseret på brint eller metanol eller mere ambitiøs anvendelse af biobrændsler end der indgår i EU's klimapakke, er ikke inkluderet i denne rapport. Årsagen hertil er blandt andet, at brændselsceller ikke kan forventes på markedet i større omfang i perioden frem til 2025. Endvidere er det ikke hensigten i dette arbejde at gennemføre en selvstændig vurdering af biobrændslers potentiale for at reducere CO<sub>2</sub> i transportsektoren.

De konfigurationer som analyseres er:

- Benzinbil
- Dieselbil
- Hybridbil
- Hybridbil – Plug-in
- Elbil
- Elbil max (Elbil med øget aktionsradius og tungere batteri)



For de benzin- og dieseldrevne biler er der indregnet 5 % biobrændsel i 2010, 7,5 % biobrændsel i 2015 og 10 % biobrændsel i 2025 baseret på målsætningerne i EU's klimapakke.

I blandet kørsel vurderes det, at ca. 70 % af energibehovet til fremdrift er vægtrelateret (rullemodstand og bremsetab), og ca. 30 % relateres til luftmodstand.<sup>2</sup> For de biler, der kan genindvinde bremseenergi, regnes med at 15 % af energibehovet til fremdrift genindvindes (ca. 40 % af bremsetabet). Nøgletal ses i Tabel 2.

**Tabel 2:** Nøgletal (2010) for de seks konfigurationer af standardbilen som analyseres

	<b>Benzin</b>	<b>Diesel</b>	<b>Hybrid</b>	<b>Plug-in hybrid</b>	<b>Elbil</b>	<b>Elbil max</b>
Vægt, kg	1117	1151	1235	1265	1209	1800
Energibehov, vej-arbejde (Wh/km)	88	91	95	97	94	125
Energi lys, ventilation m.m. (Wh/km)	15	15	15	17	18	18
Bremsegevinding (Wh/km)	Nej	Nej	Nej	15	14	19
Nettoenergiebehov i alt (Wh/km)	104	106	110	99	98	124
Gennemsnitlig bil virkningsgrad	18,0 %	23,0 %	25,4 %	53,8 %	67,2 %	67,2 %

Som det ses i tabellen, er der forskelle mellem de forskellige bilers behov for energi, som motor og drivlinje skal levere (nettoenergiebehov). Elbilen med aktionsradius på knap 150 km har behov for 98 Wh/km, medens den tungeste bil, Elbil max med køreafstand på ca. 500 km, har behov for i alt 124 Wh/km. Disse forskelle i energibehov er dog relativt små sammenlignet med de forskelle, der er med hensyn til drivliniernes effektivitet. Det betyder, at fx dieselbilen pr. kørt kilometer skal have tilført ca. tre gange så megen energi i form af dieselolie, som elbilen skal have tilført i form af elektricitet.

### 3 Rammer for reduktion af CO<sub>2</sub>-emissioner

De vigtigste virkemidler i relation til EU's 20 % reduktionsmål for CO<sub>2</sub> og i forhold til at opnå 20 % VE i 2020 er revision og forlængelse af CO<sub>2</sub>-kvotesystemet (EU Emission Trading System), rammer for landenes reduktion af CO<sub>2</sub> uden for kvotesystemet, øget anvendelse af VE samt bindende mål for

<sup>2</sup> European Federation for Transport and Environment April 2008, Background briefing: Weight vs. footprint.



personbilers CO<sub>2</sub>-emission frem mod 2015. I 2020 er sigtepunktet, at nye personbiler ikke udleder mere end 95 g CO<sub>2</sub> pr. km.

Det forventes, at der i København i december 2009, kan indgås en omfattende global aftale i regi af FN som opfølgning på den gældende Kyoto-aftale, der blot har målsætninger frem til 2012.

Frem til 2020 reguleres emissioner fra en lang række større virksomheder, der repræsenterer ca. 40 % af det samlede CO<sub>2</sub>-udslip i EU, gennem det fælles CO<sub>2</sub>-kvotesystem. Dette gælder blandt andet olie- og gasudvinding, raffinaderier og alle større elproducerende anlæg. Mindre virksomheder, landbrug, biltrafik samt de enkelte husstande, som tilsammen repræsenterer ca. 60 % af udslippet, reguleres af nationale forpligtelser.

De nationale forpligtelser udmøntes i en lang række ordninger og lovgivning, som er national, eller som gennemføres i EU-regi. De bindende mål for bilernes CO<sub>2</sub>-udledning er et eksempel på regulering uden for kvotesystemet. Inden for kvotesystemet kan ca. 50 % af reduktionsforpligtelsen opnås gennem projekter uden for EU, de såkaldte CDM-projekter. For de øvrige sektorer kan ca. 30 % af forpligtelsen opnås gennem denne type projekter.

Et samlet loft for CO<sub>2</sub>-emissioner i EU

Klimapakken giver mulighed for, at landene kan vælge at overflytte flere sektorer til kvotesystemet efter godkendelse i EU. En sådan overflytning kan medføre, at mængden af kvoter i kvotesystemet øges (der udstedes flere kvoter), for at EU's samlede reduktionsmål på 20 % i 2020 ikke overopfyldes, og de samlede omkostninger derved øges.

De enkelte landes reduktionsforpligtelser skal efter 2012 følge en lineær kurve frem mod målet i 2020. Landene skal endvidere årligt indrapportere status, og der skal iværksættes supplerende tiltag, såfremt de årlige mål ikke nås. For personbiler er der som oven for nævnt herudover vedtaget særlige bindende mål i klimapakken med delmål frem til 2015, og et sigtepunkt i 2020.

Både inden for og uden for kvotesystemet skal enhver emission af CO<sub>2</sub>, der overskrider det aftalte forløb, udlignes af en reduktion et andet sted i systemet. Inden for kvotesystemet håndteres denne udligning *inden for* et allerede aftalt handelssystem, medens udligningen *uden for* kvotesystemet håndteres gennem afgifter, standarder, målsætninger om VE, bindende aftaler med bilindustrien, besparelser m.v.

Flytning af aktiviteter til kvotesystemet ved at skifte fra fx benzin og -dieslbiler til elbiler, eller ved andre initiativer vil derfor isoleret set *hverken øge eller sænke EU landenes samlede CO<sub>2</sub>-emission*. Reduktionsforpligtelsen overflyttes blot fra landenes egne CO<sub>2</sub>-regnskaber til kvotesystemet.



## 4 Well-to-Wheels emissioner

Alle brændsler, der indeholder kulstof, udleder CO<sub>2</sub> ved forbrænding i en bilmotor eller i et kraftværks kedel. Hertil kommer energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning ved selve fremskaffelsen af brændslet i olieilden eller kulminen, samt ved forarbejdning og transport. Analysen omfatter derfor emissioner, der knytter sig til hele kæden fra oliebrønd eller kulmine, over raffinaderi eller kraftværk (well-to-tank) til emissioner fra energiforbruget i selve bilens drivsystem.

Tabel 3 viser Well-to-tank emissionen fra benzin og dieselolie, samt fra elektricitet baseret på kul og naturgas. Tabel 4 viser de samlede Well-to-wheels emissioner.

**Tabel 3:** CO<sub>2</sub>-emission og energitab ved brug af 1 GJ<sup>3</sup> kulbaseret elektricitet, naturgasbaseret elektricitet, benzin eller diesel. Den marginale elektricitet i det nordiske elmarked er langt overvejende en blanding af kulbaseret og naturgasbaseret elektricitet.

<b>Well-to-tank CO<sub>2</sub></b> <b>Marginal betragtning</b>	<b>Elektricitet på kul</b>	<b>Elektricitet på naturgas</b>	<b>Benzin</b>	<b>Diesel</b>
Energi til bil (GJ)	1,0	1,0	1,0	1,0
Energitab ved transport og distribution (fra raffinaderi/kraftværk til bil)	7 %	7 %	2 %	2 %
Tab i raffinaderi og kraftværk	61 %	50 %	10 %	10 %
Tab "opstrøm"	15 %	15 %	15 %	15 %
<b>Samlet tab</b>	<b>69 %</b>	<b>60 %</b>	<b>25 %</b>	<b>25 %</b>
CO <sub>2</sub> -emission ved forbrænding (kg/GJ)	95	56	73	74
<b>Samlet CO<sub>2</sub> emission (kg/GJ)</b>	<b>308</b>	<b>144</b>	<b>97</b>	<b>99</b>

For olie består størstedelen af tabet opstrøms af afbrænding (flaring) af flygtige gasser (metan m.m.) samt af energi til re-injektion. For kulbaseret elektricitet er metan afgivelse en vigtig faktor, hvilket især gælder for dybtliggende miner.

Tabellen viser for eksempel, at for hver GJ-benzin, der tilføres til en benzintank, sker der en samlet CO<sub>2</sub>-emission på 97 kg. I den marginale betragtning er det forudsat, at energitab og CO<sub>2</sub>-emission ved udvinding er 50 % større end den globale gennemsnitsværdi. Såfremt den marginale råolie er nordsøolie, er tallet lavere, og er der tale om olie fra fx Canadas tjæresand, er tallet højere.

<sup>3</sup> 1 mio Wh = 1000 kWh = 3,6 GJ



Tabellen viser også, at emissionsfaktoren for kulbaseret elforbrug er 308 kg/GJ og fra naturgasbaseret elforbrug er 144 kg/GJ.

**Table 4:** Emissioner pr. GJ energi der overføres af biler gennem hjulene til vejen. Tallene er baseret på well-to-tank emissionstal fra Tabel 3.

<b>Well-to-wheels CO<sub>2</sub> Marginal betragtning</b>	<b>Elbil (kul)</b>	<b>Elbil (naturgas)</b>	<b>Benzinbil (råolie)</b>	<b>Dieselbil (råolie)</b>
Well-to-tank CO <sub>2</sub> emission kg/GJ	308	144	97	99
Samlet bil virkningsgrad	67 %	67 %	18 %	23 %
<b>Samlet CO<sub>2</sub> emission kg/GJ</b>	<b>458</b>	<b>214</b>	<b>541</b>	<b>429</b>

Tabellen illustrerer, at såfremt en elbil forsynes med elektricitet der er baseret 100 % på naturgas, udleder den ca. halvt så meget CO<sub>2</sub> som en dieselbil. Hvis elbilen baseres 100 % på kulkraft, så har elbilen lidt højere emissionstal end dieselbilen. I rapportens videre analyser indgår der en blanding af brændsler til fremstilling af elektricitet, og diesel og benzinbilen indeholder også en lille andel af biobrændsler, som påvirker det samlede billede.

De to tabeller viser også, at mens elbilen har betydeligt højere energieffektivitet end benzin- og dieselbiler (Tabel 4), så er tabet på kraftværket der producerer elektricitet væsentligt højere end tabet i raffinaderiet, der producerer benzin og dieselolie. Samlet set har elbilen dog noget højere Well-to-wheels effektivitet.

## Elproduktion i Norden

Elektricitet der anvendes i elbiler giver ikke direkte anledning til lokale emissioner (bortset fra benzinfyr til opvarmning af kabinen). I det omfang, at elektriciteten er produceret på fossile brændsler, udledes der til gengæld CO<sub>2</sub> på kraftværket. Det er derfor et centralt spørgsmål for denne analyse, hvordan den elektricitet, der anvendes i elbiler i Danmark og i Norden, er produceret.

### Gennemsnits el

Elproduktionen i Norden er som gennemsnit baseret på ca. 50 % vandkraft, knap 25 % kernekraft, 25 % termisk energi (kul, gas, olie og tørv og biomasse) samt ca. 2 % vindkraft. Der er betydelig handel mellem de nordiske lande, og det fælles nordiske elmarked vurderes at være velfungerende. I alle landene er der besluttet virkemidler for at øge mængden af vedvarende energi.

Størstedelen af de nordiske elproducenter er underlagt EU's CO<sub>2</sub>-kvoteordning, hvor målet er 20 % reduktion frem mod 2020. Det nordiske elmarked er gennem forbindelser til Tyskland, Holland og Polen knyttet sammen med det kontinentale Europa, og handelen mellem Norden og Kontinentet er betydelig.



## Marginal el

Vandkraft og vindkraft bestemmes især af nedbørs- og vindforhold, og kernekraft fungerer som grundlast. I de fleste lande produceres der også på naturgasfyrede kraftværker og i nogle lande tillige på kul. Gennem det sammenhængende elmarked er det som hovedregel de dyreste produktionsenheder, som leverer den *marginale* elproduktion. I det sammenhængende elmarked er kulfyrede, gasfyrede samt i mindre omfang oliefyrede anlæg som hovedregel de dyreste. Det betyder, at såfremt elforbruget i de nordiske lande stiger en smule, vil det ekstra elforbrug blive leveret fra et kul- eller et naturgasfyret kraftværk, medens mængden af vandkraft, kernekraft og vindkraft kun undtagelsesvist påvirkes. Dette kan ske i år med ekstreme nedbørsmængder (vådår), hvor vandet ikke kan udnyttes fuldtud, eller ved såkaldte flaskehalse i elsystemet, hvor vindkraftanlæg må nedreguleres. VE indholdet i den marginale elproduktion, som følge af disse forhold, vurderes dog at være ubetydeligt (under 1 %).

Modelberegninger med elmarkedsmodellen Balmorel viser, at elektricitet til et øget elforbrug i Norden i et normalt nedbørsår i 2010 er baseret på ca. 80 % kul og ca. 20 % naturgas, hvilket bekræfter tidligere analyser.

## VE og marginal el i fremtiden

Frem mod 2025 kan der som følge af bl.a. EU's klimapakke forventes en betydelig stigning af mængden af vedvarende energi, og det er sandsynligt, at teknologier til opsamling og lagring af CO<sub>2</sub> (CCS) udvikles og implementeres i et begrænset omfang. Biomassefyret VE kan under visse omstændigheder blive marginal, mens kulkraftværker med CCS antageligt vil blive drevet som grundlastanlæg på samme måde som A-kraftværker. Det betyder umiddelbart, at CO<sub>2</sub> indholdet i den marginale elproduktion ikke vil ændres meget, idet kun brændselsskift mellem kul og biomasse i begrænset omfang vil indgå.

Til gengæld er det sandsynligt, at der frem mod 2025 vil være en vis *beslutningsmæssig* sammenhæng mellem øget elforbrug og ønsket om at en stigende andel af elforbruget baseres på VE eller CCS teknologier. Herved vil et øget elforbrug sandsynligvis bidrage til investeringer i VE eller CCS. Denne sammenhæng skyldes blandt andet elforbrugets direkte indvirkning på CO<sub>2</sub>-kvoteprisen. Der kan på den baggrund argumenteres for, at den langsigtede marginale elproduktion vil indeholde en stigende andel VE. Det er dog usikkert, i hvilket omfang der i praksis vil være en sådan direkte sammenhæng allerede inden 2015 og 2025.

Det er dog uomtvisteligt, at det *gennemsnitlige* elforbrug vil indeholde stigende mængder VE, som følge af EU's klimapakke og nationale tiltag. Da det samlede VE mål i EU er 20 % af energiforbruget, vil VE der indregnes i elbilernes energiforbrug i et vist omfang fortrænge VE udbygning andre steder, f.eks til boligopvarmning.





Fleksibelt elforbrug, som elbiler måske kan blive et godt eksempel på, kan medføre at det bliver lettere at indpasse større mængder vindkraft i elsystemet. Elbilens effektivitet i denne sammenhæng, set i forhold til rækken af andre tekniske og regulatoriske muligheder for at øge mængden af vindkraft, er dog endnu ikke grundigt belyst. Hvis beslutninger om at omlægge en del af transporten til elbiler knyttes nøje sammen med beslutninger om at øge udbygningen med vindkraft, vil det marginale elforbrug til elbiler på længere sigt i stigende grad blive vedvarende energi.

På baggrund af ovenstående vurderinger antages det i denne rapport, at eksempelvis 5 % af den marginale elproduktion (den elproduktion som tilføres til elkøretøjer) er baseret på vedvarende energi i år 2015, mod 0 % i år 2010. For 2025 anslås det, at tallet er 15 %. For 2025 er tallet dog behæftet med betydelig usikkerhed, idet det afhænger af politiske og kommercielle beslutninger, som endnu ikke er taget. Endvidere er det uklart, hvordan VE der tilskrives transportsektoren, vil påvirke landenes målsætninger for andre sektorer.

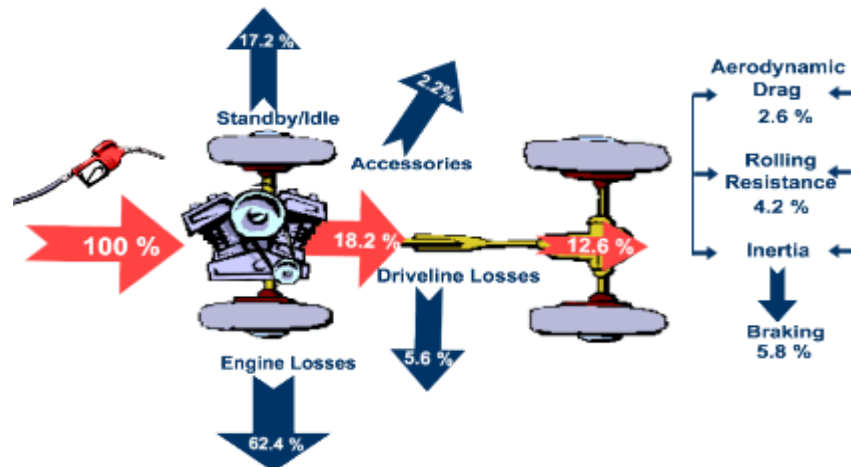
## 5 Gennemgang af bilernes drivlinjer i 2010 og frem mod 2025

I dette afsnit præsenteres hovedtræk i de fem forskellige drivlinjer, som gennemgås i rapporten. Herunder hvilke effektivitetsforbedringer, der kan forventes på kort sigt og frem til 2025.

### **Benzinbiler (ottomotoren)**

Benzin- og diesebilens drivlinje består i korte træk af motor, gearkasse og kraftoverførelse til hjulene. Som hovedregel overføres kraften i dag til bilens forhjul, hvilket giver bedre vejgreb, men lidt større energitab.

Nedenstående figur er hentet fra den amerikanske energistyrelses (DOE) hjemmeside og illustrerer størrelsesordenen på de energitab, som opstår i en personbil med benzinmotor (ottomotor) i blandet kørsel. Figuren viser, at kun ca. 15 % af den tilførte energi nyttiggøres som nettoenergi til bilens fremdrift samt energi til at drive udstyr som klimaanlæg, lys, blæser etc. Resten af energien går tabt undervejs i form af varme. Størstedelen af tabet ligger i selve motoren, når den trækker, men også tab ved tomgang og ved kraftoverførelse i gearkasse og hjul har betydning.



**Figur 3:** Illustration af energitab i benzindrevet personbil, USA. Figuren viser, at i alt kun 12,6 % af benzinens energiindhold går til at nettoenergiforbrug (vindmodstand, rullemodstand og bremseenergi). Kilde: [www.fueleconomy.gov](http://www.fueleconomy.gov)

Peugeot 207 kan i dag leveres i en 4 cylindret benzinudgave med 95 hestekræfter (70 kW). Volkswagens Golf leveres ligeledes i en 4 cylindret udgave med 80 hestekræfter (59 kW). Disse modeller og tilsvarende fra andre bilfabrikanter er i dette studie valgt som grundlag for den teoretiske standardbil.

I bilagene til rapporten "Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren" fra 2008, vurderes det, at den samlede effektivitet for benzinmotoren er ca. 16 % ved blandet kørsel. Rapporten bygger dog på data fra 2005 og 2006. I rapporten vurderes det, at effektiviteten stiger til 23,5 % i 2025. I disse tal indgår også tab i gear og kraftoverførelse.

## Fremtid

For den konventionelle benzinmotor er der en række forbedringsmuligheder, som forventes at give de betydeligt højere effektiviteter over de næste 15 år. Det drejer sig om nye materialer og avanceret motorstyring. Herunder forventes direkte brændselsindsprøjtning (DISI) at blive standard i løbet af få år. Som det fremgår af Figur 3, er tomgangstab en relativt stor tabskilde. Forskellige 'Start Stop' teknologier er under udvikling. Her vil styringen helt slukke for motoren i visse situationer for at spare brændstof.

Baseret på COWI rapporten og andre referencer er i dette studie valgt effektiviteter på 18,0 % i 2010, 20,0 % i 2015, og 23,5 % i 2025.

## Dieselmotorer

Dieselmotoren arbejder uden tændrør, og typisk ved et betydeligt større kompressionsforhold og forbrændingstemperaturer end ottomotoren. Dette giver mulighed for højere virkningsgrad. Tidligere var dieselmotoren til gengæld kendetegnet ved højere vægt og lavere accelerationsevne, men der har været betydelig udvikling på disse punkter.



Både Peugeot 207 og Volkswagen Golf fås i dieselversoner med direkte indsprøjtning og turbolader. Disse biler kan derfor indgå som grundlag for standardbilens dieselverson. I den omtalte COWI rapport blev dieselmotorens effektivitet på basis af 2006 data vurderet til at være 21 %, stigende til 25 % i 2025. Tallene inkluderer øvrige tab i drivlinen.

## Fremtid

Forbedringspotentialen for dieselmotoren vurderes ikke at være så højt som for benzinen, blandt andet fordi udgangspunktet er højere, og meget forskning allerede er implementeret. Der er især forventninger til start stop teknologi, forbedret styring samt yderligere reduktion af vægt.

På basis af tidligere studier og nye data er i dette studie valgt effektiviteter på 23,0 % i 2010, 24,5 % i 2015, og 26 % i 2025.

### Hybridbiler

Navnet "hybrid" viser, at køretøjet er en kombination – en hybrid – mellem to bilypers drivlinier, nemlig den forbrændingsmotorbaserede og elbilens. Hybridbilen har hermed to kraftkilder, samt både brændstoftank og batterilager. En fordel ved hybridbilen er, at forbrændingsmotoren i højere grad kan køre ved fast omdrejningstal og derved tættere på sit "bedstepunkt" med høj virkningsgrad. En anden fordel er, at motorstørrelsen kan reduceres betydeligt, da elmotoren bidrager til det nødvendige moment under acceleration, især ved lave omdrejningstal. En tredje fordel er muligheden for at opsamle og genbruge en del af bremseenergien via bilens elmotor og batteri.

Der er adskillige typer af hybridbiler, som i praksis kan inddeles i to hovedtyper: Parallel hybrid og seriel hybrid. I den parallelle hybridbil har både forbrændingsmotoren og elmotoren direkte kraftoverførelse til hjulene, medens det i den serielle hybridbil er elmotoren som driver bilen fremad. Her trækker forbrændingsmotoren en generator, som oplader et batteri. Den parallelle hybrid kræver bedre styring og har typisk en større benzin motor og et mindre batteri. Til gengæld undgår den en del af tabet i generator og batteri, som den serielle hybridbil har.

De fleste af de hybridbiler, som er solgt indtil nu, er parallelle hybrider. Nogle har hovedvægten på brændstoffordrift, medens andre har større batteri og hovedvægt på eldrift.

Toyota Prius er et eksempel på en såkaldt fuld parallel hybrid og er i dette studie anvendt som den teknologi, der repræsenterer den teoretiske standardbils hybridversion.

I dette studie er det antaget, at hybridbilens benzinmotor har en effektivitet på 22 %, at elmotoren har en effektivitet på 83 %, samt at batteriet op- og aflades



med 75 % effektivitet. Der regnes med, at ca. 90 % af arbejdet udføres af benzinenmotoren og 10 % af elmotoren. Den samlede effektivitet er beregnet til 25,4 %.

## Fremtid

Hybridbiler er en relativt ny teknologi med forbedringsmuligheder, især gennem styringsteknologi og på elsiden i form af lavere tab i motor og batteri. Forbrændingsmotoren bliver også mere effektiv, men idet hybridbilen allerede udnytter en del af dette potentiale ved at køre med mere fast omdrejningstal, forventes potentialet at være noget lavere end for de rene benzin- og dieselmotorer.

I dette studie er det antaget, at den samlede effektivitet stiger fra 25,4 % i 2010 til 26,5 % i 2015 og 28,8 % i 2025. Den antagne stigning skyldes også en forventning om, at elmotorens andel af det samlede arbejde er stigende.

### Plug-in Hybrid

På samme måde som de "traditionelle" hybridbiler kan også plug-in hybridbiler fremstilles i serielle eller parallelle udførelser. Plug-in bilerne adskiller sig ved, at de kan oplade batteriet både med forbrændingsmotoren ombord på bilen, eller gennem tilslutning til elnettet. Plug-in bilerne vil typisk have et noget større batteri end andre hybridbiler, og det er i dette studie antaget, at disse primært vil blive solgt som serielle hybrider. Plug-in bilerne betegnes af nogle som et naturligt udviklingsstrin på vejen frem mod egentlige elbiler.

I dette studie er det antaget, at den samlede effektivitet stiger fra 53,8 % i 2010 til 66,6 % i 2015 og 74,8 % i 2025. Denne stigning skyldes ligeledes en forventning om, at elmotorens andel af det samlede arbejde er stigende.

### Elbilen

Siden starten af 1980'erne i efterdønningerne efter oliekriseerne er der verden over gjort mange forsøg på at udvikle elbiler, som kunne nå et massemarked. Først med de franske bilfabrikkers (PSA) satsning i 1990'erne blev der fremstillet elbiler, som mindede om de biler i størrelse, køreegenskaber og personsikkerhed, som forbrugerne var vant til. Alligevel blev elbilen heller ikke i denne omgang en succes, først og fremmest på grund af batteriteknologien.

I dag produceres og sælges en række forskellige modeller af elbiler verden over, hvor de fleste er mindre køretøjer, der ikke lever op til de krav der stilles til denne rapport standardbil. Eksempler på elbiler på det danske marked på nuværende tidspunkt er Think, Kewet og Reva. Andre biler, som ombyggede Fiat modeller fra Elbil Danmark eller ombyggede Nissan modeller fra Afuture EV, forventes på markedet herhjemme i løbet af 2009.



Elbilens drivlinje består af oplader, batterier samt en eller flere elmotorer. Selvom der er sket en betydelig udvikling indenfor batteriteknologi de seneste 20 år, er vægten og rumfanget af batteriet - og dermed bilens aktionsradius og pladsforhold - fortsat en betydelig udfordring. Det tunge batteri øger endvidere bilens energiforbrug. Medens moderne Litiumbatterier kan lagre ca. 80 - 120 Wh energi pr. kilo, er energiindholdet i benzin og dieselolie mere end 100 gange større. Derimod er elmotoren lettere end benzin- og dieselmotoren og kan udnytte den oplagrede energi betydeligt mere effektivt. På grund af den store betydning, det har for bilens vægt, fokuseres en del af forskningen omkring elbiler på at mindske energitabene om bord.

De nyeste elmotorer har høje virkningsgrader over et stort belastningsområde, og med litiumbatterier og avanceret styring, er også de elektriske tab ved op- og afladning blevet betydeligt reduceret.

I dette studie regnes med en motoreffektivitet på 83 % samt opladnings- og afladningseffektivitet på 90 %. Sammen med tabet i selve laderen fås hermed en samlet effektivitet for elbilen af 67,2 % i 2010, svarende til hvad f.eks. Mitsubishi opgiver for deres i-MiEV, som forventes solgt i Danmark i slutningen af 2010.

#### Fremtid

Eftersom tabene i drivlinjen allerede er relativt små, er mulighederne for at forbedre elbilen begrænsede. Det amerikanske Tesla Motors opgiver allerede i dag effektiviteter, som er højere end ovenfor beskrevet for deres Roadster. Denne bil er specialproduceret og relativt dyr. I dette studie forventes den samlede effektivitet for elbilen at blive øget til 71,4 % i 2015 og 80,4 % i 2025.

Det skal bemærkes, at på grund af forventede fremskridt inden for batteriteknologi (ydelse/vægt forholdet) har vi beregningsmæssigt øget batterikapaciteten i elbilen fra 22 kWh i 2010 til 28 kWh i 2015, og 40 kWh i 2025.

## 6 Resultater

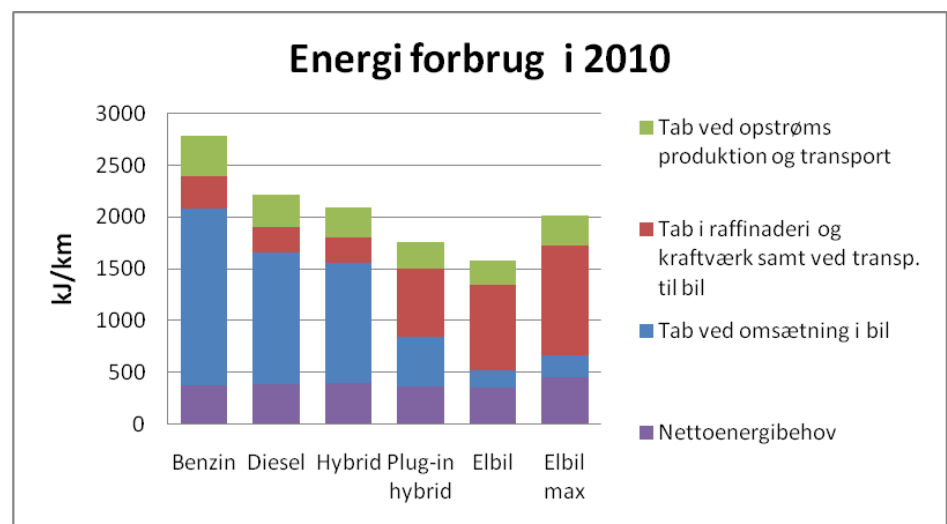
Figur 4 viser det samlede Well-to-wheels energiforbrug, som er nødvendigt for at fremdrive en standardbil en kilometer i 2010. Det grundlæggende energibehov, som er nødvendigt for at overvinde luftmodstand, rullemodstand, bremsetab samt energi til lygter og andet udstyr i bilen, benævnes i figuren "nettoenergi". Analysen tager udgangspunkt i, at behovet for nettoenergi er ens i alle konfigurationer bortset fra det, som skyldes bilernes forskellige vægt, forskellige muligheder for at udnytte en del af bremseenergien samt forskellige systemer for opvarmning af kabinen.

Elbilen har det laveste nettoenergi behov på godt 350 kJ/km (98 Wh/km). Forbruget er lavere på trods af den højere vægt, eftersom en betydelig del af



bremseenergien kan genindvindes. Elbil max har det højeste nettoenergiforbrug på grund af den øgede batterivægt for at opnå en aktionsradius, som kommer tættere på de andre bilers.

For at opfylde dette energibehov, skal bilens motor omsætte brændstof og elektricitet til mekanisk arbejde, til lys og til varme. Det ses i figuren, at tabet ved denne omsætning i bilen er meget forskellig i de forskellige konfigurationer. Drivsystemet med elmotor og batteri har højest effektivitet, og drivsystemet baseret på benzinmotor og gearkasse har lavest effektivitet. I beregningerne er det antaget, at 90 % af arbejdet i hybridbilen sker direkte gennem forbrændingsmotoren og 10 % går gennem lader, elmotor og batteri. For plug-in hybridbilen antages det, at 30 % af arbejdet leveres af benzinmotoren og 70 % leveres fra elnettet.



Figur 4: Well-to-wheels energiforbrug for standardbilen i de seks konfigurationer i 2010.

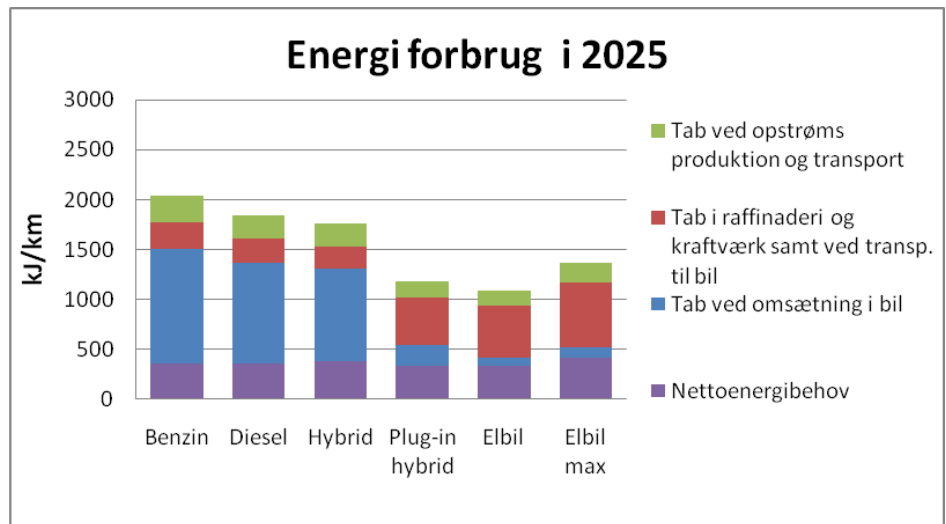
Inden brændstoffet og elektriciteten når frem til bilen, er der energitab undervejs. For elektricitet er tabet i kraftværker meget betydeligt. Der er her regnet med effektivitet i de marginale kulkraftværker på 39 %, og naturgaskraftværker på 50 %. For brændstofflinjen tabes kun 10 % ved raffinering af råolien på raffinaderiet. For biobrændsler som udgør 5 % af brændstoffet antages et tab på 50 % på det marginale 1. generationsanlæg.

Endelig er der energitab ved efterforskning og udvinding af fossile brændsler. Her er der regnet med at 15 % af energien ved den marginale udvinding tabes. Disse tal er behæftet med en del usikkerhed. Hertil kommer et mindre tab ved transport til raffinaderi og til kraftværk.

I Figur 5 nedenfor er de tilsvarende tal for 2025 vist. (Energiforbruget for 2015 ligger imellem 2010 og 2025, og tallene kan ses i bilag 2) Figuren afspejler forventningerne til den fortsatte udvikling af forbrændingsmotoren, især benzinmotoren. Hvor benzinbilen har en brændstoføkonomi på 18,5 km/l i 2010, er



denne øget til 26,2 km/l i 2025. For dieselbilen er de tilsvarende tal henholdsvis 25,3 km/l og 30,9 km/l. For elbilen kan brændstofføkonomien ikke direkte udtrykkes i km/l, men også for de elbaserede drivlinjer øges effektiviteten også betydeligt, fra ca. 67,2 % til godt 80,4 %. Forbedringen skyldes især mindre tab i batterier, ladeaggregat og i selve elmotoren.

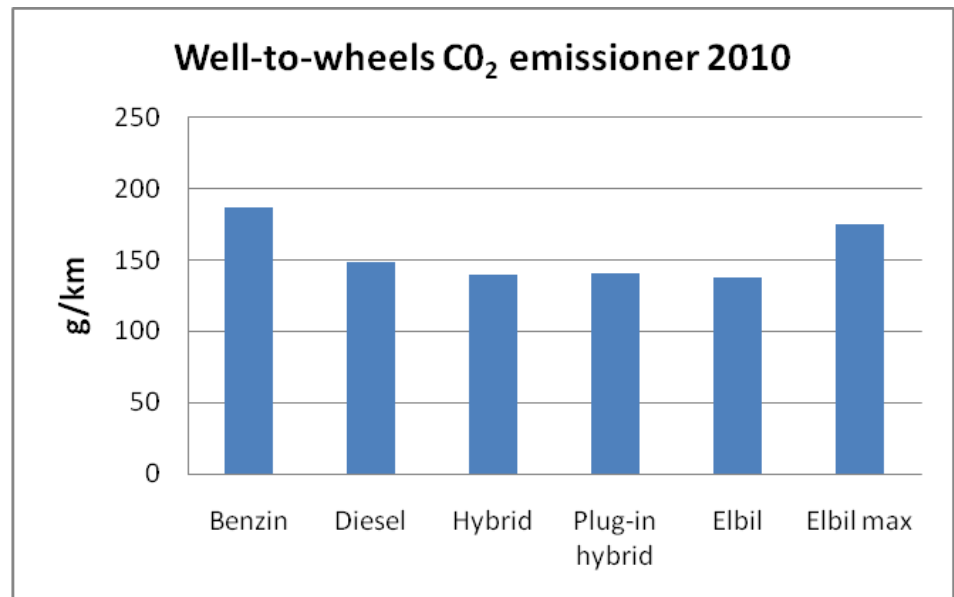


Figur 5: Well-to-wheels energiforbrug for standardbilen i de seks konfigurationer i 2025.

Der beregnes samme energieffektivitet opstrøms i 2025 som i 2010. Undtagen i elsystemet, hvor det antages at de marginale kul- og naturgasfyrede kraftværker har 5 % bedre effektivitet som følge af skrotning af de ældste kraftværker i Nordeuropa, hvorved en yngre generation værker, bliver marginale. Hertil kommer, at 15 % af den marginale elproduktion beregnes at være baseret på VE i 2025. Dette tal er behæftet med betydelig usikkerhed, men kan antages at ligge mellem 10 % - 20 %.

Fra energiforbrug til CO<sub>2</sub>-emissioner

Figur 6 viser den samlede Well-to-wheels emission af CO<sub>2</sub> i gram pr. kilometer for 2010. CO<sub>2</sub>-emissionen er beregnet på basis af de energiforbrug, som er vist i Figur 4. Den marginale elproduktion i 2010 i Norden er beregnet til at være baseret på 20 % naturgas, og 80 % kul. En mindre del af det som beregningsmæssigt indgår som kul, vil sandsynligvis i praksis være i form af tørv i Finland og brunkul i Tyskland og Polen, hvilket dog ikke ændrer det samlede billede.



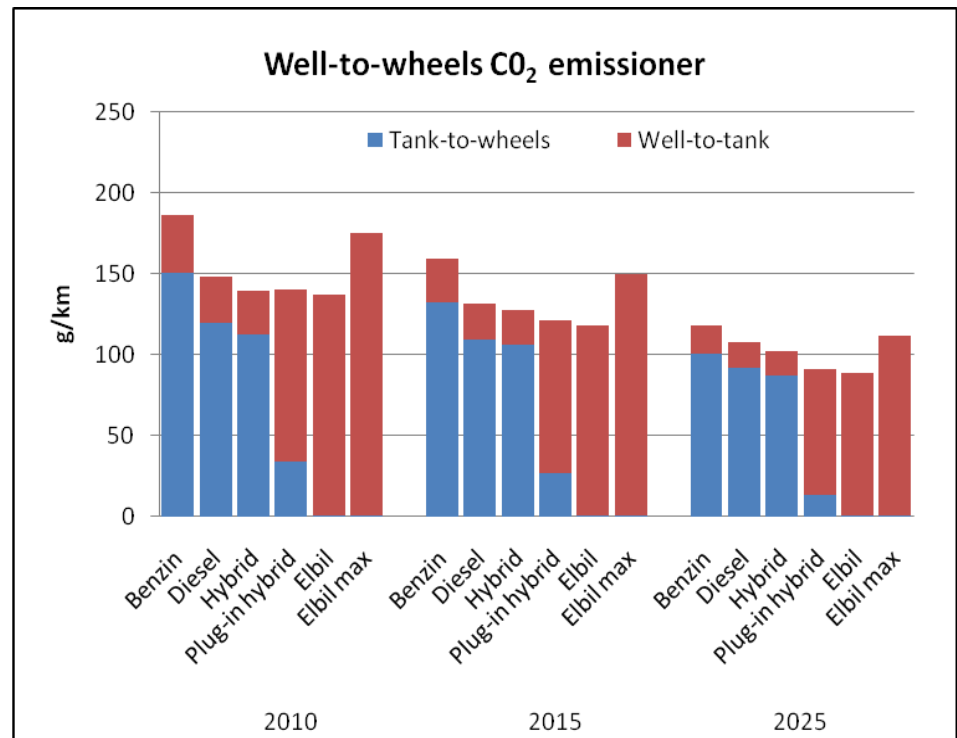
**Figur 6:** Standardbilens CO<sub>2</sub>emission i 2010, i seks forskellige konfigurationer. Elbil max svarer til Elbil, men med aktionsradius på ca. 500 km.

Figuren viser, at benzinbilen og Elbil max har højest CO<sub>2</sub>emission, mens elbilen og hybridbilerne har helt sammenlignelige emissionstal. Det skal i denne sammenhæng understreges, at elbilen, som indgår i beregningen, endnu ikke kan købes i handelen, og herudover har betydelig lavere aktionsradius og topfart end de øvrige konfigurationer.

Figur 7 ses, hvordan emissionen af CO<sub>2</sub> forventes at udvikle sig fra 2010 over 2015 til 2025. For alle konfigurationer reduceres emissionen med 30 % - 40 % i 2025 i forhold til 2010. Den største udvikling forventes ved benzinbilen, især som følge af forbedringer i selve motoren og drivlinje. For elbilen forventes som ovenfor nævnt også forbedrede virkningsgrader. Hertil kommer, at en del af elproduktionen i 2025 forventes baseret på VE.

Samlet set har elbilen lavest emission i både 2010 og 2015, men elbilens samlede brugsegenskaber er ikke på niveau med de øvrige biler. En elbil med samme aktionsradius som de øvrige biler (Elbil max) skal have større batteri og bliver dermed betydeligt tungere. Elbil max får emissionstal, der overstiger tallene for både dieselbilen og hybridbiler.





**Figur 7:** Udvikling i standardbilens CO<sub>2</sub>- emission i 2010, 2015 og 2025, i seks forskellige konfigurationer. Elbil max svarer til Elbil, men med aktionsradius på ca. 500 km i 2010.

Også i 2025 har elbilen lavest emissionstal, især fordi en større del af den marginale elproduktion nu er baseret på VE. I 2025 har elbilen i den beregnede konfiguration en aktionsradius på ca. 350 km. Det skyldes antagelserne om den fortsatte udvikling af batteriteknologi, herunder især energi-vægt forholdet. Denne forbedrede teknologi udnyttes til at øge energiindholdet i elbilkonfigurationen. Det er muligt, at elbiler i 2025 vil blive markedsført som en mellemting mellem de viste Elbil og Elbil max konfigurationer. Med denne forudsætning, vil en elbil med aktionsradius på over 500 km i 2025 have samme emissionstal som en dieselbil, men højere end plug-in hybridbilen.



## Bilag 1: Standardbilens egenskaber og energibehov

VW Polo BlueMotion



Peugeot 207



VW Golf BlueMotion



Toyota Prius



Chevy Volt



For at gøre det muligt at sammenligne de fem forskellige drivsystemer på et ensartet grundlag, har det været nødvendigt at opstille en teoretisk "standardbil" dog ud fra kendte bilmodeller. Det antages hermed at bilernes køreegenskaber, rummelighed, lasteevne, personsikkerhed og komfort er uafhængig af den teknologi, som driver bilen fremad. Dette er naturligvis ikke helt korrekt, især på grund af lavere aktionsradius og tophastighed for elbilen i de udgaver som er på markedet, eller som forventes på markedet de kommende år.

Med udgangspunkt i den europæiske standard for blandet kørsel (NEDC), er der defineret, hvor meget energi denne standardbil skal bruge for at overkomme energitab ved vindmodstand, rullemodstand mellem dæk og vej, samt tab i bremses. Disse tab er afhængige af bilens størrelse, form og vægt samt af kørselsmønsteret. Nettoenergiforbruget opgives ikke direkte af fabrikanterne, men er her beregnet til at være ca. 90 Wh/km, på baggrund af en række antagelser fra de studier som er gennemgået.

I Tabel 5 ses eksempler på mindre kompakte mellemklassebiler, som har dannet grundlag for opstilling af standardbilens. Andre benzin og dieseldrevne køretøjer med tilsvarende egenskaber er Peugeot 207 og Volkswagen Golf. Modelerne er udvalgt på grund af deres relativt store udbredelse i den danske (og nordiske) bilflåde.

Som ovenfor nævnt, er elbilens rækkevidde på en opladning ikke på niveau med de øvrige bilers 600 – 900 kilometer på en fuld tank. Hvorvidt, dette er et stort problem for den enkelte bilejer, er ikke vurderet, men formålet her er at etablere et standardiseret grundlag for sammenligning.

Valg af batteritype er en afbalancering af forskellige faktorer som pris, effektivitet, levetid, effekt og energitæthed. Moderne batterisystemer til elbiler har energitætheder på ca. 100 – 120 Wh/kg. Hermed vil standardbilens eludgave i blandet kørsel kunne øge sin rækkevidde med ca. 1 km for hvert ekstra kilo batteri, der tilføres til grundbatteriet. Efterhånden som batterivægten øges, stiger bilens nettoenergiforbrug pr. kilometer, og nytteværdien af de sidste kilo bliver dermed mindre.

En elbil med rækkevidde på ca. 650 km vil derfor veje godt 500 kilo mere end standardbilens i 2010. Selvom dette ikke er en sandsynlig konfiguration, er en elbil med fuld aktionsradius vist på linje med analysens øvrige biler.

**Table 5:** Bilmodeller i 2010 og deres egenskaber. Modellerne er valgt som grundlag for den teoretiske standardbil der indgår i rapportens analyse. \* Estimeret

Bilmodel	Type	Brændstof. øk. (km/l)	CO <sub>2</sub> (g/l)	Vægt (kg)	Køreafst. (km)*	Topfart (km/h)
VW Polo 1,2 - 70 HK	Benzin	18,2	128	1117	750	165
Peugeot 207 1.4- 95 HK	Benzin	16,4	140	1150	700	185
VW Golf VI 1.4 - 80 HK	Benzin	15,6	149	1302	660	172
Peugeot 207 1,4 Hdi – 70 HK	Diesel	22,7	117	1177	945	166
VW Polo TDI 1,6 - 75hk	Diesel	23,8	109	1207	955	170
VW Polo Blue- Motion 1.4 TDI	Diesel	26,3	99	1084	975	176
VW Polo Blue Motion 1.2 TDI	Diesel	30,3	87	1054	1100	170*
Toyota Prius	F-Hybrid	23,3	105	1383	887	170
Chevy Volt	Plug-hy	N/A	N/A	1596	710	160
Mitsubishi iMiEV	El bil	N/A	N/A	1080	144	130
AFUTURE EV PRO1	El bil	N/A	N/A	1400	250	130

Mitsubishi iMiEV



AFUTURE EV PRO1





## Bilag 2: Tabeller og nøgletal

<b>Nøgletal 2010</b>		<b>Benzin</b>	<b>Diesel</b>	<b>Hybrid</b>	<b>Plug-in hybrid</b>	<b>Elbil</b>	<b>Elbil max</b>
Samlet bil virkningsgrad**	pct.	18,0 %	23,0 %	25,4 %	53,8 %	67,2 %	67,2 %
Brændstoføkonomi, Tank-to-wheels	km/l og km/kWh	15,8 km/l	21,7 km/l	21,1 km/l	69,2 km/l	7,1* km/kWh	5,6* km/kWh
Brændstoføkonomi, Tank-to-wheels uden lys, ventilation m.m.	km/l og km/kWh	18,5 km/l	25,3 km/l	24,4 km/l	83,4 km/l	8,4* km/kWh	6,3* km/kWh
CO <sub>2</sub> Well-to-wheels	g/km	186	149	140	141	137	175
CO <sub>2</sub> Well-to-Wheels undtagen opstrøms emissioner	g/km	162	129	122	122	120	152
CO <sub>2</sub> Tank-to-wheels	g/km	150	120	113	34	1	1
CO <sub>2</sub> Tank-to-wheels uden lys, ventilation m.m.	g/km	129	103	98	30	0	0
CO <sub>2</sub> besparelse fra biobrændsler	g/km	1,3	2,5	1,0	0,3	0,0	0,0
Aktionsradius	km	770	1074	923	734	156	477

\*Tallet indeholder ikke energiforbrug til kabinevarmer

\*\*Inklusiv tabet i batteri og tabet i selve laderen

<b>Nøgletal 2015</b>		<b>Benzin</b>	<b>Diesel</b>	<b>Hybrid</b>	<b>Plug-in hybrid</b>	<b>Elbil</b>	<b>Elbil max</b>
Samlet bil virkningsgrad**	pct.	20,0 %	24,5 %	26,5 %	66,6 %	71,4 %	71,4 %
Brændstoføkonomi, Tank-to-wheels	km/l og km/kWh	17,9 km/l	23,6 km/l	22,4 km/l	88,1 km/l	7,7* km/kWh	6,1* km/kWh
Brændstoføkonomi, Tank-to-wheels uden lys, ventilation m.m.	km/l og km/kWh	21,0 km/l	27,6 km/l	26,0 km/l	107,4 km/l	9,2* km/kWh	6,9* km/kWh
CO <sub>2</sub> Well-to-wheels	g/km	169	132	128	122	118	150
CO <sub>2</sub> Well-to-Wheels undtagen opstrøms emissioner	g/km	139	115	111	106	103	130
CO <sub>2</sub> Tank-to-wheels	g/km	132	109	106	27	1	1
CO <sub>2</sub> Tank-to-wheels uden lys, ventilation m.m.	g/km	113	93	91	23	0	0
CO <sub>2</sub> besparelse fra biobrændsler	g/km	1,7	3,4	1,3	0,3	0,0	0,0
Aktionsradius	km	860	1163	966	766	216	635

\*Tallet indeholder ikke energiforbrug til kabinevarmer

\*\*Inklusiv tabet i batteri og tabet i selve laderen



<b>Nøgletal 2025</b>		<b>Benzin</b>	<b>Diesel</b>	<b>Hybrid</b>	<b>Plug-in hybrid</b>	<b>Elbil</b>	<b>Elbil max</b>
Samlet bil virkningsgrad**	pct.	23,5 %	26,0 %	28,8 %	74,8 %	80,4 %	80,4 %
Brændstoføkonomi, Tank-to-wheels	km/l og km/kWh	21,8 km/l	26,2 km/l	25,2 km/l	161,9 km/l	9,0* km/kWh	7,2* km/kWh
Brændstoføkonomi, Tank-to-wheels uden lys, ventilation m.m.	km/l og km/kWh	25,7 km/l	30,9 km/l	29,4 km/l	204,6 km/l	10,9* km/kWh	8,3* km/kWh
CO <sub>2</sub> Well-to-wheels	g/km	118	108	102	91	90	112
CO <sub>2</sub> Well-to-Wheels undtagen opstrøms emissioner	g/km	103	94	89	79	77	97
CO <sub>2</sub> Tank-to-wheels	g/km	101	92	87	14	1	1
CO <sub>2</sub> Tank-to-wheels uden lys, ventilation m.m.	g/km	86	78	75	11	0	0
CO <sub>2</sub> besparelse fra biobrændsler	g/km	9,6	9,6	8,3	1,3	0,1	0,1
Aktionsradius	km	1031	1285	1074	834	362	1024

\*Tallet indeholder ikke energiforbrug til kabinevarmer

\*\*Inklusiv tabet i batteri og tabet i selve laderen



## Bilag 3: CO<sub>2</sub>-emission fra biobrændsler

EU har vedtaget en målsætning om iblanding af 5,75 % biobrændsler i 2010, og 10 % i 2020. Eftersom planter optager lige så meget CO<sub>2</sub>, når de vokser som de udleder ved forbrænding, regnes CO<sub>2</sub>-emissionen fra selve forbrændingen af biobrændsler til nul. Til gengæld udledes der CO<sub>2</sub> ved dyrkning og gødsning af markerne samt ved selve fremstillingen af biobrændslet.

I VE direktivet, som blev vedtaget i april 2009 i forbindelse med klimapakken, er der indlagt et bilag med standardtal for biobrændslers CO<sub>2</sub>-udledning. Det er valgt at anvende disse tal som udtryk for den marginale produktion af biobrændsler, uanset at en væsentlig del af biobrændslerne i praksis kan komme fra Brasilien, hvor andre emissionsfaktorer kan anvendes som gennemsnitsværdier.

I dette studie er der regnet med 1. generations teknologi for biobrændsler i 2010 og i 2015 baseret på hvede og raps for henholdsvis ethanol og diesel. For 2025 regnes med 2. generation teknologi baseret på henholdsvis halm og træ.

**Tabel 6:** Reduktion af CO<sub>2</sub>-emission ved anvendelse af biobrændsel beregnet på basis af standardværdier i VE direktivet.

CO <sub>2</sub> -emission	Ethanol	Biodiesel
2010, 2015 – Reduktion	16,0 %	38,0 %
2010, 2015 – Reduktion (kg/GJ)	11,7	28,1
2025 – Reduktion	85,0 %	93,0 %
2025 – Reduktion (kg/GJ)	62,1	68,8



## Bilag 4: Referencer

AFUTURE EV, 2009. AFUTURE EV PRO1. <http://www.afuture.dk/>

Andersen, J., 2009. Elbiler – en del af den samlede løsning. Peugeot, Danmark

Bandivadekar et al, 2008. On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions. Laboratory for Energy and Environment, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge MA, USA.

Bodek, K., Heywood, J., 2008. Europe's Evolving Passenger Vehicle Fleet: Fuel Use and GHG Emissions Scenarios through 2035. Laboratory for Energy and Environment, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge MA, USA.

Carras et al, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 Energy, Chapter 4, Fugitive Emissions. IPCC, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Centre of Excellence for low carbon and fuel cell technologies, 2008. Investigation into the Scope for the Transport Sector to Switch to Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles. Prepared for the Department for Business Enterprise and Regulatory Reform, and the Department of Transport, United Kingdom.

Concawe et al, 2008. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power-trains in the European Context. Tank to Wheels Report.

Concawe et al, 2007. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power-trains in the European Context. Well to Wheels Report.

COWI, 2006. Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren Fakta-ark for teknologi-elementer og systemberegninger for teknologi-spor. Udarbejdet for Energistyrelsen, Danmark.

Eberhard, M., Tarpenning, M., 2006. The 21<sup>st</sup> Century Electric Car. Tesla Motors, [www.veva.bc.ca/wtw/Tesla\\_20060719.pdf](http://www.veva.bc.ca/wtw/Tesla_20060719.pdf).

Energistyrelsen, 2007. Energistatistik 2007. København, Danmark.

Energistyrelsen, 2008. Alternative drivmidler i transportsektoren. København, Danmark.



Eurelectric, 2007. The role of electricity – a new path to secure, competitive energy in a carbon-constrained world, Union of the electricity industry – EURELECTRIC, Brussels, March 2007.

Fleet, B, et al, 2008. Situational Analysis for the Current State of Electric Vehicle Technology. Prepared for Natural Resources Canada, Canadian Electric Vehicle Industry Steering Committee, Canada.

Green Car Congress, 2009. Li-ion Polymer Battery Maker Kokam America Is Partner of Choice for Smith Electric Vehicles US; Kokam JV With Dow Targeted at Scaling Up Production. <http://www.greencarcongress.com/2009/04/sevus-kokam-20090417.html#comments>

HybridCars, 2009. Chevrolet Volt.  
<http://www.hybridcars.com/vehicle/chevy-volt.html>

Hybridcenter.org, 2009. Union of Concerned Scientists,  
<http://www.hybridcenter.org/hybrid-center-how-hybrid-cars-work-under-the-hood-2.html>

Jørgensen, K., 2007. Technologies for electric, hybrid and hydrogen vehicles: Electricity from renewable energy sources in transport. Risø National Laboratory, Technical University of Denmark, Roskilde.

Kalhammer et al, 2007. Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology – Report of the ARB Independent Expert Panel 2007. Prepared for State of California Air Resources Board, Sacramento California.

Karplus et al, 2009. Prospects for Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the United States and Japan: A General Equilibrium Analysis. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge MA, USA.

Kendall, G., 2008. Plugged In The end of the oil age. WWF. Brussels, Belgium.

Kerr, T., Yang, M., 2009. Coal Mine Methane in China: A Budding Asset with the Potential to Bloom. International Energy Agency. Paris, France.

King, 2007. The King Review of low-carbon cars. Part I: the potential for CO<sub>2</sub> reduction. Norwich, England.

King, 2008. The King Review of low-carbon cars. Part II: recommendations for action. Norwich, England

Koornneef et al, 2008. Life cycle assessment of a pulverized coal power plant with post-combustion capture, transport and storage of CO<sub>2</sub>. International journal of greenhouse gas control 2 (2008) 448 – 467





National Energy Technology Laboratory, 2008. Development of Baseline Data and Analysis of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Petroleum-Based Fuels.

Nordel, 2008. Annual statistics.  
<http://www.nordel.org/content/Default.asp?PageID=213>

Organisation for Economic Co-Operation and Development and Food and Agricultural organization of the United Nations, 2008. OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017. OECD Publications, Paris, France.

Peugeot, 2009. Peugeot 207 SW, Specifikationer, Farver og intraæk, Udstyr og optioner. Peugeot, <http://www.peugeot.dk/se-peugeot/207/sw/>.

Polo, 2008. The Polo. Volkswagen Group United Kingdom Limited, [www.volkswagen.co.uk](http://www.volkswagen.co.uk).

Refuel, Planning the road ahead for biofuels,  
<http://www.refuel.eu/biofuels/fischer-tropsch-diesel/>

Schramm, Jesper, 2009. Perspectives for Ecocars - Is 100 km per litre possible? DTU Workshop on Transport, Denmark.

Spath et al, 1999. Life Cycle Assessment of Coal-fired Power Production. National Renewable Energy Laboratory. Golden, Colorado.

The Clean Green Car Company, 2009. Toyota Prius Technical Information.  
<http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-technical-info>

Toyota, 2009. 2010 Prius. [www.toyota.com/prius-hybrid/](http://www.toyota.com/prius-hybrid/)

US Department of Energy, 2009. Energy Requirements. US Department of Energy, <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>

Uyterlinde et al, 2009. Electric Vehicles – the future of passenger transport? ECN Policy Studies, The Netherlands.

Volkswagen, 2009. Brochure Golf. Volkswagen,  
<http://www.volkswagen.dk/vw/personbiler/Golf/Modeller/Ny-Golf/>

European Federation for Transport and Environment  
April 2008, Background briefing: Weight vs footprint