



Vælg og indtast data

Notatet inkluderer varebiler

Validering af energi- forbrugsdata for kø- retøjer i AD modellen

Varebil

1600

1

20000

Benzinmotor (147 hk)

E5 Dansk benzin

Bykørsel op til 50 km/t

Normal kørestil

Typisk kørerute

Gearskifte (aggressivitet)

Beregn

Find optimale tiltag

Dine aktuelle forudsætninger – her kan du ændre s

Brændstofpris [kr/l]	Front areal [m ²]	Luftmodstands faktor	Rulle modstands faktor	K b
10,00	3,50	0,40	0,0100	

Titel:

Validering af energiforbrugsdata for køretøjer i AD modellen

Udarbejdet for:

Energistyrelsen

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Transport og Elektriske Systemer

7. januar 2016

Forfatter: Kim Winther, Jacob Jeppesen

Indholdsfortegnelse

1. Baggrund og formål	4
2. Valg af datakilder	5
2.1. Fremskrivning af data	9
3. Validering af de 16 faktaark i AD-modellen	11
3.1. Standard benzinbiler	13
3.2. Standard Diesebiler.....	15
3.3. DME biler.....	16
3.4. Naturgasbiler (CNG).....	17
3.5. Brændselscellebiler med brint	18
3.6. Brændselscelle brinthybrid	19
3.7. Brændselscelle methanolhybrid	19
3.8. Plugin hybrider (PHEV)	20
3.9. Elbiler	21
3.10. Diesel lastbiler	26
3.11. Lastbil DME.....	27
3.12. Lastbil RME	28
3.13. Lastbil Gas.....	28
3.14. Dieselbusser	29
3.15. Gasbusser	30
3.16. Hybridbusser.....	30
3.17. Tilføjelse af nye biltyper til modellen	31
4. Varebiler	32
4.1. Drivmidler og motortyper	34
4.2. Driftsmønstre for varebiler.....	35
4.3. Faktisk forbrug og CO ₂ udledning.....	36
4.4. Lastens indvirkning	37
5. Forventet udvikling i pris og vedligehold for varebiler.....	38
5.1. Fabrikernes omkostningsniveau	41
6. Sammenfatning.....	44

1. Baggrund og formål

Dette notat indeholder Teknologisk Instituts input til energiforbrugsdata for køretøjer anvendt i Energistyrelsens model for alternative drivmidler (AD-modellen).

Formålet er at validere datagrundlaget for energiforbrugsdata i de 16 køretøjskategorier "Std benzin motor" til og med "Bus Hybrid". Her under tilstræbes det at datakilder og opgørelsesmetoder er konsistente og i overensstemmelse med forventet køremønster og belastning under danske forhold.

I hver kategori vurderes fremskrivningen af energieffektivitet på køretøjerne frem til 2050 efter Teknologisk Instituts estimater.

Notatet indeholder også et afsnit om varebilers energiforbrug, særligt med henblik på anvendelse i AD-modellen. Afsnittet om varebiler indeholder en oversigt over drivmidler og motortyper som er tilgængelige i de nyeste varebiler, en vurdering af realistiske driftsmønstre for varebiler samt forskellen mellem varebiler og personbiler med samme motortype.

Til slut omtales produktionsomkostningerne for personbiler samt den forventede fremtidig udvikling her i.

Notatet lægger særlig vægt på forbrugstal oplyst af brugerne selv. I dette tilfælde kan man bruge en hjemmeside som www.spritmonitor.de. Dette er en tysk hjemmeside hvor forbrugere indtaster deres forbrugstal løbende. Hjemmesiden har over 330.000 brugere og statistik på over 460.000 biler.

For el-, brint- og hybridbiler er der anvendt konkrete målinger fra projektet Green eMotion samt erfaringer fra Københavns Kommune.

For busser og lastbiler er der anvendt erfaringer og testdata fra bl.a. VTT's Busdatabase, IEA, projektet Biodiesel Danmark samt Trafikstyrelsens test af gaskøretøjer.

For varebiler sammenlignes faktisk forbrug og CO₂ udledning med certifikatværdier. Konkrete målinger er udført med eget OBD udstyr. Beregning af lastens indvirkning på energiforbruget er foretaget med simuleringsprogrammet Grøn Beregner.

Data i denne rapport er tilpasset så de umiddelbart kan indsættes i eksisterende eller nye fakta-ark i AD-modellen.

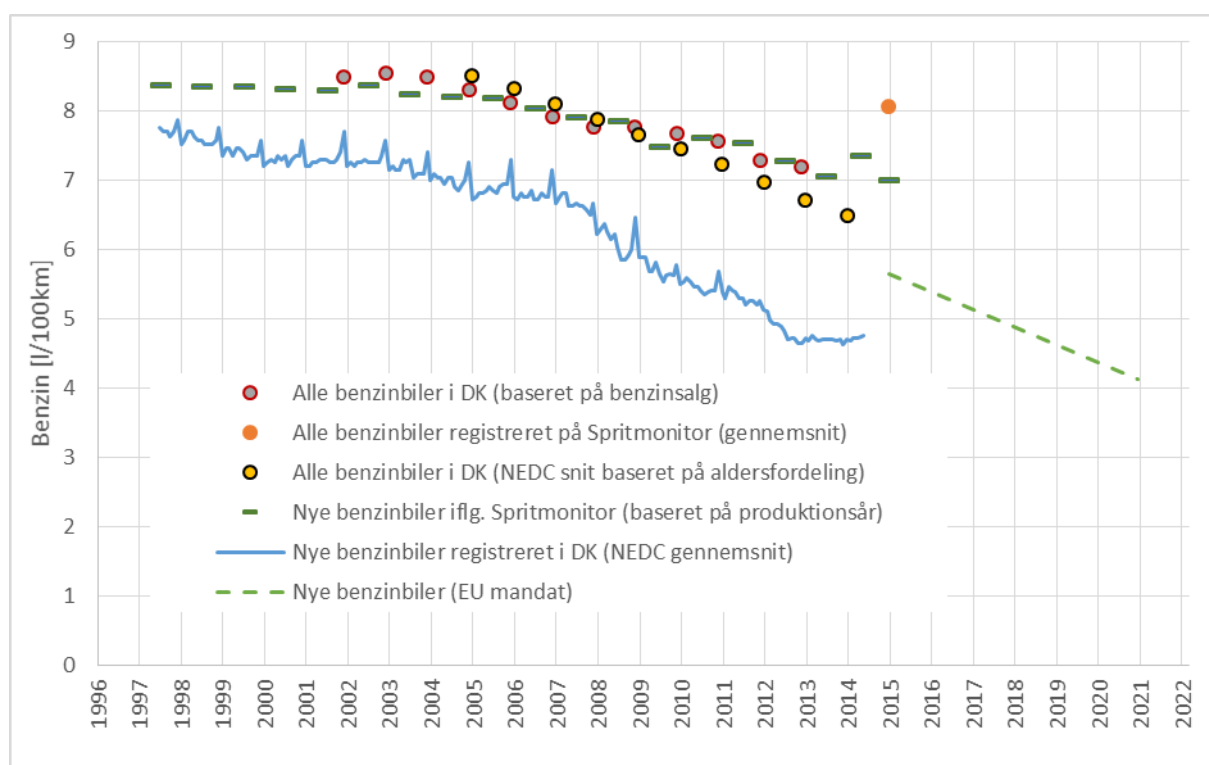
Data i rapporten er revideret efter en høringsrunde foretaget i august 2015. I november 2015 er der endvidere foretaget en ekspertvurdering hos Argonne National Laboratory. Dette har bl.a. foranlediget en nedjustering af forventningerne til fremtidig udvikling på benzin, diesel, el- og brændselsceller.

2. Valg af datakilder

Til validering af AD-modellen kan umiddelbart bruges elementer fra JEC (2014): "Well-to-Wheels studiet, Version 4". Denne indeholder en beregningsmodel der beskriver køretøjers teoretiske forbrug, og på baggrund af store mængder indsamlede data, beskrives en model for den fremtidige teknologiudvikling. Rapporten gør dog også opmærksom på, at modellen ikke nødvendigvis afspejler virkelighedens forbrugstal.

Desuden kunne det synes nærliggende at anvende de certificerede NEDC forbrugstal, som bl.a. danner grundlag for køretøjernes beskatning. Ved brugen af disse skal man være opmærksom på at flere rapporter og artikler det sidste stykke tid har dokumenteret, at resultaterne opnået under NEDC prøvning nærmest er uopnåelige for forbrugere. Endvidere konkluderer rapporten "ICCT Laboratory To Road" at der er et mønster for udviklingen i forskellen på resultater opnået i laboratorium og på vejen. Derfor skal certifikatværdier anvendes med stor forsigtighed.

På Figur 1 findes en sammenligning af forbrugsdata for benzinbiler fra forskellige kilder.



Figur 1: Gennemsnit af samtlige benzinbilers forbrugstal, sammenligning af NEDC, Spritmonitor, tal fra Danmarks Statistik, RUC og Vejdirektoratet samt EU.

Ud fra antal kørte kilometer indsamlet fra synshaller for Vejdirektoratet, og mængden af benzin solgt, har Per Homann Jespersen RUC beregnet brændstofforbruget for de enkelte år. Dette forbrug regnes for at være så tæt på virkeligheden som muligt og er indsat i Figur 1 som "Alle Benzinbiler i DK (Baseret på benzinsalg)". Dog gælder det alle biler, hvor AD-rapporten koncentrerer sig om C-segmentbiler.

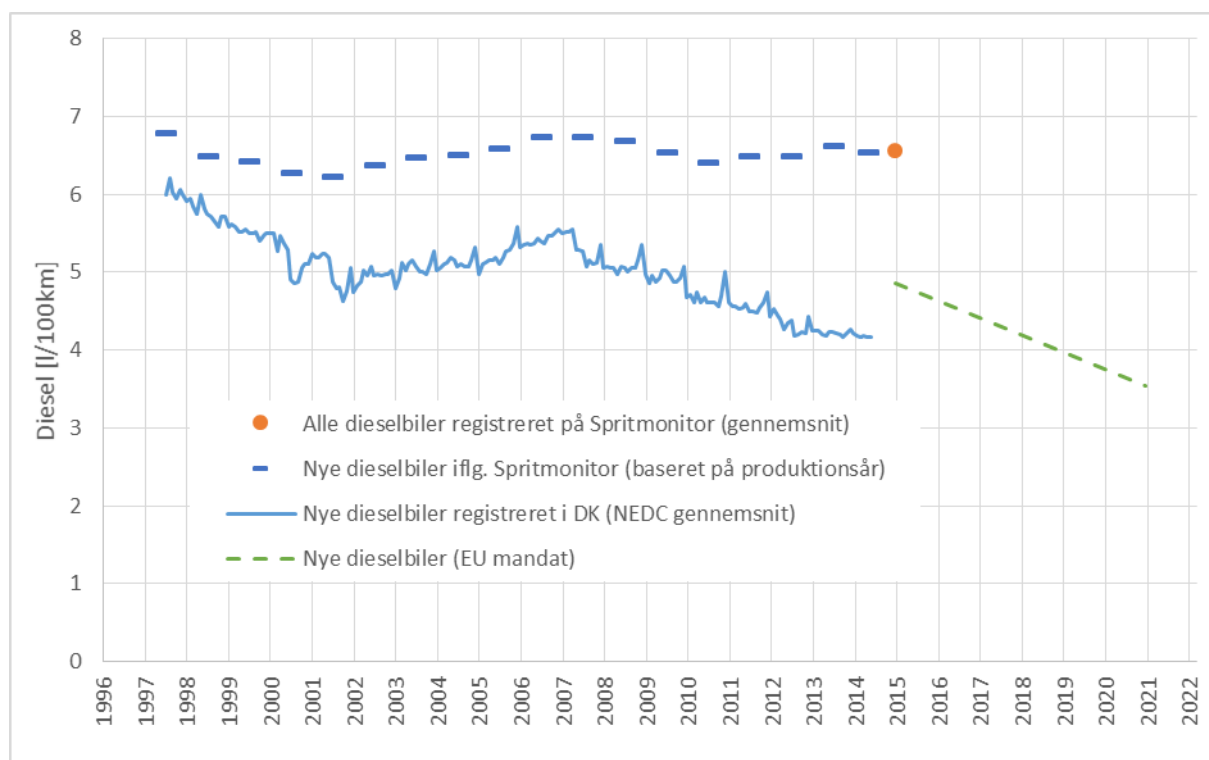
På Spritmonitor er det gennemsnitlige benzinforbrug fundet for alle størrelser og årgange af personbiler, som er registreret i systemet. Dette omfatter primært tyske biler, som dog pga. afgifterne må formodes at være mere luksuriøse end danske biler.

Nye dansk indregistrerede bilers NEDC forbrug er fundet for de enkelte år via Danmarks Statistik.

Ved hjælp af tal fra Danmarks Statistik om danske bilers aldersfordeling er det gennemsnitlige brændstofforbrug de enkelte år udregnet ifølge NEDC. Denne er vist som "Alle Benzin DK (NEDC baseret på aldersfordeling)".

Til sidst er EU-mandateret for benzinbilers forbrug indsat for de kommende år. Dette mandat er baseret på mængde CO₂ pr. kørt km for alle producerede biler.

Figur 2 viser forskellige kilders forbrugstal for dieselmotorer.

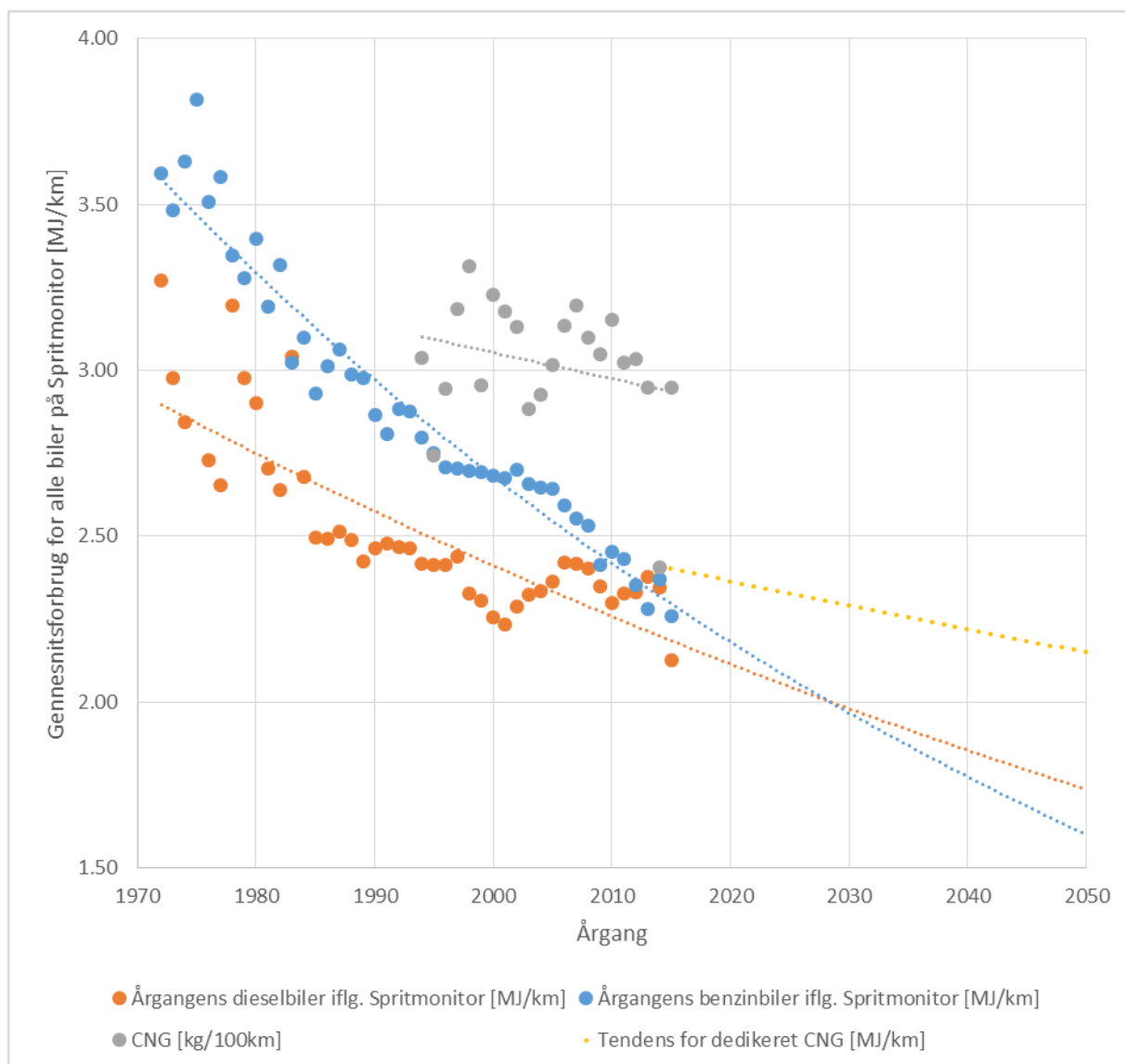


Figur 2 Dieselmotorers forbrugstal, sammenligning af NEDC og Spritmonitor

På Figur 1 og 2 ses det tydeligt at nye benzin- og dieselmotorer har et opgivet forbrugstal ved NEDC på væsentlig under målte forbrugstal fra Spritmonitor. Det ses ligeledes at kravene nye biler skal overholde ifølge EU mandatet følger trenden for nye bilers forbrugstal ved NEDC.

Figur 3 viser den historiske udvikling og en simpel tendenslinje (ekstrapolation) for det gennemsnitlige benzin- og dieselforbrug for alle størrelser personbiler i den nuværende (overvejende tyske) bilflåde på Spritmonitor. Dataene er arrangeret efter bilens produktionsår, således at den tekniske udvikling kan følges. Bemærk at CNG bilen har taget et spring fra årgang 2015 grundet udviklingen af dedikerede gasmotorer fra bl.a. VW-koncernen (se nærmere i Afsnit 3.4).

Det skal også bemærkes, at dieselmotorenes performance over tid er øget i forhold til benzinerne. I 1970-1990 var dieselmotorene markant svagere end benzinerne, mens de i dag er mindst ligeså kraftige. Mere herom i Afsnit 3.2.



Figur 3 Brændstoføkonomi for alle størrelser personbiler som funktion af årgang i henhold til data fra Spritmonitor

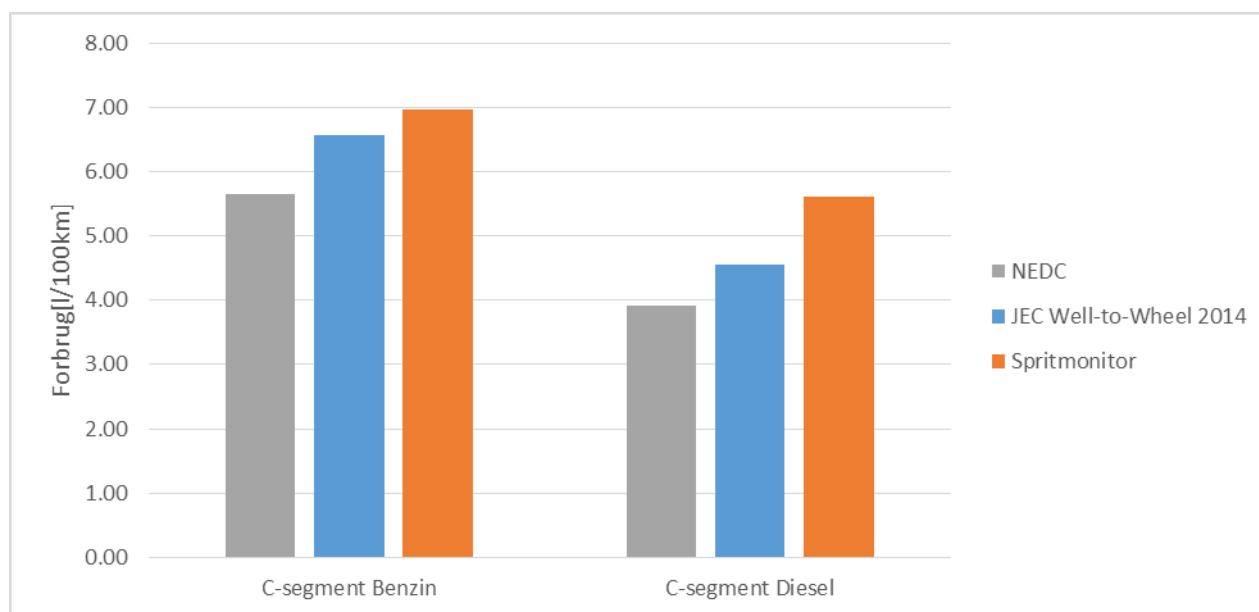
Oversigterne i Figur 1, Figur 2 og Figur 3 viser at forbrugstal kan defineres på mange forskellige måder. AD-modellen anvender enheden "**Nye C-segmentbiler under danske kørselsforhold**". Ingen kilder giver direkte svar på hvad en ny C-segment bil kan forventes at bruge under danske kørselsforhold. Det er dog muligt at komme meget tæt på ved at begrænse søgningen på Spritmonitor til bestemte bilmodeller.

Dette ses udført i sammenligningen på Figur 4. JEC rapporten viser lidt højere forbrug end NEDC, mens den afgrænsede Spritmonitor søgning ligger væsentligt højere. Det er i overensstemmelse med den generelle erfaring at biler bruger mere brændstof på vejen end i NEDC testlaboratoriet. Når Spritmonitor ligger højere end JEC, kan det skyldes at de høje tyske fartgrænser hæver forbruget for Spritmonitor's brugere over EU's gennemsnit.

Der ses umiddelbart en større forskel på NEDC og Spritmonitor for dieslbilerne end for benzinbilerne. Dette kan have forskellige tekniske forklaringer. Dels har benzinbiler et såkaldt pumpetab (eng.: throttling loss) som skyldes trykfald over gasspjældet (dieselmotorer har intet gasspjæld). Under en NEDC test er gasspjældet overvejende lukket eller næsten lukket på grund af den lave effekt, som kræves for at køre NEDC. Gasspjældet er på intet tidspunkt fuldt åbent i testen.

En anden mulig forklaring er at dieslbiler i den praktiske dagligdag bruger energi på at regenerere partikelfiltre og LNT-katalysatorer. Disse regenereringer kan typisk undgås under test, da varigheden af NEDC testen er begrænset til 20 minutter. Dog vil forbruget i praksis belastes af regenereringer, som ikke kræves for benzinmotorer.

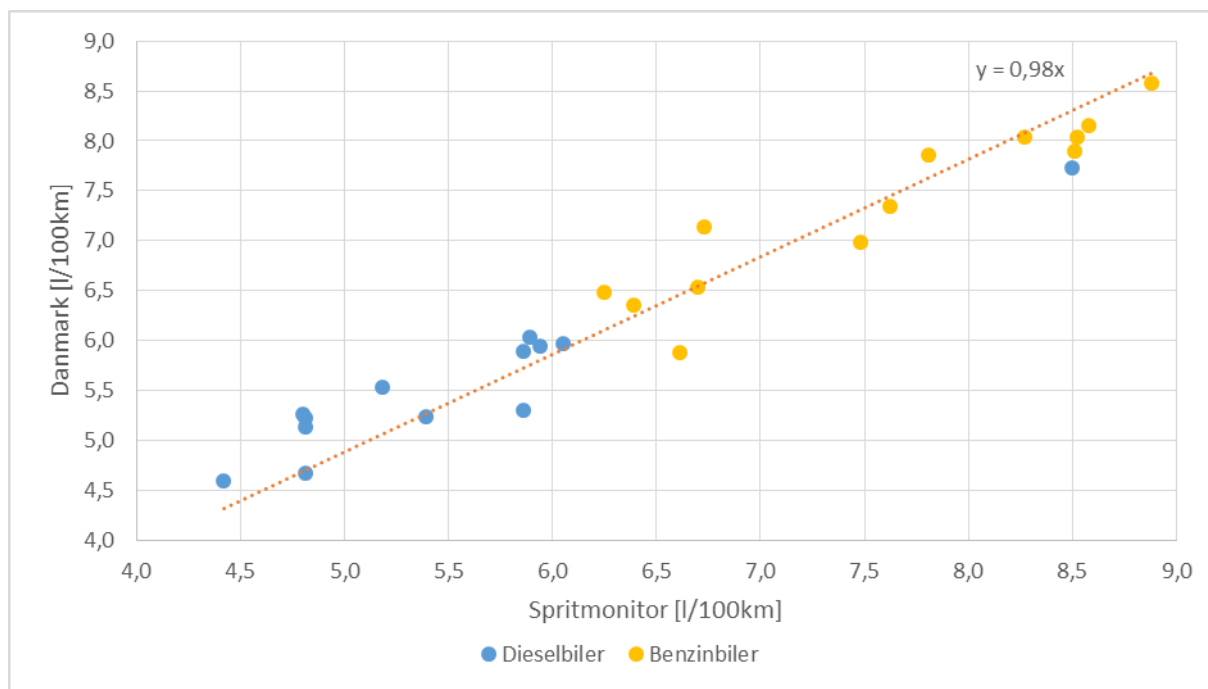
En sidste forklaring på dieslbilerne højere praksisforbrug, kan hænge sammen med køremønstret, da dieslbiler typisk anvendes af professionelle bilister (taxa, varebiler, kørende sælgere), som kan have tendens til at anvende materiellet lidt mere intenst end privatbilister.



Figur 4: Sammenligning af forbrugstal for C-segment biler iht. NEDC, JEC og Spritmonitor (2014 Golf, Focus, Octavia, A3, Astra, 308, Leon, Megane, 70-150hk).

Det er i denne rapport valgt at lægge afgørende vægt på data registreret på Spritmonitor, som overvejende har tyske brugere. Dette kræver at der er overensstemmelse mellem danske og tyske bilisters forbrug af brændstof pr. km. Dette er blevet undersøgt ved at tage 27 danske brugere på Spritmonitor, fundet via danske hjemmesider og fora, og sammenligne de danske forbrug med gennemsnittet af tilsvarende model og årgang fra Spritmonitor. Oversigten viser at der er god overensstemmelse (Figur 5). Det danske forbrug

ligger ca. 2 % lavere end Spritmonitor hos både benzin- og dieslbilerne, hvilket må tilskrives usikkerhederne.



Figur 5: Sammenligning af danske forbrugstal med gennemsnit fra Spritmonitor viser tilstrækkeligt god overensstemmelse for både benzin- og dieslbiler.

2.1. Fremskrivning af data

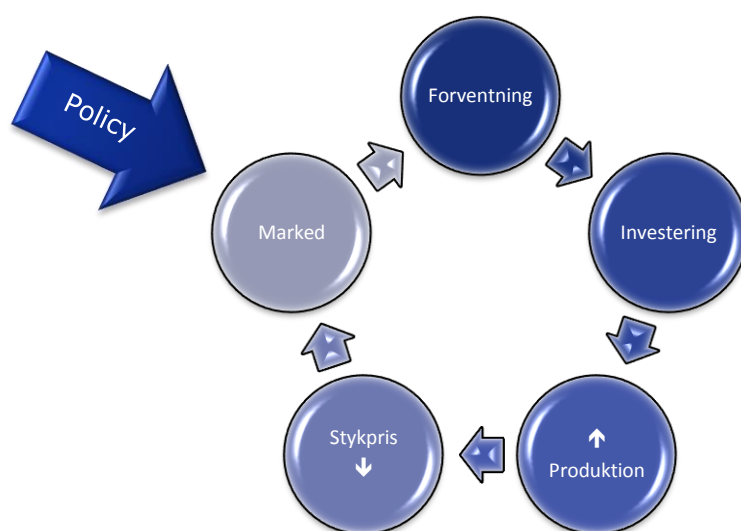
Fremtidsscenerierne om energieffektivitet er vanskelige at spå om. Bilproducenterne øger i disse år energieffektiviteten kraftigt, fordi det er et krav fra myndighederne i form af fx C.A.F.E. regulering (Company Average Fuel Economy). Der er ingen tvivl om at energieffektiviteten kan og vil blive øget yderligere, men det afhænger helt af hvor meget man forlanger fra myndighedernes side.

Et eksempel på ekstrem minimering af energiforbrug er DTU Roadrunners økobil, hvor massen af køretøjet ekstremt lille, vindmodstanden og rullemodstanden minimeret, og motoreffekten svarer til en EU-knallert. Økobilen er på ingen måde sammenlignelig med en moderne c-segment bil, men kan dog bruges til at illustrere potentialet ved ekstreme energibesparelser. På en særlig testbane opnås 600 km pr. liter, dog med en topfart begrænset til 35 km/t. Under lignende forudsætninger vil elektrisk drevne biler naturligvis også opnå kolossale besparelser.

Det er imidlertid ikke sandsynligt at markedet af sig selv vil efterspørge ekstremt brændstoføkonomiske biler, da brændstofpriserne trods alt er lave i forhold til de samlede omkostninger ved at holde bil. Om en bil kører 30 eller 100 km pr. liter er derfor uden den store betydning for forbrugeren. Energieffektiviteten for fremtidens køretøjer er derfor ikke kun et spørgsmål om teknologi.

Det er heller ikke muligt at forudsige stykpriser på biler alene ud fra kendskab til teknologien. Nutidige biler er grundet masseproduktionen relativt billige på trods af at de består af ca. 12.000 enkeltdele.

Med hensyn til produktionsomkostningerne må man regne med, at der er en hønen-og-ægget problematik for alle nye teknologier. Så længe teknologien ikke er slået i gennem, belastes produktionsprisen af alt for lave styktal. For at stykprisen kan falde, må produktionen stige. Dette kræver imidlertid store investeringer, hvilket igen kræver en forventning om et fremtidigt marked.



Figur 6: Investeringscyklus (positiv spiral)

I Figur 6 ses en positiv investeringscyklus, som kendetegner succesfulde kendte produkter på markedet. Det eksisterende marked giver anledning til positive forventninger, som igen fører til investeringer. Investeringerne medfører øget produktionskapacitet og lavere stykpriser. Markedet reagerer positivt på de lavere priser, hvilket igen skaber fornyede positive forventninger.

For et nyt og ukendt produkt, som for eksempel brintbiler, er der ingen masseproduktion, og stykpriserne er derfor høje. Derfor reagerer markedet negativt, og der skabes ingen umiddelbare forventninger om øget salg. Dette fører til mangel på investeringer, som igen gør at masseproduktion ikke opstår. Historisk er det bedst kendte eksempel formentlig Better Place batterikraftstationerne, som ikke nåede tilstrækkelig volumen til at omkostningerne kunne reduceres, før investorerne sagde stop.

Det politiske system kan undertiden anvendes til at skabe positiv markedsintervention, således at optimismen styrkes og nye produkter optages hurtigere i markedet. Eksempler på dette er afgiftslettelser på elbiler og biogas til transport. Et andet eksempel er EU's CO₂-mandat (Figur 1 - Figur 2) som presser bilfabrikkerne til at udvikle mere energiøkonomiske modeller.

3. Validering af de 16 faktaark i AD-modellen

Som det allerede er vist, er energiforbrug på køretøjer en kompliceret størrelse, som afhænger af mange faktorer. Derfor er det vigtigt at have en veldokumenteret regnemåde. Energibalancen for et køretøj i AD-modellen baseres på følgende basale relation.

$$Q = \frac{W}{\eta} = \frac{FC \cdot LHV}{100}$$

Hvor,

- Q er den tilførte energi an køretøj (MJ brændstof pr. km)
- W er energiforbruget an hjul (MJ mekanisk pr. km)
- η er virkningsgraden (MJ mekanisk pr. MJ brændstof)
- FC er brændstoføkonomien (liter brændstof*) pr. 100 km)
- LHV er den nedre brændværdi (MJ brændstof pr. liter*) brændstof)

*) Afhængigt af brændstoffypen kan der også anvendes [kg] eller [m³] i stedet for liter. Det er relevant for brændstoffer som fx brint og DME.

Det er vigtigt at definere hvad der inkluderes i W og Q. Dette er vist fx i Figur 7 (side 14), som er en grafisk fremstilling af energibalancen simuleret i Grøn Beregner.

Det er især vigtigt at notere sig, at mekaniske tab i gearkasse mv. ikke henregnes under W. Det skyldes at mekaniske tab ikke er en belastning som virker på hjulene, men kun på motoren.

Bremseenergien henregnes heller ikke som en del af W. Bremseenergi omdannes typisk til varme i et friktionsbremssystem, og medfører derfor et fald i totalvirkningsgraden η .

Men bremseenergi kan også genvindes enten i et aktivt system, som fx på elbiler, eller ved passivt at lade bilen rulle, hvilket benævnes 'coasting' eller friløb. Den bevarede hhv. genvundne kinetiske energi er ikke tabt og indgår derfor hverken i W eller Q.

Det betyder bl.a. at elbiler, som genvinder en stor del af bremseenergien, får højere totalvirkningsgrad η end konventionelle biler.

LHV for brændstoffypen er en konstant (findes i arket "Supplementary" i AD-modellen), så omregningen er meget ligetil.

For hver motorteknologi skal udviklingen i fremtidens køretøjer beregnes. Dette må selv sagt baseres på estimater. Afhængigt af hvilke datakilder man anvender vil de tilgængelige estimater enten dreje sig om den mekaniske energi W, den tilførte energi Q, brændstoføkonomien FC eller virkningsgraden η . For at kunne anvende disse begreber korrekt i forhold til hinanden anvendes relationerne beskrevet ovenfor.

Et regneeksempel:

Et benzindrevet køretøj har i 2015 en gennemsnitligt brændstoføkonomi på 15 km/l, hvilket svarer til FC=6,67 l/100km. Den nedre brændværdi for benzin er LHV=32,25 MJ/l. Forbruget an køretøj er derfor Q=2,15 MJ/km.

Det forventes at virkningsgraden Π over en periode vil stige med 20 % mens det mekaniske energiforbrug an køretøj W samt brændværdien LHV anses for konstante. Heraf følger at Q vil ændres med $(W/1,2\Pi)/(W/\Pi)-1=-16,7\%$ i samme periode. På tilsvarende vis kan relationen anvendes hvis en fremtidig værdi for W , Q eller FC er kendt.

Når der anvendes to brændstoffer, fx brint-hybrid, plugin-hybrid er relationen mellem de to virkningsgrader:

$$W = Q_1 \cdot \eta_1 = Q_2 \cdot \eta_2 = \alpha \cdot Q_1 \cdot \eta_1 + (1 - \alpha) \cdot Q_2 \cdot \eta_2$$

Hvor,

- Q_1 er det specifikke brændstofforbrug (MJ brændstof pr. km) når der udelukkende køres på det primære drivmiddel
- Q_2 er det specifikke brændstofforbrug (MJ brændstof pr. km) når der udelukkende køres på det sekundære drivmiddel
- η_1 er virkningsgraden for det primære drivmiddel (MJ mekanisk pr. MJ brændstof)
- η_2 er virkningsgraden for det sekundære drivmiddel (MJ mekanisk pr. MJ brændstof)
- α er fordeling mellem drivmidlerne (andel af tilført energi fra Drivmiddel 1)

Formlen viser at køretøjet skal have samme mængde energi ud på hjulene, uanset hvilket brændstof det kører på. Mængden af tilført energi fra hvert brændstof, og virkningsgraden af motoren kan således godt være forskellig, så længe resultatet W er det samme. Fordelingen α kan ligeledes variere, så længe summen af de to tilførte energimængder er det samme som hvis køretøjet kun havde haft et brændstof.

Øvrige formler for køretøjer med to energikilder ses her under:

Definitionen på α :

$$\alpha = \frac{Q_{total,1}}{Q_{total}} = \frac{Q_{total,1}}{Q_{total,1} + Q_{total,2}}$$

Totalt energiforbrug an køretøj:

$$Q_{total} = \frac{1}{\frac{\alpha}{Q_1} + \frac{(1-\alpha)}{Q_2}}$$

Energiforbrug drivmiddel 1:

$$Q_{total,1} = \frac{\alpha}{\frac{\alpha}{Q_1} + \frac{(1-\alpha)}{Q_2}}$$

Energiforbrug drivmiddel 2:

$$Q_{total,2} = \frac{1-\alpha}{\frac{\alpha}{Q_1} + \frac{(1-\alpha)}{Q_2}}$$

Total virkningsgrad for køretøj:

$$\eta_{total} = W \cdot \left(\frac{\alpha}{Q_1} + \frac{(1-\alpha)}{Q_2} \right)$$

Mekanisk arbejde udført af drivmiddel 1:

$$W_1 = \frac{W \cdot Q_{total,1}}{Q_1}$$

Mekanisk arbejde udført af drivmiddel 2:

$$W_2 = \frac{W \cdot Q_{total,2}}{Q_2}$$

Samlet mekanisk arbejde an hjul:

$$W = W_1 + W_2$$

3.1. Standard benzinbiler

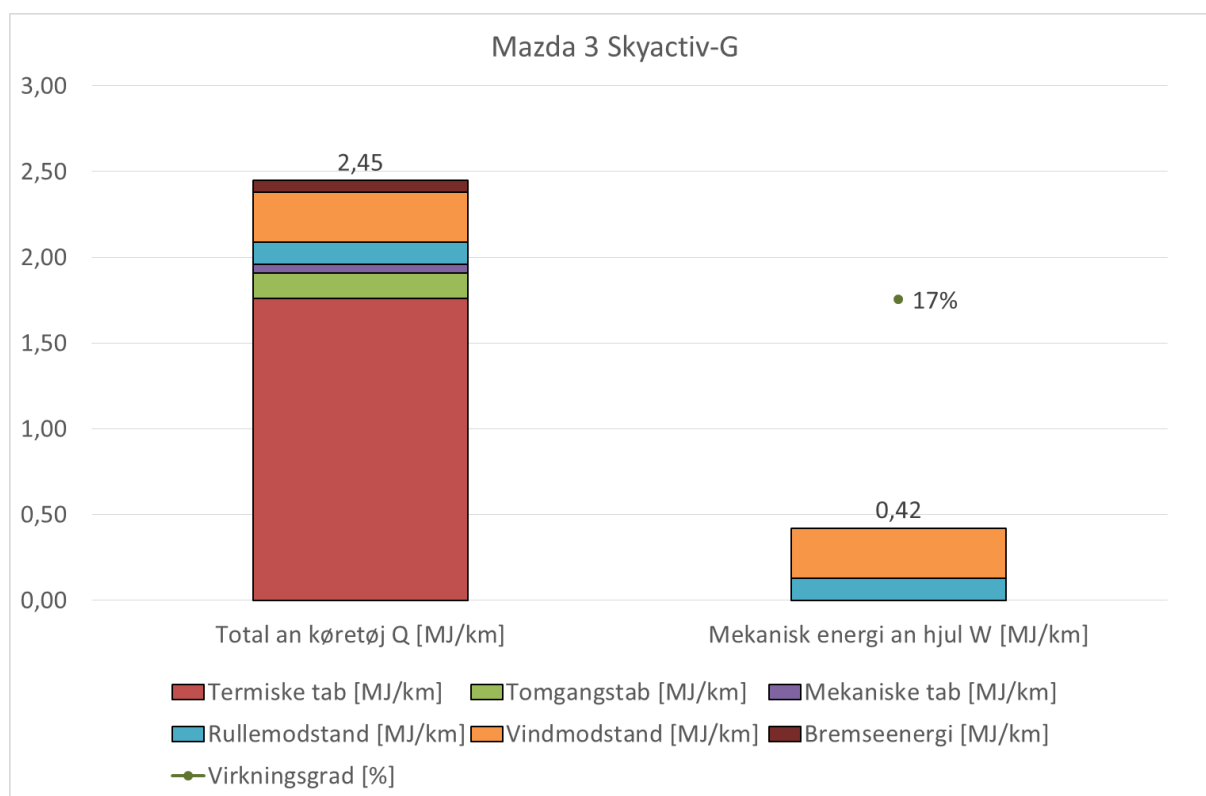
Den for øjeblikket bedste tilgængelige teknologi for benzinmotorer er små (downsized) turbomotorer (1.0l), som anvendes af bl.a. Ford og VW samt Atkinson eller langslaget højkompressionsmotor uden turbo (2.0l), som anvendes af fx Toyota og Mazda.

Derudover bruges forskellige andre teknologier til at forbedre virkningsgraden på motorerne, så som BMW's Valvetronic, som er en elektronisk styring af ventilerne. Der er også et betydeligt potentiale i mager forbrænding a la dieselmotoren, men denne teknologi hæmmes i øjeblikket af prisen på de nødvendige katalysatorer, af SCR typen, som fungerer under mager forbrænding.

På Figur 7 ses det samlede energiforbrug an køretøj Q og det mekaniske energiforbrug an hjul W beregnet vha. Grøn Beregner baseret på en konkret dataopsamling fra en årgang 2015 Mazda 3 Skyactiv-G 120 hk Aut., som er en populær benzindrevet model i C-segmentet.

C-segment omfatter desuden biler af typen VW Golf, Ford Focus, Skoda Octavia, Audi A3, Opel Astra, Peugeot 308, Seat Leon, Renault Megane. Motoreffekten er i denne sammenhæng begrænset til 150 hk for at undgå diverse high performance modeller som GTi, RS og OPC udgaverne, som kan have stærkt afvigende forbrugstal.

Benzinmotorens virkningsgrad er i øjeblikket omkring 35 % under optimale forudsætninger, men på grund af den meget lave belastning samt manglende mulighed for regenerering af bremseenergi, ligger den samlede virkningsgrad i daglig kørsel omkring 18 %. Kilder i bilindustrien har vurderet at benzinmotorens virkningsgrad kan øges til ca. 45 %. Dette giver umiddelbart en totalvirkningsgrad på ca. 22 %.

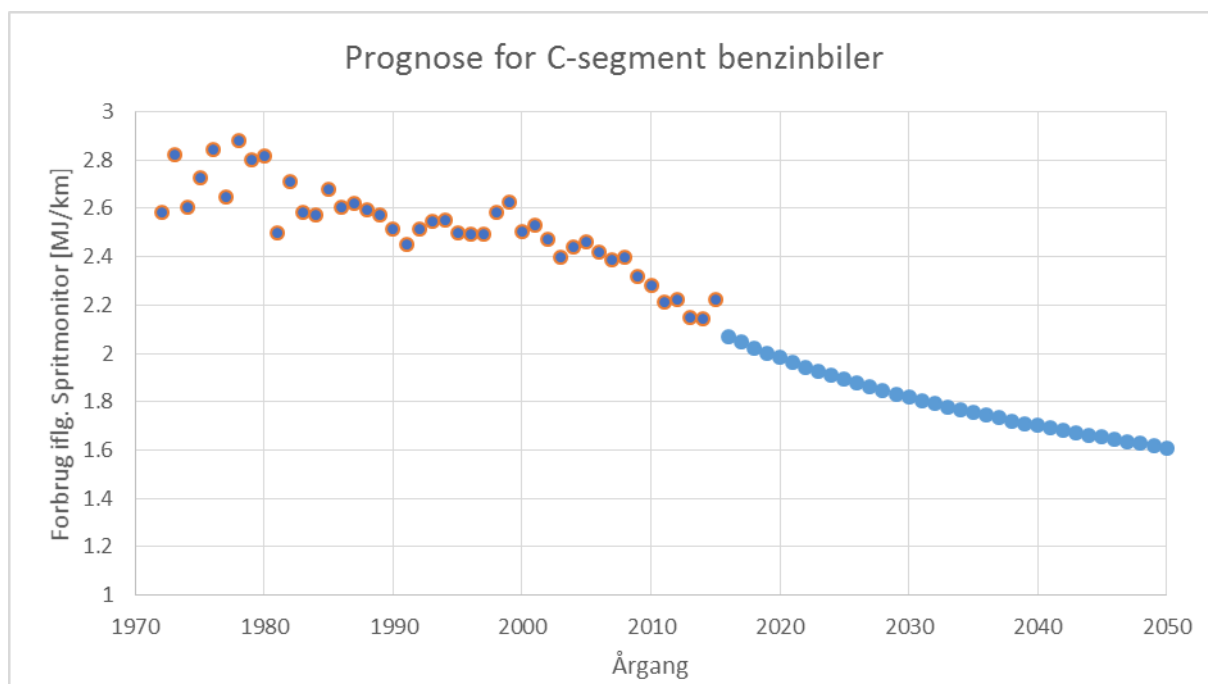


Figur 7: Eksempel på energibalance for et køretøj (Mazda 3 Skyactiv-G) under normal daglig kørsel. Bilen kører 13,2 km/l.

For at give en prognose for fremtidens udvikling er data for biler i C-segmentet for hver årgang hentet, og en fremskrivning fremstillet ud fra historiske forbrugstal samt en række høringssvar og ekspertvurderinger fra ANL. Data, fremskrivning og tendensline ses i Figur 8. Bemærk at denne prognose adskiller sig fra Figur 3, idet C-segmentet adskiller sig fra gennemsnittet af biler på Spritmonitor. Det forventede energiforbrugstal for benzinbiler i C-segmentet er vist i Tabel 1.

Tabel 1 Forventet forbrugsværdier for Std Benzinbiler i C-segmentet

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ benzin/km</i>	2.22	1.98	1.76	1.61



Figur 8: Prognose for benzinbiler i C-segmentet, baseret på data fra Spritmonitor.

3.2. Standard Dieslbiler

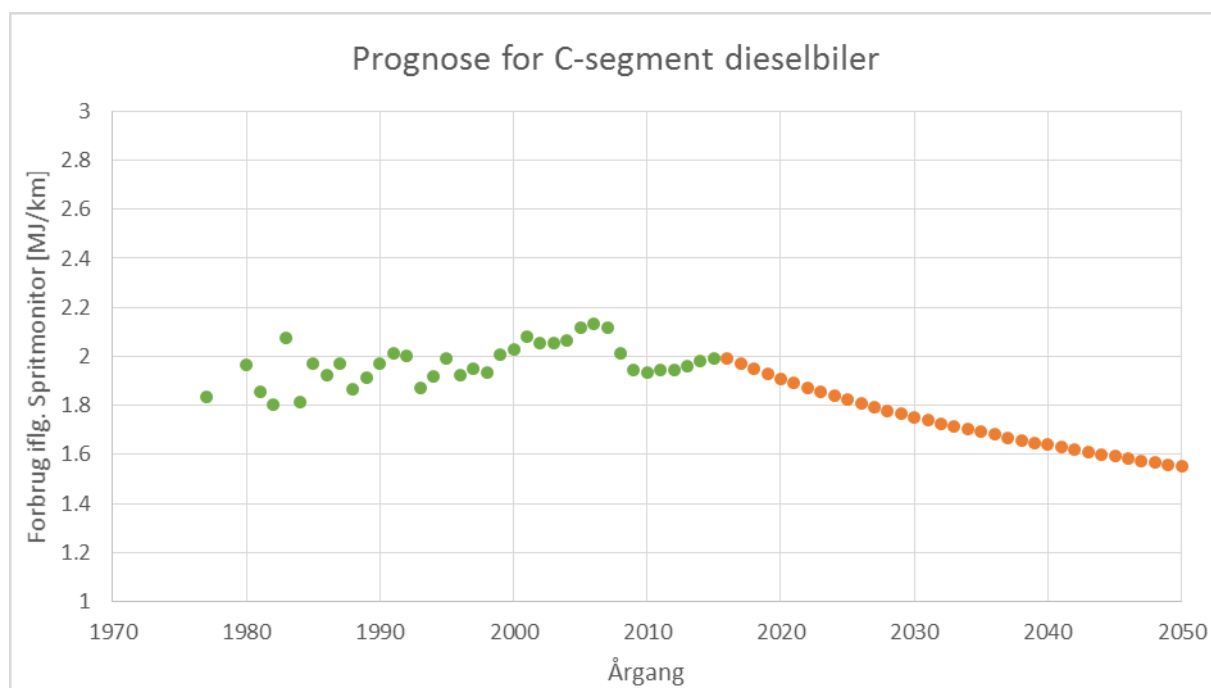
Bedste tilgængelige teknologi for moderne dieslbiler er turbo-diesel med partikelfilter fx VW TDI (2.0l) og PSA HDI (1.6l) motorer med start-stop funktion.

Dieselmotorens virkningsgrad ligger i øjeblikket på ca. 45 % under optimale forhold. I praksis ca. 21%. Det vurderes af kilder i bilindustrien at motorens virkningsgrad kan øges til ca. 55 %. I praksis vil dette kunne oversættes til ca. 26 %. Dieselmotorens høje virkningsgrad er primært opnået ved hjælp af højt kompressionsforhold, men denne tendens ses ikke at fortsætte. Der ses heller ikke så aggressiv downsizing på dieselmotorerne, som der gør på benzinmotorerne. Det skyldes sandsynligvis at der er for store produktionsmæssige omkostninger forbundet med at hæve dette allerede meget høje gastryk i dieselmotorerne.

Ligesom benzinmotoren er standard dieselmotorens forbrug for de sidste 40 år hentet fra www.spritmonitor.de. En prognose for den fremtidige udvikling af diesel motoren er herefter fremstillet, baseret på de seneste 10 års udvikling, med generel motorudvikling taget i betragtning. Udviklingen kan ses i Figur 9

Modsat tendensen for benzinbiler, og modsat tendensen for biler generelt, er tendensen for dieslbiler i C-segmentet, gennem de sidste 40 år, at de har dårligere brændstoføkonomi over tiden. Dette overraskende faktum kan skyldes at producenterne lægger kraftige turbomotorer i dieslbilerne for at lade dem yde flere hestekræfter og have større moment. Denne forøgelse i ydelsen gør bilen tungere, qua større bremses og trækaksler mv., og gør samtidig at brugeren måske accelererer hurtigere og kører mere aggressivt. Derved opstår der større uoverensstemmelse mellem NEDC målinger og virkelighedens kørsel, jo kraftigere bilen er. Samme tendens ses i øvrigt ved en sammenligning af sportsvogne mod mikrobiler i ICCT rapporten.

Det forventes dog at tendensen ikke kan fortsætte, hvis der i fremtiden skal være et marked for dieselbiler i C-segmentet. Det er heller ikke sandsynligt at dieselmotorernes performance vil blive øget yderligere i forhold til benzinmotoren, så forbruget vil heller ikke stige yderligere af den årsag. Derfor er tendensen baseret på et kompromis mellem historiske tal og ekspertvurderinger.



Figur 9 Prognose for dieselbiler i C-segmentet, baseret på data fra Spritmonitor.

Ud fra prognosen er brændstofforbruget for 2020, 2035 og 2050 vurderet. Det resulterende energiforbrugstal ses i Tabel 2.

Tabel 2 Forventet forbrugsværdier for Std. dieselbiler i C-segmentet

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	MJ diesel/km	1.99	1.91	1.69	1.55

3.3. DME biler

DME er et alternativt dieselbrændstof der stadig er på forsøgsstadiet, der er derfor ikke aktuelle data tilgængelige på samme måde som for benzin og diesel. Dog er brændstoffet som sagt et dieselbrændstof og på baggrund af dette vurderes energiforbruget i en DME motor til at følge standard diesels tendenslinje. Det er dog medregnet, at DME har et højere cetantal og har derfor også potentielt lidt højere virkningsgrad, såfremt motoren optimeres til dette. I Tabel 3 ses energiforbrugstal frem til 2050

DME hører ikke til de mest sandsynlige brændstoffer i personbilssegmentet. På nuværende tidspunkt eksisterer der dog en forsøgsbil, bygget på DTU.

Tabel 3 Forventet forbrugsværdier for DME drevne biler

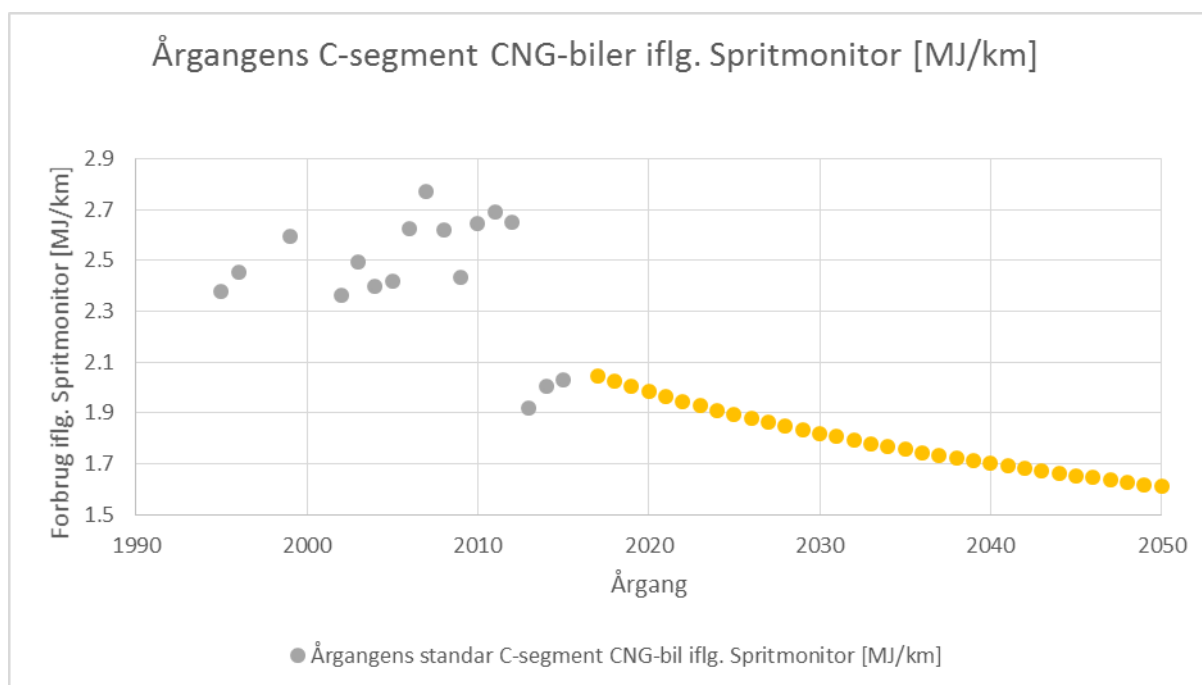
		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ DME/km</i>	1.97	1.89	1.67	1.54

3.4. Naturgasbiler (CNG)

CNG er en variant af benzinmotoren, som er specielt tilpasset det høje oktantal i naturgas og derfor har højere virkningsgrad. Tidligere var motorerne ikke optimeret til gas, men som det ses af Figur 10, er der sket et teknologispring i 2013-2014, idet de nyeste CNG modeller nu er optimeret til gas. Det betyder højere virkningsgrad, men også at motorerne er mindre velegnede til drift på benzin. Data for gasbiler i C-segmentet for hvert år de sidste 20 år er hentet fra Spritmonitor. Forventningen er at CNG motoren fremover kan holde trit med benzinmotoren.

En tendenslinje er fremstillet og brændstofforbruget i 2020, 2035 og 2050 er fremskrevet ud fra tendensen, se Figur 10. Energiforbruget for CNG biler ses i Tabel 4.

Bedste tilgængelige teknologi i dag er fx VW TGI/Skoda G-TEC/Audi g-tron modellerne. Senere kan der forventes gasmotorer med direkte indsprøjtning (CNG-DI), hvilket kan give anledning til endnu et teknologispring.



Figur 10 Prognoser for CNG-biler i C-segmentet, baseret på data fra Spritmonitor.

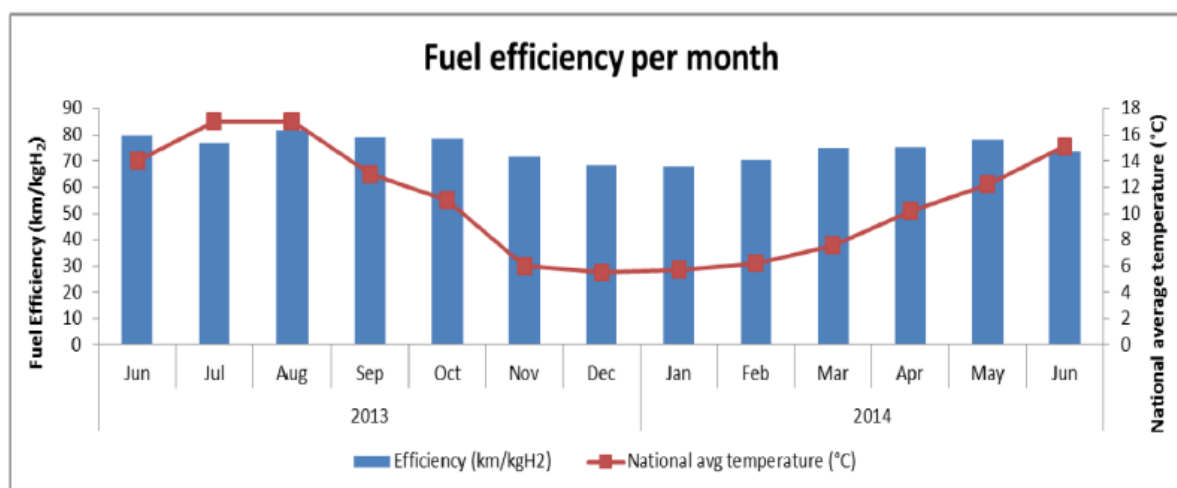
Tabel 4 Forbrugsværdier for CNG biler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ CNG/km</i>	2.12	1.89	1.67	1.53

3.5. Brændselsceller med brint

Brændselscelleteknologien er på nuværende tidspunkt ikke anvendt i særlig stor udstrækning til biler. Kun ganske få modeller er på markedet og disse kun med brint. Et kg H₂ svarer til 120 MJ. De mest kendte er Toyota Mirai, Honda Clarity og Hyundai ix35 Fuel Cell. Behovet for varme, lys og andet i bilen har nogen indvirkning på bilens virkningsgrad, da brændselscellerne kun udvikler begrænset varme.

Aktuelle forbrugstal fra Københavns kommune, Figur 11, viser at brændstofforbruget for den 2,25 tons tunge Hyundai ix35 er ca. 75 km pr. kg H₂ ~ 1,60 MJ/km. Andet steds oplyses forbruget til 0,38 kWh/km ~ 1,37 MJ/km. Laveste oplyste tal på Hyundai ix35 er 1,07 kg H₂ pr. 100 km ~ 1,28 MJ/km. Bilen er dog for stor til at repræsentere en C-segment bil.



- Gennemsnitlig brændstofforbrug: Juni 2013 - juni 2014: 75 km/kg H₂
- Brintbil, NEDC: 93 km/kg H₂, difference er 19 %
- Forskel for benzin og dieslbiler er 31 % jf. International Council on Clean Transportation, ICCT

Figur 11 Forbrugstal på brintbiler fra Københavns kommune

Det er valgt at lægge den afgørende vægt på Toyotas nye brintbil Mirai, som i udvendig størrelse svarer til en Camry, men kun har plads til 4 personer, hvilket retfærdiggør en sammenligning med en C-segment bil. Toyota Mirai er 181 cm bred, 489 cm lang og har en egenvægt på 1850 kg, altså ca. 2 cm bredere, 30-40 cm længere og 500 kg tungere end den typiske C-segment sedan.

NEDC forbruget for Mirai er 1,20 MJ/km, hvor der erfaringsmæssigt skal lægges lidt til (op til 20% angives). Dog vil den næppe forbruge mere end den større ix35i Københavns Kommune. Uofficielle tests angiver et forbrug på 96 km/kg H₂, altså **1,25 MJ/km**.

Mirai har en kontantpris i Europa på ca. 375.000 kr. uden moms og afgifter. Brændstofforbruget og prisen forventes at falde i takt med at teknologien bliver videreudviklet og bedre og billigere brændselsceller kommer på markedet. Virkningsgraden på et brændselscellesystem til personbiler ligger på 55 % i optimal drift og 45 % i praksis. Honda har lavet flere generationer af brændselscellebiler og har bl.a. formået at øge virkningsgraden med 5 procentpoint

fra model FCX til model Clarity. Ekspertter forventer dog ikke nogen voldsom stigning i virkningsgraden, som allerede er høj. Vi vurderer derfor at virkningsgraden af hele bilens system vil stige med omkring 5 procentpoint i perioden for AD-modellen. Samtidigt vil vægten af systemerne kunne reduceres. Det forventede energiforbrug for de pågældende år ses i Tabel 5.

Tabel 5 Forventet forbrugsværdier for brint brændselscelle biler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ H2/km</i>	1.25	1.20	1.11	1.01

3.6. Brændselscelle brinthybrid

Ligesom den rene brændselscellebil er der stadig en del udvikling forude for brinthybrider.

Køretøjstypen har to mulige energikilder, elektricitet fra nettet og brint, som kan anvendes separat eller i kombination. Effektiviteten forventes at være en kombination af brintbil og elbil. Fordelingen mellem bilens to energikilder er variabel i AD-modellen, og skal angives i arket "Vehicles". Som et eksempel kan anvendes 31% kørsel på brændselscellen og 69% kørsel på batteri, hvilket sætter energiforbruget af hvert drivmiddel for de kommende år som i Tabel 6.

Det er p.t. ingen plugin brinthybrider på markedet, og der er ikke konkret udsigt til at det sker i nær fremtid. Sandsynligvis vil kombinationen af brændselsceller, brinttanke, batterier og lade aggregat gøre bilen dyr i sammenligning med mere konventionelle plugin hybrider.

Tabel 6 Forventet forbrugsværdier for brændselscelle brinthybrid biler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, på H2	<i>MJ H2/km</i>	1.25	1.20	1.11	1.01
Middel energiforbrug an køretøj, på el	<i>MJ el/km</i>	0.76	0.74	0.69	0.63

3.7. Brændselscelle methanolhybrid

Methanol brændselscelle køretøjer er i den prækommercielle fase, dvs. der køres demo og test under virkelige forhold. Den første danske tankstation til metanol er netop åbnet.

Der findes en del forskning på området – dog relativt lidt sammenlignet med brintbaserede brændselsceller. Teknologien viser at metanoldrevne brændselsceller har tilnærmelsesvis samme virkningsgrad som brændselsceller på brint. Metanolhybriden forventes derfor at følge brinthybridens udvikling.

Relationen mellem bilens to virkningsgrader opfylder formlerne i Afsnit 3.

Der er ingen kommercielle produkter af denne type på markedet. P.t. findes der koncepter og prototyper fra danske Serergy, samt fra internationale OEM'er. Der findes planer om kommercialisering, men tidshorizonten er usikker.

I Tabel 7 ses de forventede forbrugstal.

Tabel 7 Forventet forbrugsværdier for brændselscelle methanolhybrid biler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ MeOH/km</i>	1.06	1.02	0.94	0.85
Middel energiforbrug an køretøj, sekundær	MJ el/km	0.61	0.60	0.55	0.51

3.8. Plugin hybrider (PHEV)

Plug-in hybriden PHEV er en yderst lovende teknologi som understøttes af næsten alle større bilfabrikanter. Fx har Mercedes Benz for nyligt annonceret 10 kommende modeller af denne type.

En plug-in hybrid bil kan køres på flere forskellige måder, nogen kører den som ren elbil, andre kører den som ren hybridbil (uden ladning fra el-nettet), og bilen kan køres i alle forhold derimellem. Derudover kan nogle hybridbiler også køres i en performance mode hvor måde benzin og elmotor arbejder sammen for at give bilen mest mulig kraft.

Ved NEDC cyklussen køres først en batteriafladning, og derefter 25 km med forbrændingsmotoren i hybriddrift. Dette giver ikke et retvisende resultat for hvor meget energi bilen egentlig forbruger, men er derimod brugt til at beregne afgift forhold på bilen. Forholdet af forbruget mellem de to drivmidler kan varieres i AD modellen ved at definere hvilken andel af brændstoffet som skal være el.

For at finde et realistisk forbrug for denne type bil, er de tre mest udbredte plug-in hybridbiler observeret via www.spritmonitor.de. For at finde brændstofforbruget ved hybriddrift blev data for rene hybridbiler observeret. Elforbruget for ren eldrift blev hentet via www.spritmonitor.de for de biler der også var tilgængelige i en ren el version. De resterende blev hentet for elbiler i samme klasse og størrelse. Det gennemsnitlige energiforbrug for blandet el- og hybriddrift følger formelgrundlaget i indledningen til Kapitel 3. I Tabel 8 ses forbruget for hver af de to drivmidler. Forbruget er hentet ud fra benzin og elmotoren, fordelingen er regnet ud fra www.spritmonitor.de.

Bedste aktuelle teknologi i C-segmentet er fx WV Golf GTE, Audi A3 e-tron og BMW i3-REX.

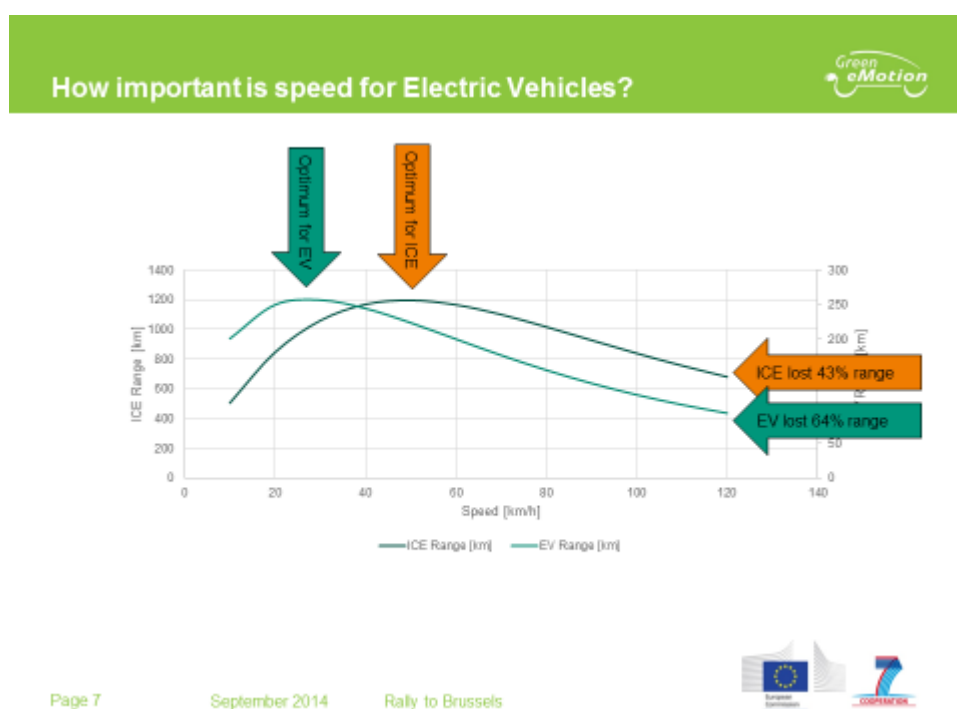
Tabel 8 Forventet forbrugsværdier for plugin hybrid biler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, på benzin	<i>MJ gasoline/km</i>	1.67	1.49	1.32	1.21
Middel energiforbrug an køretøj, på el	<i>MJ electricity/km</i>	0.71	0.69	0.64	0.59

3.9. Elbiler

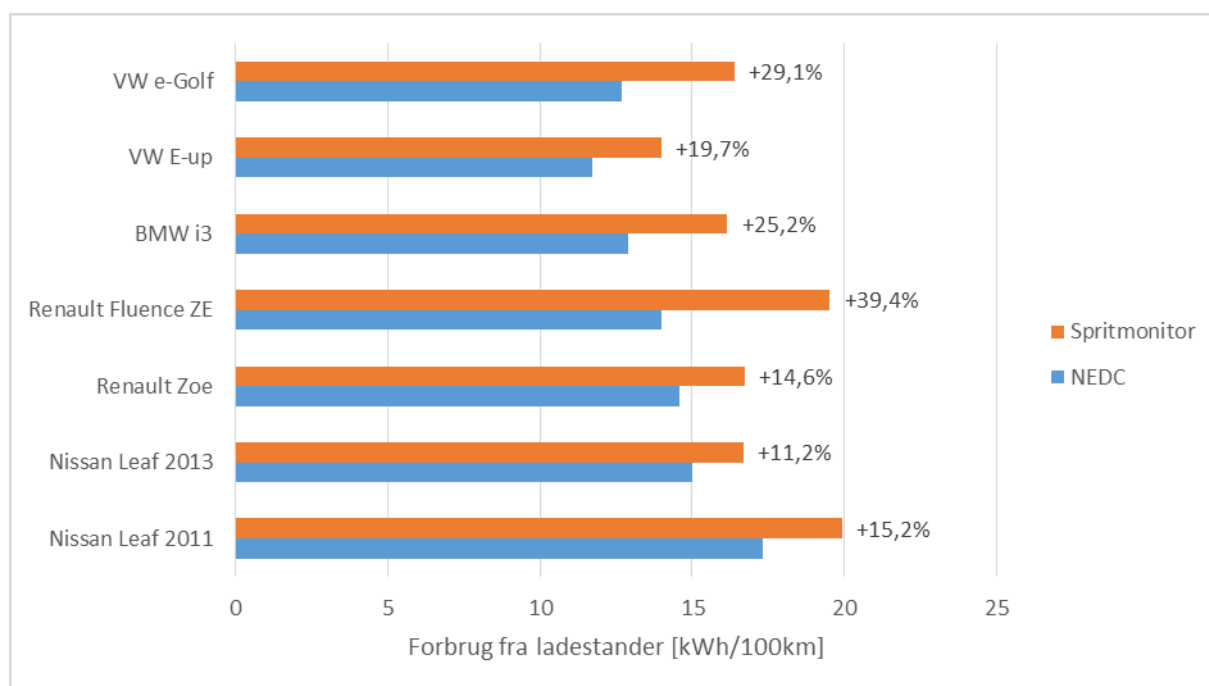
I modsætning til forbrændingsmotorer har elmotorer stort set intet tomgangstab. De bevarer en høj virkningsgrad i hele arbejdsområdet og kan tilmed reproducere elektricitet under nedbremsninger. Dette gør, at biler med elmotorer har et betydeligt lavere energiforbrug an køretøj 'Q' ca. 0,6 MJ/km mod ca. 2 MJ/km for forbrændingsmotorer.

Elbiler er, i forhold til biler med forbrændingsmotor, mest effektive ved lave hastigheder, som Green eMotion projektet har påpeget, jf. sammenligningen af el- og ICE biler i Figur 12.



Figur 12: Optimalhastigheden er lavere for el- end for ICE biler.

Behovet for varme i bilen har derfor også større indvirkning på bilens virkningsgrad. Da dette ikke indgår i NEDC er der ca. 21 % afvigelse mellem NEDC og praksis, som det ses i Figur 13. Denne afvigelse er på niveau med afvigelsen for benzinerbiler. Ifølge erfaringer fra USA kunne afvigelsen være endnu højere.

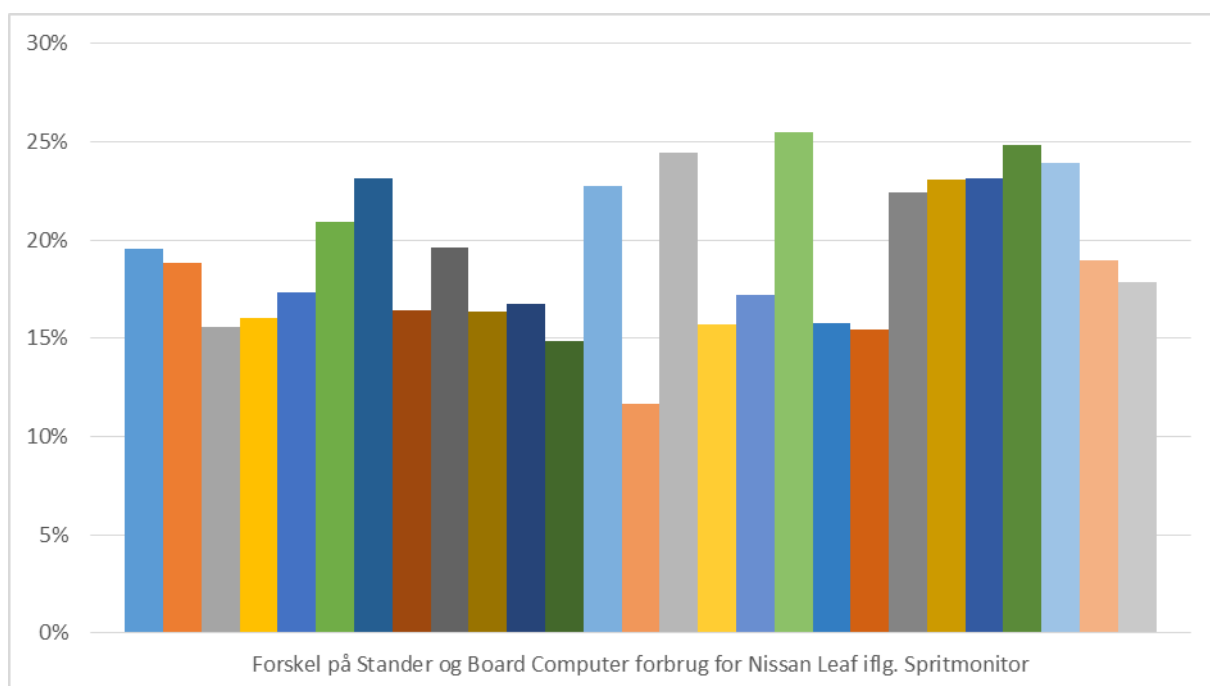


Figur 13: Forskellen på NEDC og reelt forbrug er i gennemsnit 21 % for elbiler

Den mekaniske energi til fremdrift 'W' er omtrent den samme som almindelige biler. Oftest har elbiler lidt højere egenvægt, en e-Golf vejer fx 271 kg mere end en Golf diesel. Men elbiler har ofte bedre aerodynamik grundet mindre behov for køleluft samt en lavere front muliggjort af elmotorens væsentligt mindre pladskrav, fraværet af kobling/gearskiftesystem mv.

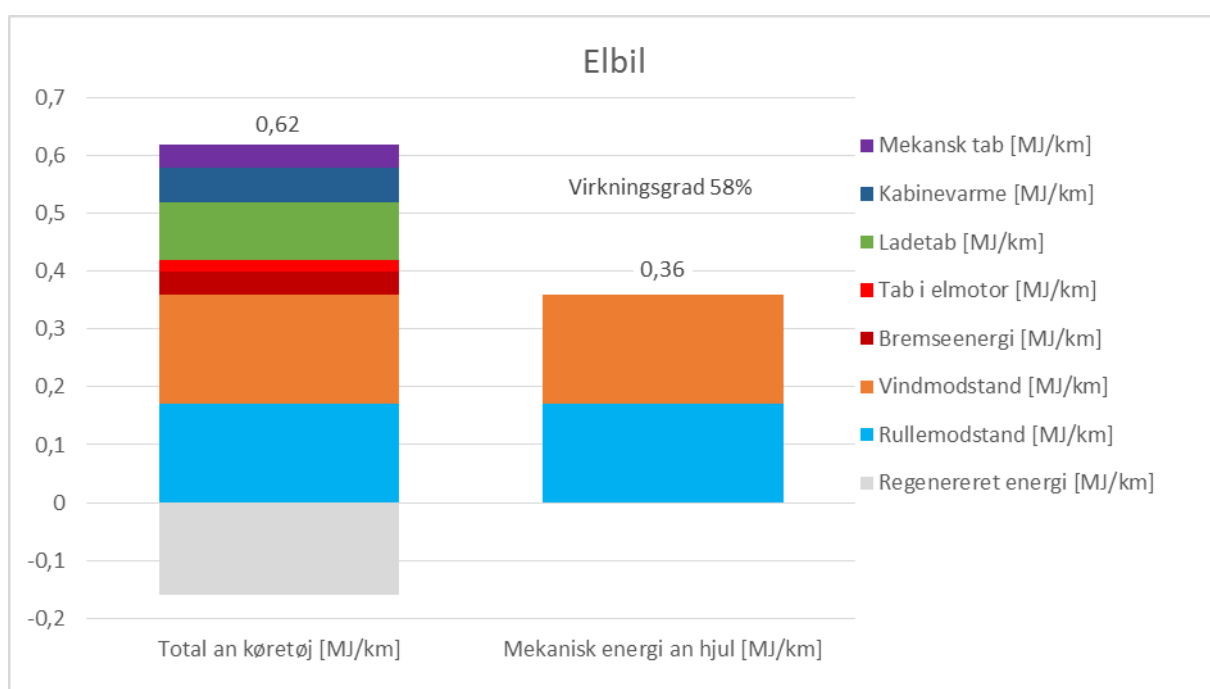
En faktor som ikke må overses er ladetabet der, som vist i Figur 14, udgør ca. 19,2% af den effektivt tilførte DC energi til batteriet. Tallet af batteri er altså $1 - 1/1,192 = 16,1\%$ for lavt i forhold til AC forbruget af ladestander.

Kører man mange korte ture og lader bilen efter hver tur, kan tabet godt være 20%, fordi bilen så bruger en hel del energi på at balancere batteriet. Kører man derimod mange km eller venter man med at lade bilen til batteriet er næsten afladet kan man få tabet væsentligt længere ned, til omkring 10%. Lader man kun til 80 procent af batteriets kapacitet sænkes ladetabet også. Med intelligent styring og større batterier vil det fremtidige tab ved opladning af elbiler kunne blive mindre.



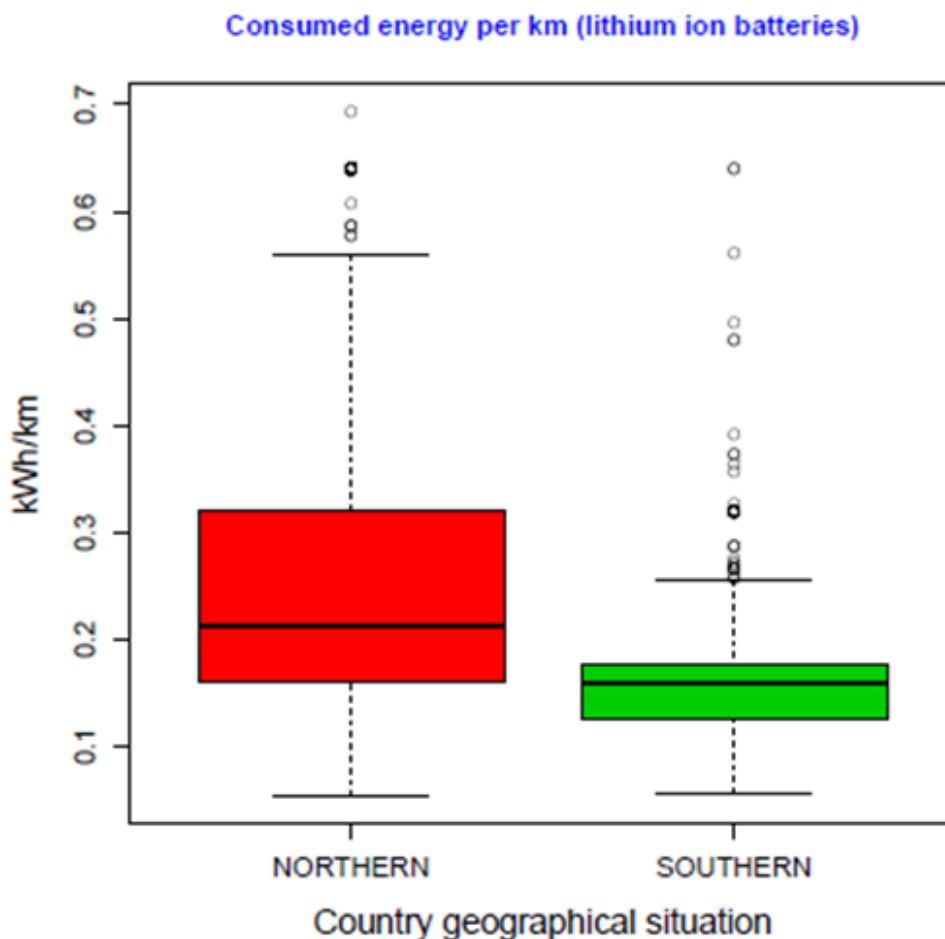
Figur 14: Gennemsnitligt forhold mellem AC energi aflæst på elmåler og DC energi aflæst på bilens display (ladetabet) for Nissan Leaf iflg. Spritmonitor er 19,2%.

Inklusive ladetab, varme og AC er virkningsgraden for en elbil ca. 65%, hvor elmotoren isoleret set ligger på ca. 90 %. Et eksempel på energibalancen for en elbil kan ses på Figur 15.



Figur 15 Energibalance for en elbil ved daglig dansk kørsel.

I Projekt "Green Emotion" er de gennemsnitlige energiforbrug for et stort antal elbiler målt over flere år. På Figur 16 ses spredningen og gennemsnitsforbrug for elbiler i Nord- og Syd-europa. Forbruget i Nordiske regioner (Figur 16) er mere end dobbelt så stort som JEC rapporten udregner.



Figur 16 Green eMotion gennemsnitligt forbrug på elbiler efter geografisk region

Gennem projekt Green Emotion blev der desuden foretaget målinger på elbiler under danske forhold. Målingerne viste indflydelsen fra forskellige faktorer så som varme, batteri effektivitet og andet i det danske klima. Figur 17 viser forbruget inklusive ladetab for 4 elbiler tilhørende Københavns Kommune. Gennemsnittet er 20,25 kWh/100km. Det tilsvarende tal for samme bilmodel på Spritmonitor er 15,40 kWh (for søstermodellerne 14,41 - 15,55 kWh/100km).

Den umiddelbart store forskel på 31,5 % skyldes formentlig, at de tidligere modeller af Peugeot Ion samt søstermodeller havde for dårlige varmeapparater. Den reelle forskel på Danmark og Tyskland, for nyere elbiler med varmepumpe og bedre isolering, er endnu ukendt, men vil i denne analyse blive sat til 10 %.

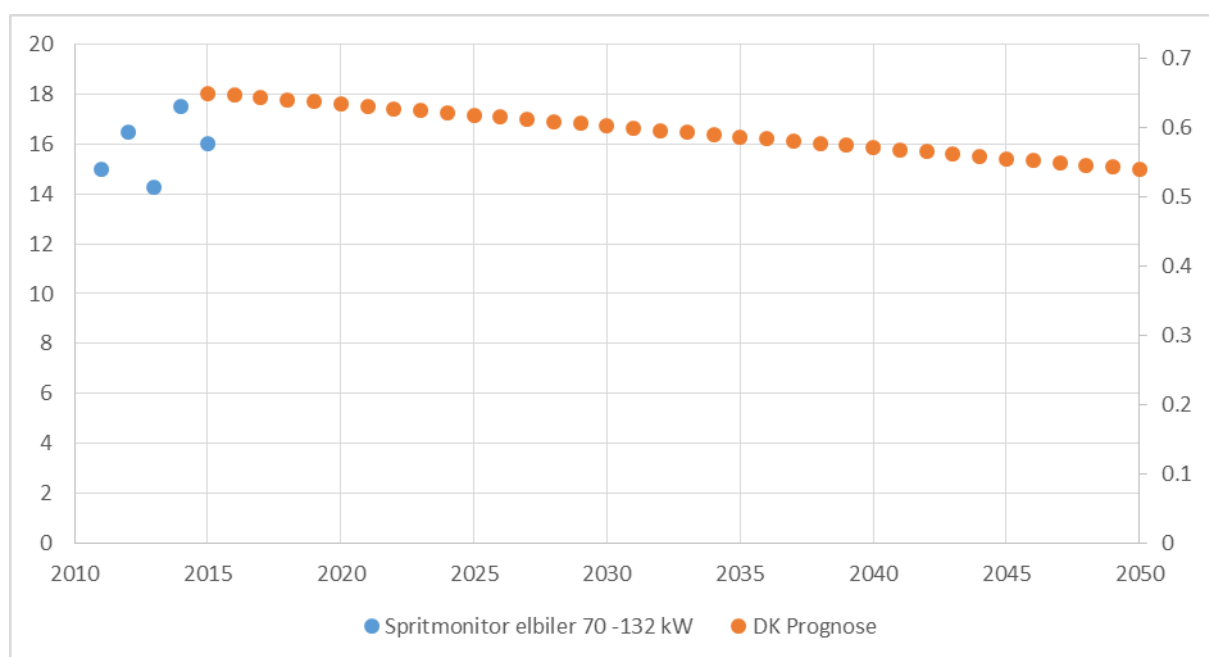
		Trip consumption per km [kWh/km]			
		Winter	Spring	Summer	Autumn
EVID	DK2_EV0001	0.26	0.20	0.15	0.22
	DK2_EV0002	0.25	0.17	0.13	0.21
	DK2_EV0003	0.26	0.24	0.15	0.22
	DK2_EV0004	0.23	0.21	0.14	0.20
GeM		0.25	0.21	0.14	0.21

Figur 17: AC forbrug på 4 stk. Peugeot Ion kørt i København ifm. Green eMotion projektet. Datasættet omfatter 8.000 – 10.000 opladninger for hver årstid.

Figur 18 viser forbruget iflg. Spritmonitor de seneste fem år. Som det ses, er der ikke umiddelbart sket forbedringer de seneste år, men tallene dækker over at elbilernes størrelse, topfart og motoreffekt er øget de senere år.

For at gøre tallene sammenlignelige med benzin- og dieslbilerne, er det valgt at udelade luksusbiler såsom Tesla S og Tesla Roadster, selv om disse udgør en væsentlig del af den nuværende danske bestand. Samtidigt er det valgt at frasortere de biler som er markant mindre end C-segmentet, her under Peugeot Ion, Citroën Czero, Smart ED og Mitsubishi Imiev.

Derfor er søgningen på Spritmonitor begrænset til elbiler med en motoreffekt på 70 – 132 kW. Det aktuelle forbrug på en 2015 model er ifølge Spritmonitor **16 kWh/100km**.



Figur 18: Oplyste forbrugstal for elbiler 70 – 132 kW som funktion af produktionsår iflg. Spritmonitor, samt prognose baseret på danske klimaforhold, prognose korrigeret for manglende indtastning af ladetab.

Med hensyn til validiteten af forbrugstal for elbiler oplyst på Spritmonitor er det konstateret at ca. 15 % af brugerne rapporterer forbruget af batteri, som jf. Figur 14 skal ganges med 1,192 for at afspejle forbruget af ladestander. Samlet skal resultatet altså ganges med $0,15 * 1,192 + 0,85 = 1,0288$ for at være korrekt.

Under hensyntagen til, at det danske klima vurderes at øge forbruget med yderligere 10 %, konkluderes forbruget på en C-segment elbil i 2015 at være **18 kWh/100km (0,65 MJ/km)**.

Den fremtidige udvikling ventes at omfatte forbedrede klimaanlæg og bedre klimaskærm både med hensyn til solafskærmning og varmeisolering, herunder anvendelse af termoruder. Desuden ventes vægtoptimering ved hjælp af kulfiber, bedre vægt/kapacitetsforhold på battericeller, bedre regenerering af bremseenergi med mere. Samtidigt har store producenter som General Motors, Tesla m.fl. annonceret betydelige prisreduktioner på kommende udgaver af elbilerne.

For øjeblikket anvendes elbiler typisk til nærtransport, hvor hastigheden og dermed forbruget er ret lavt. I takt med at topfart og rækkevidde øges på de nye modeller, er der dog sandsynlighed for at elbiler i stigende grad også vil blive anvendt til motorvejskørsel. Dette vil i givet fald medføre at det mekaniske energiforbrug øges.

Samlet vurdering af udviklingen ses i Tabel 9.

Tabel 9 Forventet forbrugsværdier for elbiler 70 – 132 kW under danske forhold

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ el/km</i>	0.65	0.63	0.59	0.54

3.10. Diesel lastbiler

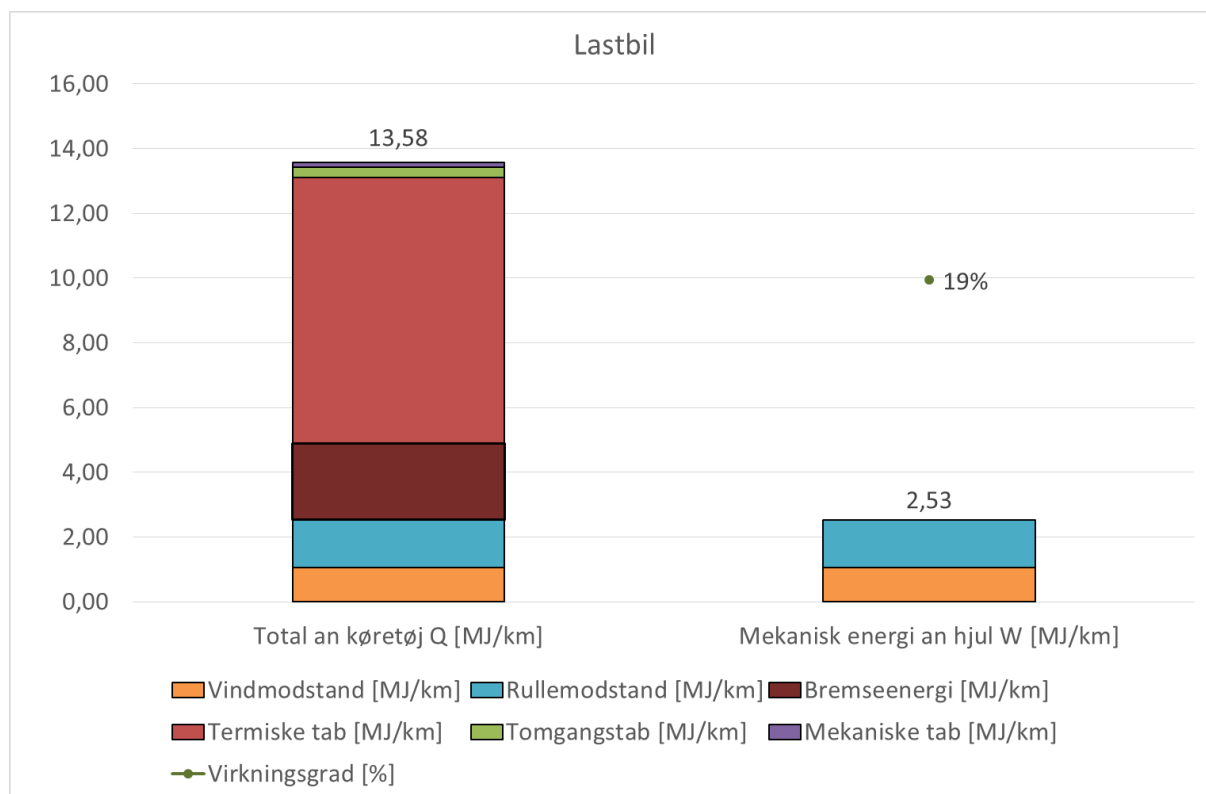
Rapporten "Rammevilkår for gas til tung transport" er ligesom JEC modellen et udmærket udgangspunkt for lastbilmodellen, dog er den ikke oprindelig tiltænkt som opslagsværk for brændstofforbrug den gennemsnitlige flåde, men blot et værktøj til sammenligning af enkelte modeller af diesel og gaskøretøjer. I stedet er det mere repræsentativt at benytte sig af rapporten "Biodiesel Danmark, Forsøg med AMFE-biodiesel" fra 2010. Denne rapport er lavet som beskrivelse af kørsel på biodiesel, men indeholder store mængder statistik over næsten 11 mio. km kørsel med lastbiler, busser og varebiler.

Ud fra rapporten er det nuværende brændstofforbrug 2,69 km/l. Det vurderes at der fremover vil komme en lille forbedring af virkningsgraden af motoren. Derudover forventes der en anseelig udvikling af aerodynamikken for lastbiler, beskrevet i en pressemeddelelse fra den europæiske kommission (Bruxelles, den 15. april 2013), denne regnes med i det fremskrevne brændstofforbrug.

Tabel 10 Lastbilers brændstofforbrug i [km pr. liter] for hele projektperioden (Biodiesel Danmark)

Lastbiler	
Dieselforbrug km/l	2,69

På Figur 19 ses energibalancen for en diesel lastbil fra projektet, denne er fremstillet ved hjælp af Grøn Beregner.



Figur 19 Energibalance for en Lastbil under en WHVC cyklus. Lastbilen kører 2.69 km/l

I Tabel 11 ses nutidigt energiforbrug, samt vurderet fremtidig energiforbrug.

Tabel 11 Forventet forbrugsværdier for std. diesel lastbil

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ diesel/km</i>	13.3	12.1	10.5	9.4

3.11. Lastbil DME

DME er et alternativt dieselbrændstof der stadig er i forsøgsstadiet, der er derfor ikke testdata tilgængelige på samme måde som for diesel. Dog er brændstoffet som sagt et dieselbrændstof og på baggrund af dette vurderes energiforbruget i en DME motor til at følge standard diesels tendens. Det skal dog bemærkes at DME har et højere cetantal og har derfor også potentielt lidt højere virkningsgrad.

Energiforbruget vurderes til at være 1% lavere end for standard dieselmotorer, dette findes i Tabel 12.

På nuværende tidspunkt eksisterer der Volvo DME lastvogns trækere på test basis, men fremtiden for denne teknologi er meget usikker.

Tabel 12 Forventet forbrugsværdier for DME lastbiler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ DME/km</i>	13.2	11.9	10.4	9.3

3.12. Lastbil RME

RME er en førstegenerations biodiesel baseret på rapsolie. Det forventes derfor at RME-motorer følger dieselmotorer i energiforbrug og udvikling. RMEs energiforbrug findes i Tabel 13.

Når en lastbil skal omstilles til at køre på rent RME skal man være opmærksom på at emissionerne ændrer sig og at der kan forekomme forhøjet korrosion i motoren grundet et mere kemisk aktivt brændstof. Dette kan blandt andet kræve forbedrede pakninger.

Bedste aktuelle teknologi er fx Scania lastvogne, som i stort omfang kører ren RME i Sverige. Også busser kan fra fabrikken specificeres til ren RME.

Fremtiden for RME er imidlertid meget dystert, da raps og lignende afgrøder betragtes som fødevarer-konkurrerende produkter. Det må derfor forventes at raps og andre spiselige olier erstattes med non-food olier som jatropha, brugt friture samt animalsk fedt. Samtidigt vil fremstillingsprocessen for RME, transesterificering, nok blive udfordret af nyere teknologier som hydrogenering og Fisher Tropfsch syntese.

Tabel 13 Forventet forbrugsværdier for RME lastbiler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ diesel/km</i>	13.3	12.1	10.5	9.4

3.13. Lastbil Gas

Lastbiler på gas er et yderst sjældent syn, da rækkevidden på tryksat gas er for begrænset i forhold til diesel. Flere producenter arbejder dog med udvikling af lastbiler til flydende gas, LNG, og tankstationer med LNG er også begyndt at dukke op rundt om i Europa.

Ifølge rapporten "Rammevilkår for gas til tung transport" beskrives merforbruget for en gasmotor, i forhold til en diesel lastbil som værende 19% i dag og har potentialet til at falde til 3,5%. Denne forbedring er fordelt over den fulde tidperiode i AD modellen og forbruget er relateret til diesellastbilen. Energiforbruget for gaslastbiler er beskrevet i Tabel 14.

Bedste aktuelle teknologi er støkiometrisk gnisttændingsmotorer med turbo og 3-vejs katalysator. Den fremtidige udvikling vil omfatte lean-burn, dual-fuel samt direkte indsprøjtning, hvilket vil hæve virkningsgraden. Her ud over kan teknologier som er nævnt under benzinmotorer i store træk overføres til gas.

Tabel 14 Forventet forbrugsværdier for Gas lastbiler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ CNG/km</i>	15.9	13.6	11.2	9.8

3.14. Diesibusser

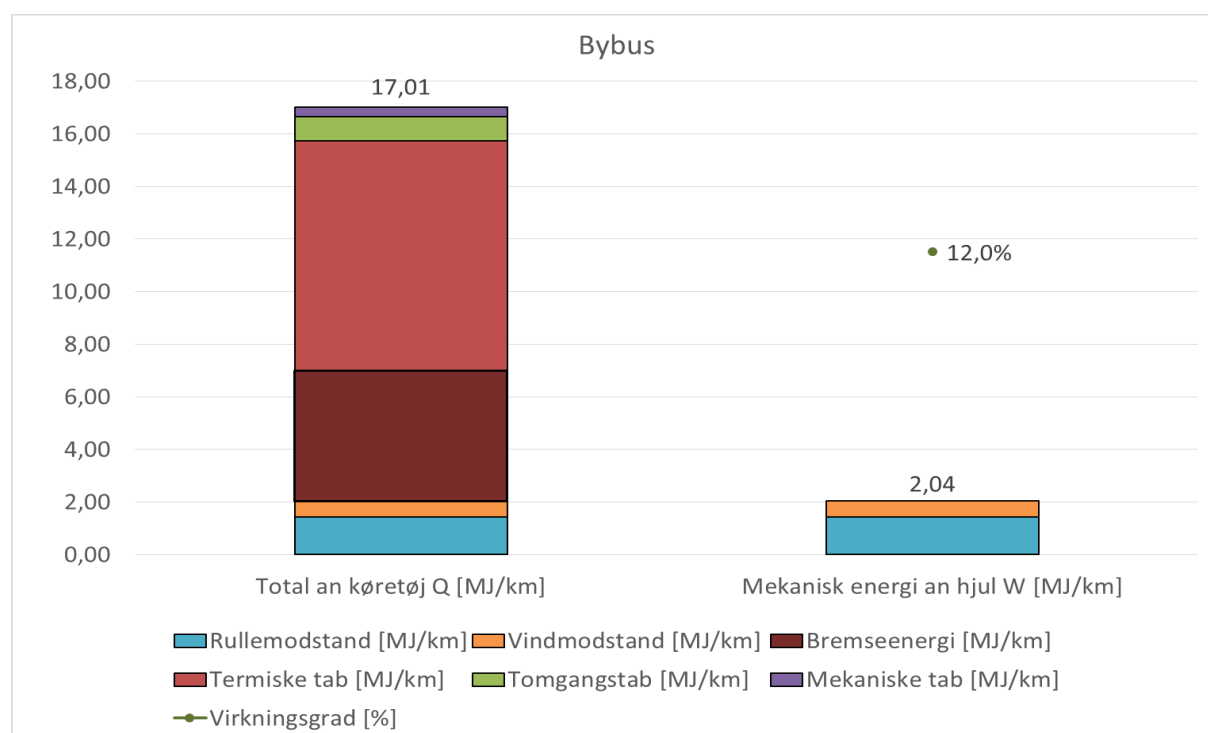
Det er, ligesom for lastbiler, repræsentativt at benytte sig af rapporten "Biodiesel Danmark, Forsøg med AMFE-biodiesel" fra 2010. Denne rapport er lavet som beskrivelse af kørsel på biodiesel, men indeholder også statistik over 6,5 mio. km kørsel med bybusser (se Tabel 15).

Tabel 15 Bussers brændstofforbrug i [km pr. liter] for hele projektperioden (Biodiesel Danmark)

Busser	
Dieselforbrug km/l	2,24

Forbruget for bussen er ligesom lastbilen hentet fra Biodiesel Danmark og fremskrevet ved hjælp af forbedringen i motorens virkningsgrad og forbedring af aerodynamik, denne ses i Tabel 16. Det forventes dog ikke at bussers aerodynamik forbedres så meget, da busser typisk ikke opnår samme hastigheder som lastbiler, samt at det er upraktisk i forhold til passagerer at ændre på bussens form.

På Figur 20 ses energibalancen for en diesel bybus. Sammenlignes energibalancen for en bybus med energibalancen for en lastbil er det tydeligt at vindmodstanden har langt større indvirkning på en lastbil end på en bus.



Figur 20 Energibalance for en bybus. Bussen kører 2,24km/l

Virkningsgraden er ekstremt lav, da store mængder energi går til tomgang og nedbremsninger. Tomgangsforbruget kan forholdsvis let reduceres ved hjælp af start-stop teknologi, mens bremseenergien kræver hybridteknologi for at kunne reduceres effektivt.

Tabel 16 Forventet forbrugsværdier for Std. Diesel busser

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ diesel/km</i>	16.0	14.6	12.4	10.9

3.15. Gasbusser

Busser på gas er et almindeligt syn i Europa, og de seneste år også i Danmark. Dog kun ved bybusser (ikke turistbusser og lignende). Busserne anvender tryksat gas, CNG, som er enkelt at håndtere, når der forefindes naturgasnet. Typisk tankes busserne om nattet ved centrale slow-fill anlæg. Flere offentlige tankstationer er også åbnet de seneste år.

Ligesom for gas lastbiler henvises der til rapporten "Rammevilkår for gas til tung transport" hvor merforbruget i en gasmotor i forhold til en dieselmotor bestemmes til 19% i dag og har potentialet til at falde til 3,5%. Denne forbedring anvendes på samme måde for bussen som for gas lastbilen og kan ses i Tabel 17.

Tabel 17 Forventet forbrugsværdier for gas busser

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ CNG/km</i>	19.1	16.5	13.3	11.2

3.16. Hybridbusser

Både erfaringer fra Movia og en busdatabase lavet af finske VTT viser at brændstofforbruget i hybridbusser er ca. 30% lavere end forbruget i standard dieselbusser. Forbruget i AD modellen kan findes ved at regne frem fra standard diesel bussen.

$$Q_{hybrid} = Q_{diesel} * 0,7$$

Energiforbruget for hybridbussen kan ses i Tabel 18.

Fordelen ved hybriddrift fordeler sig på en lavere bremseenergi, dvs. lavere W, samt en bedre motorvirkningsgrad η , da motoren i en hybrid kører mere i de optimale driftspunkter.

Forudsætningen er at hybridbussen anvendes på ruter som egnede til hybriddrift, dvs. fortrinsvis ruter med mange stop.

Bedste aktuelle teknologi er fx MAN og Volvo Hybrid busser.

Tabel 18 Forventet forbrugsværdier For Hybridbusser

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	<i>MJ diesel/km</i>	11.2	10.2	8.7	7.6

Det kan desuden næves at danske SerEnergy arbejder på dette spor i form af fungerende prototype hybridbusser, dog med metanol som brændstof.

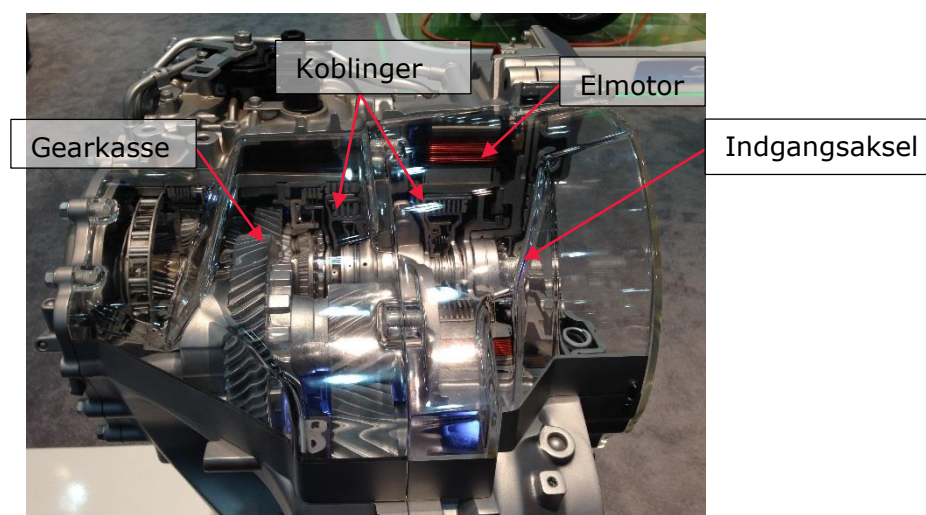
3.17. Tilføjelse af nye biltyper til modellen

Teknologisk Institut vurderer at varebiler, hybridbiler samt elbusser er særligt relevante for modellen.

Varebiler står for ca. 18% af de kørt kilometer for køretøjer under 3500 kg. Da forbruget tilmed er ca. 28 % højere pr. kørt kilometer udgør varebilerne altså ca. 22 % af energiforbruget. $18 \cdot 1,28 / (18 \cdot 1,28 + 82 \cdot 1,00) = 22 \%$. Derfor bør de naturligvis indgå i modellen.

Hybridbiler er en af de mest fremherskende trends i automobilproduktionen i dag. Især på det amerikanske og japanske marked er hybridbiler meget udbredte, men også Frankrig og Sydkorea har stor vækst i antallet af solgte hybridbiler. Det er forventeligt at stort set alle biler om få år vil have en form for hybridsystem indbygget.

Første skridt bliver P2-hybriden, P2 refererer til Position 2 (koblingens position mellem motor og gearkasse), hvor en elmotor erstatter koblingen samt det nuværende start-stop system. På Figur 21 ses en udstillingsmodel af en Hyundai P2 Hybrid gearkasse.



Figur 21 Gearkasse fra en P2-hybridbil

Det betyder også at kategorien "standard benzin" og "standard diesel" ikke vil være relevante på længere sigt, da de i større eller mindre grad vil komme til at indeholde hybridteknologi.

Med hensyn til elbiler og elbusser er det vigtigt at inkludere miljøbelastningen fra produktion af batterierne, da selve elektriciteten fremover vil være næsten CO₂ neutral.

Modellen inkluderer også nogle mere specielle biltyper som ikke forventes at få det store internationale gennembrud. Metanol Brændselscellehybrid er fx ikke en biltype, som der arbejdes intensivt med hos de internationale bilproducenter. Det samme gælder kategorien Brinthybrid. Tendensen er derimod at brintbiler ses som et alternativ til batteridrevne biler. Kombinationen af brint og opladning er ikke sandsynlig, da besparelsen ved opladning frem for brintpåfyldning næppe vil kunne opveje omkostningerne til ladesystem og batteri. De nævnte biltyper skal derfor kun ses som et supplement til modellen.

4. Varebiler

Bestanden af varebiler under 3.500 kg udgør ca. 400.000 køretøjer. Varebiler udgør dermed godt 15% af den samlede bilflåde under 3.500 kg.

Varebiler er ifølge centralregisteret et vidt begreb der spænder fra så små biler som Renault Twitzy til biler så store som Mercedes sprinter med tvillingebaghjul.

De mindste varebiler er rent teknisk personbiler indregistreret på gule eller gul/hvide plader. De anvendes hovedsageligt til persontransport i privat eller erhvervsmæssigt regi, samt til udbringning/omdeling af mindre pakker. Figur 22 viser et eksempel. Da disse biler ikke adskiller sig nævneværdigt fra personbiler anses de ikke for at være en relevant kategori i AD-rapporten.



Figur 22: Eksempel på mindre personbil, indregistreret som varebil (VW)

De største varebiler kan anvendes til egentlig godstransport, evt. i forbindelse med en cargo-trailer. Det vil sige at visse varebiler også kan fungere som små lastbiler. De er dog ikke energioekonomisk på højde med lastbiler i forhold til den transporterede last.

For at undgå, at store varevogne misbruges til at omgå køre-hviletids bestemmelserne for lastbiler, er der indført krav om fartskriver i varevognen, hvis man med trailer transporterer fremmed gods over længere afstande. Kørslen med egne varer er desuden begrænset til 50

km fra forretningsstedet. Da disse regler reelt begrænser anvendelsen af større varebiler med trailer til nichekørsel anses de heller ikke for at være relevante i AD-modellen.



Figur 23: Eksempel på stor varebil med trailer (foto: Trekantens Trailercenter)

Det mellemste segment er den traditionelle kassevogn, som især anvendes af håndværkere. Den anvendes sjældent til persontransport alene, men oftest til transport af værktøj, materialer samt lokal kørsel med egne varer. Det er denne kategori, som vi anser for mest relevant for AD-modellen. Et eksempel ses i Figur 24.

I denne rapport regnes varevogne derfor som værende kassevogne så som Mercedes Vito, Volkswagen Transporter og Citroén Jumpy, altså en varebil med dimensioner som vist i Tabel 19.

Tabel 19 Dimensioner for varebiler i AD-modellen

	Fra	Til
Egenvægt [t]	1,7	1,9
Totalvægt [t]	2,6	3,2
Længde [m]	4,8	5,2
Bredde [m]	1,9	2,2
Højde [m]	1,9	2,3



Figur 24: Typisk varebil, som defineret i Tabel 19

4.1. Drivmidler og motortyper

Den nuværende bestand af varebiler består af 86 % diesel og 14 % benzin. Andelen af øvrige drivmidler er meget lille, ca. 0,1 %. Se Figur 25 som er et uddrag fra Danmarks statistik 2015.

Bestanden af varebiler pr. 1 januar efter totalvægt, tid og drivmiddel

	Benzin	Diesel	F-gas	N-gas	El	Petroleum	Øvrige drivmidler
Totalvægt i alt							
2013	58 371	358 372	26	16	217	13	0

Figur 25 Bestanden af varebiler i Danmark, udtræk fra Danmarks statistik 2015.

De øvrige drivmidler, som er registreret er:

- Flaskegas (LPG, Liquefied Petroleum Gas, her benævnt F-gas)
- Naturgas (CNG, Compressed Natural Gas, her benævnt N-gas)
- El
- Petroleum (der antages at være tale om en fejl, og der i stedet mens benzin)

Flaskegas og petroleum anvendes stort set ikke længere, hvilket indskrænker udvalget af varevogne til alternative drivmidler, som er tilgængelige på markedet i øjeblikket, til nedenstående:

- Batteri-elektrisk, fx Nissan e-NV 200, Mercedes Vito E-Cell
- Biometan, teknisk det samme som naturgas, fx VW Transporter Ecofuel

Uden for denne rapport's definition af varebiler findes også andre teknologier, der fx kan bruges i mindre biler indregistreret som varebiler:

- E85, fx Ford C-Max Flexifuel, Seat Altea Multifuel + mange amerikanske modeller
- Brint, fx Hyundai ix35 Fuel Cell
- Benzinhybrid, fx Toyota Yaris HSD
- PlugIn benzinhybrid, fx Toyota Prius PlugIn, Opel Ampera Van
- PlugIn dieselhybrid, fx Volvo V70 PHEV
- Metanol (GMR Truck – ikke til vejbrug, Ricardo EBDI demonstrationskøretøj)
- DME (kun eksperimental- og demonstrationskøretøjer)

Det er i øvrigt vigtigt at nævne de tilgængelige biobrændstoffer som står til at substituere diesel og RME fremover, her tænkes især på HVO og BTL, som kan anvendes i almindelige dieselmotorer.

Driftsmønsteret for varebiler gør at det er oplagt at bruge en dieselmotor til dette område, hvilket også viser sig i statistikken over fordeling af drivmidler.

Benzin er ikke så udbredt blandt varebiler og udgør blot 14% af den eksisterende flåde.

Gas udgør i øjeblikket en meget lille del af flåden af varebiler, det har dog potentiale til at indtage en større del af markedet. Flere producenter er på markedet med gas versioner af deres varebiler, samtidig med at flere kommuner anlægger gastankstationer med henblik på at bruge biogas på længere sigt.

Grundet driftsmønsteret er elmotorer ikke det oplagte valg for varebiler, da lasteevnen er reduceret grundet bilens egenvægt som hæves grundet den tunge batteripakke. Dog er enkelte modeller begyndt at komme på markedet, så som Nissan e-NV 200.

4.2. Driftsmønstre for varebiler

Det gennemsnitlige antal kørte kilometer pr. varebil er lidt højere, ca. 19 000 km pr år, end for personbiler, ca. 16 000 km pr. år. Varebiler står derfor for 18 % af de kørte kilometer.

Grundet det årlige antal kørte kilometer og afhængigheden af bilerne har ejere af varebiler tendens til at gå meget op i stabiliteten af bilerne. Dette afspejler sig blandt andet i tendensen for valg af motortype. Dieselmotorer har den fordel at de sjældent bliver for varme, derimod er de historisk set bedre til at sejtrække når der køres med tunge læs.

Varebiler er kendetegnet ved at være forholdsvis hårdt belastet idet de oftest er udstyret med personbilsmotorer men har en betydeligt højere totalvægt. Totalvægten på varebiler er i gennemsnit højere end personbilernes. For varebiler ligger denne på ca. 2350 kg. Typisk vil lasten udgøre ca. 750 kg heraf. Den køreklare vægt for en varebil med 50% last er derfor 1975 kg, hvilket er den standardvægt som bør anvendes i beregningerne. For personbiler er den køreklare vægt i gennemsnit ca. 1250 kg.

Hertil kommer at varebilen normalt er et erhvervskøretøj, som kan have mange skiftende chauffører samtidigt med at der ofte arbejdes under tidspres, hvilket forøger belastningen på materiellet.

4.3. Faktisk forbrug og CO₂ udledning

På Spritmonitor er det også muligt at se faktiske forbrugsmålinger for varebiler.

	Diesel		Benzin		LPG		CNG	
	Antal	l/100km	Antal	l/100km	Antal	l/100km	Antal	kg/100km
Mercedes Vito	196	9,4	2	11,4	1	15,07		
Renault Trafic	122	8,1	1	8,2	1	10,68		
Vw Transporter	2606	8,67	372	12,36	180	15,21	8	7,21
Citroen Jumpy	1	7,97			1	12,38		
Fiat Scudo	66	7,87	3	9,81	1	12,52		
Vægtet gennemsnit		8,68		12,32		15,15		7,21
Forbrug an køretøj MJ/km		3,11		3,97		3,86		3,86

Figur 26: Faktisk forbrug på varebiler iflg. Spritmonitor

Eksempler på afvigelsen mellem den typegodkendte og den observerede værdi for specifikke motorstørrelser ses nedenfor:

Type	ECE l/100km	Spritmonitor l/100km	Forskel
Mercedes Vito 136hk	7,5	8,45	12,7%
Ford Transit 140hk	7,9	9,53	20,1%
VW Transporter 140hk	7,9	8,80	11,4%
Mercedes Sprinter 163hk	8,0	10,56	32,0%

Ved hjælp af OBD udstyr monteret i varebiler er det muligt at få et detaljeret billede af brændstofforbruget under vekslende kørselsforhold. Til dette formål er anvendt Mercedes Vito med 500 kg nyttelast.

Eksempler på egne målinger:

	NEDC l/100km	Egen måling l/100km	Forskel
Mercedes Vito 136hk, 500kg last	7,5	10.35	37,7%
Renault Master 150hk, på motorvej	9,0	13.48	49,6%
Biodiesel Danmark (Tabel 20)	-.-	10.45	-,-

Tabel 20 Varebilers brændstofforbrug i [km pr. liter] for hele projektperioden (Biodiesel Danmark)

Varebiler	
Dieselforbrug km/l	9,57

Tallene bekræfter det hårde driftsmønster, da forbruget generelt ligger langt fra NEDC målingen.

På baggrund af ovenstående kombination af Spritmonitor samt egne målinger kan der anslås et gennemsnitligt forbrug for varebiler på 9 liter pr. 100 km, altså 3,24 MJ/km og energiforbrug an hjul til 0,83 MJ/km.

Med hensyn til el- og hybridvarebiler findes et yderligere studie på <http://www.cenex.co.uk/wp-content/uploads/2015/03/LCVPP-Final-Technical-Report-2.pdf>

Tabel 21 Forslag til forbrug for diesel varebiler

		2015	2020	2035	2050
Middel energiforbrug an køretøj, primær	MJ diesel/km	3,1	3,0	2,6	2,4

For benzin, gas og el-varebiler anslås motorvirkningsgraden, samt udvikling af denne til at følge personbilernes.

Tabel 22 Forslag til forbrug for Benzin varebiler

Middel energiforbrug an køretøj, primær	MJ benzin/km	4,0	3,5	3,1	2,9
---	--------------	-----	-----	-----	-----

Tabel 23 Forslag til forbrug for CNG varebiler

Middel energiforbrug an køretøj, primær	MJ CNG/km	3,9	3,4	3,0	2,8
---	-----------	-----	-----	-----	-----

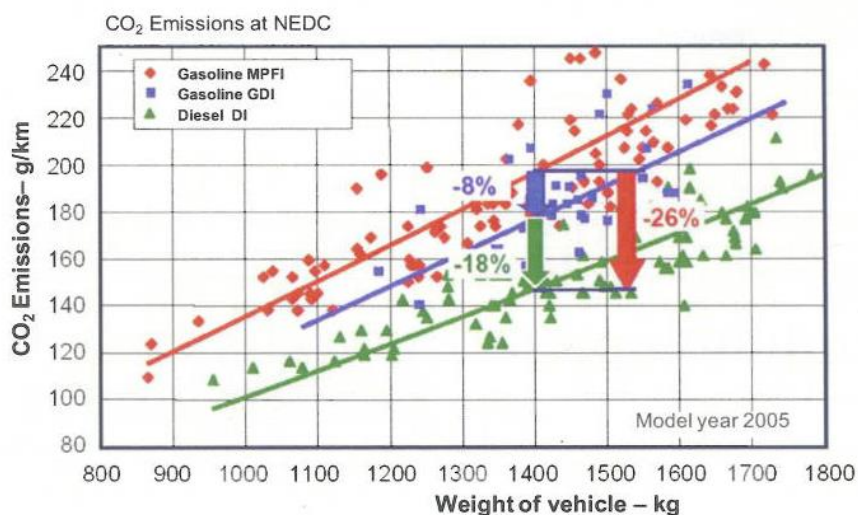
Tabel 24 Forslag til forbrug for batteridrevne varebiler

Middel energiforbrug an køretøj, primær	MJ el/km	0,95	0,90	0,79	0,69
---	----------	------	------	------	------

4.4. Lastens indvirkning

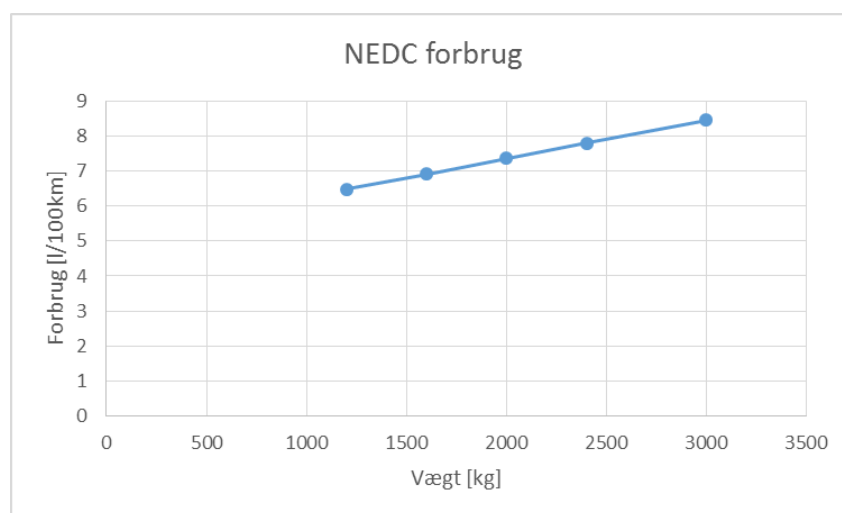
Under NEDC test på personbiler er forbruget og dermed CO₂ udledningen pr. km omtrent proportionalt med egenvægten, som illustreret i Figur 27. Dette har dog andre årsager end vægten alene. Det er også resultat af at tungere biler generelt er udstyret med større motorer, bredere dæk mv. Resultatet kan altså ikke umiddelbart overføres til varebiler.

Fuel Consumption of all New-Vehicle Registrations



Figur 27: Vægt og CO₂ udledning for personbiler (SAE)

Under NEDC test tillægges varebiler en ekstra køremodstand på 30 %, hvilket i grove træk svarer til halv nyttelast. Dette virker som en rimelig forudsætning, men der er gennem tiden rejst betydelig kritik af denne metode, da det målte forbrugstal ikke stiger tilsvarende. Ved hjælp af programmet Grøn Beregner har TI simuleret en varebil i NEDC med varierende totalvægt men med samme motor. Forskellen i forbrug er langt mindre end proportional. Rundt regnet giver 3% vægtøgning kun 1% stigning i forbrug. Se Figur 28.



Figur 28 Sammenhæng af vægt og forbrug ved NEDC

Vi kan altså konkludere at vægten alene ikke er forklaringen på varebilernes højere forbrug. Det antages derfor at motorerne på varebiler ligesom på personbiler har fået øget effekt og bilerne derfor køres mere aggressivt end NEDC lægger op til.

5. Forventet udvikling i pris og vedligehold for varebiler

Formålet med dette afsnit er at danne en prognose for omkostningsudviklingen for henholdsvis diesel-, gas-, benzin- og batteridrevne varebiler. Varebiler defineres som en VW Transporter kassevogn eller tilsvarende (se Tabel 19).

Som udgangspunkt tages dagens pris for 140 hk VW Transporter kr. 182.255, ab dansk forhandler uden leveringsomkostninger, moms og afgifter.

For el-varebiler er markedet i øjeblikket ikke udviklet tilstrækkeligt at sætte en nøjagtig salgspris. En model 2012 Mercedes Vito E-cell, sælges i 2015 til ca. kr. 255.000 ekskl. moms. Denne pris inkluderer dog både oliefyr samt service- og tilbagekøbsaftale, hvilket skønnes at have en værdi på mindst kr. 30.000. En ren kontantpris tilbydes ikke på E-cell. Den mindre varebil Nissan E-NV200 kassevogn koster i 2015 kr. 159.920 uden moms. Da der ikke foreligger yderligere prisinformationer, sættes gennemsnitsprisen for en el-varebil i 2015 til kr. 200.000.

Benzinvarianten beregnes med udgangspunkt i en 2011 VW Transporter 115 hk kassevogn, som iflg. daværende prislister kostede kr. 153.967 uden moms og afgift.

Med hensyn til CNG er der taget udgangspunkt i Fiat Ducato, hvor der foreligger listepreiser på både diesel og CNG. Forskellen på en Ducato 35M KSV L2H2 i henholdsvis diesel og CNG version i 2015 er kr. 29.725 uden moms og afgifter.

For at estimere prisudviklingen kan der tages udgangspunkt i enten teknologivurdering, historiske data eller i eksterne kilder. Vi vælger her at kombinere de tre metoder.

En umiddelbar teknologivurdering siger at batteridrevne biler vil blive billigere frem over, da de har færre bevægelige dele end dieselmotorer, og batteripriserne er kraftigt på vej nedad.

Med hensyn til dieselmotorer kan der forudses en stigning i omkostningerne på grund af skærpede krav til emissionskontrol, hvilket bl.a. fordrer anvendelse af SCR katalysatorer på varebiler, hvilket er en dyr teknologi. På lidt længere sigt vil kravene formentlig blive skærpet yderligere, således at der også skal anvendes NOx sensorer, PM sensorer, AMOX katalysator på varebilerne. Samtidigt øges kravene til varebilernes performance, sikkerhed og komfortudstyr hele tiden. Eksempelvis er Avancerede Driver Assistance Systemer, ADAS systemer, bl.a. styringsassistent og aktiv nødbremse, allerede standard på visse nyere varebiler.

VW Transporter er ifølge den officielle prisliste steget 5,5 % fra modelår 2011 til 2015. Prisen for 140hk model i 2011 var kr. 172.887. Pristalsudviklingen er imidlertid på 6,4 % i perioden, så reelt er der tale om et lille fald.

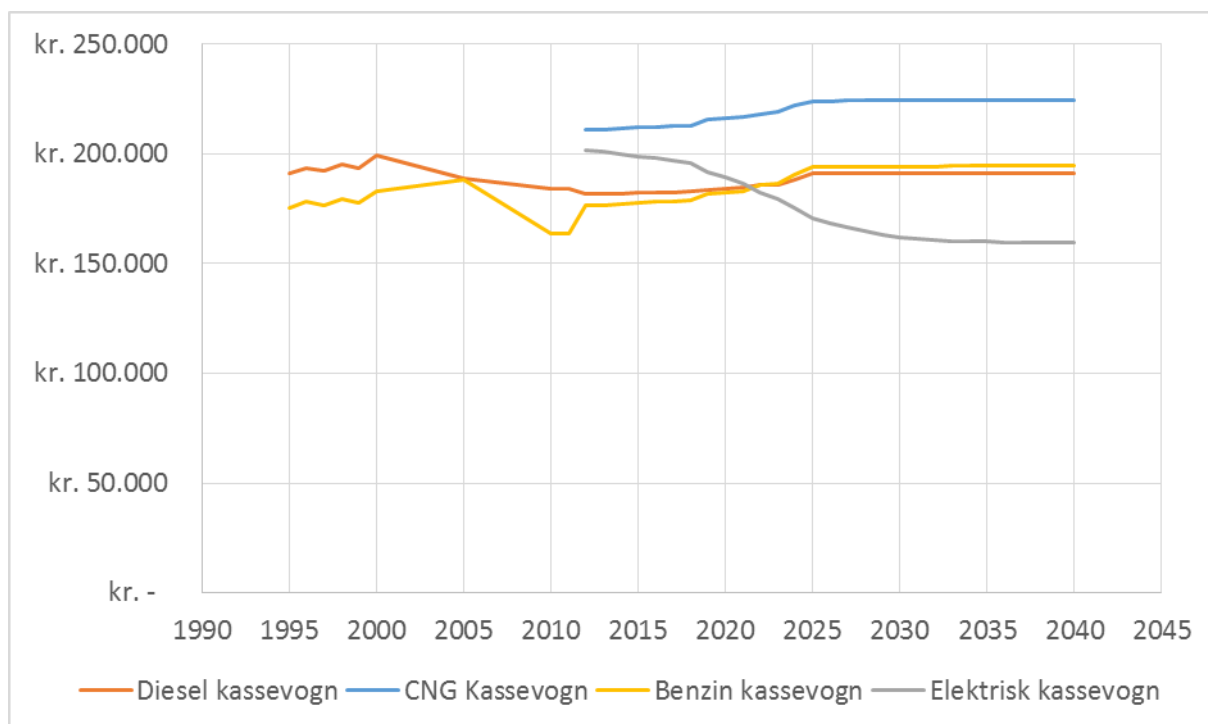
For at illustrere den historiske udvikling før 2011 er der taget udgangspunkt i prislister for VW Sharan TDI, da prislister for Transporteren ikke foreligger så langt bagud, og Sharan TDI har omtrent samme størrelse. Ud fra prisudviklingen for Sharan TDI fra 1996 til 2011 er historikken beregnet idet der forudsættes samme prisforhold imellem årgangene for Transporter og Sharan TDI.

Denne statistik viser at prisen har været faldende fra år 2000, hvilket falder sammen med skiftet til den nye generation af TDI motorer (fra 1,9 til 2,0 liter). Samme periode var kendetegnet af en massiv vækst i salget af dieselmotorer, og da personbilerne fra både Skoda, Seat, Audi og VW anvender samme motor som Sharan TDI og Transporter, fås et meget stort volumen af denne motortype. Dette formodes at være den bagvedliggende årsag til prisfaldet.

For at prognosticere prisudviklingen fra 2015 og frem er der taget udgangspunkt i to publikationer fra det amerikanske Energy Information Agency (EIA) "Annual Energy Outlook 2015" samt "Annual Energy Outlook 2010". Her i vurderes prisudviklingen for flere køretøjstyper frem mod 2040. Til denne sammenligning er anvendt kategorierne "Small Van – Turbo Direct Injection Diesel", "Small Van - Gasoline".

Med hensyn til CNG-, og el-varebiler anvendes samme metode, kategorien "Small Van – 100 mile electric", samt "Large Van - CNG", hvor der dog ikke laves beregning bagud fra 2012. Dette skyldes at teknologierne var meget umodne før 2012.

De årlige prisændringer fra EIA rapporterne er anvendt således at de absolutte priskorrigerede beløb forsat svarer til en dansk VW Transporter med 2015-prisindeks.



Figur 29: Prognose og historik for nyprisen på varevogne, pristalskorrigeret

Servicekontrakt for en varebil som VW Transporter diesel koster ca. 5.662 kr. pr. år eller 0,28 kr. pr. kilometer. Servicepriserne for elektriske biler er i øjeblikket 15 % lavere end for dieselmobilene. (<http://www.volkswagendanmark.dk/Kobsguide/Serviceaftale/>)

De resulterende data til indsætning AD-modellen er:

Fakta-ark					
	Enhed	2015	2020	2035	2050
Investering, anlæg	DKK	200 000	190 211	160 781	160 406
Samlede omk (ex brændstof)	DKK/GJ mek	1 700	1 702	1 660	1 841
heraf investeringer	DKK/GJ mek	1 357	1 344	1 263	1 400
heraf drift, faste	DKK/GJ mek	343	358	397	441

Figur 30: Økonomidata for dieselvarebiler til indsætning af AD-modellen

For el-varebiler

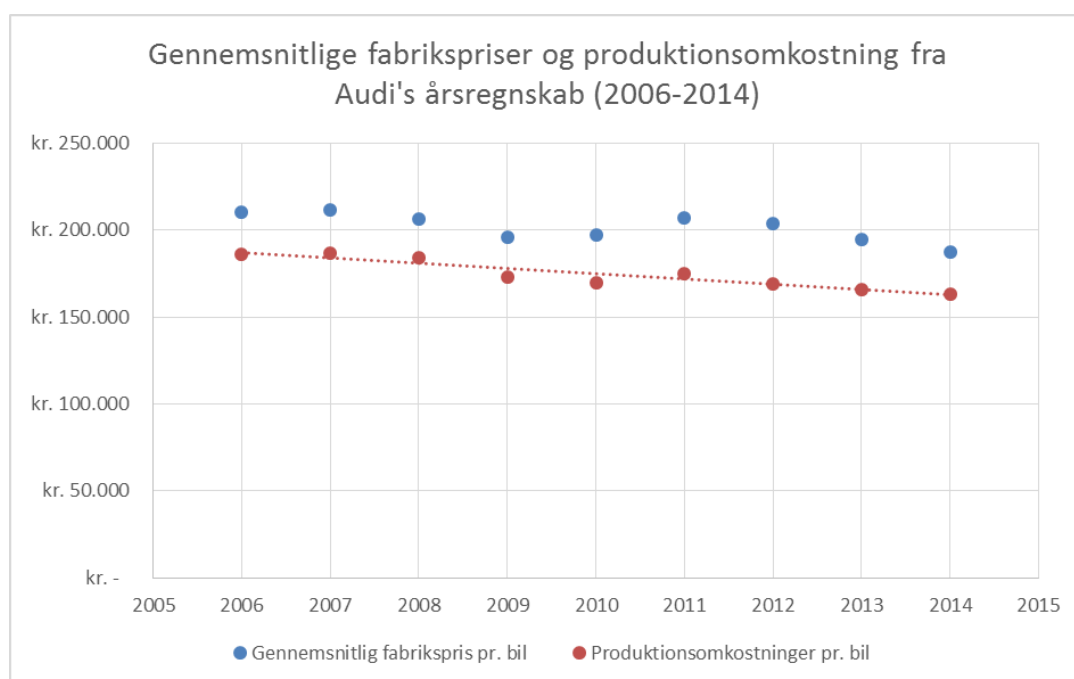
Fakta-ark					
	Enhed	2015	2020	2035	2050
Investering, anlæg	DKK	159.920	154.258	134.514	134.117
Samlede omk (ex brændstof)	DKK/GJ mek	1.591	1.613	1.619	1.795
heraf investeringer	DKK/GJ mek	1.209	1.214	1.177	1.304
heraf drift, faste	DKK/GJ mek	382	398	443	492

Figur 31: Økonomidata for el-varebiler til indsætning af AD-modellen

Årsagen til det højere omkostningsniveau pr. GJ for el-bilen er at dens mekaniske arbejde er mindre grundet regenerering af bremseenergi.

5.1. Fabrikkerens omkostningsniveau

Detaljerede opgørelser over produktionsomkostningerne for biler i det hele taget er en velbevaret hemmelighed. Toyota angiver i sit årsregnskab at omkostningen per produceret bil i 2014 var ca. 125.000 kr. Audi angiver ca. 165.000kr (se Figur 32). Dette er en gennemsnitsomkostning, som dækker over en række af både faste og variable omkostninger. Det er kun en mindre del af omkostningerne som er direkte specificeret i regnskabet. De samlede forsknings- og udviklingsomkostninger er angivet til 5.640 kr. pr. solgt bil. Afskrivningen på produktionsudstyr og anden ejendom ca. 7.600 kr. pr. bil. Dette efterlader størstedelen af omkostningerne uspecificerede.



Figur 32: Udtræk fra årsregnskab Audi GmbH, distributions- og marketingomkostninger ikke medtaget.

Fra forskellige kilder kan der findes eksempler på omkostninger:

Eksempler på udviklingsomkostninger:

- 2,4 mia. kr. (Ulrich & Eppinger/VW New Beetle)
- 7,5 mia. kr. (Bilmagasinet, Mercedes E-klasse facelift)
- 7,5 mia. kr. (BMW i3)
- 40 mia. kr. (Mundtlig information, BMW 3-serie)
- 6,5 % af salgspris (Argonne)

Eksempler på omkostninger til etablering af produktionsfaciliteter:

- 60% af prod. omk. (Toyota, Atsushi Niimi)
- 3 mia. kr. (Ulrich & Eppinger/VW New Beetle, Renault Tangiers fase 2)
- 6 mia. kr. (VW Chattanooga Plant)
- 30 mia. kr. (Tesla Gigafactory)

Komponenter, materialer:

- 20% af omk. til produktion (Toyota, Atsushi Niimi)
- 70.433 kr. pr. bil (Ford 1979 korrigeret til 2014 priser)
- 125.637 kr. pr. bil (CAW, EPA)
- 57% af salgspris (CAW, EPA)

Lønninger:

- <20% af omk. til produktion (Toyota, Atsushi Niimi)
- 15.867 kr. pr. bil (Toyota)
- 20.837 kr. pr. bil (Ford)
- 4,8% af salgspris (CAW)
- 9.476 kr. pr. bil (CAW)
- 6.000 kr. pr. bil (Forbes)
- 7.500 kr. pr. bil (UAW)

Distribution og markedsføring:

- 23,5% af salgspris (Argonne)
- 8% af salgspris (CAW)

Fortjeneste:

- 2,5% af salgspris (Argonne)
- 4% (CAW)

Salgspris:

- 115.000 kr. (Chevrolet Cruze, Ulrich & Eppinger/VW New Beetle)
- 201.000 kr. (CAW)

Ovenstående tal indikerer at bilproduktion i høj grad er et spørgsmål om stordrift. De mest succesfulde bilmodeller fabrikeres da også i styktal på omkring 1.000.000 om året.

Udviklingsomkostningerne samt produktionsfaciliteter for en moderne personbil skønnes ud fra de tilgængelige kilder at være i størrelsesorden mindst 10 mia. kr. Med et dækningsbidrag på højst 8.000 kr. pr. stk. vil der altså være break-even ved 1.250.000 stk. Da en bilmodel typisk er i produktion i 8 år kræves altså en produktion på over 150.000 biler pr. år for at opnå et overskud.

Audi's regnskab viser faldende produktionsomkostninger pr. køretøj. Dette kan dog skyldes flere faktorer, fx brugen af fælles platforme med VW samt at Audi lancerede en mindre bilmodel Audi A1 i 2010.

Historisk er materialeomkostningerne steget sammen med olieprisen. Materialeomkostningerne må dog generelt forventes at stige i takt med at stål erstattes med aluminium, kulfiber og andre letvægtsmaterialer. Samtidigt forventes lønningerne at stige kraftigt i de største bilproducerende lande Kina, Korea, Thailand, Indien.

Fabrikation og udvikling vil i fremtiden kunne rationaliseres betydeligt ved hjælp af bl.a. 3-d print, virtual reality, HIL simulering mv.

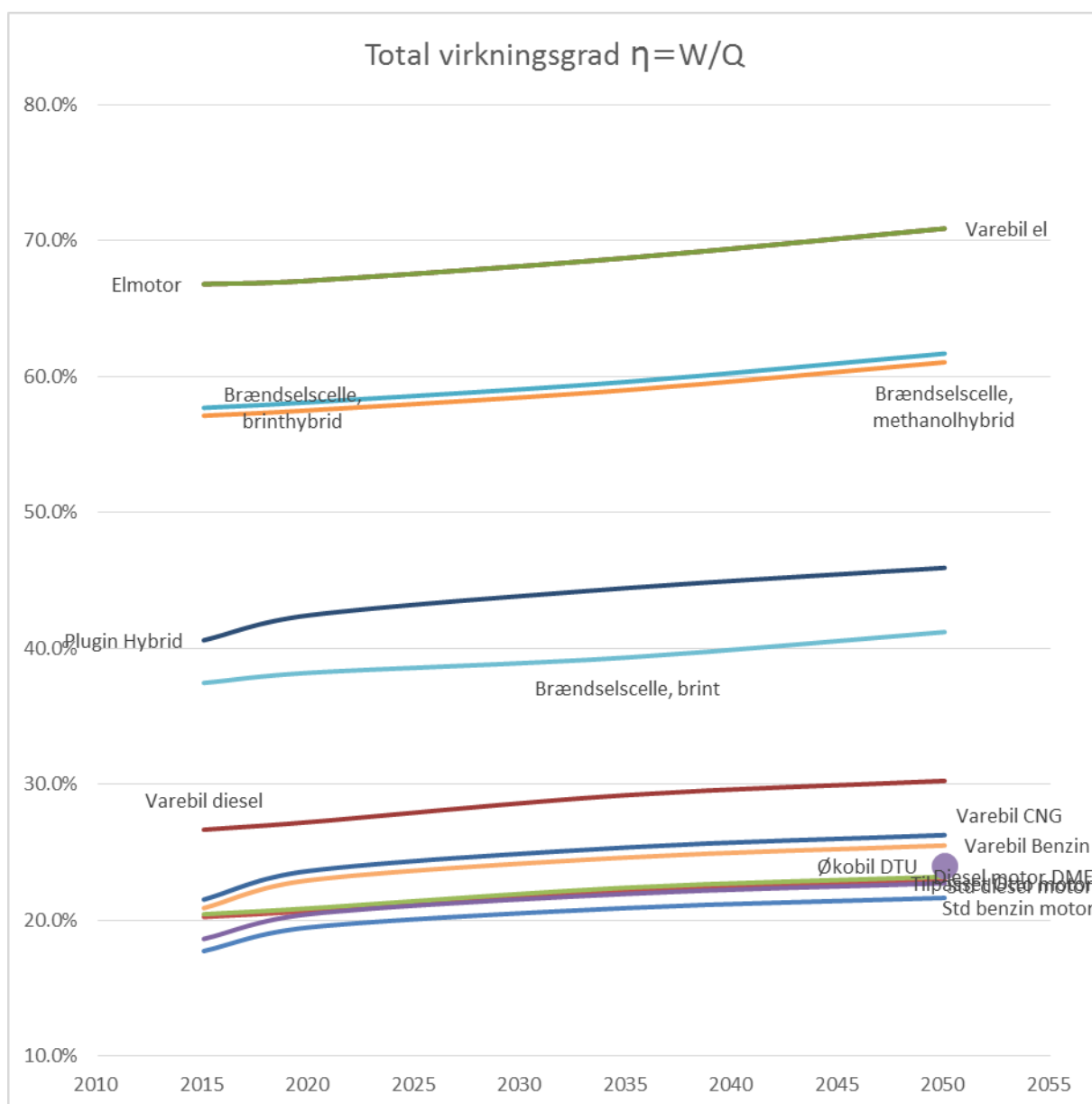
Der er dog ikke udsigt til at biler som sådan bliver billigere at producere, som det fx er kendt fra IT udstyr. Det skyldes at biler fortsat vil være et tungt industriprodukt baseret på mekaniske komponenter, som ikke længere falder i pris. Til gengæld øges niveauet af sikkerhed, komfort og miljø kraftigt med udviklingen.

6. Sammenfatning

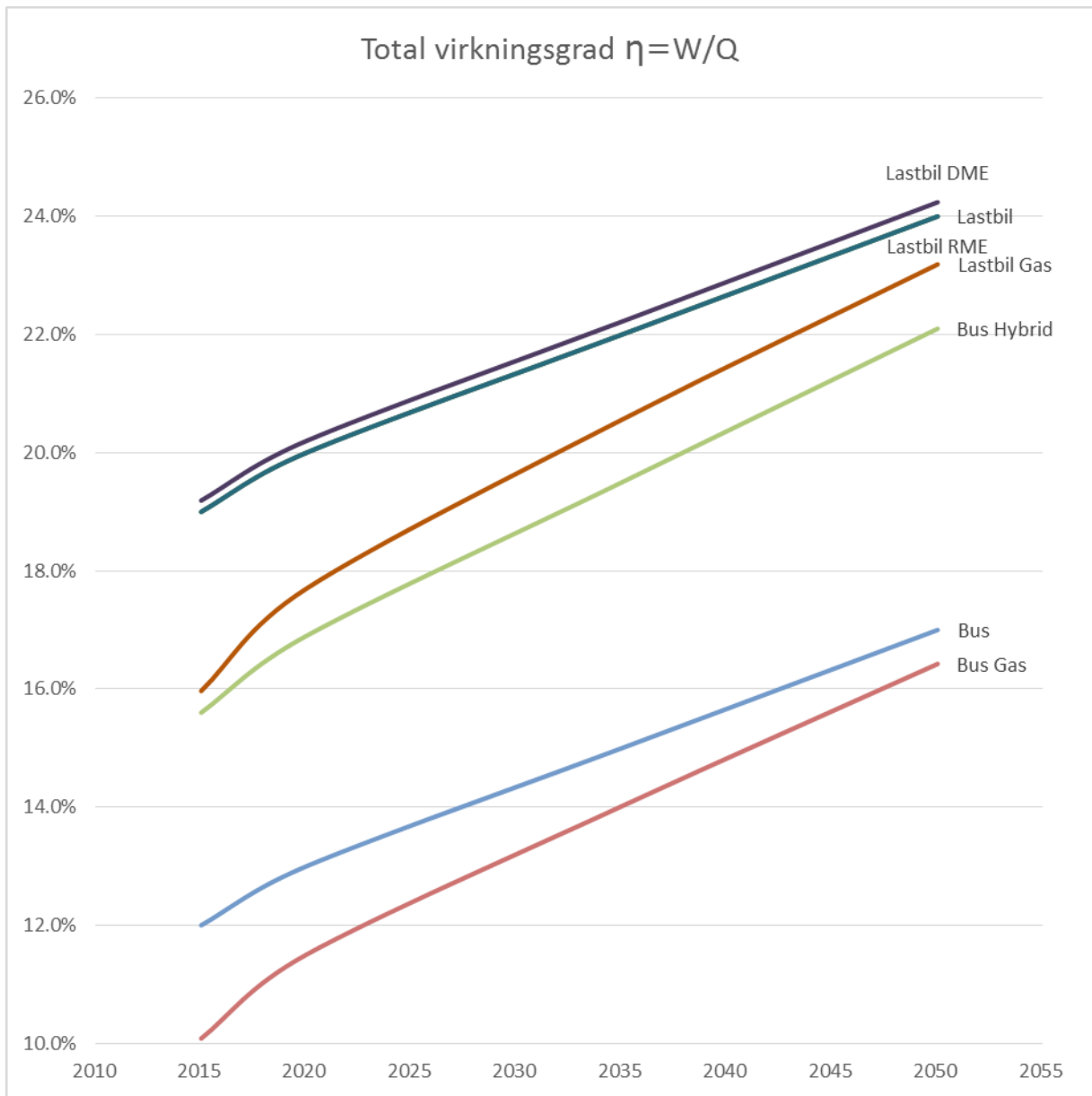
Følgende diagrammer kvantificerer konklusionerne. Sammenfatning ses i Figur 33.

	Virkningsgrad køretøj (PABE) GJ mek/GJ fuel				Middel energiforbrug an køretøj, primær MJ fuel/km				Middel energiforbrug an hjul (VLEFC) MJ mek/km				Reduktion VLFC ref. forrige periode %				Forbedringer i virkningsgrad ref. 2015 %			
	2015	2020	2035	2050	2015	2020	2035	2050	2015	2020	2035	2050	2015	2020	2035	2050	2015	2020	2035	2050
Std benzin motor	17.7%	19.5%	20.9%	21.6%	2.22	1.98	1.76	1.61	0.39	0.39	0.37	0.35	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	9.8%	17.8%	22.0%
Std diesel motor	20.2%	20.7%	22.2%	23.0%	1.99	1.91	1.69	1.55	0.40	0.39	0.38	0.36	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	2.1%	9.6%	13.5%
Diesel motor DME	20.4%	20.9%	22.4%	23.2%	1.97	1.89	1.67	1.54	0.40	0.39	0.38	0.36	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	2.1%	9.6%	13.5%
Tilpasset Otto motor	18.6%	20.4%	21.9%	22.7%	2.12	1.89	1.67	1.53	0.39	0.39	0.37	0.35	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	9.8%	17.8%	22.0%
Brændselscelle, brint	37.5%	38.2%	39.3%	41.2%	1.25	1.20	1.11	1.01	0.47	0.46	0.44	0.41	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	2.0%	5.0%	10.0%
Brændselscelle, brinthybrid	57.7%	58.1%	59.6%	61.7%	0.81	0.79	0.73	0.67	0.47	0.46	0.44	0.41	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	0.7%	3.3%	6.9%
Brændselscelle, methanolhybrid	57.1%	57.5%	59.0%	61.0%	0.74	0.72	0.66	0.61	0.42	0.41	0.39	0.37	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	0.7%	3.3%	6.9%
Plugin Hybrid	40.6%	42.4%	44.4%	45.9%	1.11	1.04	0.95	0.87	0.45	0.44	0.42	0.40	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	4.6%	9.5%	13.1%
Elmotor	66.8%	67.1%	68.7%	70.9%	0.65	0.63	0.59	0.54	0.43	0.42	0.40	0.38	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	0.4%	2.9%	6.1%
Lastbil	19.0%	20.0%	22.0%	24.0%	13.33	12.06	10.47	9.42	2.53	2.41	2.30	2.26	0%	4.8%	4.5%	1.8%	0%	5.3%	15.8%	26.3%
Lastbil DME	19.2%	20.2%	22.2%	24.2%	13.20	11.94	10.37	9.33	2.53	2.41	2.30	2.26	0%	4.8%	4.5%	1.8%	0%	5.3%	15.8%	26.3%
Lastbil RME	19.0%	20.0%	22.0%	24.0%	13.33	12.06	10.47	9.42	2.53	2.41	2.30	2.26	0%	4.8%	4.5%	1.8%	0%	5.3%	15.8%	26.3%
Lastbil Gas	16.0%	17.7%	20.6%	23.2%	15.87	13.63	11.20	9.75	2.53	2.41	2.30	2.26	0%	4.8%	4.5%	1.8%	0%	10.9%	28.8%	45.2%
Bus	12.0%	13.0%	15.0%	17.0%	16.01	14.63	12.45	10.87	1.92	1.90	1.87	1.85	0%	1.0%	1.8%	1.1%	0%	8.3%	25.0%	41.7%
Bus Gas	10.1%	11.5%	14.0%	16.4%	19.05	16.54	13.32	11.25	1.92	1.90	1.87	1.85	0%	1.0%	1.8%	1.1%	0%	14.1%	39.0%	62.9%
Bus Hybrid	15.6%	16.9%	19.5%	22.1%	11.21	10.24	8.71	7.61	1.92	1.90	1.87	1.85	0%	1.0%	1.8%	1.1%	0%	8.3%	25.0%	41.7%
Varebil Benzin	20.9%	22.9%	24.6%	25.5%	3.97	3.55	3.14	2.88	0.83	0.81	0.77	0.73	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	9.8%	17.8%	22.0%
Varebil CNG	21.5%	23.6%	25.4%	26.3%	3.86	3.44	3.05	2.80	0.83	0.81	0.77	0.73	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	9.8%	17.8%	22.0%
Varebil diesel	26.7%	27.2%	29.2%	30.2%	3.11	2.99	2.65	2.43	0.83	0.81	0.77	0.73	0%	2.0%	5.0%	5.0%	0%	2.1%	9.6%	13.5%
Varebil el	66.8%	67.1%	68.7%	70.9%	1.31	1.25	1.10	0.96	0.88	0.84	0.76	0.68	0%	4.0%	10.0%	10.0%	0%	0.4%	2.9%	6.1%
Økobil DTU	24.0%				0.15				0.04											

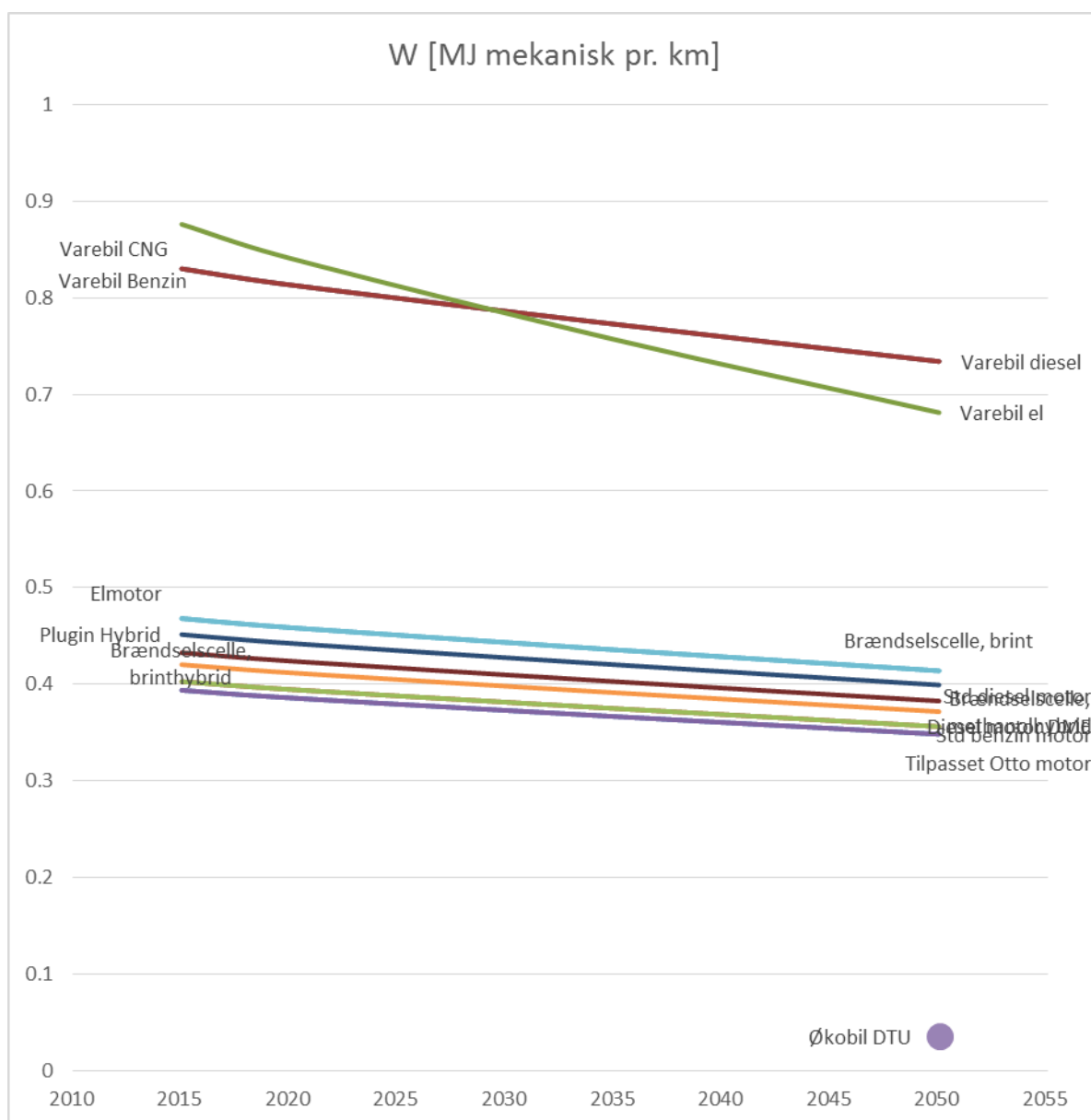
Figur 33: Sammenfatning af faktorer anbefalet i denne rapport



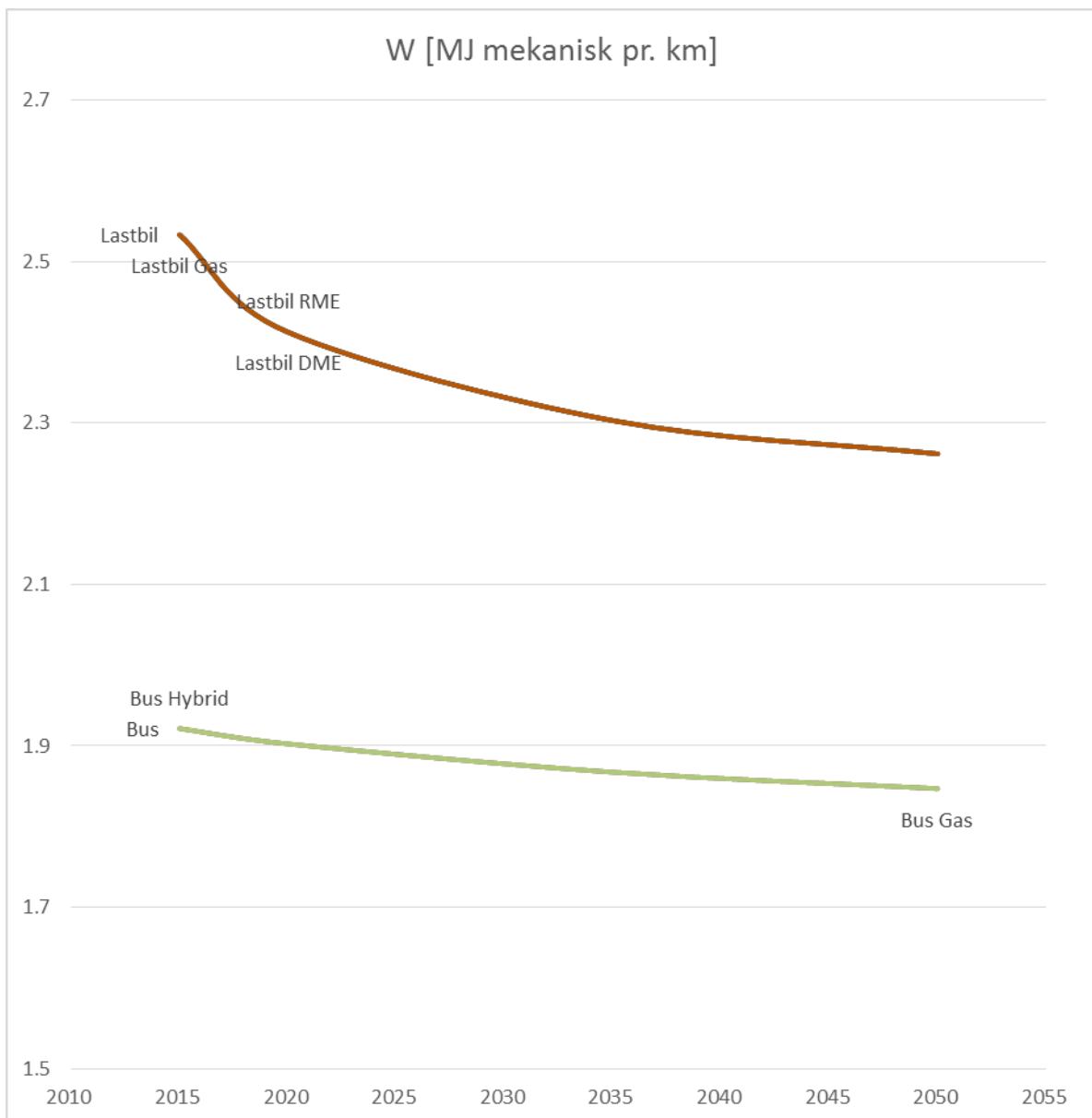
Figur 34: Virkningsgrader for lette biltyper (med 66/34 drivmiddelfordeling for hybrider)



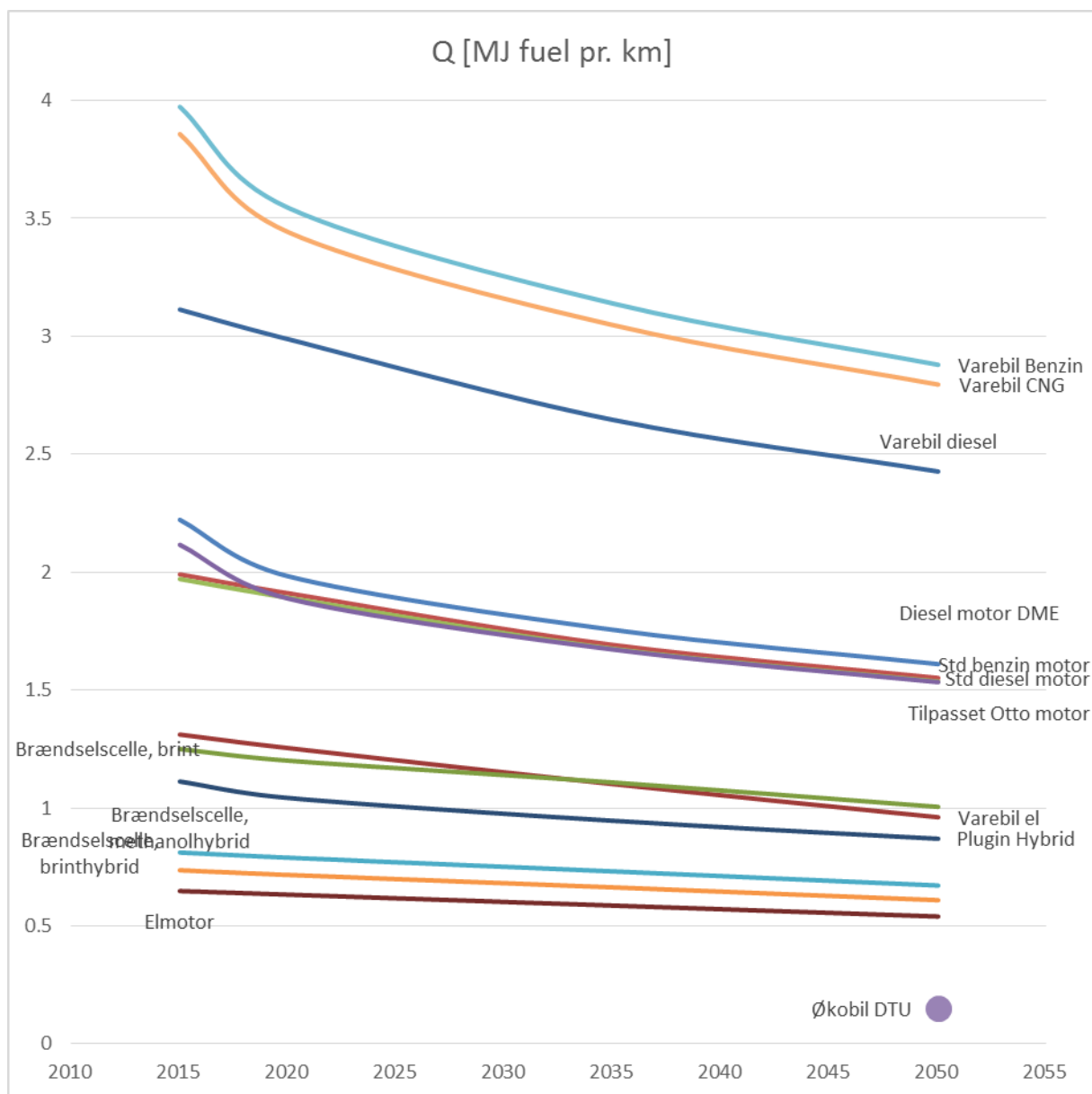
Figur 35 Virkningsgrader primær for tunge biltyper



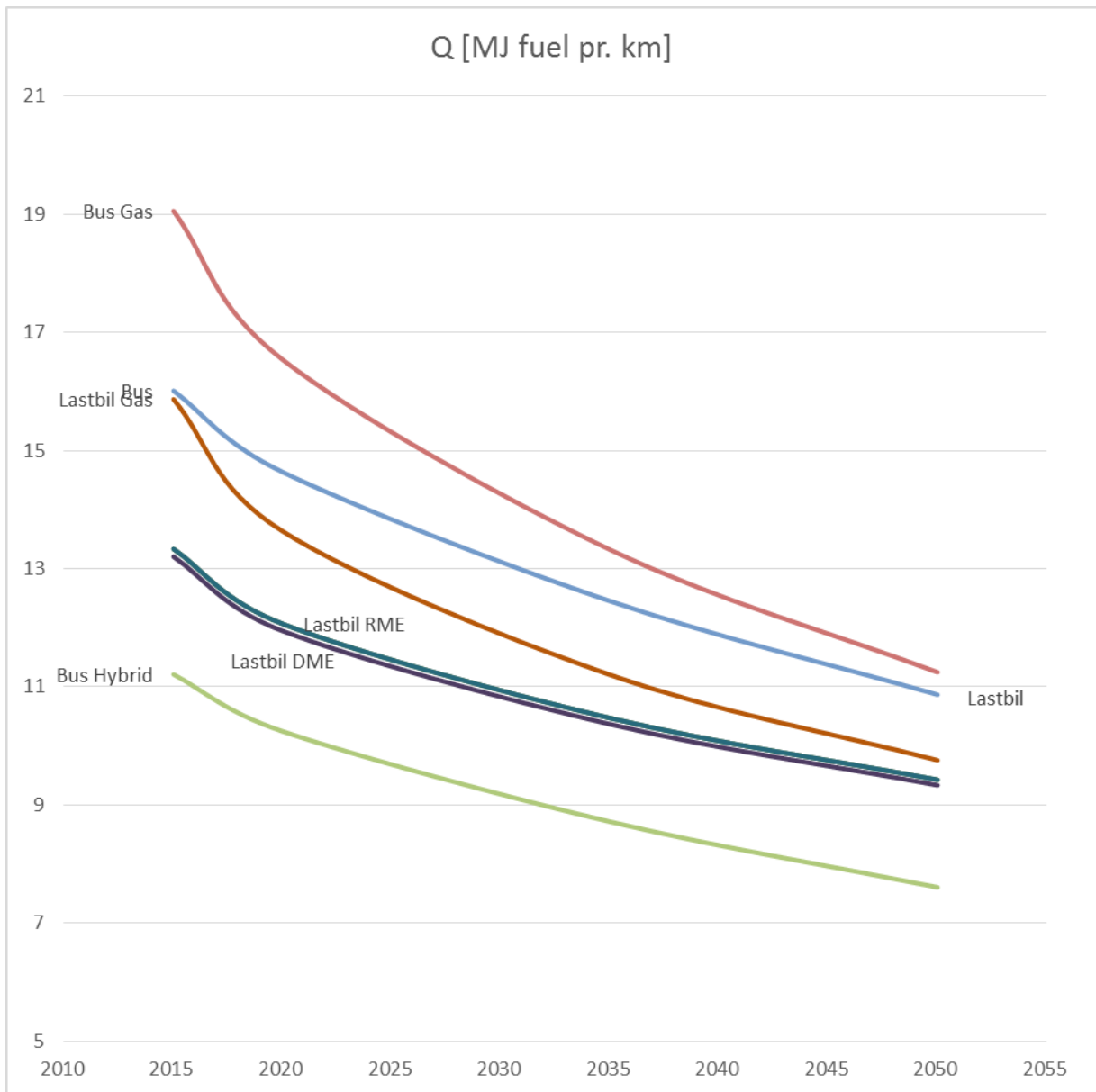
Figur 36 Mekanisk arbejde for personbiler i modellen



Figur 37: Mekanisk arbejde for de tunge køretøjer i modellen



Figur 38: Energiforbrug for lette køretøjer i modellen



Figur 39 Energiforbrug for de tunge køretøjer i modellen