



VEJTRANSPORT - PERSONBILISME OG TUNG TRANSPORT | 24. JUNI 2015

Analyse nr. 18

Fremtidig vejtransport

Publikationen

Vejtransport - Personbilisme og tung transport.
24. juni 2015.

Kontaktinformation

Jesper Henry Skjold
jhs@danskenergi.dk

Telefon +45 35 300 400
Direkte +45 35 300 453

Disclaimer

Dette analysenotat er omhyggeligt udarbejdet, og indholdet er kvalitetssikret internt i Dansk Energi. Dansk Energi vil ikke kunne gøres til ansvarlig for økonomiske tab af nogen art som følge af brug af information eller data behandlet i analysenotatet.



1 Indhold

2	Resumé	5
2.1	Sammenfattende vurdering.....	9
3	Indledning	10
3.1	Formål og analyseramme	10
4	Drivlinjer og drivmidler	11
4.1	Konventionelle drivlinjer	12
4.1.1	Gas som drivmiddel	13
4.2	Brint og brændselscellebiler	13
4.2.1	Brintbusser.....	14
4.3	El som drivmiddel.....	14
4.3.1	Elbusser.....	15
5	Generel metode	16
5.1	Generel metode og beregningsforudsætninger.....	16
5.2	CO ₂ - og drivmiddelpriiser	17
5.3	Køretøjsforudsætninger	19
5.3.1	Modelleringsmetode.....	19
5.3.2	EURO emissions standarder	21
5.3.3	Forsætninger for personbiler.....	21
5.3.4	Forudsætninger for lastbiler	24
5.3.5	Forudsætninger for busser.....	25
5.3.6	Batterier	26
5.3.7	Brændselscellesystemer.....	28
6	Infrastruktur	30
6.1	Gastankningsinfrastruktur	30
6.2	Elbils ladeinfrastruktur.....	34
6.3	Brinttanknings infrastruktur	37
6.4	Konventionelle tankstationer og infrastruktur for biobrændsler	40
6.5	Markedsfordelingen af påfyldningsløsningerne	41
6.6	Infrastrukturomkostninger for personbiler.....	43
6.7	Infrastrukturomkostninger for lastbiler og busser	43

7 Resultater 45

7.1 Personbiler.....	45
7.2 Tung transport.....	53
7.2.1 Lastbiler.....	54
7.3 Busser.....	56
7.4 Sammenfattende bemærkninger til resultaterne	59

8 Bibliografi 60

2 Resumé

Rapporten sammenligner samfundsøkonomien af forskellige køretøjsteknologier inden for personbilisme, busser og lastbiler i perioden fra nu til 2050. Overordnet viser analysen at en gradvis elektrificering af persontransport fra 2020 er en samfundsøkonomisk attraktiv løsning. På den lange bane mod 2050 udviser brændselscellebilerne samtidigt større og større potentiale. I den tunge transport viser analysen, at der er god samfundsøkonomi i gasdrevne lastbiler. For busser er analyseresultatet mindre klart, men viser, at alternative drivlinjer er billigere end dieselbusser fra 2020 og indikerer, at enten el-, gas- eller brændselscellebusser kan komme til at dominere på sigt.

Nærværende rapport præsenterer en komparativ samfundsøkonomisk analyse mellem konventionelle og en række alternative drivlinjeteknologier inden for personbilstransport og tung transport omfattende lastbiler og busser. Resultaterne præsenterer køretøjernes totale kørselsøkonomi udtrykt som kørselsomkostning pr. kørt kilometer (kr./km) i nøgleårerne 2015, 2020, 2035 og 2050.

Analysen identificerer ligeledes kritiske økonomiske og teknologiske parametre, som er centrale for de enkeltes køretøjers konkurrencedygtighed.

Slutteligt sammenfattes en vurdering af hvilke "grønne" drivlinjeteknologier, som i et samfundsøkonomisk perspektiv er bedst egnede til at opfylde målsætning om en fossilfri transportsektor mod 2050.

Det er naturligvis forbundet med store usikkerheder at fremskrive relativt umodne teknologiers økonomiske og tekniske karakteristika til 2050. Der er derfor udført følsomhedsanalyser på centrale teknologiparametre såsom prisen på batteri for elbilen.

Indenfor persontransport er eldrevne, gasdrevne og brændselscelledrivlinjer samt kombinationer heraf sammenlignet indbyrdes og med konventionelle drivlinjer ved en normal kørselsmængde på 18.000 km årligt.

Indenfor lastbilssegmentet i tung transport er gasdrevne- og brændselscelledrivlinjer blevet sammenlignet med den konventionelle diesellastbil med et årligt kørselsbehov på 50.000 km. Indenfor bussegmentet er eldrevne-, gasdrevne-, brændselscelle- og hybridbusser sammenlignet internt og med den konventionelle dieselbus ved et årligt kørselsbehov på 100.000 km.

I nedenstående boks er de overordnede analyseresultater sammenfattet:

Persontransport:

- De konventionelle biler er billigst i 2015.
- I 2020 begynder den samfundsøkonomiske omkostning af elbilen med en kortere rækkevidde (200 km) at blive sammenlignelig med de konventionelle biler, og bliver herefter det absolut billigste alternativ i resten af perioden mod 2050.
- At elbilen allerede i 2020 får sammenlignelige omkostninger skyldes dels en markant reduktion i forventningen til fremtidige batteripriser, men også en antagelse om faldende produktionsomkostninger relateret til den prisreducerende effekt af storskala-produktion.
- I 2035 bliver el-plugin-hybriden og gasbilen konkurrencedygtige med konventionelle biler. Brændselscellebilen bliver ligeledes konkurrencedygtig ved højere end normalt kørselsbehov.
- I 2050 ligger de grønne drivlinjer i indbyrdes konkurrence om at være de billigste biler med længere rækkevidde. Ved højere end normalt kørselsbehov, bliver elbilen med længere rækkevidde (500 km) billigste alternativ. Ved 50 % reduktion i centrale antagelser for batteripriser har elbilen med 500 km mulighed for at blive absolut billigste teknologi i 2050 og konkurrencedygtig allerede i 2035.
- Ved højere end normalt kørselsbehov bliver flere af de alternative drivlinjer tidligere konkurrencedygtige med de konventionelle drivlinjer.

Lastbiler:

- De naturgasdrevne lastbiler er den billigste samfundsøkonomiske drivlinje allerede i 2015 og resten af perioden.

Busser:

- Gasbussen er billigste alternativ frem til 2020.
- I 2035 er gasbussen, elbussen og brændselscellehybridbussen i indbyrdes konkurrence som billigste alternativer.
- I 2050 er brændselscellehybridbussen og elbussen en del billigere end gasbussen.

På baggrund af analysen kan det udledes, at de forskellige drivlinjer præsterer forskelligt inden for persontransporten og den tunge transport.

Forbrændingsmotorer (inkl. naturgas) er i **udgangsåret 2015** de mest samfundsøkonomiske konkurrencedygtige teknologier indenfor både persontransporten og den tunge transport.

Persontransport

Ved et kørselsbehov nær gennemsnittet inden for persontransporten, bliver elbilen med begrænset rækkevidde konkurrencedygtig med konventionelle biler på flydende fossile brændsler i **2020**. Dette skyldes både en forventning om, at elbilerne bliver væsentligt billigere (39 % reduktion) fra 2015 til 2020

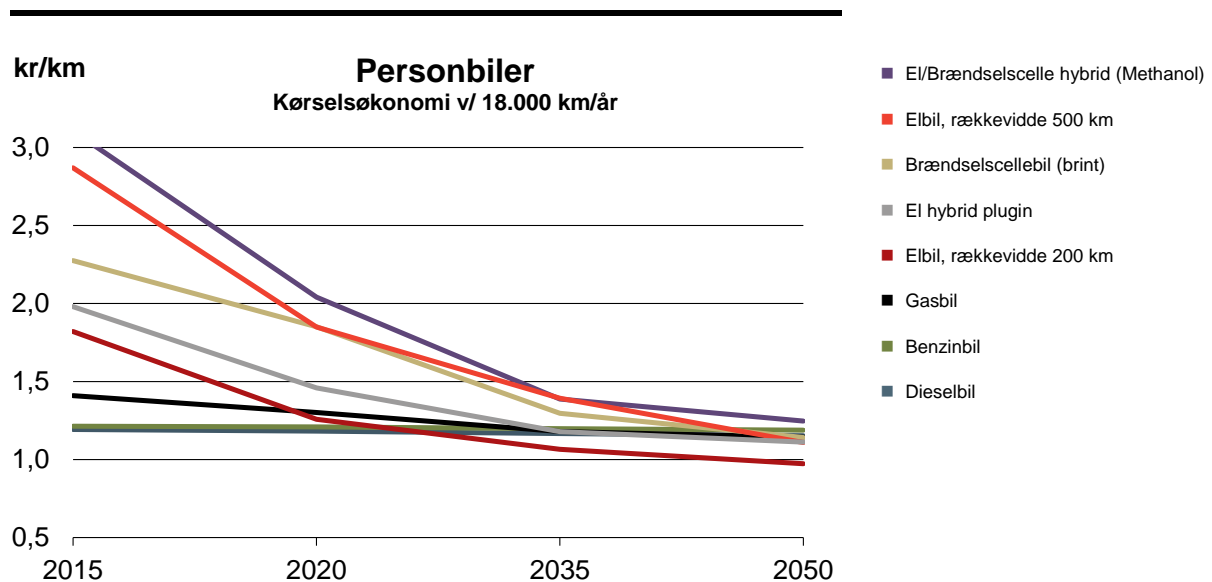
pga. teknologisk læring samt at de bliver produceret i et antal som muliggør store omkostningsbesparelser i forhold til i dag. Efter 2020 tegnes et entydigt billede af elbilen med begrænset rækkevidde som den absolut samfundsøkonomiske billigste løsning fremefter. På langture vil denne type bil, dog ikke kunne dække behovet uden ekstra tidsressourcer afsat til løbende opladning.

Ved meget lave årlige kørselsbehov på ca. 10.000 km vil de konventionelle biler være de billigste løsninger indtil 2050, hvor elbilen med den kortere rækkevidde vil kunne konkurrere.

Ved meget høje årlige kørselsbehov vil flere af de alternative drivlinjer allerede kunne konkurrere med konventionelle biler i 2020. Ved kørselsbehov over 35.000 km bliver både gasbilen og el-plugin-hybriden konkurrencedygtige. Elbilen med den længere rækkevidde bliver konkurrencedygtig over 50.000 km.

Forudsat normalt kørselsbehov bliver el-plugin-hybriden- og gasbilen konkurrencedygtige med konventionelle drivmidler frem mod **2035**. Gasbilen udfordres dog af elbilen med lang rækkevidde og brændselscellebilen ved høje årlige kørselsmængder. Brændselscellebilen er en smule dyrere, men usikkerhed alene knyttet til energipriserne gør det vanskeligt at drage en entydigt konklusion af hvilken bil, der vil være billigste ved højre end almindeligt kørselsbehov. Både elbilen med den længere rækkevidde og brændselscellebilen kan konkurrere med konventionelle biler ved et kørselsbehov på ca. 30.000 km.

Figur 1 Analyseresultat for persontransporten



Figur 1 Figuren illustrerer samfundsøkonomiske kørselsomkostninger inkl. omkostninger til infrastruktur, brændsler og eksternaliteter i form af emissioner.

Kilde: Dansk Energis køretøjsmodel

I 2050 er billedet mere mudret af hvilke køretøjer, der ud over elbilen med den kortere rækkevidde, vil være billigst. Både brændselscellebilen, el plugin hybrid, gasbilen og elbilen med længere rækkevidde er således konkurrencedygtige med den konventionelle dieselbil ved normalt årligt kørselsbehov. Usikkerhed omkring elbilen med den længere rækkevidde er primært knyttet til udviklingen i batteripriser, mens både brændselscellebilen og gasbiler er følsomme over for højere energipriser. Endeligt vil det absolutte kørselsbehov have betydning. Ved højere kørselsbehov vil både el-plugin-hybriden, brændselscellebilen og elbilen blive markant billigere. Ved kørselsbehov over 30.000 km årligt udkonkurrerer elbilen de andre drivlinjer, da energieffektiviteten får større og større betydning jo mere der køres.

Perspektiveres der over resultaterne med den hensigt at give et bud på den billigste samfundsøkonomiske strategi, peger resultaterne i retning af, at det kunne være fornuftigt at satse på eldrevne drivlinjer i første del af perioden. På den længere bane er det svære at afgøre, hvilken grøn drivlinjeteknologi som ender med at blive billigst. Analysen tegner dog et entydigt billede af, at kørselsbehov som kan tilfredsstilles af biler med kort rækkevidde kan imødekommes af de billige elbiler. Da elbiler med kort rækkevidde ser ud til at blive konkurrencedygtig fra 2020 og er billigst i resten af analysehorisonten, er det oplagt at satse på strategi med en høj grad af elektrificering i transporten. El-plugin-hybriden vil være et godt alternativ til elbilen med den kortere rækkevidde, da den både i 2020 og 2035 forventes at være blandt de billigste grønne alternativer, som kan dække kørselsbehov over længere afstande. El-plugin-hybriden er også mere robust end de andre køretøjer over for usikkerhederne i den teknologiske og prismæssige udvikling af drivlinjerne samt udsving i energipriser. Desuden må forudsætninger om prisen for el-plugin-hybriden anses for relativt konservative i 2020, da prisreduktionspotentialet knyttet til den simple forbrændingsmotor- og gearingsteknologi reelt kan tænkes at indtræde hurtigere ved storskalaproduktionsfordele. El-plugin-hybriden kan således understøtte elektrificeringsstrategien videre mod 2050, hvor flere af de grønne drivlinjer kan blive konkurrencedygtige og dermed bidrage til at understøtte elektrificeringen.

Altafhængig af hvordan de teknologiske forventninger bliver indfriet og hvordan brændselspriserne udvikler sig, ser enten elbilen med lang rækkevidde eller brændselscellebilen ud til at kunne levere den billigste samfundsøkonomiske transportform indenfor personbil-segmentet. Begge transportformer vil understøtte en elektrificeringsstrategi af transportsektoren, enten ved el direkte som energibærer eller indirekte ved at omdanne el til hydrogen.

Lastbiler

For lastbilerne tegner der sig en klar konklusion om, at gaslastbiler er den billigste samfundsøkonomiske løsning at satse på. Allerede med de nuværende forudsætninger i 2015, er gasdrevne lastbiler den billigste samfundsøkonomiske løsning pga. af den relativt lavere gaspris.

Resultatet er ret robust, men hvis elpriserne på sigt falder relativt til naturgas vil det kunne ændre billedet til fordel for brændselscellelastbilen.

Biogas har vi ikke direkte berørt i analysen, men da det er i tråd med de langsigtede politiske målsætninger om mere "grøn" gas i det danske

energisystem, så bør det nævnes, at resultatet også er robust ift. til biogas som drivmiddel. Da biogas antages at være CO₂-neutralt vil gaslastbilen således være konkurrencedygtig med brændselscellelastbilen med en biogaspris op til 90 % dyrere end den gaspris anvendt i analyseforudsætningerne.

Busser

Busser med forbrændingsmotorer er den billigste løsning i den første periode, 2015 og 2020, men herefter bliver den konventionelle dieselbus udkonkurreret af billigere alternativer. Gasbussen er stadig et billigt alternativ frem til 2035, men må vige pladsen som billigste løsning i 2050. Brændselscelle-hybridbussen, elbussen og gasbussen ligger omtrent på samme niveau i 2035, mens elbussen er billigst i 2050. Brændselscelle-hybrid-bussen er ligesom elbussen mere robust over for relative udsving i basisenergi priserne end gasbussen og den rene brændselscellebus. Generelt bidrager antagelserne om lave methanolpriser til brændselscelle-hybridbussens gode performance. I det videre projektarbejde med kommercialisering af brændselsceller vil vi derfor have særligt fokus på at afdække om methanol kan produceres til den pris, som er lagt til grund for nærværende analyse.

Infrastruktur

Hvis gas og hydrogen skal anvendes i transportsektoren, skal det understøttes af relativt store og nye investeringer i alternativ infrastruktur. På trods af, at en anvendelse af gas til transportformål umiddelbart synes fornuftig i den tunge transport, kunne man dog forestille sig en række barrierer for omstilling fra diesel (og benzin) til gas, herunder etablering af, at den nødvendige infrastruktur (primært tankstationer), rent faktisk ville finde sted.

2.1 Sammenfattende vurdering

Den overordnede konklusion taler for at elektrificere personbilismen. I den første del af perioden vil det hensigtsmæssigt at satse på el som den primære energibærer, mens et miks af forskellige energibærer vil kunne understøtte elektrificeringen af persontransporten på den lange bane.

I den tunge lastbilstransport tegner sig et gunstigt billede af gas som energibærer. I bussektoren er billedet mere uklart, men generelt præsterer gasbusser fornuftigt i den tidlige periode, mens både el-, gasbusser og brændselscelle-hybrid-busser konkurrerer om at være billigst på den lange bane.

3 Indledning

Rapporten er en delrapport af forskningssamarbejdet forankret i EUDP-projektet "Kommercialisering af brintteknologier". Hovedformålet med rapporten er at analysere forskellige drivlinjeteknologiers kørselsøkonomi med hensigt på at afdække de billigste samfundsøkonomiske løsninger inden for persontransport og tung transport. Sekundært er det at identificere centrale omkostningsparametre af betydning for køretøjernes konkurrenceevne.

3.1 Formål og analyseramme

Denne rapport er en delrapport af forskningssamarbejdet forankret i EUDP-projektet "Kommercialisering af brintteknologier", hvor projektpartnere tæller Partnerskabet for brint og brændselsceller, EA Energianalyse, centrale myndigheder, forsknings- og universitetsmiljøet samt en række industrielle bidragsydere. Det centrale formål med det overordnede projekt er at analysere og identificere behovet for teknologisk udvikling af brint teknologier, hvis de skal have en rolle i et fremtidigt dansk energisystem.

Hovedformålet med denne rapport har været at analysere økonomien i forskellige drivlinjeteknologier inden for personbiltransport og tung transport omfattende lastbiler og busser. Konkret er der tale om en komparativ samfundsøkonomisk analyse af konventionelle og "nye grønne" drivlinjers totale kørselsøkonomi udtrykt som kørselsomkostning pr. kørt kilometer (kr./km). En præmis for analysegrundlaget har samtidigt været at udvikle og sikre en konsistent beregningsmetodik, så økonomien i de respektive køretøjer kan sammenlignes direkte på tværs af drivlinjeteknologier.

Analysens andet formål er at analysere og identificere, hvor kritiske økonomiske og teknologiske barrierer er lokaliseret inden for de "grønne" drivlinjer, hvis teknologierne skal integreres i et fremtidigt dansk energisystem. Rapporten indeholder derfor en analyse af de enkelte køretøjers omkostningsstruktur i udvalgte nøgleår, hvor hensigten er at belyse og identificere de centrale og omkostningstunge dele af køretøjets totaløkonomi.

Analysen henvender sig til interessenter og politiske instanser, som arbejder med at belyse, hvordan vi lettest og billigst omstiller Danmark til et lavemissionssamfund. Intentionen er ligeledes at skabe gensidig forståelse blandt de væsentligste interesseorganisationer og industrielle parter for, hvilke miks af teknologier det vil være mest realistisk at satse på, når man både tager hensyn til teknologiernes modenhed og udviklingspotentiale på den korte bane, og de totale samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til investering i køretøjer, infrastruktur, D&V, drivmidler og eksternalitets betragtninger.

Analysen søger dermed at bidrage til at skabe et samlet billede af de enkelte drivlinjeteknologiers mulige potentiale, og dermed skabe et oplyst grundlag til at forme og træffe de bedste samfundsøkonomiske nationale politikker og strategier for en fremtidig dansk transportsektor.

4 Drivlinjer og drivmidler

I dette afsnit præsenteres de enkelte drivlinjer analyseret i rapporten. Der redegøres kort for drivlinjernes karakteristika, fordele og ulemper i forhold til fremtidig dansk vejtransport.

I relation til det overordnede projektformål med at afdække brintteknologiernes potentiale er det relevante, ift. vejtransport at sammenligne og vurdere "grønne drivlinjer", herunder brint, med eksisterende konventionelle drivlinjer som diesel- og benzindrevne køretøjer.

Der findes en omfattende mængde af alternative drivmidler, som hver især kan anvendes i forskellige drivlinjer knyttet til forskellige typer køretøjer. I denne rapport har vi begrænset os til at fokusere på køretøjer inden for persontransporten samt den tunge transport omfattende busser og lastbiler. Disse typer køretøjer udgør langt den største del af vejtransporten.

Drivlinjerne i analysen er begrænset til forbrændingsmotorer, brændselscelledrivlinjer, elmotorer samt kombinationer af disse typer drivlinjer.

Da antallet af drivmidler (og måderne at fremstille disse på) er forholdsvist stort, er analysen begrænset til kun at undersøge de konventionelle drivmidler, benzin og diesel samt de alternative drivmidler, naturgas, brint, methanol og el.

Indenfor persontransport sammenlignes følgende kombinationer af drivmidler og drivlinjeteknologier:

Drivlinjer i persontransportanalysen:

- Konventionel benzinbil
- Konventionel dieselbil
- Gasbil (CNG)
- Elbil (kørselsrækkevidde 200 km)
- Elbil (kørselsrækkevidde 500 km)
- El-plugin hybrid (el/diesel)
- Brændselscellebil (brint)
- Brændselscelle-hybridbil (el/methanol)

Indenfor tung transport sammenlignes følgende drivmiddelteknologier:

Drivlinjer i godstransportanalysen:

- Konventionel diesel lastbil
- Gas lastbil (CNG)
- Brændselscelle lastbil (brint)

Drivlinjer i bustransportanalysen:

- Konventionel diesel bus
- Gasbus (CNG)
- Elbus
- Brændselscelle bus (brint)
- Brændselscelle-hybridbus (el/methanol)

4.1 Konventionelle drivlinjer

Konventionelle drivlinjer omfatter i denne rapport forbrændingsmotorer. Der findes to forskellige typer forbrændingsmotorer: gnisttændt og kompressionstændt.

Gnisttændte forbrændingsmotorer er mest udbredt, selvom der pt. i Danmark sælges flest biler med kompressionstændte motorer. Gnisttændte¹ motorer er det de fleste kender som en benzinmotor, men kan også køre på andre brændstoffer end benzin, f. eks. ethanol eller gas. I Danmark er anvendelsen af gas som drivmiddel endnu ret begrænset, men resultater fra andre studier indikerer, at gas, specielt i relation til tung transport, har potentiale for at blive et samfundsøkonomisk attraktivt alternativ til konventionelle drivmidler (Energistyrelsen 2013). Gas i gnisttændingsforbrændingsmotorer, kaldes i det efterfølgende for gasbiler eller gaskøretøjer. Gas som drivmiddel beskrives i nedenstående afsnit 4.1.1.

En kompressionstændt motor kører uden tændrør. Disse motorer kører oftest på fossilt diesel, men kan også køre på forskellige biomassebrændstoffer som f.eks. biodiesel, biomethanol eller endda vegetabiliske olier, som f.eks. rapsolie. Disse brændstoffer har den egenskab, at de selvantænder ved høje temperaturer og tryk, hvilket betyder, at et tændrør ikke er nødvendigt, og derfor ofte resultere i lidt lavere omkostninger, da tændrøret i gnistmotorer skal skiftes regelmæssigt. Disse motorer er også typisk mere effektive end gnisttændte motorer.

¹ Som navnet antyder, sker antændingen ved hjælp af en gnist der laves med et såkaldt tændrør ved at sætte en stor elektrisk spænding til tændrøret. Gnisten antænder en blanding af brændstof og ilt.

4.1.1 Gas som drivmiddel

I denne analyse fokuseres der på gaskøretøjer, som udnytter komprimeret gas (CNG). Gas har den fordel som drivmiddel, at det har et relativt lavere CO₂-udslip pr. GJ sammenlignet med de konventionelle drivmidler baseret på fossilt olie. Endvidere er der den fordel, at naturgassen som drivmiddel til transportformål på sigt kan suppleres med og efterhånden erstattes af oprenset biogas, som er en vedvarende, indenlandsk energikilde. Således er et skift mod biogas i transportsektoren foreneligt med et langsigtet mål om uafhængighed af fossile brændsler. Ved anvendelse af biogas i gasmotorer kan CO₂-emissioner reduceres betragtelig og kan afhængigt af produktionskæde endda have negativt CO₂ bidrag (Energistyrelsen 2013).

Udover relativt lavere CO₂-udslip, kan der også være andre fordele for miljøet forbundet med anvendelse af gas såsom mindre luftforurening og mindre støj (Energistyrelsen 2014a). Med den nye EURO-VI (jf. 5.3.2) emissionsstandard er gaskøretøjernes emissioner af methan, NOx'er og partikler reduceret betragteligt. Før indførslen af denne standard lå methan-udledningen fra gasbiler fire gange højere end udledningen fra diesebilen. Nu ligger de ca. på niveau.

Samtidig synes teknologien efterhånden moden og veludviklet, og dermed umiddelbart tilgængelig. Der er således allerede kommet energieffektive lastbiler og busser, der anvender gas som drivmiddel på markedet i de senere år, ligesom det har været tilfældet med person- og varebiler gennem flere år. Også teknologien omkring fyldestationer synes veludviklet og velafprøvet; det sidstnævnte bl.a. i kraft af, at Sverige og ikke mindst Tyskland har satset på og gjort solide erfaringer med teknologien gennem efterhånden nogle år (Energistyrelsen 2014a). Dertil har man i Danmark den umiddelbare fordel, at der allerede eksisterer et udbygget gasnet, som kan danne udgangspunkt for et net af fyldestationer. Gasbiler er da også på vej ind i den danske transportsektor. Det sidste år er antallet af gasbiler i Danmark steget, og er nu oppe på ca. 100, samtidig med, at der pt er opført syv gastankstationer i Danmark (Dansk Gastekniske Center 2014).

Særligt for så vidt angår den tungere transport, dvs. transport med lastbiler og busser m.v., hvor elektricitet som drivmiddel endnu har en række udfordringer ift. til rækkevidde og hvor miljøbelastningen er en udfordring, synes gas som drivmiddel i udgangspunktet at besidde et vist potentiale.

4.2 Brint og brændselscellebiler

Brændselscellebilen eller brintbilen er en bil, som bruger brint som brændstof. Bilen drives af en elektrisk motor, der får sin strøm fra en brændselscelle i stedet for et batteri. I dag anvendes PEM-celler i brintbiler dels på grund af deres effektive energiudnyttelse, og dels fordi de arbejder ved en lav temperatur på 80 grader, hvilket både er praktisk og sikkert i bilerne. Når PEM-celler er dyre, skyldes det høje priser på de polymermaterialer, der benyttes samt at det dyre metal platin anvendes som katalysator. Udsigten til at reducere brugen af platin og dermed prisen fremadrettet virker lovende².

² For at spare platin, har forskere på Københavns Universitet skabt en ny variant af katalysatoren, som kræver langt mindre platin for at skabe samme effekt. Resultatet var så godt, at projektet endda vandt en pris i 2013 for "Årets danske forskningsresultat".

Polymermaterialet og katalysatorerne koster pt. tilsammen 75 % af prisen på en brændselscelle.

Brændselscellen i bilen fødes typisk med brint fra en brinttank i bilen, hvor brint opbevares under højt tryk (700 bar). Bilens brændselscelle kan dog, alt afhængigt af drivlinjesystem, også fødes med brint fra en omformer, der udskiller brinten fra flyende brændsler, som f.eks. methanol (jf. afsnit 4.3 hvor hybrid-brændselscelle/el-bilen nævnes).

Brintbilen har den store fordel, at den allerede i dag har en køreradius på 600 til 800 km på én brintoptankning. En brintoptankning varer kun op til cirka 4 minutter. I relation til den videre udvikling af brintbilerne, kan en endnu længere køreradius fremtidigt forventes opnået.

Rene brændselscellebiler findes allerede i visse regioner af verden. De fleste store bilfabrikker – Toyota, Honda, Daimler-Chrysler, Ford, Nissan, Renault, Volkswagen, Fiat, Mitsubishi og Hyundai – satser på brændselscellebiler. I efteråret 2015, lancerer Toyota sin første brintbil på den danske marked (BioPress 2014). Toyota, der er verdens største bilproducent satser i sin fremtidige bilportefølje alene på videreudvikling af hybridbiler samt på lancering af brintbiler.

Selvom brændselscelleteknologien er på et relativt ungt stadie, kan brændselscellebilen på sigt få en central rolle i persontransport i konkurrence med konventionelle benzin- og dieselmotorer, der drives af fossilt brændstof, da drivlinjen ligesom elbilen kun udleder indirekte emissioner fra elforbruget knyttet til produktionen af den brint som brændselscellen bruger. Brintbiler er derfor ligesom elbiler attraktive bybiler, da bilerne er støjsvage, ikke udleder partikler eller andre forurenende stoffer. Brændselscellebilen har allerede i dag markant bedre virkningsgrad, svarende til cirka det dobbelte af en konventionel forbrændingsmotor.

4.2.1 Brintbusser

Siden 2006 har der kørt en række brændselscelle-busser rundt i Europa i otte europæiske storbyer, men for nuværende har ingen brændselscellebusser set det danske marked (HyFleet 2015). De fleste bilfabrikker der satser på udvikling af brintbiler til persontransport, satser imidlertid samtidigt på udvikling af brintbusser. Brintbusser vil kunne anvende samme optankningsstruktur som brintbiler til persontransport. En brintbus får lang køreradius ved at "on-board" lagringen af brint sker i tanke oppe under taget af bussen.

4.3 El som drivmiddel

Elbilen har en elmotor i modsætningen til konventionelle biler forbrændingsmotorer. De fleste elbiler har et lithium-ion batteri, som driver den elektriske motor. Elbilen er meget støjsvag og udleder ingen emissioner, udover hvad elproduktionen indirekte forårsager. Hvis elektriciteten blev produceret ved 100 % VE, som f.eks. vindkraft, biomasse eller solpaneler, vil der således ikke være nogen emissioner fra elbilerne. Såfremt elbiler bliver udbredt i større omfang, vil de passe godt ind i et fremtidigt dansk elsystem, hvor en stigende del af elproduktionen vil komme fra VE. I Danmark er der pt. solgt knap 4000 elbiler (Dansk Elbil Alliance 2015).

Den overvejende udfordring ved elbilen er imidlertid dens rækkevidde, der er begrænset af batteriets kapacitet. Batterierne vejer pt. betragteligt og er endnu relativt dyre pr. kWh, men har dog oplevet markante reduktioner, både i vægt og pris, over det sidste årti (jf. afsnit 5.3.6).

En overgangsløsning ift. udfordringen med rækkevidde kan være at anvende hybridbiler. Hybridbilerne undersøgt i denne rapport er elbiler, som enten har en forbrændingsmotor eller et brændselscellesystem kombineret med en elmotor til at levere strøm i en kombination, der giver længere rækkevidde og god brændstoffektivitet. Pga. af den nuværende udfordring med rækkevidden forbundet med batteriets vægt og pris er analysen afgrænset til kun at analysere el som drivmiddel i persontransport og busdrift, men ikke i lasbilssegmentet i den tunge transport.

Der føres i dag en dialog med flere bilfabrikanter om produktudvikling af eksisterende elbiler, så de kan udstyres med et metanoldrevet brændselscellesystem, der kan forlænge rækkevidden på op til 1.000 kilometer (BioPress 2014). En fordel ved en brændselscelle/el-bilen med methanol som drivmiddel er, at der relativt hurtigt kan etableres den nødvendige infrastruktur, da methanol er et flydende brændstof, som kan sælges side om side med benzin og diesel. Disse brændselscelle/el-hybrider indgår i analyserammen for personbiler og busser.

Ved en større udbredelse af elbiler, vil man med fordel kunne anvende fleksible indpasningsløsninger, f.eks. intelligent prisafhængig opladning, således at der opnås en bedre udnyttelse af de vedvarende, men fluktuerende energikilder. Det vil på den måde være muligt at reducere omkostninger til netudbygning og produktionskapacitet samt indpasse flere vindmøller i elsystemet. Selv om antallet af elbiler skulle være relativt lavt de nærmeste fem år, kunne der således være behov for fra start at tænke på at sikre muligheden for intelligent opladning og tænke elbilen ind i udviklingen af smartgrid – et intelligent energisystem i Danmark.

4.3.1 Elbusser

Elbusserne tilgængelige på det kommercielle marked er relativt dyre. I øjeblikket kommer den overvejende del af de fuldelektriske natopladede busser fra selskaber, som udelukkende er specialiseret i batteridreven busdrift, og ikke bygger konventionelle dieseldrevne busser (Movia 2014). Når de store leverandører af dieselbusser lancerer fuldelektriske natopladede elbusser, må det forventes, at det kan have en væsentlig påvirkning på markedet, og ikke mindst prisen.

5 Generel metode

I dette kapitel gennemgås metoden for analysen samt forudsætningerne lagt til grund for beregningerne. Ligeledes er drivlinjespecifikationer inden for persontransport, lastbiler og busser listet på tabelform. Sidst i kapitlet gennemgås økonomiske og teknologiske forventninger til batterier og brændselsceller.

5.1 Generel metode og beregningsforudsætninger

For at vurdere det bedste samfundsøkonomiske alternativ mellem de konkurrerende transportformer, har vi anvendt en metode, som udtrykker kørselsøkonomien pr. kørt kilometer for det pågældende køretøj. Kørselsøkonomien er udtrykt som nutidsværdien i nøgleårene, 2015, 2020, 2035 og 2050, som er sammenfaldende med de nøgleår, der går igen i det overordnede projekt "Kommercialisering af brint teknologier". Nutidsværdien er beregnet som 2014-priser, da alle inputparametre (emissionsomkostninger, drivmiddel priser, investeringsomkostninger mm.) i udgangspunktet er justeret til 2014-tal.

I nedenstående fakta-boks er den overordnede økonomiberegning illustreret:

Beregningsmetodik

Kørselsomkostningerne i de respektive nøgleår er som nutidsværdipriser beregnet som:

$$\frac{\sum_{j=1}^n (C_j \times (1+r)^{-j})}{\sum_{j=1}^n (1+r)^{-j}}$$

hvor C er omkostningerne, r er den samfundsøkonomiske kalkulationsrente, n er afskrivningshorisont og j er beregningsåret.

For at udtrykke kørselsomkostninger pr. kørt kilometer er ovenstående beregning efterfølgende divideret med antagelsen om årligt kørselsbehov inden for den respektive transportkategori,

Vi analyserer udelukkende på samfundsøkonomien for de respektive transportløsninger. Alle investeringer og andre omkostninger indgår i beregninger ekskl. skatter og afgifter. Analysen er således afgrænset til en simpel form for samfundsøkonomi, da vi ikke inkluderer nettoafgiftsfaktor og skatteforvridningstab i beregningerne. Denne afgrænsning er valgt, da det er vanskeligt at vurdere eventuelle skatte- og afgiftsregimer på den lange bane. For ikke at favorisere eventuelle teknologier ift. det nuværende afgiftssystem er disse faktorer derfor udeladt.

I beregningsopgørelsen indgår køretøjets købspris, drift og vedligehold, drivmiddelomkostninger, investeringer og drift i infrastruktur samt emissionsomkostninger. De driftsomkostninger, der afhænger af kørt antal

kilometer indbefatter udgifter til drivmidler samt løbende drift og vedligeholdelse. Da afskrivningshorisont og levetid antages at være sammenfaldende, antages restværdi af køretøj og infrastruktur at være nul i slutningen af afskrivningsperioden. I beregningsforudsætningerne anvendes ensartet levetid for køretøj og kørelængde om året inden for den enkelte transportkategori (persontransport, godstransport med lastbiler og busser).

Omkostningen til infrastruktur regnes som en anlægsinvestering med en afskrivningshorisont sammenfaldende med anlæggets levetid. For brintinfrastrukturen medregnes produktionsteknologi af brint (f.eks. elektrolyse) ikke som del af infrastrukturløsningen, men er internaliseret i brintprisen. Infrastrukturomkostningen for de respektive teknologier tydeliggøres i kapitel 6.

Finansieringsomkostningerne til investeringer i køretøjsteknologi og infrastruktur er baseret på den samfundsøkonomiske kalkulationsrente³ (4 %) for alle investeringer. Ud fra en antagelse om uniform fordeling af den danske bilpark, og da gennemsnitsalderen for personbiler på vejene i Danmark er ni år, så er der for personbiler anvendt en levetid på 18 år. Vi har for køretøjerne i den tunge transport antaget en afskrivningshorisont på seks år, da dette også danner udgangspunkt for tidligere studier udført af energistyrelsen om tung transport (Energistyrelsen 2014a). Afskrivningshorisonten for infrastrukturanlæg forudsættes at være 20 år, hvis ikke andet er nævnt.

Omkostninger til emissionseksternaliteter er baseret på energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger (Energistyrelsen 2014b). Emissionsomkostninger knyttet til SO₂/SO₄, Methan og NO_x er baseret på gældende retningslinjer fra Energistyrelsen (Energistyrelsen 2013b) og er korrigeret, hvor det er relevant, så der kun regnes på nationale skadesomkostninger. I forhold til diskussion om CO₂-indholdet i elektriciteten forbrugt af køretøjerne, er der valgt at tage udgangspunkt i det gennemsnitlige CO₂-udslip fra elproduktion i Danmark i de forskellige år.

Køretøjstekniske emissionsspecifikationer er baseret på Energistyrelsens Alternativ drivmiddel studie (Energistyrelsen 2013a).

5.2 CO₂- og drivmiddelpriser

I Analyseberegninger anvendes Energistyrelsens fremskrivninger af de samfundsøkonomiske brændsels-, CO₂- og elpriser (Energistyrelsen 2014b), som er det officielle grundlag for samfundsøkonomiske analyser. Energistyrelsens brændselspriser er fremskrevet på basis af IEA's⁴ prognoser.

Brændselsprisforudsætningerne anvendt i analysen er listet i **Tabel 1**.

Elpriser

Når de samfundsøkonomiske elpriser an flådestation (an værk) og an ladeboks (an forbruger) beregnes, er der som Energistyrelsens retningslinjer angiver, inkluderet et tillæg til elprisen (den forbrugsvægtet systempris) indeholdende nettab på 7 %, distributionsomkostninger (net- & systemtariffer)

³ baseret på en kalkulationsrente på realrente på 4 %, udmeldt af finansministeriet 31. maj 2013 for projekter med levetid på under 35 år (Energistyrelsen 2014b)

⁴ IEA behandler deres energipris scenarier i World Energy Outlook.

samt nødvendige omkostninger (avance, mark-up, lokale netomkostninger mm). Abonnement og regional transmission betragtes som sunk cost.

Infrastruktur til elladeanlæg beregnes separat (jf. kapitel 6) og er ikke en del af elprisen.

I Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsmetoder indgår en minimal del af PSO'en i elprisen⁵. I nærværende beregninger er der heller ikke inkluderet yderligere PSO i elprisen. Store dele af PSO-omkostningen består af faste omkostninger ved VE-investeringer, og ikke marginale driftsomkostninger, og derfor er der ikke nogen yderligere marginal PSO-omkostning forbundet ved øget elforbrug, hvilket argumenterer for, at PSO-omkostningen ikke skal indregnes i samfundsøkonomien.

Gaspriser

I den samfundsøkonomiske gaspris indgår lageromkostninger og avancer fuldt ud, mens visse dele af den netbundne infrastruktur (som for elprisen) regnes som sunk cost. Infrastruktur til tankningsanlæg og evt. tankdistribution til tankningsanlæg beregnes separat (jf. kapitel 6) og er ikke en del af gasprisen.

Konventionelle drivmidler

Benzin og diesel indgår i beregningen som CIF priser⁶, da infrastruktur til tankningsanlæg og drivmiddeldistribution til tankanlæg beregnes separat (jf. kap. 6).

Alternative drivmidler

Priserne for de alternative drivmidler, som brint og methanol er udledt af Energistyrelsens studie for alternative drivmidler (Energistyrelsen 2013a) og er eksklusiv tankanlæg og distribution, da infrastruktur til tankanlæg og drivmiddeldistribution til tankanlæg beregnes separat (jf. kapitel 6).

Af tabel **Tabel 1** fremgår at hydrogenprisen som er et produkt af elprisen pga. elforbruget i elektrolyseprocessen, er det dyreste brændsels pr. energiindhold. I analysen er hydrogen i udgangsåret ca. dobbelt så dyrt som el, faldende mod 70 % dyrere i 2050. Umiddelbart syntes prisforudsætningen for hydrogen høj, men da vi ikke selvstændigt har regnet på hydrogen i denne del af projektet er Energistyrelsens prisforudsætning anvendt.

Methanol er forudsat at godt 20 % dyrere end diesel i starten af perioden, men forventes mod 2050, at blive knap 30 % billigere end dieselprisen pr. energiindhold. Sammenlignes der med studier, der har estimeret prisen for methanolproduktion, så ligger disse ca. 40-100 % over methanolprisen anvendt for analyseåret 2015 (Brian V. Mathiesen 2014). De aktuelle markedspriser for methanol pr. 11.6.2015 (Methanex 2015) er handlet ca. 25 % over methanolprisen lagt til grund for analysen i 2015.

I det videre arbejde med brintkommercialiseringsprojektet undersøger vi prisforholdene knyttet til alternative brændsler nærmere.

⁵ Energistyrelsen har oplyst, at de inkluderer et nødvendigt PSO-element (Net, Forsyningsikkerhed, øvrige) på blot 0,96 øre/kWh i deres samfundsøkonomiske elpris.

⁶ CIF priser er betegnelsen for en brændselspris som kun inkl. omkostninger ift. til et referencested (ofte en central havn). Det kan omfattes som en engrospris, der ikke inkl. distribution, avance eller andre omkostninger for at bringe brændslet til forhandler eller forbruger.

Tabel 1 Energipris forudsætninger. Priser for konventionelle energiformer er nutidsværdipriser i de enkelte nøgleår. Priser er baseret på Energistyrelsens samfundsøkonomiske forudsætninger. Priser for alternative drivmidler er udledt af Energistyrelsen studie om Alternative drivmidler.

Kr./GJ (2014-priser)	2015	2020	2035	2050
Diesel CIF	136	145	153	153
Benzin CIF	137	146	155	155
Gas an forbruger	85	86	89	89
Gas an værk	74	75	78	78
Hydrogen ab anlæg	349	328	365	365
Methanol CIF	111	115	120	120
El an virksomhed	167	189	214	214
El an forbruger	178	200	225	225

5.3 Køretøjsforudsætninger

Datagrundlaget for de tekniske og økonomiske forudsætninger for de enkelte køretøjsteknologier er for de alternative drivlinjer overvejende baseret på det omfattende researcharbejde, som er udført i forbindelse med arbejdsopgave 1 i projektet, "kommercialisering af brintteknologier" (PBB 2015), mens de konventionelle drivlinjer i udgangspunkt er baseret på studiet om Alternative drivmidler udført af Cowi for Energistyrelsen (Energistyrelsen 2013a).

Hvor de ovenstående kilder ikke har været dækkende, har der i forbindelse med analysen været udført egen selvstændig research, som er blevet kalibreret ift. teknisk information fra bilindustrien og andre tekniske instanser⁷, som efterfølgende er valideret i fællesskab med projektets arbejdsgruppe og relevante eksterne konsulenter⁸ (jf. **Tabel 2**).

Alle data og omkostningerne knyttet til køretøjsteknologier er således valideret og efterfølgende benyttet som grundlag til at udvikle en Excel-baseret omkostningsbaseret universel køretøjsmodel.

5.3.1 Modelleringsmetode

Udgangspunkt for modelleringen af køretøjets energiforbrug har været metoden anvendt i Energistyrelsens Alternative Drivmiddelrapport, hvor der

⁷ Diverse bilproducenters hjemmesider, gasbiler.info v/ Dansk gasteknisk center, Serenergy.

⁸ HMN Gashandel A/S afd. for gas i transport, Dansk Elbils Alliance og EA Energianalyse.

tages udgangspunkt i den mekaniske energi, der skal til at drive det specifikke køretøj frem. Herefter korrigeres der med drivlinjens totale virkningsgrad for at udregne det samlede energiforbrug.

I nærværende analyse er metoden udvidet med bedre datagrundlag fra selvstændig dataindsamling (jf. ovenstående afsnit) og en generisk beregningsmetodik baseret på drivlinjernes delkomponenters vægt og pris. Specifikke vægtafhængige beregninger afdækker således både det mekaniske energiforbrug for det enkelte køretøj, såvel som køretøjets pris. Dette danner grundlag for en fleksibel model, der kan regne på forskellige køretøjsskasser ved at skalere data og dermed konstruere generiske modeller inden for de forskellige bil-segmenter.

Fordelen ved denne type model er, at det bliver nemmere direkte at identificere og argumentere for hvilke af de specifikke parametre der er kritiske for en given køretøjsteknologis samlede omkostningsniveau. Mange teknologiske og økonomiske flaskehalse kan således i princippet identificeres på delkomponent niveau. Det er også muligt at skelne mellem forhold (f.eks. vægtreduktioner af basiskarosseriet), der generelt påvirker alle køretøjsteknologierne og forhold (f.eks. billigere brændselsceller), der kun påvirker den enkelte køretøjsteknologi. Dynamiske effekter bliver derved til en vis grad indfanget i analysen. F.eks. vil en generel nedskalering i vægten på karosseriet betyde at andre komponenter (motoreffekt etc.) kan nedskaleres og økonomien dermed forbedres.

Beregningsmetoden for mekaniske energiforbrug til at drive en generisk personbil frem er baseret på beregningsforudsætninger fra EA Energianalyse (EA 2014), mens der for lastbiler og busser er udført selvstændige beregninger og kalibreringer ift. velunderstøttede data for virkningsgrad, energiforbrug og vægt for konventionelle diesel lastbiler og busser.

Den generiske beregning for mekanisk energiforbrug knyttet til at drive en standard personbil frem er baseret på en forudsætning om, at der skal 89 Wh/km mekanisk energi til at drive en personbil på 1350 kg frem. Dette svarer til ca. 20 % af det samlede energiforbrug for en gennemsnitlig dieselbil. Det antages, at 70 % af en eventuel forholdsmæssig reduktion eller forøgelse af basis vægt vil have en direkte påvirkning af det mekaniske energiforbrug pr. km (EA 2014, IEA 2013). Der er anvendt en lignende metodik for lastbiler og busser, hvor der er benyttet en antagelse om, at henholdsvis 40 % og 35 % af det totale energiforbrug er knyttet til mekanisk energi for at drive lastbiler og busser frem⁹. Forudsætningerne er valideret ift. faktisk energiforbrug af forskellige køretøjer i den tunge transport. Som for personbiler antages, at 70 % af en eventuel forholdsmæssig reduktion eller forøgelse af denne anvendte basisvægt vil have en direkte påvirkning på det mekaniske energiforbrug pr. km.

Virkningsgraderne for køretøjer er efterfølgende kalibreret mod understøttede data for brændselsforbrug pr. kørt kilometer.

Udover energiforbrug knyttet til fremdrift forbruger køretøjer også energi til klimastyring, radio, navigation osv. For personbiler er det antaget at 24 Wh/km anvendes til dette formål. Det svarer for konventionelle biler til ca. 4-5 %,

⁹ Denne antagelse baseres på forudsætninger fra IEA om, at omtrent 35 % - 40 % af det totale energiforbrug til at drive en diesel lastbil frem går til mekanisk energi, i form af rullemodstand, luftmodstand mm. (IEA 2013)

mens det for eksempelvis elbiler svar til ca. 15 % af det samlede energiforbrug. Andelen af det totale energiforbrug til dette formål stiger således fremadrettet. For lastbiler og busser antages dette forbrug at udgøre ca. 4 % af det totale energiforbrug. For elbusser udgør det ca. 10 % og for brintbusser godt 5 %.

En sidste parameter, som influerer på en drivlinjes energiforbrug er muligheden for lagring af regenerativ bremseenergi. Drivlinjer med et batteri tilknyttet har i modellering mulighed for at reducere nettoenergiforbruget med 8 % (E.A. Energianalyse 2015).

5.3.2 EURO emissions standarder

Euronormerne er en europæisk standard for køretøjer som angiver en maksimumgrænse for emissioner. Alle nye køretøjer, der sælges i EU, er underlagt disse. Euronorm IV trådte i kraft september 2014 og betyder at emissionerne af alle nysolgte køretøjer vil være markant lavere. I analyseberegningen indvirker dette på emissioner fra nøgleåret 2020 og frem.

5.3.3 Forsætninger for personbiler

For personbiler er der regnet på generiske modeller af C-klassebiler. C-klassebiler, hvortil eksempelvis den konventionelle Citroen C4 eller elbilen Nissan Leaf hører, kan i Danmark sammenlignes med mellemklasse-1 biler. I denne bilklasse er der solgt flest elbiler og biler med andre alternative drivlinjer. Derfor giver det, det bedste økonomiske datagrundlag, når der regnes på denne bilklasse.

Mellemklasse 1-biler udgjorde i 2014 knap 33 % af nybilsalget i Danmark (De Danske Bilimportører 2014).

Personbilernes vægt og pris er beregnet med udgangspunkt i, at basis chassis er ens for alle drivlinjer, mens de forskellige drivlinjens delkomponenter indgår i henhold til modelleringsmetoden beskrevet i det ovenstående. Data for delkomponenter er overvejende fra rapporten, "Influences on the Low Carbon Car Market from 2020–2030" (Element Energy 2011), mens enkelte komponenter er udledt fra studiet "Tank-to-WHEELS Report v.4" (JEC 2013).

Personbilernes basis chassis antages at opnå en vægtreduktion på godt 0,6 % årligt. Dette er et konservativt bud set i forhold til forventningen i Element Energys studie, hvor der forventes en reduktion på mellem 1,4 % til 2,8 % årligt.

Bilens vægt har betydning for kravet til motoreffekten, hvorved der kan opnås prisbesparelser relateret til eventuelle reduktioner af motorstørrelse.

Konventionelle biler og gasbiler

De 10 mest solgte konventionelle mellemklasse-1 biler var Skoda Octavia, VW Golf, Nissan Qashqai, Peugeot 308, Audi A3, Hyundai I30, Mazda 3, Ford Focus, Kia Ceed og Citroen C.

Disse 10 biler udgjorde i 2014 68 % af nybilsalget i Mellemklasse-1 (De Danske Bilimportører 2014).

Afhængigt af "bund-" vs. "top"-model er den vægtede gennemsnitspris på det danske marked i 2015 mellem 203.000 – 337.000 kr. (fratrullet 12 % forhandler avance). Med afsæt i dette prisbillede antages prisen for en konventionel benzin- og dieselbil inden for denne klasse at være 270.000 kr. inkl. afgifter og moms. Dette giver en pris på en benzinbil på 101.000 kr., ekskl. afgifter og moms og en pris for en dieselbil på 107.000 kr., ekskl. afgifter og moms. Disse priser er benyttet til at kalibrere prisen for de konventionelle drivlinjer i modellen, så de matcher det danske prisbillede i udgangsåret 2015. Prisen for gasbilen er baseret på data fra studiet "Tank-to-WHEELS Report v.4" (JEC 2013).

Elbiler

Alternativ Drivmiddel rapporten, Element Energys køretøjs studier og lignende kilder bygger på teoretiske modeller for elbilernes pris og udvikling. Disse er ikke konsistente med markedsobservationer af faktiske priser på det danske marked. Som for konventionelle biler, er de generiske modeldata derfor i udgangsåret 2015 kalibreret med faktiske priser på det danske marked.

Pr. januar 2015 kostede den gennemsnitlige elbil, ekskl. batteri, moms og 12 % forhandleravance (Tesla som luksusbil er ikke medregnet) knap 183.000 kr. (bilpriser fra Dansk Elbil Alliance 2014, beregning af Dansk Energi analyse).

Denne gennemsnitlige pris benyttes for 2015, hvor prisen på elmotoren kalibreres i udgangsåret ift. denne 2015-pris og herefter fremskrives med prisudviklingen fra Element Energy Limited.

Hybrid pluginbiler

Prisen for hybrid plugin bilen tager udgangspunkt i den mest solgte model på det danske marked, Opel Ampera, som i 2015 kostede 332.000 kr. ekskl. moms, afgifter, og forhandlermargin. Denne pris benyttes for 2015, og prisjusteres ift. en konventionel mellemklasse-1 bil til 252.000. kr. ekskl. batteri. Dette udgør en merpris på ca. 90.000 kr., som ikke kan forklares af den universelle køretøjsmodel. Denne merpris antages at være udtryk for øgede produktions- og salgsomkostninger som resultat af plugin hybridens lave markedsandel i Danmark. Under forudsætning af øget fremadrettet markedsandel antages denne merpris at aftage lineært mod 2035.

Brændselscellebil

Der er for øjeblikket få brint-brændselscelle biler tilgængelige på markedet. For nuværende findes to brint-brændselscellebiler på markedet, som tilhører en større bilklasse med en beregnet gennemsnitspris på 355.000, ekskl. afgifter og moms. Denne pris (fratrullet forhandlermargin) bruges for 2015, men prisjusteres ift. en konventionel mellemklasse-1 bil til 308.000. kr. Brændselscelleprisen kalibreres ift. til denne pris¹⁰ og der fremskrives generelt som for elbiler.

Hybrid brændselscellebil

Da der endnu ikke findes hybrid brændselscellebiler på det danske marked, er prisen udelukkende baseret på de generiske drivlinjekomponenter i den universelle beregningsmodel, som efterfølgende er valideret mod drivlinje dataene i projektets teknologiark (PBB 2014).

¹⁰ Som efter kalibrering er svarende til brændselscelleprisen præsenteret af Hyundai på Årsmødet for Partnerskab for brint og brændselsceller d. 9. april 2015.

Tabel 2 Centrale forudsætninger for drivlinjer medtager i personbilsanalysen

	Pris ekskl. afgifter (kr.)	Total Vægt (kg) ekskl. passagerer	Rækkevidde (km)	D&V (kr./km)	Energiforbrug (MJ/km)	Total effektivitet (%)	CO ₂ -emissioner (g/km)
Benzin							
2015	101.600	1328	757	0,35	2,22	20	154
2020	99.400	1291	787	0,35	2,14	20	110
2035	96.400	1180	885	0,35	1,90	21	104
2050	94.800	1072	997	0,35	1,68	23	104
Diesel							
2015	109.000	1334	890	0,35	1,89	23	115
2020	106.100	1297	925	0,35	1,82	24	87
2035	102.600	1187	1041	0,35	1,61	25	81
2050	100.400	1078	1173	0,35	1,43	27	81
Naturgas (CNG)							
2015	160.600	1296	533	0,35	2,25	19	119
2020	144.900	1259	554	0,35	2,16	19	114
2035	121.100	1149	633	0,35	1,89	21	100
2050	113.100	1040	725	0,35	1,65	23	88
Plug-in-hybrid (el/diesel)							
2015	258.000	1516	868	0,30	0,99	56	20
2020	213.200	1374	892	0,30	0,90	59	19
2035	133.100	1246	1006	0,30	0,80	62	17
2050	128.800	1129	1133	0,30	0,72	65	15
Elbil m. 200 km rækkevidde							
2015	199.600	1536	200	0,22	0,62	70	0
2020	121.000	1413	200	0,22	0,55	74	0
2035	112.400	1255	200	0,22	0,50	77	0
2050	110.500	1123	200	0,22	0,45	81	0
El bil m. 500 km rækkevidde							
2015	211.900	2026	500	0,22	0,74	70	0
2020	125.400	1709	500	0,22	0,62	74	0
2035	114.700	1461	500	0,22	0,54	77	0
2050	112.400	1292	500	0,22	0,48	81	0
Brændselscellebil (brint)							
2015	315.000	1388	726	0,30	0,71	57	0
2020	253.500	1337	775	0,30	0,66	60	0
2035	153.000	1217	948	0,30	0,54	70	0
2050	130.000	1100	1079	0,30	0,48	75	0
Brændselscelle hybrid (methanol)							
2015	403.000	1585	393	0,30	0,97	56	71
2020	268.000	1483	430	0,30	0,85	60	57
2035	156.200	1345	519	0,30	0,73	64	47
2050	138.600	1218	588	0,30	0,65	67	43

5.3.4 Forudsætninger for lastbiler

I analysen regnes der på distributionslastbiler uden anhænger med tre hjulsæt og en maksimal nyttelast på 18 tons. Årligt kørselsbehov er antaget at være 50.000 km årligt og en afskrivningshorisont på seks år (Energistyrelsen 2014a).

For diesel og gasdrevne lastbiler er økonomiske og tekniske data modelleret med udgangspunkt i en aktuell lastbilmodel fra Scania, P 280 6*2, som fås både i en diesel og gasdrevne udgave (Scania 2015, DGC 2015).

Virkningsgraden i AD svarer til den modellerede virkningsgrad for diesel og forbedring af virkningsgraden fremskrives derfor som i Alternativ Drivmiddel studiet. Virkningsgraden for gasbiler er kalibreret ift. gennemsnitligt energiforbrug for denne type lastbil i 2015 som oplyst på DGC's infosiden om gaskøretøjer, www.gasbiler.info¹¹. Det antages, at gaslastbilens potentiale for forbedring af virkningsgraden, som beskrevet i rapporten "Rammevilkår for gas i til tung transport" (Energistyrelsen 2014a), realiseres gradvist mod 2050.

Tabel 3 Centrale forudsætninger for drivlinjer medtager i lasbilsanalysen

	Pris ekskl. Total afgifter (kr.)	Vægt (kg)	Række- vidde (km)	D&V (kr./km)	Energi- forbrug (MJ/km)	Total effektivitet (%)	CO ₂ - emissioner (g/km)
Diesel							
2015	950.000	26.000	1010	1,35	14,20	40	1051
2020	950.000	26.000	1061	1,35	13,53	42	1001
2035	950.000	26.000	1111	1,35	12,91	44	956
2050	950.000	26.000	1136	1,35	12,63	45	934
Naturgas (CNG)							
2015	1.050.000	26.000	320	1,40	15,78	36	895
2020	1.050.000	26.000	333	1,40	15,15	38	860
2035	1.050.000	26.000	364	1,40	13,86	41	786
2050	1.050.000	26.000	384	1,40	13,06	43	741
Brændselscelle (brint)							
2015	1.495.000	26.000	230	1,35	9,17	57	0
2020	1.357.300	25.939	240	1,35	8,71	60	0
2035	1.067.200	25.932	279	1,35	7,50	70	0
2050	1.001.600	26.925	300	1,35	6,96	75	0

¹¹ I praksis vil brændstofforbrug pr. kørt km, og det deraf afledte være stærkt afhængigt af totalvægt, dvs. i høj grad last og aktuell hastighedsprofil. Men også chassis, karosseriform, bagtøj og gearkasse har betydning. Det er derfor vanskeligt at oplyse specifikt brændstofforbrug for en given lastbil (eller bus).

For at beregne prisen for brændselscellelastbilen tages udgangspunkt i basisprisen for diesellastbilen, hvorefter den justeres ift. drivlinjens komponentdata. Prisaftvigelsen mellem diesellastbilen og brændselscellelastbilen bliver således baseret på meromkostninger til brændselscellesystem, brintlagring og prisaftvigelsen mellem forbrændingsmotor og elektrisk motor. Virkningsgraden er typisk bedre i lastbiler end personbiler, men da virkningsgraden for brændselscellepersonbilen allerede er forudsat relativt højt, antages enslydende virkningsgrad mellem brændselscellelastbilen og denne.

I **Tabel 3** ses analyseforudsætninger for lastbilerne i analysen

5.3.5 Forudsætninger for busser

For busser regnes der på 12 meter busser med tre hjulsæt og en maksimal nyttelast på 10 tons. Årligt kørselsbehov er antaget at være 100.000 km årligt (HMN 2013) og en afskrivningshorisont på seks år (Energistyrelsen 2014a).

For diesel og gasdrevne busser er økonomiske og tekniske data modelleret med udgangspunkt i en aktuel Mercedes busmodel beskrevet i rapporten "Rammevilkår for gas i til tung transport" (Energistyrelsen 2014a), som fås i både en diesel og gasdrevne udgave. Efterfølgende er data valideret ift. tekniske data fra www.gasbiler.info. Virkningsgraden for diesel og CNG busser er fremskrevet som for lastbiler.

Elbussen er modelleret og kalibreret mod Movias erfaringer med to BYD fuldelektriske busser (Movia 2014).

Brændselscellebusser og brændselscellehybridbusser er modelleret som tilsvarende metode anvendt for lastbiler. Virkningsgraden for brændselscellebusser er antaget til at være 10 % dårligere end brændselscelle lastbiler. Tekniske data vedrørende brændselscellehybridbusser er baseret på teknologiarket fra arbejdsopgave 1 i det overordnede projekt (PBB 2014).

Tabel 4 Centrale forudsætninger for drivlinjer medtaget i busanalysen

	Pris ekskl. afgifter (kr.)	Total Vægt (kg)	Rækkevidde (km)	D&V (kr./km)	Energiforbrug (MJ/km)	Total effektivitet (%)	CO ₂ -emissioner (g/km)
Diesel							
2015	1.241.900	18.000	962	1,80	14,92	35	1104
2020	1.241.900	18.000	1010	1,80	14,21	37	1052
2035	1.241.900	18.000	1058	1,80	13,56	39	1004
2050	1.241.900	18.000	1082	1,80	13,26	39	981
Naturgas (CNG)							
2015	1.401.900	18.000	453	1,90	17,41	30	988
2020	1.401.900	18.000	472	1,90	16,71	31	948
2035	1.401.900	18.000	516	1,90	15,29	34	867
2050	1.401.900	18.000	548	1,90	14,41	36	817
Elbus							
2015	2.042.300	25.049	300	1,40	6,12	78	0
2020	1.936.800	21.585	300	1,40	5,47	83	0
2035	1.620.400	20.692	300	1,40	5,31	84	0
2050	1.303.900	20.399	300	1,40	5,25	85	0
Brændselscellebil (brint)							
2015	1.999.300	19.134	426	1,80	9,78	52	0
2020	1.842.100	18.806	452	1,80	9,19	55	0
2035	1.537.800	18.690	526	1,80	7,88	63	0
2050	1.378.300	18.484	571	1,80	7,26	68	0
Brændselscelle hybrid (methanol)							
2015	1.922.400	23.384	407	1,80	14,90	59	514
2020	1.710.900	21.226	450	1,80	11,51	65	397
2035	1.465.400	20.538	461	1,80	9,60	69	331
2050	1.375.800	20.144	468	1,80	9,46	70	326

5.3.6 Batterier

Lithium-ion batteriet i elbilerne, som er den type, som analyseforudsætningerne baseres på, er en af de helt store omkostningskomponenter i elbilen. Dels er selve batteriet dyrt og dels vejer det en del, som ved øget batterikapacitet fører til øgede motorkrav mm, der samlet set bidrager til at fordyre elbilen.

Analyseforudsætninger for batterier er baseret på data fra Brintkommercialiseringsprojektet, hvor prognoser og målsætninger fra forskellige kilder¹² har været vurderet og valideret mod hinanden. Priser kan ses i **Figur 3** og specifikationerne for batterier kan ses i **Tabel 5**. Batteriet

¹² US. DOE, US. EIA, IEA, Bloomberg, McKinsey m.fl.

afskrives over 8 år og der inkluderes en restværdi på godt 90 kr./kWh (nutidsværdi) i beregningerne (Emmet 2014).

Tabel 5 Analyseforudsætning for batterier.

	2015	2020	2035	2050
Lithium-ion batterispecifikation				
Energidensitet, Wh/kg	140	200	250	275
Batteripris, Kr./kWh	2200	1500	1000	600

Et batteri til en Nissan Leaf kan pt. købes for godt 1400,- kr./kWh¹³ (Charged 2014), mens et batteri til en Tesla koster ca. det dobbelte på det danske marked¹⁴.

I analyseforudsætningerne er antaget at et batteriet koster knap 2200,- kr./kWh i 2015 (2014-priser), som svarer til den gennemsnitlige batteripris på de solgte modeller på det danske marked i 2014 (ekskl. Tesla batteriet). Batteriprisen forudsættes efterfølgende at falde til 1500,- kr. i 2020¹⁵, som er ca. 300,- kr. mere end hvad Tesla forventer, at deres produktionsomkostninger bliver i 2020 som konsekvens af etableringen af deres nye mega-fabrik (Street 2014).

I 2035 er batteriprisen 1000,- kr./kWh, som er ca. 200 kr./kWh mere end US Department of Energy (US DOE), har som målsætningen for batteriproduktionsomkostninger allerede i 2022 (US DOE 2014). I 2050 er batteriprisen antaget at være reduceret til 600 kr./kWh, altså lidt under halvdelen af hvad et Nissan Leaf batteri for nuværende kan erhverves for.

Figur 2 Målsætningen fremsat i initiativet, "EV-Everywhere Challenge", som del af US DOE's program "Energy grand Challenges".



Figur 2 Illustrationen viser den ambitiøse målsætning for at gøre elbilerne konkurrencedygtige.

Kilde: "EV Everywhere - Grand challenge blueprint", DOE 2013.

¹³ Beregning udført af Dansk Energi ift. kildereference.

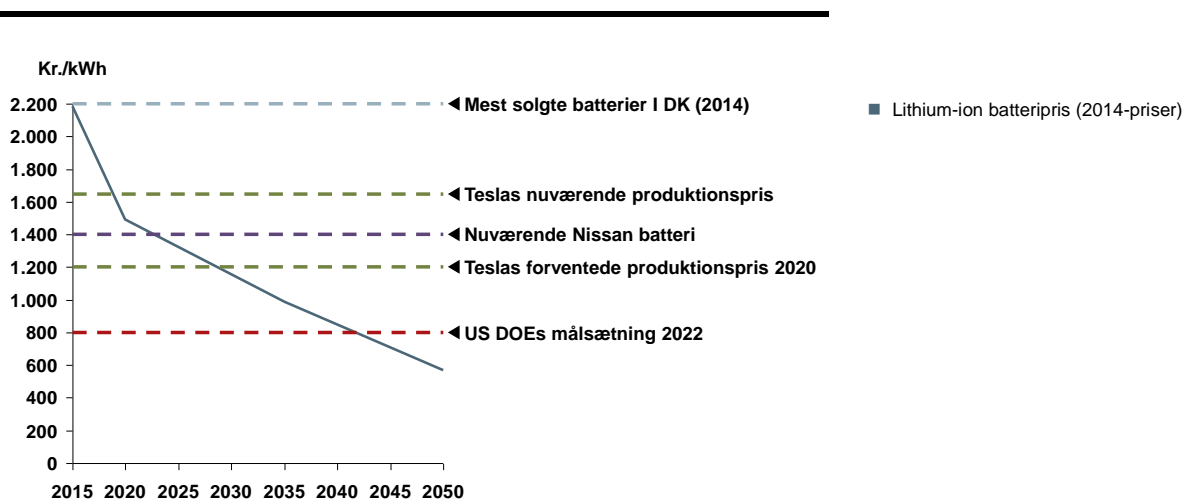
¹⁴ Udledt ift. til tillægspriser for Tesla forhandleres batteripakker.

¹⁵ Dette er 100 kr./kWh mere end den nuværende pris for et Nissan Leaf batteri, men ud fra en generel markedsbetragtning vurderes, at Nissan Leaf batteriet pt. sælges med negativ fortjeneste.

Verden over udføres en omfattende forskningsindsats for at forbedre batteriernes egenskaber. Fokus er ikke bare at reducere batteriprisen, men også egenskaber som energidensitet (kWh/kg), batterivolumen og genopladningstid efterforskes.

I øjeblikket har Kia Soul elbilen det batteri på markedet, som har den højeste energidensitet på bare 0,2 kWh/kg. Bosch (EVC 2013, Market Watch 2014) og andre partnere sigter mod at udvikle et batteri med en energidensitet på 0,25 kWh inden 2020. Dette må siges at være en ambitiøs målsætning, da de fleste af dagens batterier ligger på et niveau mellem 0,08-0,15 kWh/kg. Det skal i denne forbindelse nævnes at Lithium-air batterier, som der også forskes i, har et teoretisk potentiale for at reducere energidensitet og volumen ift. til et Lithium-ion batteri med henholdsvis en faktor otte og en faktor fem (DTU 2014).

Figur 3 Analyseforudsætning om priser for Lithiumbatterier



Figur 3 Analyseforudsætningerne for batteriprisudviklingen. Forudsætningerne er sammenlignet med nutidige priser og relevante målsætninger.

Kilde: PBB 2014

5.3.7 Brændselscellesystemer

Brændselscellen er det som generer strøm til elmotoren i brændselscellebilen. Selve cellen fødes med ren brint, som bilen tankes med. Når en brændselscelle producerer energi ud af brint og ilt i luften, så er den eneste emission vanddamp. Brændselsceller er effektive til at udnytte energien og kombineret med en effektiv elmotor opnår brændselscelledrivlinjen høj effektivitet (jf. Tabel, **Tabel 3**, **Tabel 4**).

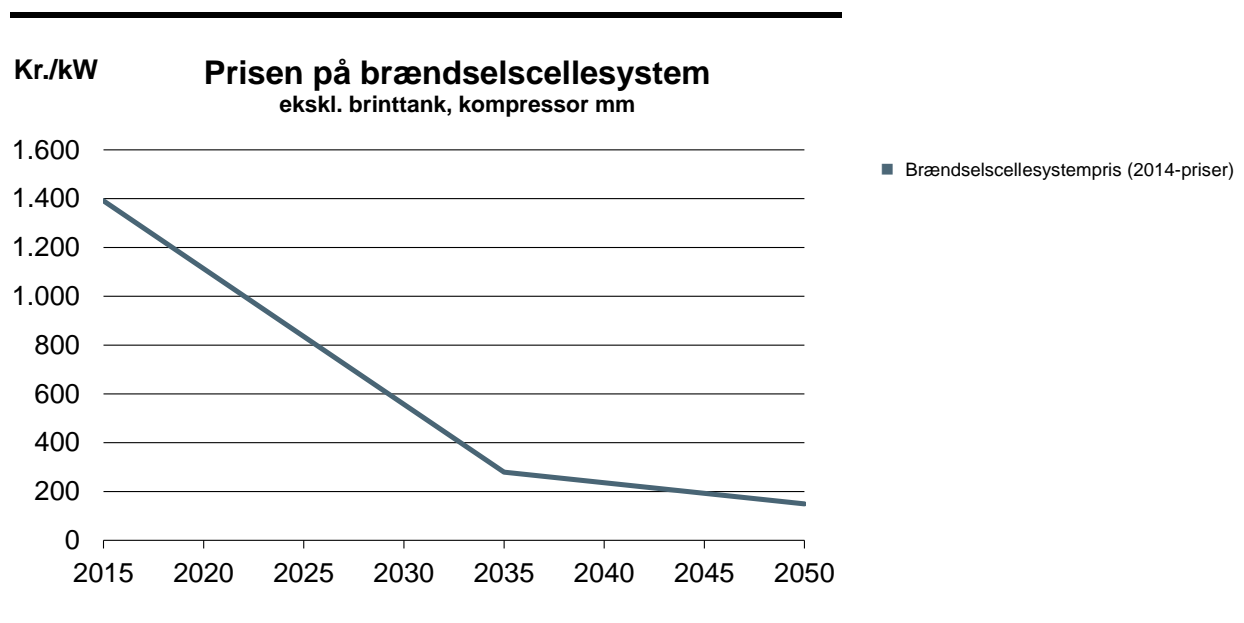
Brændselscellesystemet er desværre relativt dyrt og er i dag den primære faktor, der driver prisen på brændselscellebilen op. Forventningen er, som for Lithium-ion batteriet, at øget produktionsvolumen vil reducere

produktionsprisen. Der forskes dog også intenst i at reducere vægten af brændselscellesystemet og øge effekten ift. til massen (kW/kg). To tiltag som begge vil bidrage til reduceret pris af det samlede system.

Baseret på et større studie vurderer US DOE, at øget produktionsvolumen har potentiale til at reducere prisen af brændselscellesystemet markant (US DOE 2013). Dette understøttes af et nyligt publiceret studie, som antyder, at prisen kan reduceres med 80 % mod 2025 (R. Berger 2014).

Analyseforudsætningen for brændselscelleprisen er baseret på forventninger fra Brintkommercialiseringsprojektet (PBB 2015), som bygger på US DOE's forventninger. Som nævnt i afsnit 5.3.3 er brændselscellen efterfølgende kalibreret for at matche brændselscellebilens nuværende markedspris. Den kalibrerede brændselscellepris rammer dels tallene fra projektets teknologiark, og dels prisen for Hyundais brændselscellepris præsenteret på Årsmødet for Partnerskab for brint og brændselsceller den 9. april 2015. Analyseforudsætningen for brændselscellesystempriser er vist i **Figur 4**.

Figur 4 Analyseforudsætninger for brændselscellesystempriser



Figur 4 Brændselscellesystempriser er de rene omkostninger knyttet til brændselscellestakken og bipolare plader, dvs. ekskl. omkostninger til brinttank, kompressionsudstyr, og diverse stabiliseringsudstyr.

Kilde: PBB 2015.

6 Infrastruktur

I dette kapitel præsenteres analyseresultaterne af omkostninger knyttet til de enkelte drivmidlers infrastruktur. Ligeledes gennemgås beregningsforudsætninger og de væsentlige karakteristika ved de forskellige infrastrukturløsninger. Analysen viser overordnet af elladeinfrastrukturen for personbiler og busser er det billigste alternativ, mens brintinfrastrukturen bliver billigere end konventionelle tankstationer i 2050. For lastbiler er konventionelle diesel-tankstationer det billigste alternativ, mens brintinfrastrukturen i tung transport er den dyreste løsning. For busser er elladeinfrastrukturen billigst.

I dette kapitel afdækkes investeringsomkostninger og andre forhold relateret til etablering af infrastruktur. Omkostningerne for at etablere en given form for drivmiddelinfrastruktur afhænger overvejende af selve investeringsomkostningen i relation til anlæggets kapacitet, mens omkostningsparametre som drift og vedligehold samt tilslutning til anden netbunden infrastruktur kan have stor indflydelse på omkostningen.

I den virkelige verden varierer omkostninger for at etablere anlæg en hel del. Dette gør sig særligt gældende for gastankanlæg, der som udgangspunkt skal knyttes til eksisterende gasinfrastruktur, der befinder sig i større eller mindre afstand fra selve tankanlægget. Generelt er det derfor vanskeligt at opstille entydig sammenhæng for, hvordan de enkelte anlægselementer afgør de samlede omkostninger for et tankanlæg i den virkelige verden.

I det nedenstående redegøres der imidlertid for en generaliserende beregningstilgang af infrastrukturomkostningerne inden for de forskellige drivmiddel kategorier. Ligeledes vil særlige karakteristika ved de forskellige drivmidlers infrastruktur blive beskrevet.

6.1 Gastankningsinfrastruktur

For at gas kan opnå en central betydning i transportsektoren, er der behov for en veletableret infrastruktur. Der findes flere typer gastankningsanlæg, men i nærværende analyse er der afgrænset til at se på infrastrukturløsninger knyttet til komprimeret gas, det være sig komprimeret naturgas (CNG) eller biogas (CBG). LNG eller LCNG anlægstyper behandles ikke i denne rapport. I analysen udledes både omkostninger for gastanksanlæg koblet til netbundne infrastruktur og netuafhængige gasanlæg, hvor gassen leveres via tankbiler eller lastbiler med trykbeholdere.

Prisen for gastankanlæg afhænger primært af den ønskede kapacitet, men også af hvor hurtigt der skal kunne tankes på de enkelte anlæg. Meromkostninger til flere og større kompressionsanlæg gør hurtigt-fyldende anlæg (fast-fill) dyrere end langsomt-fyldende anlæg (slow-fill) (Energistyrelsen 2014a).

Der kan være synergieffekter (omend beskedne) ved at anlægge gastanke ved eksisterende konventionelle tankstationer, men da udgifterne til kompressorstation og stikledning udgør langt den største del af etableringsomkostningen, er en eventuel synergieffekt ikke medtaget i denne rapport.

I rapporten er medtaget tre overordnede muligheder for gastankningsanlæg, som beskrives i nedenstående faktaboks:

Gastankningsanlæg

Gastankstationer for flådeejere/mindre offentlig gastankstation:

Disse gasstationsanlæg etableres som slow-fill anlæg, hvor CNG tilføres køretøjet relativt langsomt via en kompressor koblet direkte til naturgasnettet. Typen af anlæg henvender sig til store og afgrænsede flådeejere, som f.eks. busselskaber, renovationsselskaber, taxiselskaber, eller godsterminaler. Typisk er op til 100 køretøjer tilsluttet samtidigt og opfyldningstiden er 6-8 timer. Jo færre køretøjer der er tilsluttet desto hurtigere opfyldningstid. I praksis kan anlægget derfor opereres som et mindre fast-fill anlæg ved få tilslutninger. Forskellen mellem denne type anlæg, og de offentlige gastankstationer består overvejende i at der er tilsluttet en række parallelle fyldestudse, der deles om anlæggets samlede timemæssige kapacitet. Denne type anlæg koster i modelberegningen fem mio. kr.

Offentlige gastankstation:

Dette er offentlige gastankstationer, som er såkaldte fast-fill stationer, der via en på forhånd tryksat mellembeholder påfylder køretøjet hurtig. Typisk vil der være få køretøjer tilsluttet samtidigt og opfyldningstiden er ca. fem minutter. Disse anlæg har ofte parallelle kompressionsanlæg og koster i modelberegningen otte mio. kr.

Husstands påfyldningsanlæg:

De billigste tankningsanlæg er husstandsanlæg til slow-fill af en personbil koster ca. 25.000 kr. at etablere i tilknytning til hustrandens eksisterende gastilslutning. Et sådan anlæg kan typisk tanke en bil på 6-10 timer.

Drift og vedligehold varierer meget imellem de enkelte gastankningsanlæg, men er generelt relativt høje for alle anlægstyperne. Selv ubemandede gastankningsanlæg har relativt store D&V-udgifter for at holde anlægget i gang.

Andelen af hvor meget el-udgiften til kompressionsanlæg og optankningsanlæg mv. udgør, afhænger til en vis grad af anlægsstørrelsen, men også af selve tilslutningsløsningen til gasnettet. Elforbruget til en CNG kompressorstation er ca. 0,28 kWh pr. m³ NG, når der komprimeres fra stikledning (4 bar) til 200 bar. Komprimeres der direkte fra distributionsnettet (40 bar) er forbruget ca. 0,09 kWh pr. m³ NG, mens det kan reduceres helt ned til ca. 0,05 kWh pr. m³ NG, hvis der komprimeres direkte fra transmissionsnettet (80 bar) (Energistyrelsen 2014a).

Ud af de samlede udgifter fylder andelen af eludgiften til kompression relativt mindre for de små anlæg, da investering- samt D&V-udgifter udgør langt størstedelen. Omvendt fylder udgiftsanden til kompression mere for de større anlæg, da de relative D&V-udgifter minskes med anlægsstørrelse. Der kan yderligere være nogle besparelser for de større anlæg, alt afhængigt af hvor på gasnettet de tilsluttes. Ved tilslutning direkte til distribution- eller transmissionsnet, hvor trykket er højere, skal der reelt bruges mindre energi til yderligere kompression. I analysen regnes der dog kun på stikledningstilslutning, hvorfor energien til kompression pr. kubikmeter vil være det samme for alle anlæg.

Vedligehold og tilsyn af tankstationsanlæg, der tegner sig for den overordnede del af D&V-udgifterne, er afhængig af omsætningen, men forholdet minskes generelt jo større kapacitet anlægget har. Udgifter til administration, vintervedligehold og arealvedligehold er af mindre omfang og uafhængige af omsætningen (Energistyrelsen 2014a).

I **Tabel 6** er de generelle beregningsforudsætninger for gastankningsanlæg i 2015 præsenteret. I beregningsforudsætninger for de efterfølgende nøgleår er forudsat at investeringsomkostninger reduceres med 1 % p.a. Drift og vedligehold (D&V) for større tankningsanlæg er antaget at være reduceret i 2035 pga. omkostningsforbedringer som følge af teknologiudbredelse. D&V til hustandsanlæg vil reduceres fremadrettet, som konsekvens af, at de årlige D&V er antaget at udgøre 2,5 % af investeringsomkostningen.

Tabel 6 Beregningsforudsætninger for gastankningsanlæg i nøgleåret 2015.

Kilder: Energistyrelsen 2014a, Dansk Energis beregninger.

Forudsætninger for gastankningsanlæg 2015						
	Omsætning	Investeringer		D&V		
		Anlæg	Stikledninger	Vedligehold	Distribution	Kompression
2015-priser	MJ/år	Kr./stk.	Kr./stk.	Øre/m ³	Øre/m ³	kWh/m ³
Hustandsanlæg	850	25.000	0	73		0,28
Gastankstation for flådeejere / Mindre gastankstation	600.000	5.000.000	300.000	74		0,28
Mindre tankstation udenfor net, 10 km rør	600.000	5.000.000	12.000.000	74		0,28
Mindre tankstation udenfor net, tankdistribution	600.000	5.000.000	0	74	57	0,28
Offentlig Gastankstation	2.000.000	8.000.000	300.000	49		0,28

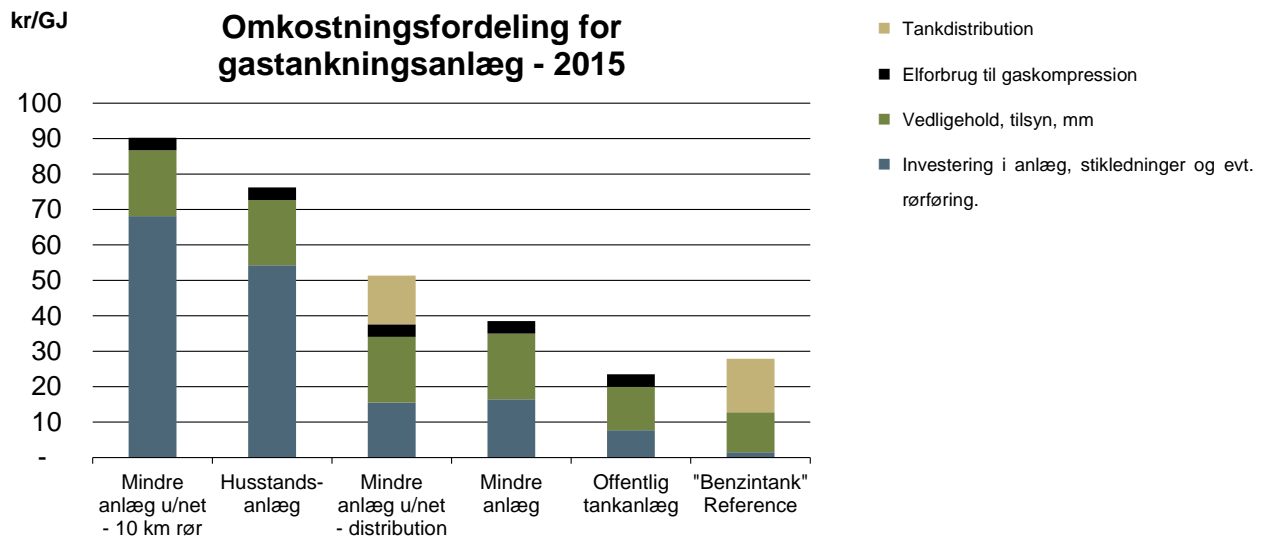
I **Figur 6** ses, at hustandsanlæg og tankstationer etableret uden for eksisterende gasinfrastruktur er de dyreste anlæg at etablere pr. energienhed.

Meromkostningen til rørføring for at knytte tankstationer og større flådefyldningsanlæg placeret uden for eksisterende infrastruktur er ganske betragteligt (jf. Energistyrelsen 2014a). I virkelighedens verden vil anlægsomkostninger variere en del, og det vil derfor komme an på afstanden til eksisterende netinfrastruktur i de konkrete tilfælde, om hvorvidt det kan betale sig at etablere rørføring eller vælge en tankdistributionsløsning. I analyseberegninger er regnet på tankstationer med 10 km ny rørføring. Under disse forudsætninger er det mere økonomisk at få leveret gas til anlæggene via tankdistribution.

De større offentlige gastankstationer er de billigste anlæg at etablere, men vil være betinget af, at de er placeret i centrale trafikknudepunkter for at opnå en tilstrækkelig omsætning. Disse tankanlæg forventes at dække et behov svarende til ca. 2000 personbiler eller ca. 400 lastbiler årligt. De mindre tankstationer eller påfyldningsstationer dækker modsvarende behovet for ca. 500-600 biler eller ca. 100 lastbiler om året.

For de centrale tankanlæg i trafikknudepunkter udgør de samlede omkostninger til D&V, omfattende vedligehold, tilsyn og gaskompression, et ganske betydende element af de samlede omkostninger knyttet til infrastruktur (jf. **Figur 5**).

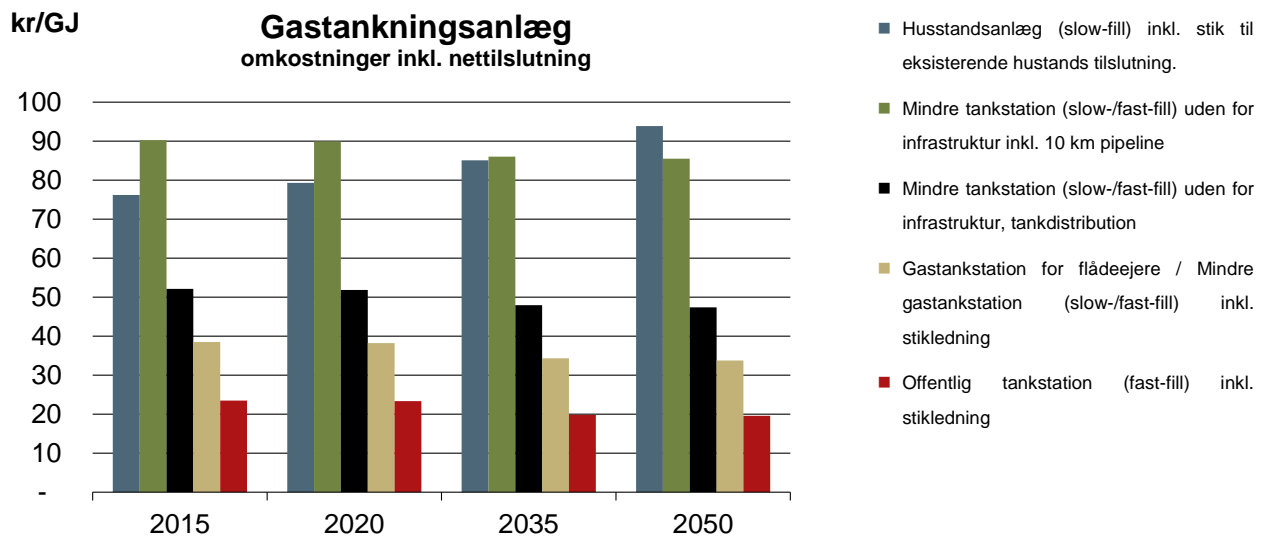
Figur 5 Fordelingen af omkostningselementer i gastankningsinfrastrukturen i 2015



Figur 5 Investeringsandelen pr. energienhed udgør relativt meget for husstands-anlæg og mindre tankstationer udenfor eksisterende gasinfrastruktur. D&V og udgifter til gaskompression fylder en relativt stor andel for de offentlige gastanksanlæg.

Kilde: Energistyrelsen 2014a, Dansk Energi egne beregninger. Forudsætninger: 4 % diskonteringsrente, 20 årsafskrivninger, elpris ca. 0,5 kr./kWh. 2014-priser.

Figur 6 Omkostning ved forskellige gastankningsinfrastrukturløsninger



Figur 6 De viste infrastrukturløsninger for gaspåfyldning inkluderer tilslutning til eksisterende distributions el. transmissionsnet. Udgiften for husstands anlæg stiger fremadrettet som følge af mindre årligt forbrug pga. forbedring af drivlinjen.

Kilde: Energistyrelsen 2014a. Beregninger v/ Dansk Energi.

6.2 Elbils ladeinfrastruktur

En veletableret infrastruktur er afgørende for en vellykket integration af de eldrevne køretøjer i fremtiden. Modsat gasbiler, så er elbilerne i mindre grad begrænset af, at den eksisterende netbundne infrastruktur kun findes i afgrænsede områder. Elnettet er stort set tilgængeligt overalt i hele Danmark.

Der findes som for gasinfrastrukturen også husstands anlæg hvor det er muligt at lade elbilerne direkte fra husstandens eksisterende eltavle. En række forskellige ladeløsninger af varierende effekt udbydes allerede til private husstande. Nedenstående faktaboks lister de nuværende tilgængelige løsninger:

Løsninger for hustandsladning

Direkte opladning fra stikkontakten med 2,3 kW

Elbilen kan lades direkte fra hustandens elnet med et standard ladekabel, som blot kræver en 230 volt stikkontakt (vekselstrøm, 10 amp.) med jordforbindelse. Der må påregnes installationsomkostninger til ny elgruppe.

Opladning fra en 3,7 kW ladeboks

En ladeboks installeres på egen elgruppe på husstandens eltavle, så hjemmets elinstallation beskyttes, og gør det muligt at lade med 230 volt og 16 ampere (vekselstrøm). Gns. pris inkl. installation er 6.-700 kr.

Opladning fra en 11 kW ladeboks

En ladeboks installeres med en 3-fase tilslutning på egen elgruppe på husstandens eltavle, og gør det muligt at lade med 3* 230 volt * 16 ampere (vekselstrøm). Gns. installationsomkostning 13.000 kr.

Desuden er det muligt med en dobbeltlader at få op til 22 kW effekt på sin 11 kW ladestander.

Kilde: E.ON 2015, Clever 2015

Som del af den offentlige ladeinfrastruktur, tilbydes der pt. en række ladeløsninger, som effektmæssigt matches af ladeløsninger, som også er tilgængelige for private husstande. Det drejer sig om 3,7 og 11 kW ladestander, der i den offentlige ladeinfrastruktur suppleres af en hurtig ladestander med en ladeeffekt på 50 kW. Hurtigladingen baserer sig på den nuværende de facto-standard for hurtiglading: Den japanske CHAdeMO-standard. Der lades med 50 kW jævnstrøm via et specielt stik fastmonteret på standeren.

Analysen afgrænser sig til at regne på en type ladestander for de private husstande, mens der i den offentlige ladeinfrastruktur regnes på to typer af ladestander. En standard ladestander og en hurtig ladestander.

Omkostningen til en privat ladeboks består af komponentprisen, installationsomkostningen samt evt. omkostninger til udvidelse af hustandens eltavle¹⁶. Det er betydeligt billigere at etablere private ladebokse end offentlige ladestander. Såfremt der kommer et stort antal elbiler i husene på en radial i distributionsnettet vil radialen i nogle tilfælde skulle forstærkes. Sådanne omkostninger er ikke medregnet for den private ladestander, pga. de er sværere at estimere størrelsen af, bl.a. fordi de afhænger af hvordan elbilerne vil blive opladet over døgnet.

For ladestander i det offentlige rum består omkostningen til etablering af komponentpris, installationsomkostning, samt kabel- og gravearbejde. Prisen for en ladestander i det offentlige rum varierer afhængigt af hvor ladestanderen placeres geografisk, herunder afstand til tilslutningspunkt på eksisterende elnet og i hvilket terræn der graves, mv. Gravearbejdet kan udgøre et betydeligt element, alt afhængigt af de aktuelle forhold. I dag koster det mellem 40.000 – 80.000 kr. at opstille en almindelig (3,7 kW el. 11 kW) ladestander, inkl. gravearbejde, netforstærkning og tilslutning. En hurtig ladningsstation koster pt. mellem 500.000 – 800.000 kr. at etablere inkl. netforstærkning (Energistyrelsen 2011).

¹⁶ Udvidelse af husstandens eltavle er typisk kun relevant ved installation af en 11 kW ladeboks. En udvidelse af eltavlen beløber sig typisk til ca. 25.000 kr. (kilde: DE eller hæfte fra EL-nyt)

Priserne på ladestandere forventes dog generelt at falde i takt med udrulningen af ladestandere, og at der sker en standardisering af ladeinfrastrukturen og en masseudbredelse, som uvilkaarligt vil føre til, at omkostningerne til en ladeinfrastruktur vil falde markant (Energistyrelsen 2011).

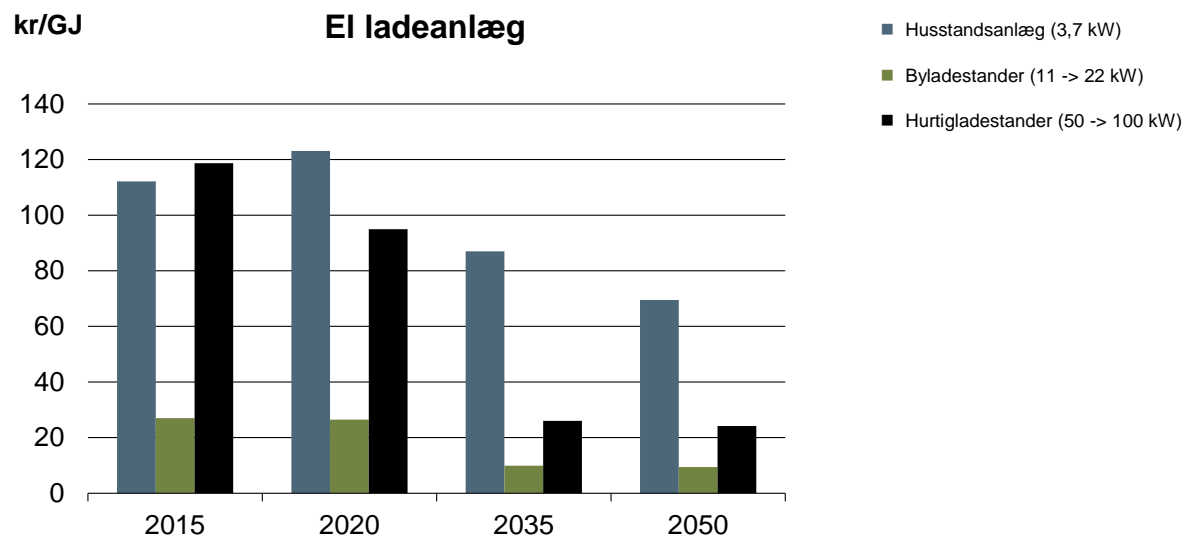
I **Tabel 7** ses beregningsforudsætninger for ladeløsninger medtaget i denne analyse:

Tabel 7 Beregningsforudsætninger for ladestandere inkluderet i analysen. **Kilde:** Energistyrelsen 2011 og Dansk Energis egne vurderinger. Omkostninger er inkl. netforstærkning, der udgør en større og større omkostning fremadrettet.

			2015	2020	2035	2050	–
Ladeløsning	Omkostning	Enhed					
Husstands ladeboks	Effekt	kW	3,7	3,7	3,7	3,7	
	Investering	Kr./anlæg	6.000	5.890	5.600	5.390	
	D&V	Kr./år	120	118	112	108	
	Belægning	Pct.	50 %	50 %	50 %	50 %	
Ladestander – bynær	Effekt	kW	11	11	22	22	
	Investering	Kr./anlæg	50.000	49.040	36.680	34.930	
	D&V	Kr./år	1.000	980	730	700	
	Belægning	Pct.	50 %	50 %	50 %	50 %	
Hurtiglader	Effekt	kW	50	50	100	100	
	Investering	Kr./anlæg	500.000	400.000	219.090	203.640	
	D&V	Kr./år	10.000	8.000	4.380	4.070	
	Belægning	Pct.	25 %	25 %	25 %	25 %	

Af **Figur 7** fremgår det, at der ikke forventes en nævneværdig omkostningsreduktion for opsætning af husstands anlæg i fremtiden. Derimod forventes relativt store fald for etableringsomkostning i den offentlig ladeinfrastruktur. Dette skyldes bl.a. en forventning om mere effektiv udrulning af ladestandere ift. kabel- og gravearbejde. F.eks. antages et faldende behov for etablering af nye parkeringspladser i forbindelse med opsætning af fremtidige ladestandere. Dette vil reducere udgiften til gravearbejde markant. Ligeledes forventes fald i komponentpriser for ladestandere og hurtiglader.

Figur 7 Omkostninger ved forskellige ladeinfrastrukturløsninger



Figur 7 Omkostninger ved etablering af ladeanlæg inkl. gravearbejde mm

Kilde: EON 2015, Clever 2015, Energistyrelsen 2011

6.3 Brinttanknings infrastruktur

Der findes i dag en vifte af tekniske løsninger, hvorpå brint kan distribueres til brintdrevne køretøjer. Brint distribueres i dag på gas- og flydende form. Lagring i metalhydrider er med dagens teknologi betydeligt dyrere end andre lagringsteknologier og endnu langt fra kommerciel anvendelse¹⁷.

Alt afhængigt af hvor brintproduktion foregår og hvorledes den efterfølgende skal anvendes, er der distributionsløsninger, der kan være mere eller mindre hensigtsmæssige. Når brint distribueres i gasform, kan det rørføres¹⁸ eller distribueres i tryktanke, mens det på flydende form udelukkende distribueres på tryktanke.

Når brint lages og distribueres på flydende form sker det ved atmosfæretryk og en temperatur på -253 grader celsius. Det er allerede en industrielt udviklet teknologi, der anvendes til kommerciel distribution af brint i store mængder, hvor der typisk er tale om hurtig industriel anvendelse, da den lave temperatur giver et løbende tab ved afgang, med deraf følgende energitab.

¹⁷ Brint kan lagres i forbindelse med faste stoffer, f.eks. metalhydrider, hvor brinten bindes i en kemisk forbindelse, eller hvor brinten er bundet til overfladen af faste stoffer som f.eks. grafit eller andre kulstofstrukturer. Fælles for disse lagringsteknologier er, at de kan gennemføres under lavt tryk og derfor har potentiale for lavere omkostninger på sigt.

¹⁸ Hvad angår rørført distribution, kan det eksisterende naturgasnet i en overgangsperiode anvendes til distribution af naturgas/brintblandinger (op til 10 - 15 % brint), indtil et eventuelt brintnetværk er etableret. Det eksisterende naturgasnet kan ikke uden videre benyttes til transport af ren brint, og der skal selv ved få % brintblanding foretages sikkerhedsmæssige justeringer af flere typer af de traditionelle gasforbrugende udstyr.

Distribution på gasform i tryktanke er ca. 2-10 gange billigere (Energistyrelsen 2005) end flydende lagringstanke og er i dag den mest anvendte distributionsform i praksis. Ved kommerciel distribution af brint anvendes 50 liters stålbeholdere ved tryk på 200–250 bar, som når brintbiler påfyldes skal bringes op til et tryk på 700-800 bar for at opnå tilstrækkelig energitæthed. Den samlede energieffektivitet reduceres i forhold til det trykniveau som brinten bringes op til, men selv under højt trykniveau vil reduktionen dog være marginalt, hvorfor dette tab undlades i beregningen. Lagring af brint under højt tryk i tanke forventes også fremadrettet at være central i en fremtidigt dansk brint infrastruktur.

I løbet af 2016 vil der være 11 brintpåfyldningsstationer i Danmark. Antallet af brinttankstationer skal efterfølgende såvel i Danmark som internationalt forøges i takt med antallet af brintbiler.

I analysen regnes på to typer brinttankningsanlæg beskrevet i nedenstående faktaboks:

Brinttankningsanlæg

Mindre brinttankstationer u/ elektrolyseanlæg

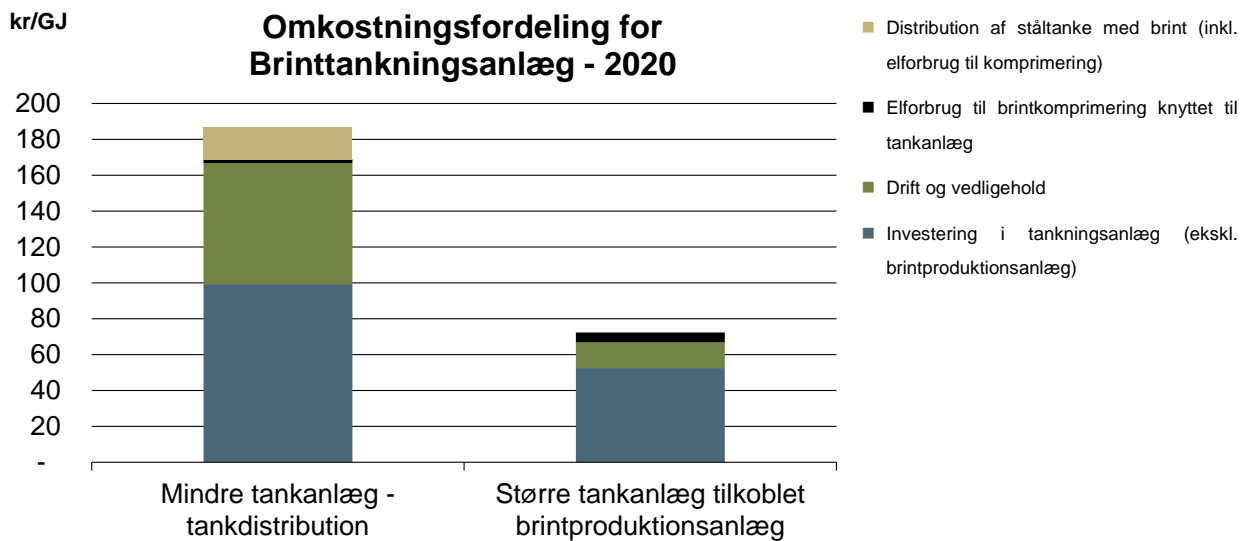
De mindre anlæg etableres uden selvstændigt elektrolyseanlæg og vil få brint distribueret i stålstanke tryksat til 200 bar. Ved påfyldning komprimeres gassen til 700 bar. Påfyldning af en brintbil tager mellem 3-5 min. Anlæggene vil dække et behov svarende til ca. 400 biler om året.

Større brinttankstationer m/ elektrolyseanlæg

De større brinttankningsanlæg vil blive etableret, når brint i transportsektoren gradvist øges. Disse anlæg antages at være koblet til et on-site elektrolyseanlæg, hvor brint produceres og lagres under tryk på stålstanke ved 200 bar. Som ved de mindre anlæg komprimeres brinten til ca. 700 bar ved påfyldning. De større tankanlæg (eksklusiv omkostningen til elektrolyseanlæg) er billigere pr. energienhed end de mindre stationer uden selvstændigt elektrolyseanlæg, men vil være betinget af, at de er placeret i centrale trafikknudepunkter for at opnå en tilstrækkelig omsætning. Disse tankanlæg forventes at dække et behov svarende til knap 2000 personbiler eller ca. 400 busser/lastbiler årligt.

NB: Omkostningerne til investering og drift af elektrolyseanlæg behandles selvstændigt og indgår som komponent i brintprisen.

Figur 8 Fordelingen af omkostningselementer i brinttankningsanlæggene



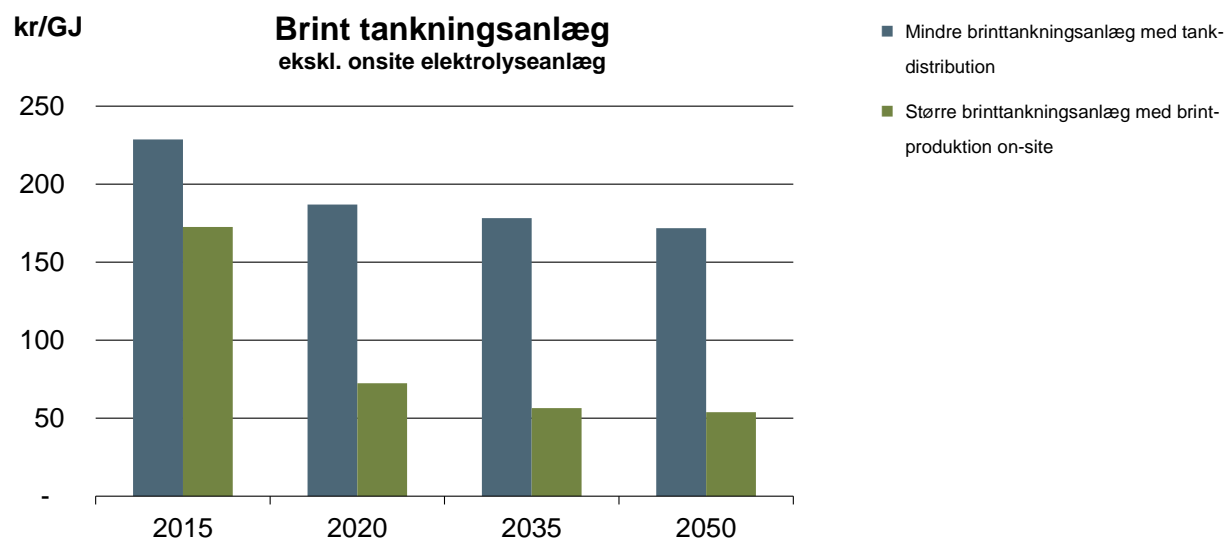
Figur 8 | beregningerne er der antaget en udnyttelsesgrad på 50 % af anlæggenes maksimale kapacitet. D&V, brintkomprimering, samt distribution udgør næsten 50 % for de mindre anlæg. Elforbrug til brintkomprimering på ståltankene er inkluderet distributionsomkostningerne.

Kilde: PBB 2014, Dansk Energi egne beregninger

Som det fremgår af **Figur 8** forventes de større anlæg at være betydeligt mere økonomiske end de mindre anlæg. Da distributionsleddet udgør relativt lidt af omkostningen pr. energienhed, kunne man sagtens forstille sig større anlæg uden tilkobling til on-site brintproduktion, men denne løsning er udeladt af analysen. D&V for de mindre anlæg udgør 5 % af den samlede investeringsomkostning i 2015, men falder så efterfølgende til 2,5 % i de efterfølgende nøgleår. D&V udgør dog forsat en ganske stor post for de mindre anlæg, men fylder relativt det samme af de samlede omkostninger, som tilsvarende set for mindre NG tankstationer.

Omvendt udgør D&V for de store brinttankningsanlæg relativt mindre af de samlede omkostninger sammenlignet med tilsvarende store offentlige NG tankstationer. Dette skyldes overvejende, at investeringsomkostninger er tilsvarende større for et brinttankningsanlæg.

Figur 9 Omkostning til brinttanknings infrastruktur



Figur 9 To typer brinttankningsanlæg er medtaget i analysen. Et mindre anlæg uden on-site brintproduktion og et større anlæg med on-site brintproduktion. De større anlæg i 2015 antages at være 25 % dyre i investeringsomkostninger end de større anlæg der forventes at være kommercielt tilgængelige i 2020. Derudover er antaget 50 % mindre belægningsgrad på det større anlæg i 2015.

Kilde: PBB 2015, ENS 2005, Dansk Energis egne beregninger (20 års anlægs afskrivninger, 4 % i diskonteringsrente og en elpris (elforbrug til brintkomprimering) på knap 0,5 kr./kWh).

6.4 Konventionelle tankstationer og infrastruktur for biobrændsler

Infrastrukturen knyttet til flydende biomassebrændsler, som f.eks. biomethanol, biodiesel eller bioethanol antages at kunne sidestilles med infrastrukturen for konventionelle brændstoffer som diesel og benzin. Der vil være tale om tankbildistribution til tankstation af stort set samme udformning som konventionelle tankanlæg, hvorfor D&V af anlægget også antages at kunne sidestilles. Distribution af methanol er ca. dobbelt så dyrt som diesel pga. det lavede energiindhold pr. liter. Elomkostningen til dieselpumper er begrænset, ca. 0,005 øre/liter (Energistyrelsen 2014a), hvorfor dette ikke inkluderes i analyseberegningerne. Investeringsomkostningen til bygning af tankstation er estimeret til 1,8 mio.kr., som er i rimelig overensstemmelse med antagelserne præsenteret i tidligere studier (Energistyrelsen 2014a), hvor der henvises til en forrentning af en tankstation iflg. www.eof.dk på ca. 1 kr./GJ. D&V samt distribution er udledt af et vægtet "an forbruger" omkostningstillæg¹⁹ (fratrasket 10 % avance) for diesel og benzin baseret på Energistyrelsens samfundsøkonomiske forudsætninger Tabel. 5 (Energistyrelsen 2014b). Omkostninger for en konventionel tankstation er vist som reference i **Figur 5**.

¹⁹ Omkostningstillægget "an forbruger" i Energistyrelsens samfundsøkonomiske forudsætninger Tabel. 5 indeholder transport, lager og avancer.

6.5 Markedsfordelingen af påfyldningsløsningerne

I dette afsnit præsenteres en grov skitse baseret på Dansk Energis umiddelbare vurderinger af hvordan markedsfordelingen af de forskellige påfyldningsløsninger i de forskellige drivmiddelinfrastrukturer kunne tage sig ud.

Fordelingen i gastankningsinfrastrukturen er overvejende baseret på retningslinjer for, hvordan infrastrukturløsninger fordeler sig ift. tung transport behandlet i Energistyrelsen 2014a. Fordelingen mellem påfyldningsløsninger i el- og brinttankningsinfrastrukturen er Dansk Energis egen vurdering. Overordnet har tankesættet været, at større og større markedsindtrængen af de enkelte drivmiddelspor vil muliggøre etablering af flere af de større og billigere tankstationer, som er afhængige af en vis omsætning for at være økonomisk rentable. I **Tabel 8** ses den vurderede fordeling af hvor meget de enkelte påfyldningsløsninger udgør.

Tabel 8 Estimeret fordeling af markedsandele mellem de forskellige påfyldningsløsninger under forskellige stadier (tidspunkter) af infrastrukturudrulning. Fordelingen i gastankningsinfrastrukturen er overvejende baseret på retningslinjer fra Energistyrelsen 2014a, mens fordelingen af el- og brinttankningsinfrastrukturen er Dansk Energis egen vurdering.

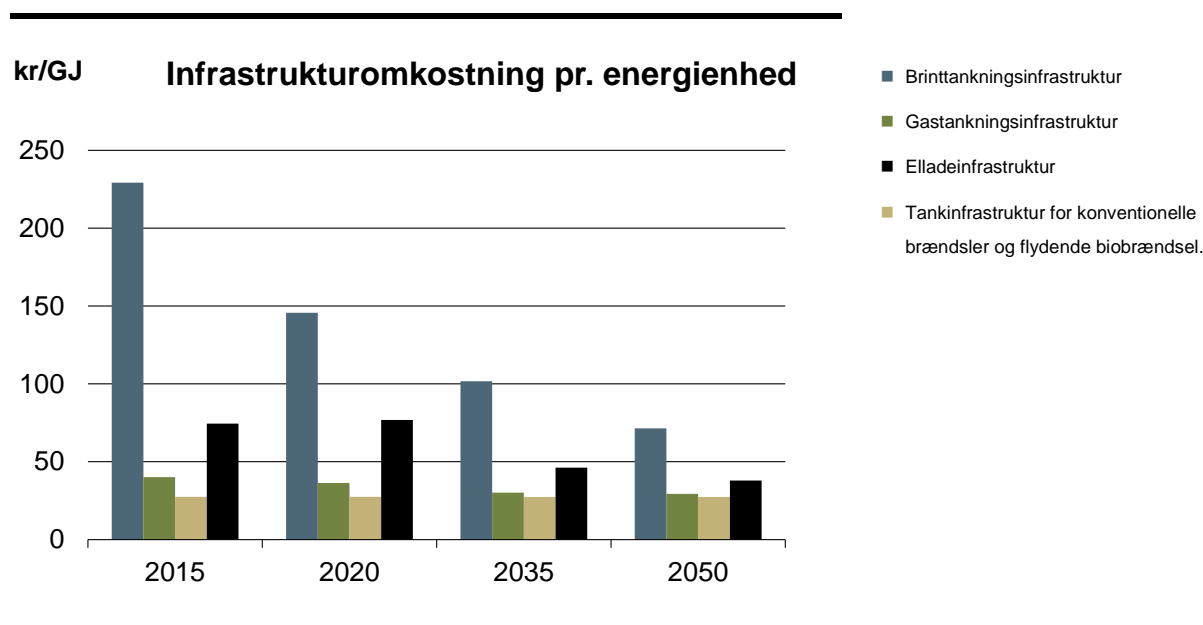
Markedsandel af enkelte påfyldningsløsninger i de respektive drivmiddelspor				
	2015	2020	2035	2050
Elladeinfrastruktur for personbilisme				
Husstands ladeboks	45 %	45 %	45 %	45 %
Ladestander – bynær	45 %	45 %	45 %	45 %
Hurtiglader	10 %	10 %	10 %	10 %
Gastankningsinfrastruktur				
Husstands påfyldningsanlæg	5 %	5 %	1 %	1 %
Mindre gastankstation	95 %	55 %	45 %	35 %
Større gastankstation	0 %	35 %	45 %	50 %
Mindre gastankstation u/net – 10 km rør	0 %	3 %	2 %	1 %
Mindre gastankstation u/net - tankdistribution	0 %	3 %	7 %	13 %
Brinttankningsinfrastruktur				
Mindre brinttankstation	100 %	90 %	50 %	20 %
Større brinttankstation	0 %	10 %	50 %	80 %

For elbusser er ladeinfrastruktur forventet at være anderledes fordelt end for personbiler, da behovet for hurtiglading antages at være større. I **Tabel 9** kan ses hvorledes fordelingen af ladeinfrastruktur tilknyttet elbusser fordeles:

Tabel 9 Dansk Energis vurdering af ladeinfrastruktur fordelingen tilknyttet elbusser. Baseret på mulige løsninger præsenteret i Movia 2014.

	2015	2020	2035	2050
Markedsandel af enkelte elladeinfrastrukturen for elbusser				
Elladeinfrastruktur for busser				
Husstands ladeboks	0 %	0 %	0 %	0 %
Ladestander v/ flådestation	40 %	50 %	60 %	70 %
Hurtigladdere på rute	60 %	50 %	40 %	30 %

Figur 10 Samling af Infrastrukturomkostninger pr. energienhed



Figur 10 Figuren viser at jo mere fremadskredet udrulningen af infrastrukturen bliver desto billigere infrastrukturomkostning pr. energienhed. Gastankstationerne kommer hurtigt på niveau med tankstationer for de flydende biobrændsler (og konventionelle). Elladeinfrastrukturen er billigst, mens brintinfrastrukturen er dyrest.

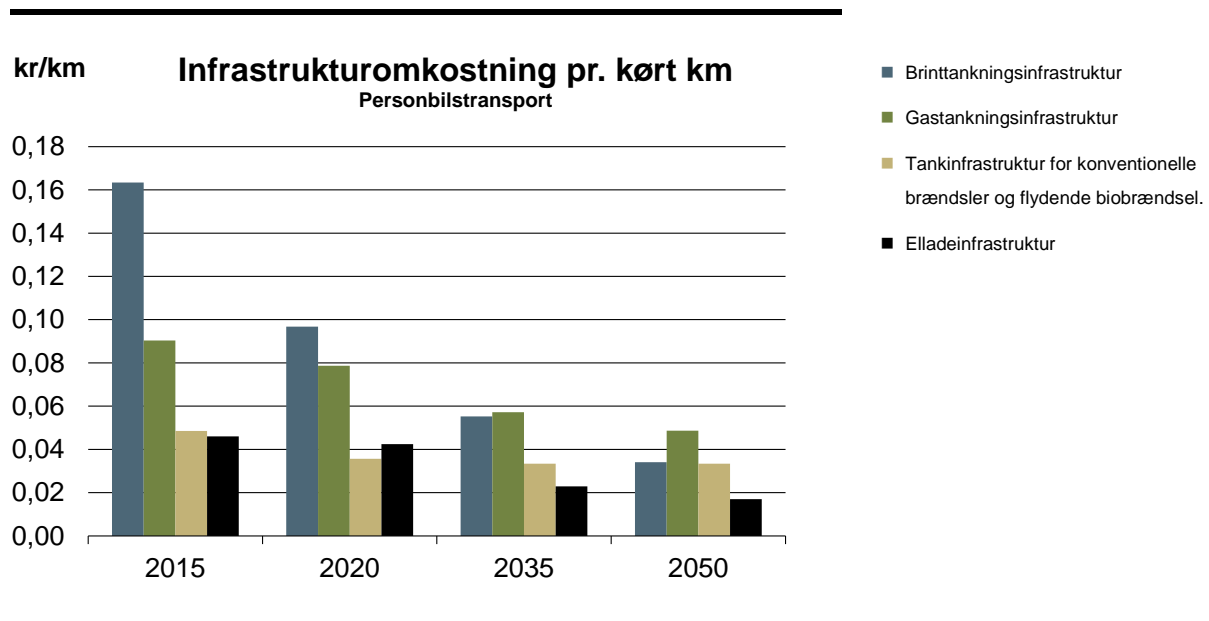
Kilde: Dansk Energis beregninger

På baggrund af fordelingen i **Tabel 8** er beregnet vægtede infrastrukturomkostninger pr. energienhed knyttet til de forskellige alternative drivlinjer i analysen. Disse præsenteres sammen med infrastrukturomkostningen for konventionelle tankstationer og tankstationer for flydende biobrændsler i **Figur 10**. Som det fremgår af figuren udgør omkostningen til brintinfrastrukturen det dyreste alternativ pr. energienhed, mens elinfrastrukturen udgør det billigste alternativ. Omkostningen for gasinfrastrukturen nærmer sig omkostningen for flydende brændsler mod 2050. Som det ses i afsnit 6.6 og 6.7 er disse resultater ikke nødvendigvis sammenfaldende med omkostningen pr. kørt km.

6.6 Infrastrukturomkostninger for personbiler

Det fremgår af **Figur 11** at elladeinfrastrukturen er klart det billigste infrastruktur alternativ. På sigt bliver brinttankningsinfrastrukturen billigere end både den konventionelle infrastruktur og NG tankinfrastrukturen. Det er kombinationen af stadig mere effektive og bedre udnyttede brinttankstationer samt brintbilernes bedre virkningsgrad, som resulterer i brintinfrastrukturen forbedrede rentabilitet. En følsomhedsanalyse baseret på højere elpriser ændrer ikke ved de overordnede resultater for gastankningsinfrastruktur, da elforbruget anvendt til kompression udgør en relativ lille post af den samlede udgiftsstruktur for den gasbaserede infrastruktur.

Figur 11 Infrastrukturomkostning for personbiler



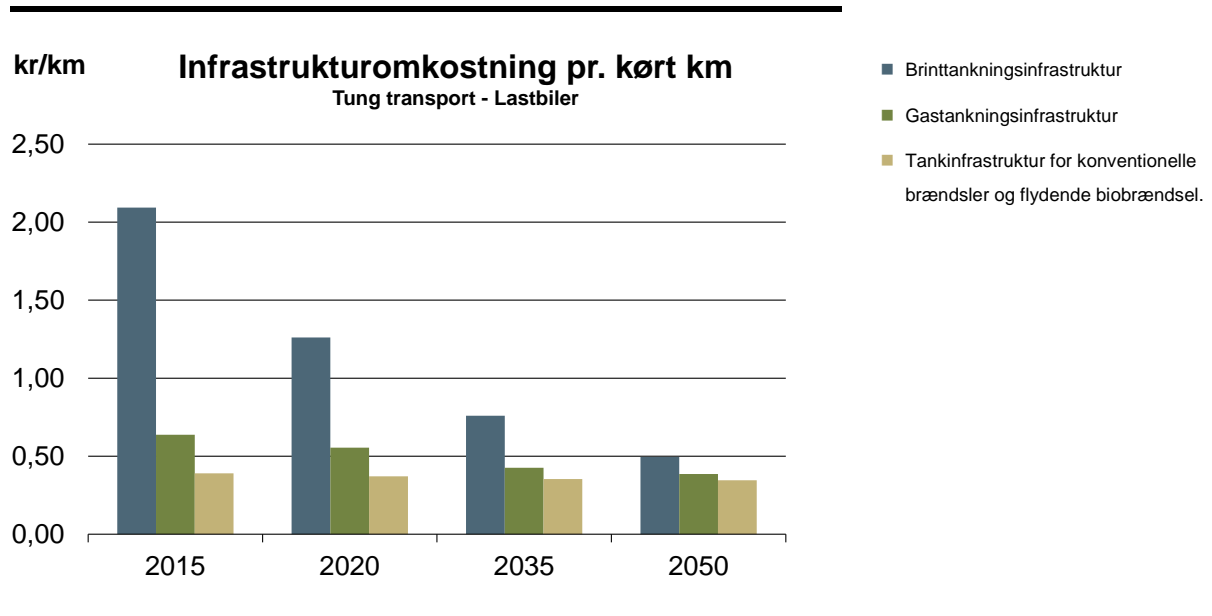
Figur 11 Infrastruktur omkostninger inkl. investeringer, D&V samt udgifter til el til pumper, kompression mm.

Kilde: Dansk Energis beregninger

6.7 Infrastrukturomkostninger for lastbiler og busser

Infrastrukturomkostninger pr. kørt km udgør mere pga., at de tunge køretøjer forbruger mere energi pr. kørt km og er fordelt en smule anderledes i den tunge transport end i persontransporten. Brinttankningsinfrastrukturen er den dyreste i hele perioden – både for lastbiler og busser. For lastbiler er den konventionelle infrastruktur for flydende brændsler billigst i hele perioden. For busser er elladeinfrastrukturen billigst. Dog er elladeinfrastrukturen relativt dyrere i udgangsåret (stadig billigste infrastruktur), men bliver gradvist markant billigere mod 2050.

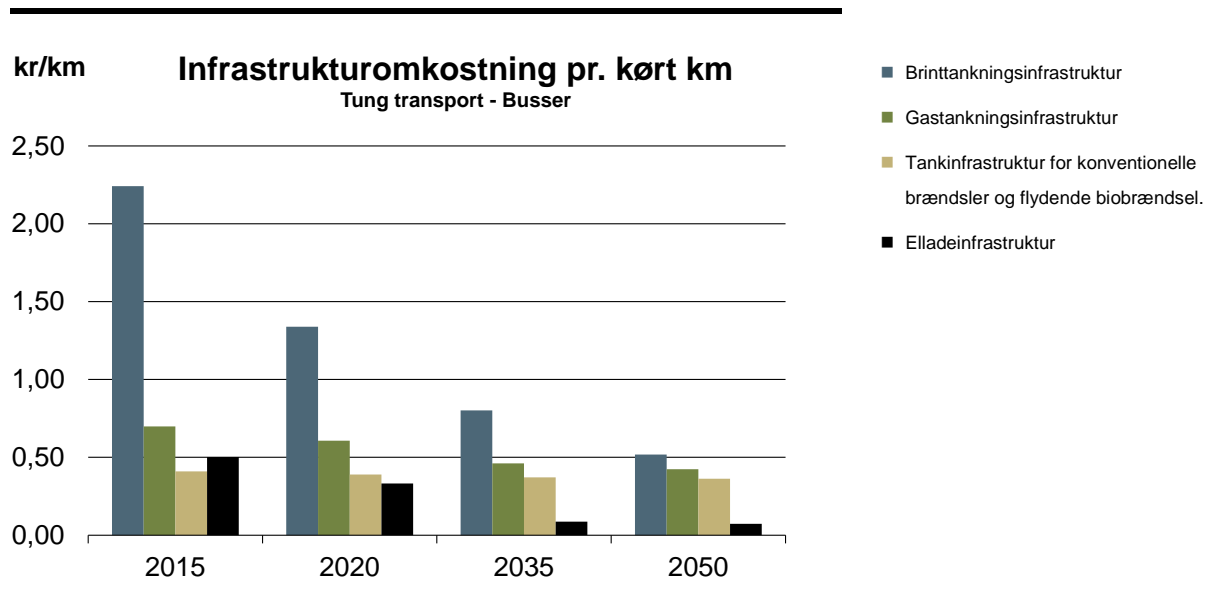
Figur 12 Infrastrukturomkostning for lastbiler



Figur 12 Infrastrukturomkostninger inkl. investeringer, D&V, distribution og el til kompression mm

Kilde: Dansk Energis beregninger

Figur 13 Infrastrukturomkostning for busser



Figur 13 Infrastrukturomkostninger inkl. investeringer, D&V, distribution og el til kompression mm

Kilde: Dansk Energis egne beregninger

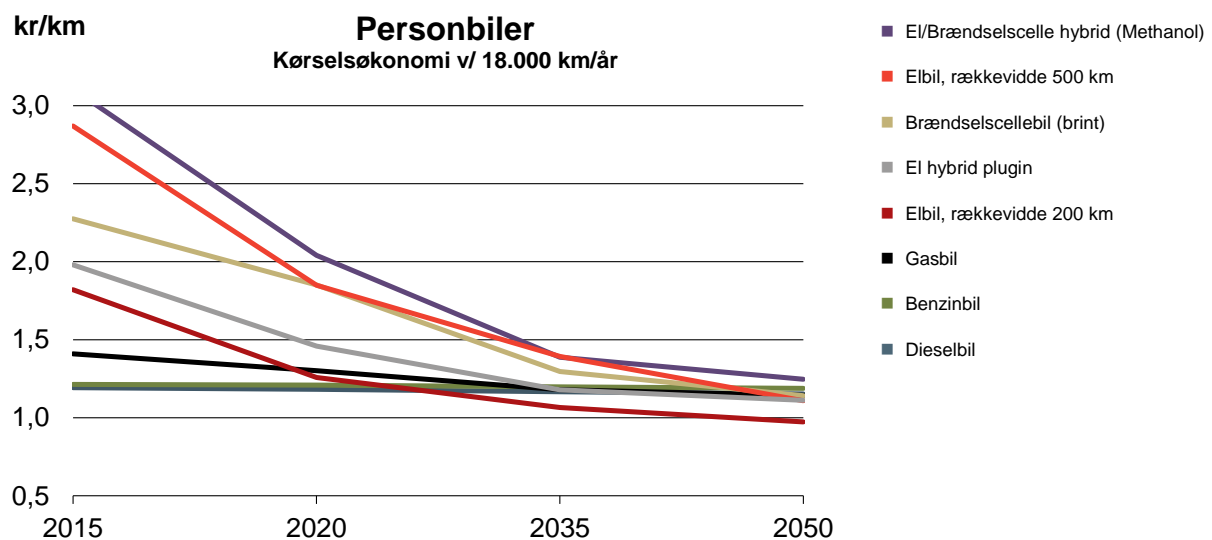
7 Resultater

I dette afsnit præsenteres de modellerede beregningsresultater af analysen. Desuden præsenteres og diskuteres relevante følsomhedsparametre for resultaterne. Overordnet viser resultaterne, at elbilen med kort rækkevidde er den billigste samfundsøkonomisk alternative drivlinje. I den tunge transport viser analysen et robust resultat for, at der er god samfundsøkonomi i gasdrevne lastbiler. De alternative drivlinjer i bustransporten er billigere end konventionelle dieselbusser fra 2020 og el- eller brændselscellehybridbussen er billigst på den lange bane.

7.1 Personbiler

Ved basisantagelser for analysen viser resultaterne for personbiler (jf. **Figur 14**), at elbilen med en rækkevidde på 200 km allerede fra 2020 begynder at blive konkurrencedygtig med konventionelle diesel- og benzindrevne biler.

Figur 14 Kørselsøkonomi for personbiler ved gennemsnitligt kørselsbehov på 18.000 km om året



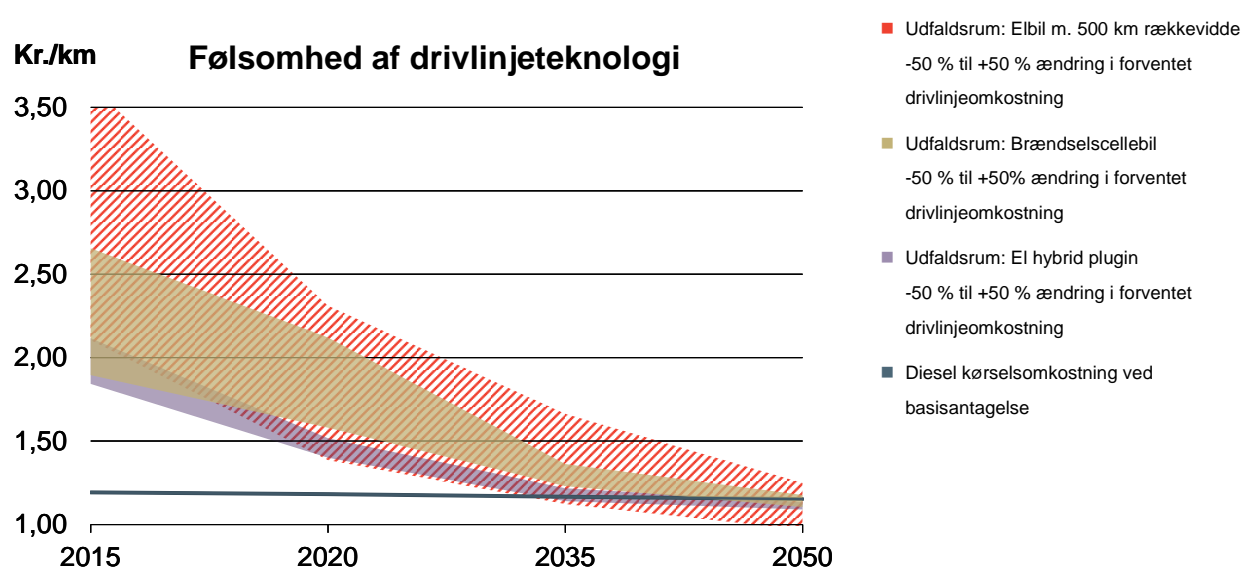
Figur 14 Figuren illustrerer samfundsøkonomiske kørselsomkostninger inkl. omkostninger til infrastruktur, brændsler og eksternaliteter i form af emissioner. Elbilen med begrænset rækkevidde på 200 km bliver konkurrencedygtig med konventionelle drivlinjer fra 2020, mens el-plugin-hybriden og gasbilen er konkurrencedygtig fra 2035. I 2050 er både brændselscellebilen, el-plugin-hybriden og elbilen med rækkevidde på 500 km konkurrencedygtige med konventionelle biler.

Kilde: Beregninger foretaget i Dansk Energis køretøjsmodel

At elbilen allerede i 2020 nærmer sig konkurrencedygtighed, skyldes dels en markant reduktion i forventningen til fremtidige batteripriser (jf. 5.3.6), men også en antagelse om faldende produktionsomkostninger relateret til den prisreducerende effekt af storskala-produktionsfordele. Omkostningen knyttet til batteriudgiften reduceres med godt 35 %, mens selve elbilen antages af at falde med knap 40 % mod 2020.

Fra 2035 bliver el-plugin-hybriden og gasbiler konkurrencedygtig med de konventionelle personbiler. Som for den rene elbil spiller omkostningsreduktionen i batteriprisen en rolle for el-plugin-hybridens bedre konkurrencesituation. Den overvejende årsag er dog forventningen om, at storskala-produktions fordele reducerer den prismargen, der pt. lægges til de rene drivlinjekomponenter (jf. afsnit 5.3.3). Den nuværende prismargin betyder, at plugin hybriden for nuværende sælges dyrt på det danske marked. For gasbilen er det de lave gasprisforudsætninger relativt til en stigning konkurrerende brændselspriser som medvirker til bedre kørselsøkonomi.

Figur 15 Udfaldsrum ved følsomhedsanalyse af centrale drivlinjeomkostning



Figur 15 Udfaldsrummet for drivlinjerne er dannet ved ændringer i brændselscellesystems- og batteriomkostninger. Udfaldsrummet for elbilen med 500 km rækkevidde er større, da batteridelen udgør en væsentlig del af den samlede omkostning. Det ses, at de alternative drivlinjer bliver konkurrencedygtige i 2035 ved 50 % reduktion i de centrale antagelser om drivlinjeomkostninger. Selv ved at øge omkostningen til brændselscellesystem og batteripris med 50 % brændselscellebilen og el plugin hybridens konkurrencedygtige i 2050. Ved 50 % reduktion i centrale antagelser for batteripriser har elbilen med 500 km mulighed for at blive billigste teknologi i 2050.

Kilde: Beregninger udført af Dansk Energi

Både elbilen med den længere rækkevidde og brændselscellebilen begynder også at blive interessante omkring 2035. En følsomhedsanalyse af omkostninger knyttet til drivlinjeteknologien viser, at yderligere omkostningsreduktioner på henholdsvis 70 % og 40 % af drivlinjerne ift. basisantagelsen (jf. **Figur 15**) vil gøre disse brændselscellebilen og elbilen konkurrencedygtig med dieselbilen i 2035.

Ved basisantagelser bliver alle alternative drivmidler konkurrencedygtige med konventionelle biler i 2050 (jf. **Figur 14**). Elbilen med den korte rækkevidde skiller sig dog fra de andre alternative drivlinjer ved at være markant billigere – helt op til 20 %. En begrænsning ved denne biltype er dog netop rækkevidden, som dermed kun dækker vise typer kørselsbehov.

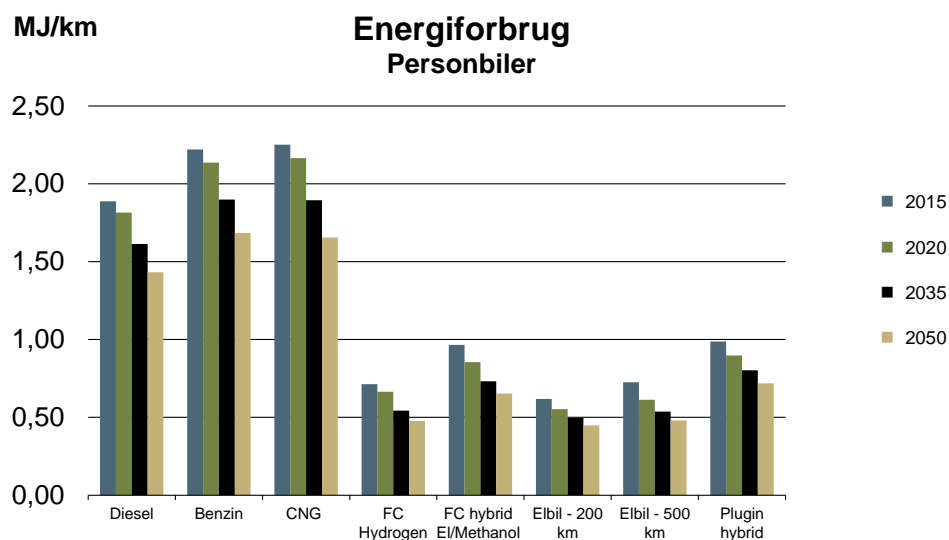
Analyseresultaterne på den lange bane er generelt forbundet med stor usikkerhed, som kun øges jo længe tidshorisont vi vurderer resultaterne i forhold til. Det er derfor vanskeligt at afgøre hvilke af de alternative drivlinjeteknologier, som reelt vil være den billigste løsning på langt sigt.

En af de central parametre som kan påvirke resultaterne er usikkerhed om teknologiudvikling. En følsomhedsanalyse af resultaterne (jf. ovenstående figur), viser dog, at selv hvis antagelsen om batteripris og omkostninger til brændselscellesystem øges med 50 %, ville brændselscellebilen og elbil plugin hybriden forsat være konkurrencedygtig i 2050, da omkostninger til disse drivlinjekomponenter på dette tidspunkt forventes at udgøre en relativt lille del af bilens totale omkostninger (jf. **Figur 19**). Resultaterne knyttet til elbilen med 500 km rækkevidde er behæftet med en del usikkerhed, da et batteri i denne størrelsesorden udgør en relativt større del af bilens samlede omkostning.

Resultaterne for de gasdrevne personbiler er baseret på naturgas som drivmiddel. Hvis biogas blev anvendt som drivmiddel i stedet, ville dette påvirke resultaterne. To faktorer vil i denne henseende påvirke resultaterne i større eller mindre grad.

Dels ville eksternalitetsomkostninger forbundet med emissioner kunne negligeres, hvis biogasen opfattes om CO₂-neutral biogas (flere studier har endda fremført argumenter for negative eksternalitetsomkostninger ved biogasanvendelse (Energistyrelsen 2013a), og dels hersker der, på baggrund af nuværende priser, en generel antagelse om, at biogassen vil være dyrere end traditionel naturgas. En afdækning af den fremtidige biogaspris vil blive undersøgt nærmere i den efterfølgende overordnede energisystemsanalyse knyttet til hoveddelen af projektet "Kommercialisering af brinteknologier".

Figur 16 Personbilerne brændstoføkonomi



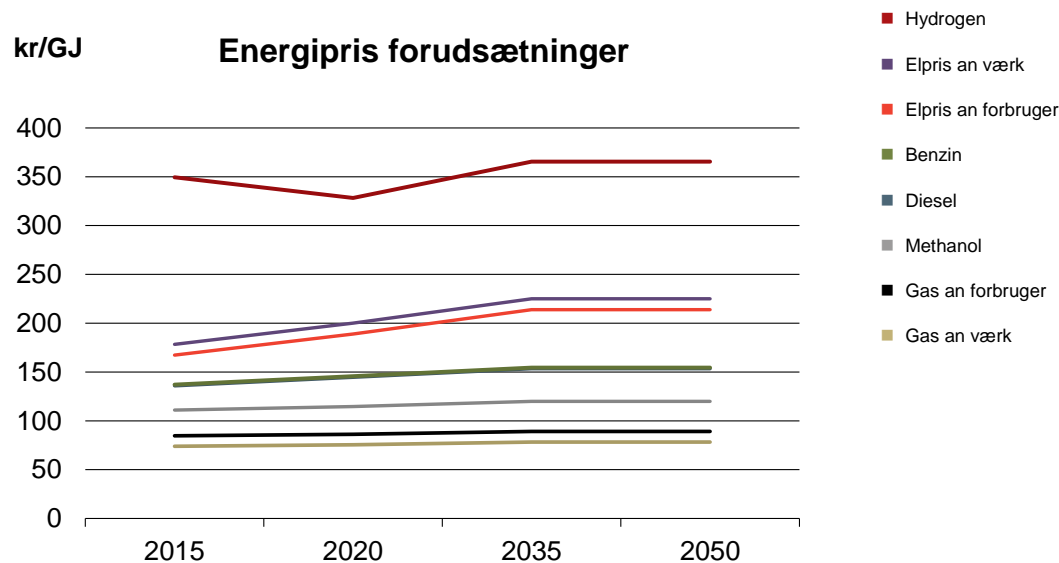
Kilde: Dansk Energis beregninger

Fremtidige drivmiddelomkostninger er **en anden parametre**, der udgør et stort usikkerhedselement i analysen. Usikkerheden er dels knyttet til selve antagelserne om fremtidige brændselspriser og udviklingen af disse. Dels er usikkerheden knyttet til selve drivlinjens virkningsgrad og brændselsøkonomi.

Brændselsøkonomien (energiforbrug pr. kørt kilometer) afhænger i modelsammenhæng af drivlinjens virkningsgrad og køretøjets samlede vægt. Drivlinjer med dårligere brændstoføkonomi som resultat af lav virkningsgrad og evt. tungere vægt, vil som udgangspunkt være mere påvirket af udsving i brændselspriserne end drivlinjer med højere virkningsgrad. I **Figur 16** ses, at køretøjer med konventionel forbrændingsmotorteknologi har et energiforbrug pr. kørt kilometer, som er ca. 3-4 gange så højt som køretøjer med de nye alternative drivlinjer. Det ses at elbilen og brændselscellebilen er de mest energieffektive personbiler.

Brændselspriserne pr. energiindhold er listet i **Tabel 1** og illustreret i **Figur 17**, hvor det ses, at elpriserne ift. til diesel og benzin forventes at udvikle sig fra at være ca. 20-30% dyrere pr. energiindhold til at blive mellem 40-50 % dyrere. Hydrogenprisen er det dyreste brændsels pr. energiindhold og går fra at være ca. 160 % dyrere end diesel i udgangsåret til at være ca. 140 % dyrere end diesel/benzin. Methanol er ca. 20 % billigere end diesel i starten af perioden, men antages at blive ca. 30 % billigere end dieselpriisen pr. energiindhold mod 2050. Sammenlignes der med studier, der har estimeret prisen for methanolproduktion, så ligger disse ca. 40-100 % over methanolprisen anvendt for analyseåret 2015 (Brian V. Mathiesen 2014). De aktuelle markedspriser for methanol pr. 11.6.2015 (Methanex 2015) er handlet ca. 25 % over methanolprisen lagt til grund for analysen i 2015.

Figur 17 Energiprisforudsætninger



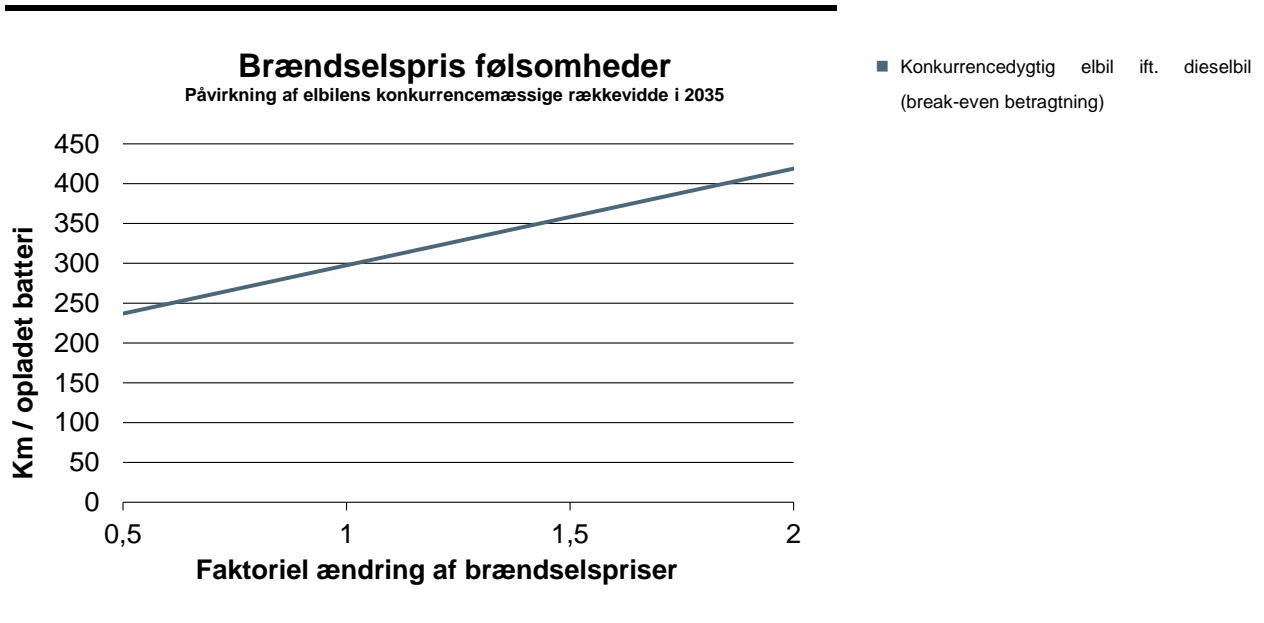
Figur 17 Priser er eksklusiv omkostninger til tankningsinfrastruktur og eventuel distribution af brændstof.

Kilde: Energistyrelsen 2014b, Energistyrelsen 2013a. Dansk Energis beregning til nutidsværdi

Hvis ovenstående antagelser om energipriserne sammenholdes med personbilernes respektive kørselseffektivitet, kan det udledes, at konventionelle benzin- og dieslbilens brændstofsomkostning som udgangspunkt vil være mest følsomme for udsving i energiprisforudsætninger. Dog vil brændselscellebilen, pga. de relativt dyrere hydrogenpriser i analyseforudsætningerne, også være følsomhed for relative ændringer i brændselspriserne. Omvendt vil gasbilerne, pga. det i udgangspunktet billigere brændsel, være mindre påvirkede af relative udsving i brændselspriserne. Endnu mindre påvirkede ville biler med brændselscelleteknologi være, mens elbilerne ville være mindst påvirkede ved en ændring i energipriserne.

Udover den umiddelbare konkurrencemæssige fordel en forhøjelse af energipriserne kunne medføre for teknologierne med lave brændselsomkostninger, ville det omvendt være muligt i stedet at forbedre elbilens konkurrenceparametre ift. rækkevidde. En relativ forhøjelse af de konkurrerende teknologiers totalomkostning, ville f.eks. muliggøre at elbilens batterikapacitet kunne øges uden at påvirke den relative konkurrence mellem disse. Eksempelvis ville en overordnet ændring i energipriserne på 25 % medføre, at elbilen i 2035 ville kunne øge sin batterikapacitet til 42 kWh, og dermed sin rækkevidde til 320 km, samtidigt med at elbilens konkurrenceevne ville være på niveau med dieslbilen. (jf. **Figur 18**). Hvis dieselprisen alene steg 25 % uden en ændring i elprisen, ville elbilens batteri kunne øges til 47 kWh og rækkevidden til 350.

Figur 18 Brændselspriserne påvirkning af elbilens konkurrencemæssige rækkevidde.



Figur 18 Ved ændring af basisantagelse for brændselspriser påvirkes bilernes totaløkonomi. Grafen viser, at elbilens konkurrencemæssige rækkevidde påvirkes af ændringer i brændselspriserne. Hvis der sker en fordobling af energipriserne, kan elbilens rækkevidde øges med 33 % (400 km), mens en halvering af priserne reducerer rækkevidden med 25 % (250 km),

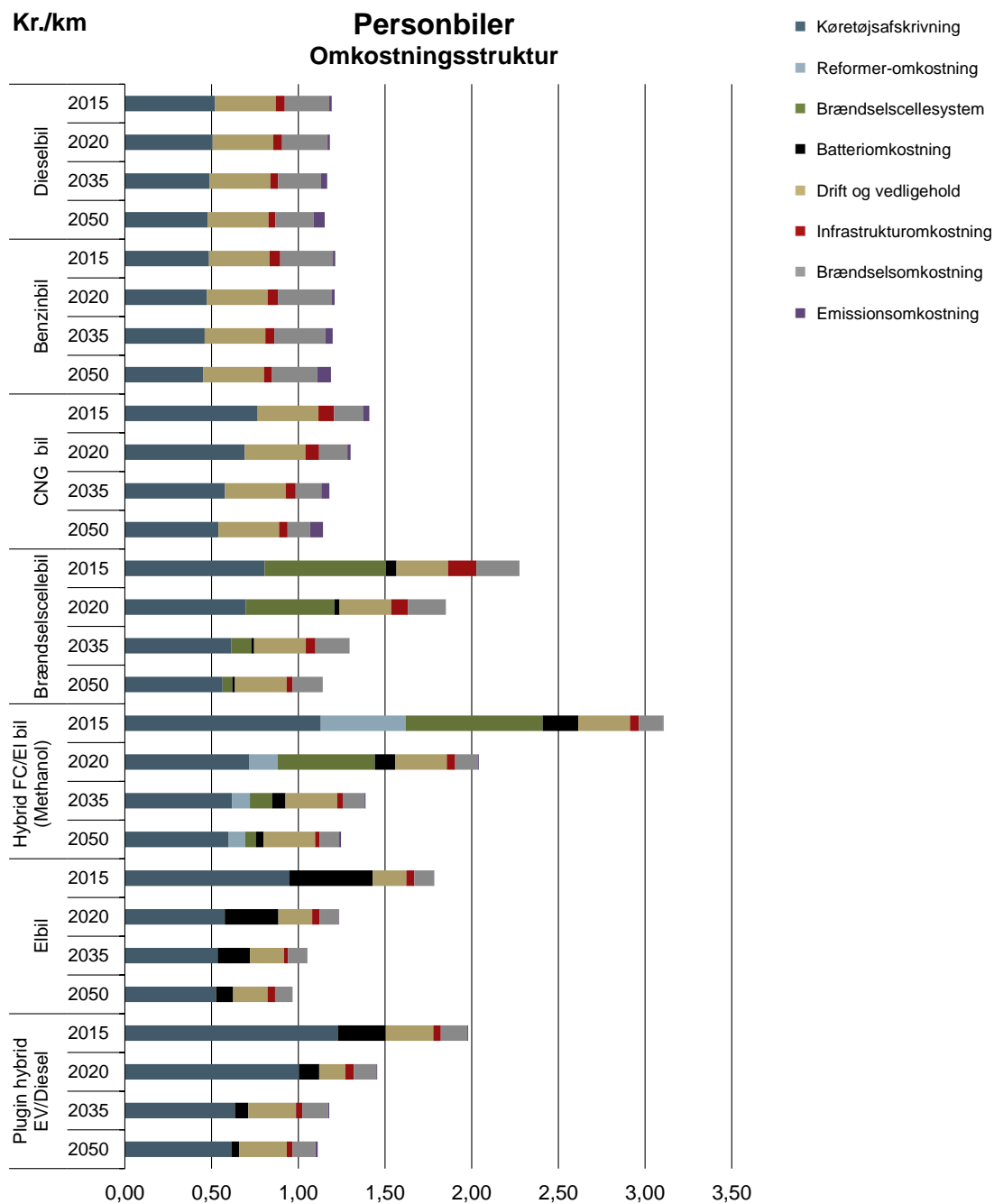
Kilde: Beregning af Dansk Energi

I **Tabel 10** ses elbilens maksimale rækkevidde, når konkurrenceforholdet holdes konstant relativt til dieselbilen:

Tabel 10 Elbilens maksimale rækkevidde når elbilen bevarer konkurrenceevnen relativt til dieselbilen.

	2015	2020	2035	2050
Batterikapacitet (kWh) ved break-even	-	22	40	67
Rækkevidde (km) ved break-even	-	155	300	525

Figur 19 Omkostningsstruktur for personbilerne medtaget i analysen.



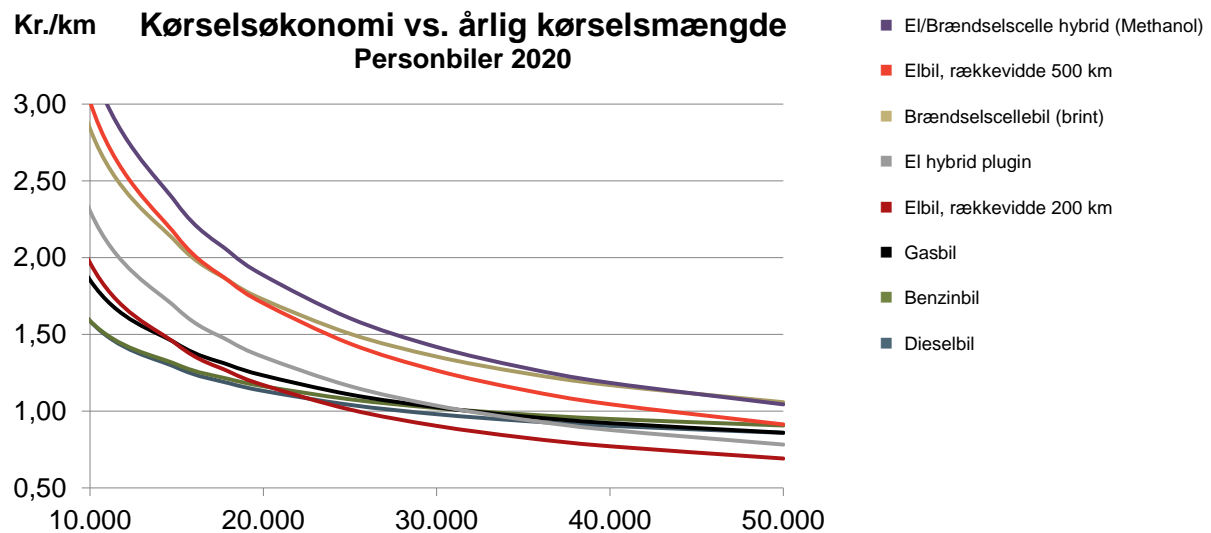
Figur 19 Fordeling af de totale omkostninger i de enkelte drivlinjer ved gennemsnitligt kørselsbehov på 18.000 km.

Kilde: Beregninger foretaget i Dansk Energis køretøjsmodel

Da brændselsomkostningen udgør en relativ stor del af totaløkonomien i køretøjerne med forbrændingsmotor (jf. **Figur 19**), vil deres konkurrenceevne være særlig følsomhed over for udsving i energipriserne.

En **tredje central** parameter som influerer de enkelte transportformers totale kørselsøkonomi pr. km er årligt kørselsbehov. Årligt kørselsbehov påvirker hvor mange kilometer de faste årlige udgifter udglattes over, dvs. investeringer og fast D&V. De kørselsafhængige omkostninger, som variabel D&V, brændstofsforbrug, omkostninger til tankningsinfrastruktur, emissioner mm påvirkes således ikke af kørselsbehovet.

Figur 20 Kørselsøkonomi i 2020 som resultat af årligt forskellige kørselsbehov.



Figur 20 Beregningen inkluderer omkostninger til infrastruktur og emissioner. Det ses, at elbil med rækkevidde på 200 km er konkurrencedygtig ved 18.000 km, mens el-plugin hybrid og elbilen med rækkevidde på 500 km er konkurrencedygtig med konventionelle drivlinjer ved ca. +50.000 km.

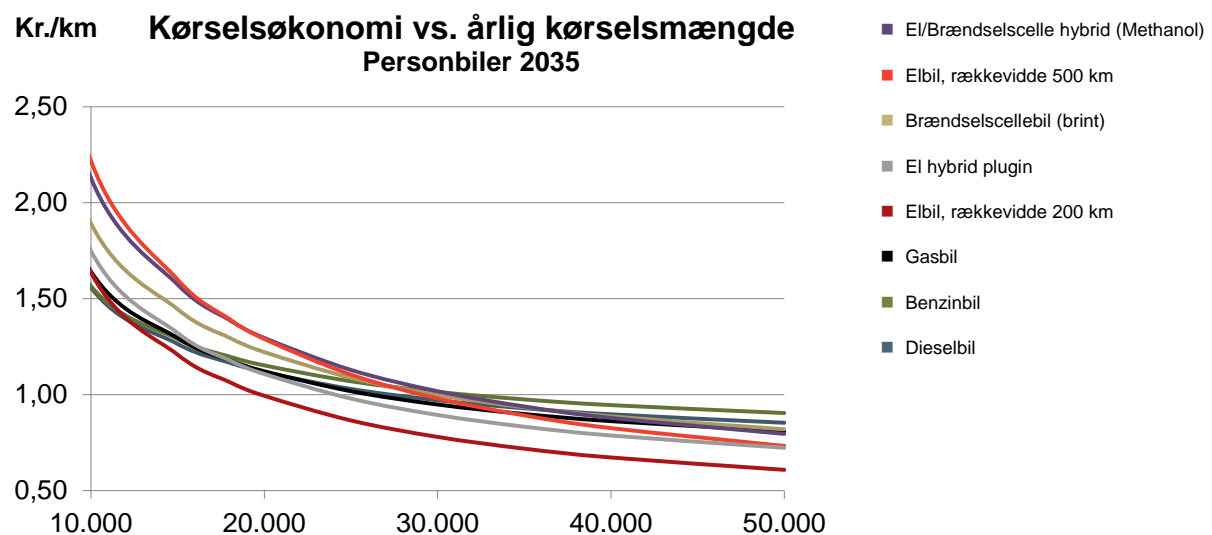
Kilde: Beregnet i Dansk Energis køretøjsmodel

Af ovenstående kan generelt udledes at totaløkonomien i biler med høje anskaffelsesomkostninger og høj virkningsgrad, bedres relativt til biler med de modsatte karakteristika, jo længere disse kører. I **Figur 20** er total kørselsøkonomi for personbiler som produkt af årligt kørselsbehov udledt for nøgleåret 2020. Som det ses har elbilen med rækkevidden 200 km break-even når det årlige kørselsbehov nærmer sig 20.000 km om året. Det skal i den forbindelse bemærkes, at elbilen med kort rækkevidde næppe, ud fra en gennemsnitsbetragtning, vil konkurrere i kørselssegmentet med høj årligt kørselsmængde. Kørselssegmentet med højt årligt forbrug vil typisk være karakteriseret ved en vis mængde af ture af længere kørselslængde. I praksis vil der nok kunne findes tilfælde, hvor elbilen med en rækkevidde på 200 km ville kunne dække behovet i de højere kørselssegmenter, f.eks. pendlere med daglige til-og-fra-afstande på godt 70-80 km om dagen. Ligeledes kunne et erhvervsmæssigt kørselsbehov med mange korte ture, og med mulighed for løbende opladning, være en praktisk mulighed.

Af figuren fremgår det ligeledes, at gasbiler, elbiler med 500 km-rækkevidde samt el-plugin hybrider allerede i 2020 vil være konkurrencedygtige løsninger i kørselssegmentet med årligt kørselsbehov på +50.000 km.

I 2035 ses det af **Figur 21**, at el-plugin hybriden allerede bliver konkurrencedygtig med konventionelle drivlinjer ved normalt kørselsbehov. Ved et kørselsbehov på ca. 25.000 km bliver brændselscellebilen også konkurrencedygtig med benzinbiler. De andre alternative drivlinjer er konkurrencedygtige fra ca. +30.000 km

Figur 21 Kørselsøkonomi i 2035 ved forskellige kørselsbehov



Figur 21 Beregninger inkluderer omkostninger til infrastruktur og emissioner. Det ses, at el-plugin hybriden bliver konkurrencedygtig med konventionelle drivlinjer ved normalt kørselsbehov. Brændselscellebilen kan allerede ved et kørselsbehov på ca. 25.000 km konkurrere med konventionelle drivlinjer. De andre alternative drivlinjer er konkurrencedygtige fra ca. +30.000 km

Kilde: Beregninger fra Dansk Energis køretøjsmodel

7.2 Tung transport

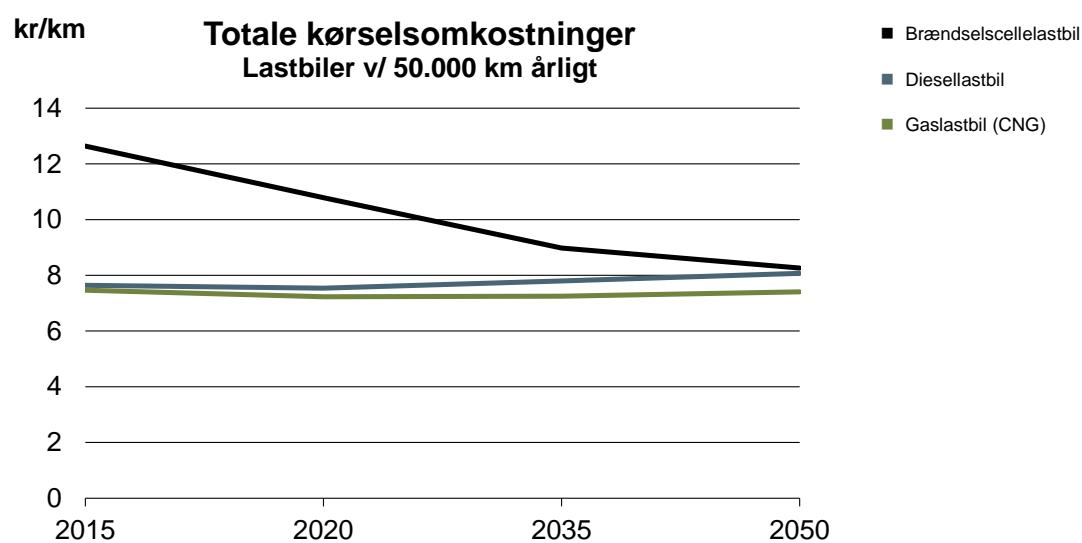
Karakteristisk for den tunge transport er, at der flyttes mange kilo rundt på vejene. Dette influerer naturligvis energiforbruget og dermed kommer udgifterne knyttet til brændselsomkostningerne generelt til at fylde en større andel i økonomien for denne type af transporten.

Både infrastrukturomkostninger og brændselspriser bliver altså væsentlige parametre, der kan påvirke hvilke løsninger, der bliver økonomisk attraktive i den tunge transport.

7.2.1 Lastbiler

Analysen viser, at gaslastbilen i hele perioden er det mest samfundsøkonomiske attraktive alternativ inden for lastbilssegmentet. Omkostningerne knyttet til selve drivlinjen ligger for gaslastbilen marginalt højere end diesel, mens brændselsøkonomien er markant bedre. Drivlinjeomkostningerne knyttet til gasbilen er betragteligt billigere end brintlastbilen indtil 2035, hvor de konvergerer. Omkostningerne til drift og vedligehold holder sig stort set på samme niveau på tværs af drivlinjer over tid og er lavest for brintlastbilen.

Figur 22 Totale Kørselsomkostninger for lastbiler



Figur 22 Figuren illustrerer samfundsøkonomiske kørselsomkostninger for lastbiler inkl. omkostninger til infrastruktur, brændsler og eksternaliteter i form af emissioner.

Kilde: Dansk Energi Beregninger

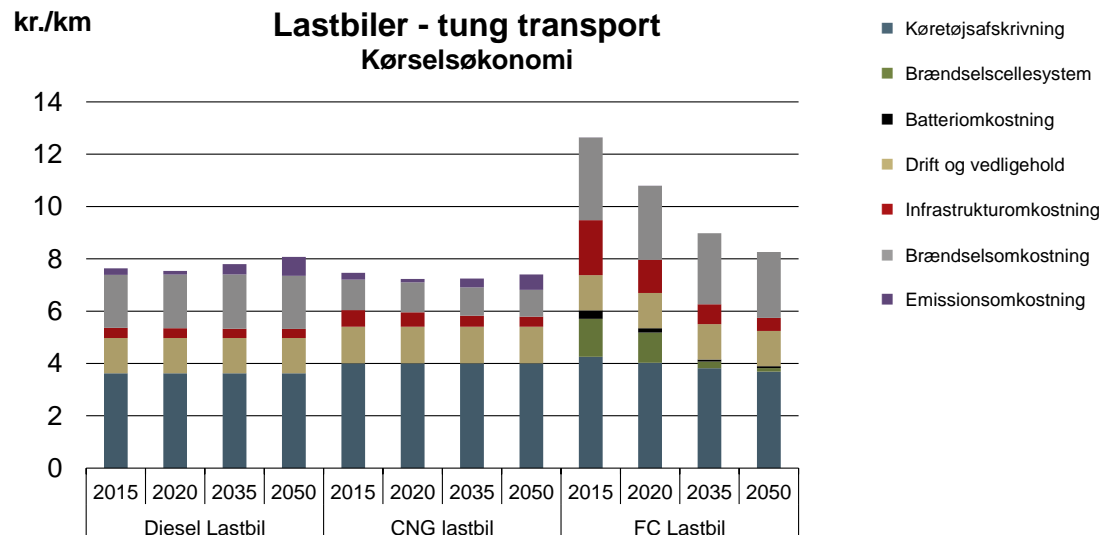
Den tungtvejende årsag til, at gaslastbilen er billigst, skyldes de lavere omkostninger til brændselsforbrug. Emissionsmæssigt ligger gaslastbilen en smule lavere end diesellastbilen. Brintlastbilens totaløkonomi forbedres markant mod 2050, hvor den konvergerer med diesellastbilen og nærmere sig gaslastbilen. Lavere elpriser og højere gaspriser kunne derfor godt ændrer konkurrenceforholdet mellem gas- og brintlastbilen mod 2050.

Omkostninger knyttet til tankningsinfrastruktur for brintlastbilen er markant højere end de andre lastbiler frem til 2050.

Med et uændret brændselsbillede, er det vanskeligt at forestille sig, at brintlastbilen skulle blive en attraktiv løsning i dette segment. En følsomhedsberegning viser et fald på 25 % i de langsigtede hydrogenpriser kunne gøre brintlastbilen konkurrencedygtig med gaslastbilen i 2050.

Generelt er gaslastbilen under de fleste følsomhedsberegninger et billigere alternativ end diesellastbilen. Grundlæggende vurderes resultatet, med gaslastbilen som billigste samfundsøkonomiske alternativ, som ret robust.

Figur 23 Kørselsøkonomien for lastbiler i den tunge transport

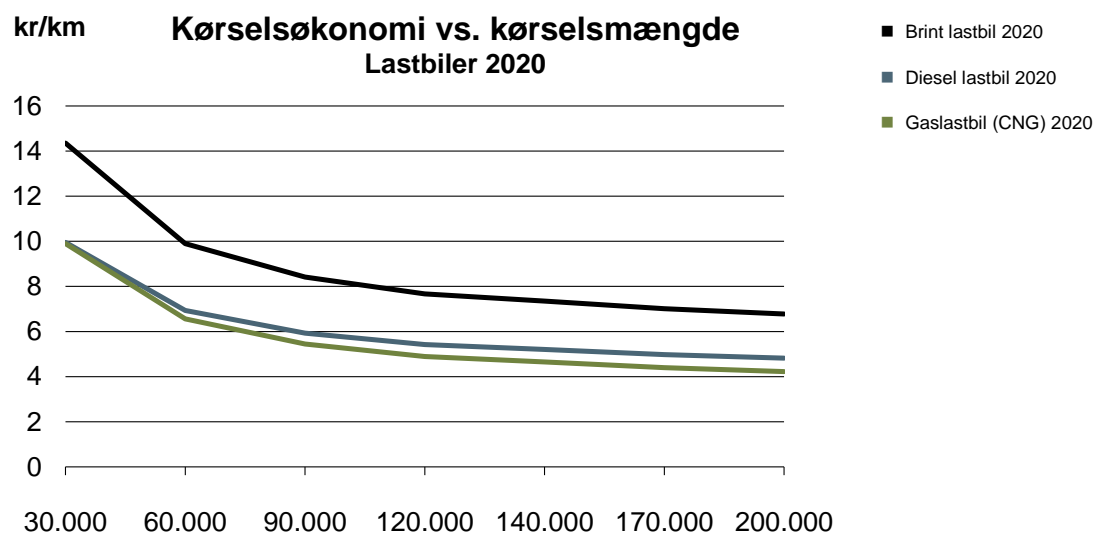


Figur 23 Det ses af figuren at gaslastbilen bliver billigst allerede fra 2020. Brændsellelastbilen er den dyreste løsning. Hvis hydrogenprisen bringes ned til det halve, bliver brændsellelastbilen konkurrencedygtig i 2050.

Kilde: Dansk Energis beregninger. Forudsætninger: Energistyrelsen samfundsøkonomiske prisforudsætninger, diskonteringsrente fire %, afskrivning seks år og årlig kørselslængden 140.000 km. Teknologidata primært fra PBB 2015.

En bemærkning til resultaterne er, at forudsætninger om lavere kørselsmængder vil begunstige lastbiler med lave investeringsomkostninger ift. brændstoføkonomien (jf. **Figur 24**). F.eks. ville en kørselsmængde på under 30.000 km i 2020 gøre diesellastbilen til den mest attraktive løsning. Ved højere kørselsmængder er resultaterne dog robuste over hele tidsperioden.

Figur 24 Kørselsøkonomi for lastbiler ved forskellige årlige kørselsmængder



Figur 24 Resultaterne er robuste og ændres ikke nævneværdigt ved forskellige kørselsmængder. Den konventionelle diesellastbil er dog billigst under 30.000 km

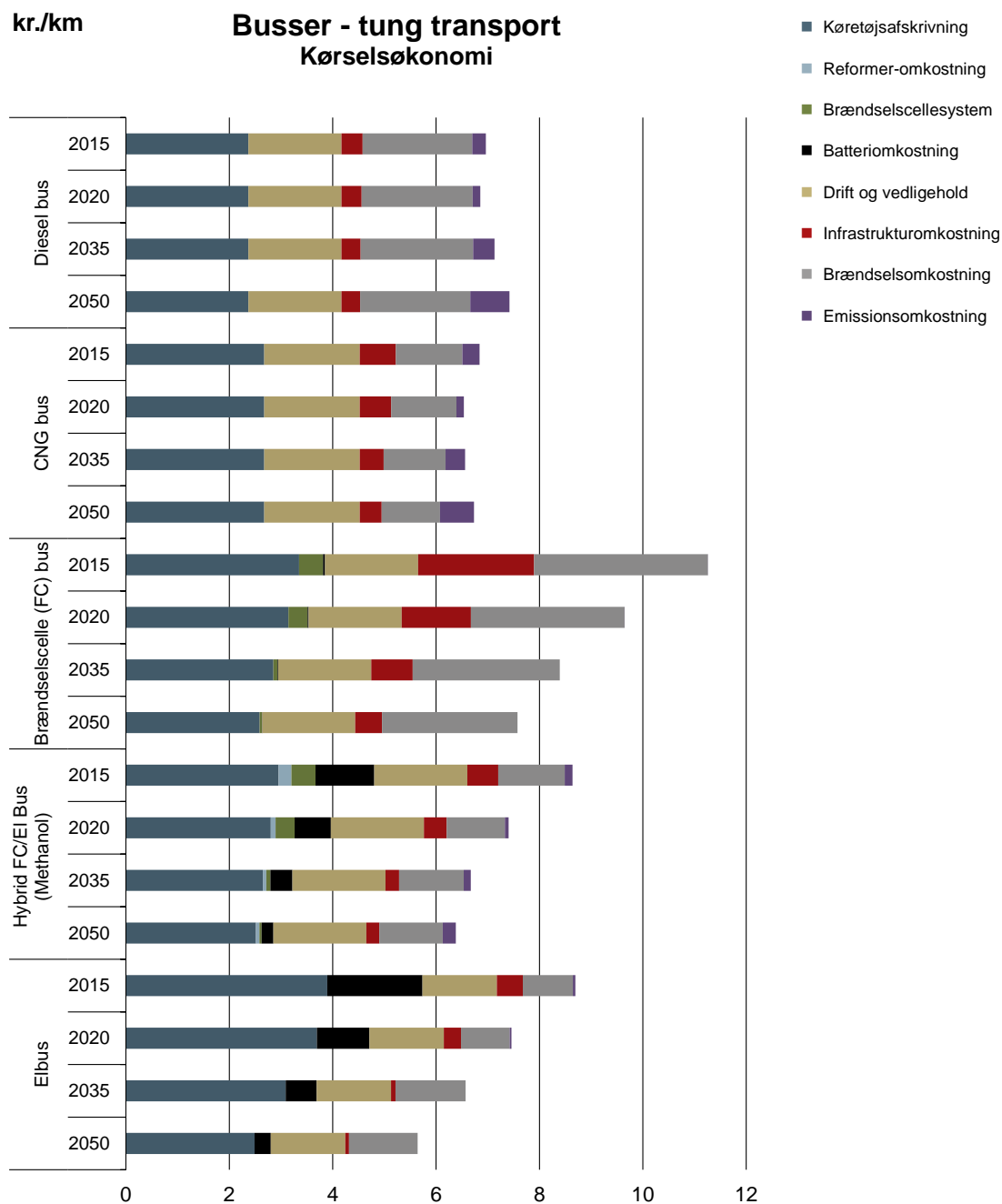
Kilde: Dansk Energis beregninger

7.3 Busser

Vores resultater viser, at konventionelle dieselbusser er den billigste samfundsøkonomiske løsning i 2015. Allerede i 2020 bliver gasbusserne den billigste løsning. Dette skyldes overvejende, at prisforholdet mellem diesel og gas ændrer sig. En forventning om billigere gasinfrastruktur medvirker dog også til at reducere totaløkonomien for gasbussen. I 2035 er hybrid brændselscellebussen på methanol den billigste. Dette resultat hænger overvejende sammen med hybridbussens generelt højere virkningsgrad, sammenlignet med de konventionelle drivlinjer. Den overvejende faktor er dog, den markant lavere pris for methanol i forhold til de andre brændstoffer. Det billigste alternativ i 2050 er elbussen. I årene frem mod 2050 er forventningen, at elbussen bringer sine grundlæggende produktionsomkostninger af selve køretøjet ned, mens batteriet samtidigt bliver billigere. Selvom el er dyrere som brændsels pr. energienhed end methanol, er de lave omkostninger til drift og vedligehold sammenholdt med de lave omkostninger til ladeinfrastruktur, nok til at placere elbussen som den billigste bus i 2050

Figur 25.

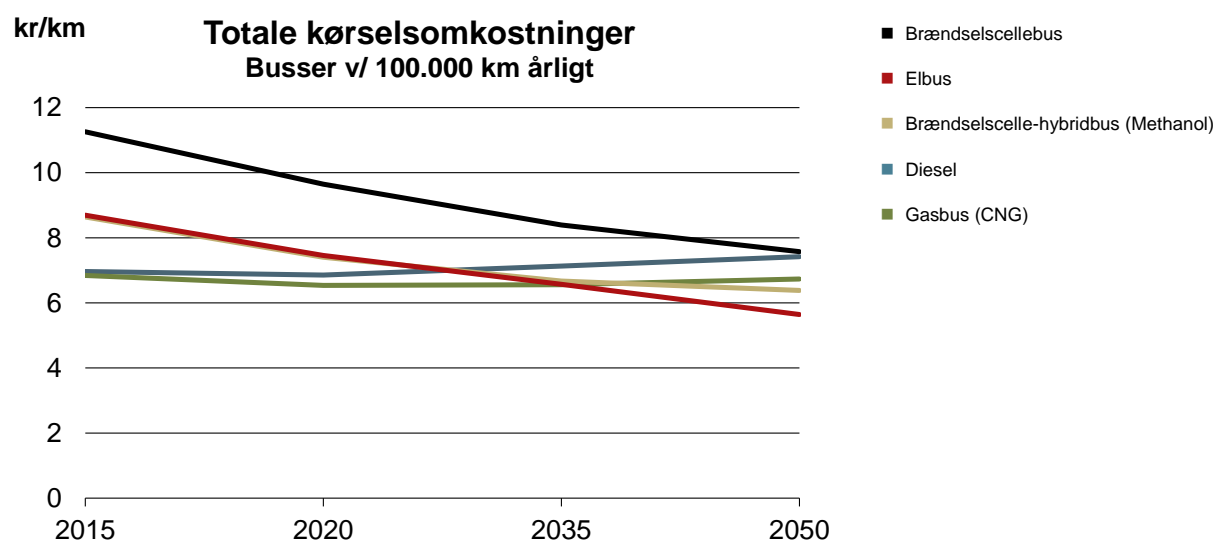
Figur 25 Kørselsøkonomi for busser



Figur 25 Forbrændingsmotorerne er billigst i 2015. I 2020 er gasbussen billigste alternativ. Det ses med de relativt lave forudsætninger for methanolpriser, at brændselscellehybridbussen (evt. bio - så reduceres emissionsomkostninger) er billigste løsning i 2035. I 2050 er elbussen det billigste alternativ.

Kilde: Dansk energis beregninger. Forudsætninger: Energistyrelsen samfundsøkonomiske prisforudsætninger, diskonteringsrente fire %, afskrivning seks år og årlig kørselslængden 67.000 km. Teknologidata primært fra PBB 2015.

Figur 26 Kørselsomkostninger for busser



Figur 26 Figuren illustrerer samfundsøkonomiske kørselsomkostninger for busser inkl. omkostninger til infrastruktur, brændsler og eksternaliteter i form af emissioner.

Kilde: Dansk Energis Beregninger

Generelt ligger kørselsøkonomien for gasbussen ret stabilt i over analyseperioden. Dette skyldes dels relativ begrænset udvikling af virkningsgraden i drivlinjen, da gasbussen allerede er en velkendt teknologi, og dels skyldes det en antagelse om, at gasprisen holder sig nogenlunde konstant. Den beskedne gevinst ved forbedret virkningsgrad på brændstoføkonomien, modvirkes af højere prissætning af CO₂-emissionerne. Gasbussens økonomi er generelt mere påvirkelig af energiprisændringer end de alternative drivlinjer pga. af disses bedre virkningsgrad. Da brændselscellehybridbussen, elbussen og gasbussen ligger relativt tæt omkring 2035, vil selv en mindre stigning af gaspriser hurtigt gøre gasbussen mindre attraktiv. En generel stigning af gasprisen på 25 % vil gøre brændselscellehybridbussen mere konkurrencedygtig end gasbussen allerede i 2020, mens en stigning på 50 % vil gøre gasbussen dyrere end elbussen i 2020.

Den rene brændselscellebus må generelt betragtes som den dyreste teknologi, primært forårsaget af den høje hydrogenpris.

På trods af en relativ umoden og dyr teknologi bliver hybrid brændselscellebussen overraskende hurtigt konkurrencedygtig med de fossile drivlinjer. Som nævnt, er det primært antagelserne om de lavere methanolpriser, der bidrager til dette resultat. I det videre projektarbejde med kommercialisering af brændselsceller, vil der derfor fokuseres særligt på en afdækning af, om methanol kan produceres til den pris, som er lagt til grund for nærværende analyse.

7.4 Sammenfattende bemærkninger til resultaterne

Vi har i analysen udført en række følsomhedsanalyser for at vurdere robustheden af vores resultater og identificere hvor de kritiske parametre for drivlinjers konkurrencedygtighed var lokaliseret.

Generelt er investeringsomkostningen for personbiler af centralbetydning for deres konkurrencedygtighed, da de kører kortere end de tunge transportmidler, og derfor ikke afskriver omkostninger over så mange kørte km kilometre. Derfor kan man (ret banalt) konkludere, at en kritisk parameter for at de nye alternative teknologier skal blive konkurrencedygtige er, at de skal indfri forventningen til reduktioner i anskaffelsespriser. Denne faktor bliver vigtigere jo mindre kørselsbehovet er. Det indbyrdes kapløb om bedre virkningsgrader mellem de alternative drivlinjer bliver omvendt mindre betydende jo mindre bilerne kører.

For den tunge transport er fokus omvendt på at få forbedret brændstoføkonomien, da denne del spiller en afgørende rolle, som konsekvens af, at der dels flyttes mange kilo og der køres længere. Dette kræver energi. Virkningsgradsforbedringer og energipriser bliver således kritiske parametre.

Vi har afgrænset os fra følsomhedsberegninger for drivlinjernes virkningsgrader, da udviklingen af disse antagelser på den lange bane i forvejen er forbundet med store usikkerheder. Overordnet kan man groft konkludere, at de eldrevne drivlinjer nok næppe kan bedres (eller forværres) meget mere end det centrale bud. Ligeledes kan det heller ikke forventes, at der vil være de store udsving i virkningsgraderne af de modne konventionelle drivlinjer.

For de brintdrevne køretøjer ville en yderligere bedring af virkningsgraden i forhold til det centrale bud dog kunne påvirke brændselscellebilens konkurrenceevne betragteligt for de tunge køretøjer. En fordobling af den årlige procentuelle forbedring (på 1 % p.a.) af virkningsgraden, ville således resultere i, at brændselscellelastbilen ville blive billigst i 2050, mens den rene brændselscellebus næsten ville blive konkurrencedygtig med brændselscellehybridbussen.

En sidste ting der bør nævnes er, at hydrogen i antagelserne er kraftigt korelateret med elprisen og er relativt dyr pr. energienhed ift. denne. Ved produktion af brint under gunstige prisforhold med meget lave elpriser eller bedre virkningsgrad i elektrolyseprocessen kunne brinten måske produceres billigere og drivlinjen kunne dermed opnå bedre konkurrenceevne. Forholdet omkring prissætning af brintproduktionen er noget vi går mere i dybden med, i den videre del af det overordnede projekt.

8 Bibliografi

BioPress 2014	BioPress, juni 2014 Forskning i Bioenergi, Brint & Brændselsceller (FIB): Hvornår kommer brintbilerne? http://www.biopress.dk/PDF/hvornar-kommer-brintbilerne
Charged 2014	Charged - Electric vehicle magazine, 30. June. 2014 Nissan announces price for replacement LEAF battery http://chargedevs.com/newswire/nissan-announces-price-for-replacement-leaf-battery/
Clever 2015	Clever, 2015 Ladebokse fra Clever https://www.clever.dk/produkter/ladebokse/
COWI 2013	Cowi, 2. december 2013, Oplæg til møde om gas til tung transport v/ Ole Kveiborg. Partnerskabet for gas i tung transport. Projektnr. A045726 https://www.cowi.dk
Dansk Elbil Alliance 2015	Dansk Elbil Alliance, 2015 Bestand af elbiler i Danmark http://www.danskelbilalliance.dk/Statistik/Bestand_modeller.aspx
Dansk Gasteknisk Center 2014	Dansk Gasteknisk Center, August 2014 Hjemmesiden om gasbiler og gastankstationer. www.gasbiler.info http://www.dgc.dk/nyhed/2014/ny-hjemmeside-om-gasbiler-og-gastankstationer
De Danske bilimportører 2014	De Danske bilimportører, 2014 Nyregistreringer 1.1.2014 - 31.12.2014. http://www.bilimp.dk/statistics/
DTU, 2013	DTU, 2013 Litium batterier til transport, perspektiver og status. Poul Norby, DTU.
EA Energianalyse 2014	EA Energianalyse, Beregning fra EA Energianalyse modtaget af Christian Bang August 2014, hvor der henvises til interview med Kaj M, 2011 DTU.
Element Energy 2011	Element Energy Limited, July 2011 Influence on the Low Carbon Car Market from 2020-2030, Final Report for low carbon vehicle partnership,
Energistyrelsen 2005	Energistyrelsen, 2005 Brintteknologier - strategi for forskning, udvikling og demonstration i Danmark http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/ny-teknologi/teknologi-strategier/brint-braendselsceller/Strategi%20for%20brint.pdf
Energistyrelsen 2011	Energistyrelsen et al., Januar 2011, Redegørelse om rammebetingelser for opstilling af ladestationer til elbiler - Infrastruktur for ladestandere til elbiler i det "offentlige rum" http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/info/nyheder/nyhedsarkiv/arbejdsgruppe-giver-bud-paa-udrulningsplan-ladestandere-elbiler/Redeg_ladestandere_elbiler_jan2011_final.pdf
Energistyrelsen 2013a	Energistyrelsen, Maj 2013 Alternative drivmidler v. 2.1 http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/klima-co2/transport/alternative-drivmidler-transport-sektoren-20/AD_maj_2013/ad_rapport_maj_2013_version_2_1.pdf
Energistyrelsen, 2013b	Energistyrelsen, August 2013 Beregningsmetode til samfundsøkonomiske omkostninger ved virkemidler i klimaplan http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/klima-co2/klimaplan-2012/samfundsoek_metode_klimaplan_14_aug_2013.pdf
Energistyrelsen 2014a	Energistyrelsen et al., November 2014, Rammevilkår for gas i til tung transport http://www.ens.dk/rammevilkaaer-gas-tung-transport
Energistyrelsen, 2014b	Energistyrelsen, december 2014 Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsoekonomiske-beregnings-forudsætninger
Emmett 2014	The Emmett Institute et al., September 2014, Reuse and Repower - How to save Mobney and Clean the grid with Second-Life EV Batteries
E.ON 2015	E.ON 2015, 2015 E.ON Home-charge http://www.eon.dk/e-mobility/Lad-derhjemme/HOME-charge-ladelosninger/
EVC 2013	Electric Vehicle News, 16 jan. 2013 Bosch and partners launch project to develop 250 Wh/kg EV batteries http://www.electric-vehiclenews.com/2013/01/bosch-and-partners-launch-alpha-laion.html
HMN 2013	HMN naturgas 2013, Information om gasbusser og gastankningsanlæg delt på møde d. 13.8.2013 hos HMN. Ref: Jesper Henry Skjold
Hydrogen Link 2013	Hydrogen Link, Maj 2013 Status & erfaringer – brintbiler og tankstationer i Danmark og udland http://www.trafikstyrelsen.dk/~media/Dokumenter/06%20Center%20for%20groen%20transport/Groen_transport/Forsogsordningen/2013/NextMove/NextMoveSlutrapport.ashx

HyFLEET 2015	HyFLEET:CUTE, 2015 The Project, HyFLEET:CUTE, is part of the "Hydrogen for Transport" program of the European Commission. http://www.global-hydrogen-bus-platform.com/www.global-hydrogen-bus-platform.com/Home.html
IEA 2013	IEA EGRD Workshop, 24 juni 2013 Vehicle energy efficiencies http://www.iea.org/media/workshops/2013/egrdbility/nylund_vehicle_energy_efficiencies.pdf
JEC 2013	JEC, July2013 "Tank-to-WHEELS Report" Version 4. Concauwe, EUCAR, European Commission
Market Watch 2014	Market Watch, 12 feb. 2014 Bosch, GS Yuasa, and Mitsubishi Corporation to Double Capacity for Electric Vehicle Battery http://www.marketwatch.com/story/bosch-gs-yuasa-and-mitsubishi-corporation-to-double-capacity-for-electric-vehicle-battery-2014-02-12
Mathiesen 2014	Brian Vad Mathiesen, May 2014 Comparison of fuel production costs for future transportation - Institute of transportation Studies, University of California, Davis http://vbn.aau.dk/files/205639091/Poster_STEPS_Ridjan.pdf
Methanex 2015	Methanex, Priser hentet pr. 11.06.2015 Methanex hjemmeside - Methanol månedlige kontraktpriser https://www.methanex.com/sites/default/files/methanol-price/MxAvgPrice_May%2029%202015.pdf
Movia 2014	Movia, 2014 Miljøarbejdet ved Movia – Vejen mod elektrificering af busdriften http://www.trafikdage.dk/papers_2014/307_JakobVillien.pdf
R. Berger, 2014	Roland Berger, 2014 Fuel cells - A realistic alternative for zero emission? http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Fuel_cells_20140113.pdf
Street 2014	The Street, 27.02.2014 Tesla Unveils Gigafactory http://www.thestreet.com/story/12459694/1/tesla-unveils-gigafactory-what-wall-streets-saying.html



DANSK ENERGI
VODROFFSVEJ 59
DK-1900 FREDERIKSBERG C
DENMARK

+45 3530 0400
WWW.DANSKENERGI.DK
DE@DANSKENERGI.DK
