

2017

Personbilers omstilling til alternative drivmidler



Niels Thomsen Hviid

Kandidatspeciale

02-06-2017

Sustainable Energy Planning
and Management

Titel: Personbilers omstilling til alternative drivmidler

Tema: Master's Thesis - Kandidatspeciale

Projektperiode: 1/2-2017 – 2/6-2017

Deltager:

Niels Thomsen Hviid

Vejleder: Søren Djørup

Sideantal: 92

Bilagsantal og -art: Excel fil

Afsluttet den: 2/6-2017

Synopsis:

I dette projekt undersøges alternative drivmidler til konventionelle drivmidler til personbiler i Danmark. Drivmidlerne sammenlignes på privatøkonomi, samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet.

Projektets problemformulering er:

Hvordan kan personbiler omstilles fra at være baseret på konventionelle drivmidler som benzin og diesel til alternative drivmidler?

I besvarelsen af problemformuleringen tages der udgangspunkt i teorien om Innovativ projektvurdering. Med denne teori vurderes drivmidlernes samfundsmæssige potentialer og identificere eventuelle institutionelle barrierer som modarbejder de samfundsmæssigt bedste drivmidler. På baggrund af projektets analyser foreslås anbefalinger til, hvordan konkrete reguleringer kan ændres, så afgiftsstrukturen afspejler drivmidlernes samfundsmæssige virkning.

I projektet konkluderes at elbilen med et lille batteri på 24 kWh er det bedste alternativ til konventionelle drivmidler målt på samfundsøkonomi og energieffektivitet. Privatøkonomisk er elbilen også favorabel men planlagte stigninger på registreringsafgiften til elbiler medfører, at elbilers samlede årlige omkostninger i 2020 er dyrere end konventionelle biler.

En af projektets anbefalinger omhandler at bevare det privatøkonomiske incitament for at tilvælge elbilen fremfor konventionelle biler.

Forord

Projektet er udarbejdet i perioden 1/2-2017 til 2/6-2017. Projektet er et kandidatspeciale på uddannelsen Sustainable Energy Planning and Management på Aalborg Universitet.

Læsevejledning

I projektet anvendes en række kilder som fremgår i rapportens sidste kapitel. Det er valgt at anvende Harvard metoden til at angive kilder i teksten. Kilderne fremgår i parentes med forfatterens efternavn eller virksomhed og årstal for udgivelsen. For eksempel (Hviid, 2017). Hvis der er flere kilder med samme forfatter og udgivelsesårstal angives er et bogstav efter årstallet for at skelne mellem kilderne. For eksempel (Hviid, 2017a). Ved kildehenvisninger, hvor der ikke er opgivet årstal skrives "Læst 2017". Hvis kilden er angivet efter punktum, er kilden gældende for hele afsnittets tekst eller op til forrige kilde i afsnittet. Hvis kilden er angivet før punktum er kilden gældende for den sætning som punktummet afslutter.

I tillæg til denne rapport vedlægges en Excel-fil med baggrundstal og beregninger anvendt i projektets analyser.

Indholdsfortegnelse

1.	Problemanalyse	1
1.1	Klimaforandringer og globale politiske initiativer	1
1.2	EU's og Danmarks energipolitiske målsætninger	2
1.3	Danmarks energisystems udvikling mod Smart Energy System	5
1.4	Danmarks energiforbrug	7
1.4.1	Transportsektorens energiforbrug	9
1.5	Drivhusgasemissioner i Danmark	10
1.6	Konklusion på Problemanalyse.....	13
2.	Problemformulering	14
3.	Teoretisk tilgang	16
3.1	Innovativ projektvurdering.....	16
3.1.1	Innovativ projektvurdering som teoretisk tilgang.....	18
3.2	Metodiske valg for besvarelse af problemformulering.....	19
4.	Personbiler i Danmark.....	21
4.1	Udvikling i antallet af personbiler.....	22
5.	Metodebeskrivelse af Alternative Drivmidler modellen	25
5.1	Introduktion og metodiske valg i Alternative Drivmidler model 3.0.....	25
5.2	Well-to-Wheels.....	29
5.3	Emissioner	30
5.4	Energieffektivitet.....	30
5.5	Samfundsøkonomiske omkostninger	32
6.	Samfundsmæssige målsætninger og regulering	35
6.1	Direktivet for fremme af vedvarende energi	35
6.2	Brændstofkvalitetsdirektivet	36
6.3	Dansk lovgivning for anvendelse af fossile brændstoffer og iblandingskrav af biobrændstoffer...	38
7.	Transportsektorens drivmidler.....	40
7.1	Benzin og diesel som drivmiddel i transportsektoren.....	40
7.1.1	Benzinbilens brændstofforbrug.....	40
7.1.2	Diesebilens brændstofforbrug.....	41
7.2	Gas som drivmiddel i transportsektoren.....	41
7.2.1	Gasbiler.....	41
7.2.2	Biogasproduktion til anvendelse som drivmiddel	41
7.2.3	Gastankstationer	42

7.3	El som drivmiddel i transportsektoren	45
7.3.1	Udbygning af infrastruktur	46
7.4	Brint og brændselsceller som drivmiddel.....	47
7.4.1	Brintbil med brændselscelle	48
7.5	Andre drivmidler som kan anvendes som drivmiddel i personbiler	50
8.	Samfundsmæssige analyser	51
8.1	Samfundsøkonomisk analyse	52
8.2	Analyse af drivlinjernes drivhusgasemissioner.....	55
8.3	Analyse af drivlinjernes energieffektivitet	57
8.4	Følsomhedsanalyse	61
8.5	Opsummering på drivlinjernes samfundsmæssige analyse	62
9.	Privatøkonomisk analyse af personbiler	64
9.1.1	Følsomhedsanalyse for den privatøkonomiske analyse.....	69
9.1.2	Opsummering på den privatøkonomiske analyse	71
10.	Diskussion af analysens resultater	72
11.	Konklusion	75
	Referencer	77

1. Problemanalyse

Problemanalysens formål er, at skabe den fornødne baggrundsviden og forståelse for det danske energisystem. I problemanalysen redegøres der for det danske energisystems teknologiske og politiske udvikling frem til i dag. Ligeledes redegøres der for energisystemets energiforbrug og drivhusgasudledninger i Danmark og på de enkelte sektorer. Problemanalysen beskæftiger sig med de overordnede linjer i energisystemets udvikling, for derved at identificere eventuelle brændpunkter som bør undersøges nærmere. Med Baggrund i problemanalysen dannes udgangspunktet for den problemformulering som er nærværende speciales omdrejningspunkt.

1.1 Klimaforandringer og globale politiske initiativer

Dette afsnit redegør kort for klimaforandringernes udfordringer samt de globale politiske initiativer som klimaudfordringernes realitet har medført. Afsnittet skal ses som en indledende tekst som danner grundlag for den videre analyse. Der fokuseres i dette afsnit på klimaudfordringer og klimapolitik i et globalt perspektiv.

Klimaforandringerne kan ses ved stigninger i jordens gennemsnitlige temperatur. Temperaturstigningerne er en effekt af den såkaldte drivhuseffekt, hvor en stigende mængde af energi samles under jordens atmosfære, hvorved klodens temperatur stiger. En simpel forklaring herfor er, at Solens stråler sendes gennem jordens atmosfære, hvor halvdelen absorberes af jordens overflade mens resten reflekteres ud i rummet eller absorberes i atmosfæren. Energien på jordens overflade omdannes til varme i form af vanddamp eller varmestråling som stiger op mod atmosfæren. Atmosfæren består delvist af drivhusgasser som sender varmen tilbage mod jorden. I et stabilt klimasystem er der sammenhæng mellem den energi som kommer til jorden via solstråler og den energi som forlader jorden og atmosfæren som varme. Hvis koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren øges, stiger drivhuseffekt hvormed temperaturen på jorden stiger. (DMI, 2012)

Drivhusgasserne udgøres af flere forskellige gasser, hvor de vigtigste er kuldioxid (CO₂), vanddamp (H₂O), metan (CH₄), ozon (O₃) og lattergas (N₂O). Gasserne virker forskelligt på drivhuseffekten, hvorfor nogle gasser vægtes højere end andre. For eksempel er 1 CH₄ lig med 25 CO₂ mens 1 N₂O er ækvivalent med 298 CO₂. Disse beregningsfaktorer er opgjort af IPCC og anvendes til at vurdere et projekts samlede drivhusgasudledning i CO₂ ækvivalent. (Energistyrelsen, 2016a)

IPCC (Intergovernmental panel on climate change) er et international videnskabeligt organ nedsat af FN i 1988. IPCC's formål er at tilvejebringe videnskabelig information om klimaforandringer til brug for beslutningstagere verden over. I IPCC rapporten "Climate Change 2013: The physical science basis", fastslås at temperaturstigningerne er en reel udfordring. Det ses bl.a. ved opvarmning af atmosfæren, havet, stigende vandstande og øget koncentration af drivhusgasser. Rapportens analyser viser også at de sidste tre årtier har været gradvist varmere end nogen andre årtier siden 1850. (IPCC, 2013) Den menneskeskabte påvirkning på drivhuseffekten som er medvirkende til den globale opvarmning kan spores tilbage til 1830'erne, hvor industrialiseringen begyndte. (Jex, 2016)

Den globale bevidsthed og anerkendelse af klimaforandringer og nødvendigheden af at nedbringe udledningen af drivhusgasser har medført et øget fokus på at reducere behovet for fossile brændsler mod en øget anvendelse af vedvarende energi. (Quartz+Co, 2015) Denne globale anerkendelse af klimaudfordringerne har betydet store tværnationale energipolitiske aftaler, hvor aftaleparterne forpligter sig på at arbejde mod den grønne omstilling. I 1992 på FN's Rio topmøde faldt den første aftale på plads om at stabilisere atmosfærens koncentration af drivhusgasser. Aftalen er FN's rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC) og blev underskrevet af 154 nationer og trådte i kraft i 1994. Siden er der årligt afholdt COP topmøder hvor de 154

nationer som er medlem af konventionen deltager. (UNRIC, 2017) Som tillæg til UNFCCC blev Kyotoprotokollen vedtaget i 1997 som den første aftale med juridisk bindende målsætninger for landes udledning af drivhusgasemissioner. Den overordnede målsætning var, at reducere drivhusgasudledningerne med 5 % i ilande i forhold til 1990. Kyotoaftalen var kompliceret da landenes bindende målsætninger samt metode til at opfylde målsætningen ikke var ens. Målsætningen kunne for eksempel løses ved at plante skove eller betale andre lande for at reducere deres udledning af drivhusgasser. EU valgte at forpligte sig til at reducere drivhusgasserne med 8 % i forhold til 1990 samlet for EU's medlemslande. Danmark målsætning blev at reducere drivhusgasudledningerne med 21 % i forhold til Danmarks udledning i 1990. (UNFCCC, 2014)

De deltagende lande var bl.a. EU's medlemslande, USA, Australien, Rusland, Japan og Canada. Før aftaler kan træde i kraft skal landene i sine respektive parlamenter ratificere aftalen. (UNFCCC, 2014) Rusland ratificerede aftalen i 2004, hvorefter aftalen trådte i kraft i 2005 for perioden 2008 til 2012. USA er det eneste land som ikke ratificerede aftalen, hvorfor de ikke forpligtede sig til at opfylde aftalens målsætninger. Kyotoprotokollen omfatter kun bindende målsætninger for ilande, hvorfor lande som Kina og Indien ikke er bundet til at reducere drivhusgasudledninger da de har status som uland. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2013)

Da aftalen skulle genforhandles i Doha i 2012 valgte 37 lande at forpligte sig til at reducere drivhusgasemissionerne yderligere i perioden 2013 til 2020. EU landene forpligtede sig til at reducere drivhusgasemissionerne med 20 % i forhold til 1990. Enkelte lande som Canada, Japan, New Zealand og Rusland som ikke ønskede at forpligte sig igen, hvilket formentlig skyldes USA's manglende deltagelse i den første periode. (UNFCCC, 2012)

Senest er Paris aftalen fra COP21 trådt i kraft på rekordtid i forhold til tidligere tværnationale aftaler. Aftalen indeholder dog ingen juridisk bindende målsætninger om at reducere udledningen af drivhusgasser. Derimod forpligtes landene til at udarbejder nationale klimaplaner for, hvordan udledningen af drivhusgasser kan reduceres. Kyotoprotokollens målsætninger og forpligtelser var mere konkrete men de lande som var omfattet af aftalen dækkede ca. 15 % af de globale drivhusgasudledninger. Til sammenligning er der 189 lande som har fremlagt klimaplaner som samlet dækker ca. 95 % af de globale drivhusgasudledninger. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016a) Paris aftalen kan ved første øjekast virke ligegyldig fordi aftalen ikke omfatter konkrete målsætninger eller handlingsplaner for klimaudfordringerne. Men Paris aftalen kan vise sig at være vigtig fordi de deltagende landes medvirken er et udtryk for en anerkendelse af klimaudfordringerne, hvilket er grundlaget for at udvikle aftaler med konkrete målsætninger til at løse klimaudfordringerne.

1.2 EU's og Danmarks energipolitiske målsætninger

Dette afsnit redegør for Danmarks energipolitiske målsætninger. Danmark er som medlemsland af EU i høj grad styret af de beslutninger som træffes i EU systemet, hvorfor dette afsnit indledes med en redegørelse for EU's energi- og klimapolitiske målsætninger for 2020, 2030 og 2050.

Danmark er som medlemsland i EU forpligtet til at opfylde de forordninger og direktiver som vedtages i EU. Det værende forordninger om miljømæssige hensyn eller direktiver med energipolitiske målsætninger og retningslinjer. Herudover har EU bl.a. vedtaget lovgivning om forsyningssikkerhed, energieffektivitet, et indre marked for energi i form af gas og el samt CO₂-kvotehandling. (europa.eu, 2017)

EU's energi- og klimapolitik blev i 2007 vedtaget med tre primære områder som er: (EU-Oplysningen, Læst 2017)

- Bedre forsyningsikkerhed
- Bekæmpe klimaforandringer
- Styrke konkurrenceevnen

Forsyningsikkerheden omhandler, at EU vil arbejde mod at være selvforsynende mellem EU's medlemslande. Bekæmpe klimaforandringerne omhandler, at reducere udledning af drivhusgasser og fremme anvendelsen af vedvarende energi. EU's konkurrenceevne skal styrkes ved øget handel med energi på det indre marked, hvorved de europæiske borgere kan opnå billigere energipriser. Herudover handler konkurrenceemnet om at EU styrkes globalt ved at "tale med én stemme", således at EU står stærkere i forhandlinger med eksempelvis USA og Kina. (EU-Oplysningen, Læst 2017)

EU har sat politiske energi- og klimamål for årene 2020, 2030 og 2050. Disse danner rammen for de forordninger og direktiver som vedtages og som EU's medlemslande er forpligtet til at arbejde for.

Målsætningerne er gældende for EU som helhed. Nogle af målene vil forblive på EU-plan mens andre mål pålægges medlemslandene individuelt. Denne byrdefordeling tager hensyn til landenes individuelle forhold som niveau for drivhusgasudledning, reduktionsmuligheder og økonomiske situation. I Tabel 2 er Danmarks energipolitiske målsætninger listet. (Energi-, Forsynings- og klimaministeriet, 2013) I nedenstående Tabel 1 ses EU's målsætninger for 2020, 2030 og 2050. (Europa-parlamentet, 2016a)

EU's energi- og klimapolitiske målsætninger	
2020 målsætning (Vedttaget i 20/20/20 planen i 2007)	Reduktion af drivhusgasemissioner med min. 20 % ift. 1990
	20 % energi fra vedvarende energi
	20 % forbedring af energieffektiviteten
2030 målsætning (Det europæiske råd vedtog målene i 2014. Målet for energieffektivitet tages dog op til revision i 2020)	Reduktion af drivhusgasemissioner i EU med mindst 40 % ift. 1990.
	Mindst 27 % energi fra vedvarende energi
	27-30 % forbedring af energieffektiviteten
2050 målsætning (Kommissionen har udarbejdet en køreplan med scenarier for 2050 om hvordan målet kan indfries.)	80-95 % reduktion af drivhusgasemissioner i EU i forhold til 1990

Tabel 1 EU's energi- og klimapolitiske målsætninger for år 2020, 2030 og 2050 (EU-Oplysningen, 2016) (Det Europæiske Råd, 2014)

Til at nå 20/20/20 planen med de tre målsætningerne for år 2020 har EU vedtaget en række direktiver. Det er bl.a. Direktivet om fremme af vedvarende energi og Direktivet om energieffektivitet. Direktivet om energieffektivitet trådte i kraft i 2012 og indeholder en række krav som medlemslandene skal leve op til. Det er f.eks. renovering af statslige bygninger, regelmæssige energitilsyn af virksomheder og udarbejdelse af nationale strategier for energieffektivitet (Europa-parlamentet, 2016b). Direktivet om fremme af vedvarende energi trådte i kraft i 2009 og indeholdte et bindende mål om at 20 % af energien skal være vedvarende energi. Herudover blev det i direktivet bestemt 10 % af brændstofferne i transportsektoren skal stamme fra vedvarende energi. (Europa-parlamentet, 2016c)

EU er med 2030 målsætningernes vedtagelse i 2014 blevet enige om en strategi for energipolitikken i perioden 2021-2030. Målsætningerne kan ses som en videreførelse af 20/20/20-planen og et skridt mod at opnå den langsigtede 2050 målsætning. Som vist i ovenstående Tabel 1 er der tre målsætninger for 2030. Den første målsætning for reduktion af drivhusgasser omhandler EU's samlede reduktion af drivhusgasser ift. 1990. Målet er delt således at drivhusgasemissioner indenfor kvotesektoren skal reduceres med 43 % ift. 2005 mens drivhusgasemissioner udenfor kvotesektoren skal reduceres med 30 % ift. 2005. De 30 % er fælles for alle EU's medlemslande og opnås ved, at hvert medlemsland pålægges et individuelt mål efter byrdefordelingsprincippet baseret på landets BNP. (Klimarådet, 2016) Målet om andel på 27 % vedvarende energi i EU er et bindende mål, men det er kun gældende for EU som helhed. Kommissionen har hertil givet udtryk for, at målet om reduktion af drivhusgasser vil medvirke til at indfri målet om vedvarende energi. (Europa-parlamentet, 2016c) Det sidste mål for 2030 om mindst 27 % forbedret energieffektivitet er et vejledende mål som tages op til revision i 2020. (Det Europæiske Råd, 2014)

De energipolitiske målsætninger som har betydninger for Danmark er vist i Tabel 2. Det ses at Danmarks politiske målsætninger for energiområdet er styret af de aftaler der laves på EU-niveau. Målene for reduktion af drivhusgasemissioner er delt i kvotesektoren og ikke-kvotesektoren. Kvotesektoren reguleres gennem ETS (Emission Trading System), hvilket er nærmere beskrevet i afsnit 1.5. Der er ikke et nationalt mål for reduktion af drivhusgasemissioner i kvotesektoren. Ikke-kvotesektoren er derimod et nationalt mål som Danmark er tildelt på baggrund af byrdefordeling. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016b) I 2020 skal Danmarks andel af vedvarende energi være 30 % af det samlede energiforbrug, hvilket er højere end de 20 % som er EU's samlede målsætning. I 2005 udgjorde vedvarende energi en andel på 17 %. (EU-Oplysningen, 2016) i 2020 er der som beskrevet tidligere og vist i Tabel 2 også mål for, at andelen af vedvarende energi i transportsektoren skal være mindst 10 %.

Danmarks energipolitiske målsætninger	
EU's 2020 målsætninger	20 % reduktion af drivhusgasemissioner i 2020 ift. 2005 i den ikke-kvotebelagte sektor.
	30 % energi fra vedvarende energi i 2020
	10 % vedvarende energi i transportsektoren i 2020
EU's 2030 målsætninger	Ikke færdigforhandlet men klimarådet forventer 36-40 % reduktion af drivhusgasser ift. 2005
Klimalov	Lavemissionssamfund i 2050

Tabel 2 Danmarks bindende energipolitiske målsætninger (Energistyrelsen, Læst 2017a) (Klimarådet, 2016)

Målsætningerne for Danmarks energipolitik efter 2020 er som det ses i Tabel 2 ikke mange. EU kommissionen har i sit indledende udspil vurderet at Danmarks 2030 målsætning for reduktion af drivhusgasser bør være 39 % ift. 2005. Dette mål er dog endnu ikke forhandlet færdigt. Den nuværende regering (Venstre, Liberal Alliance og Konservative) har en ambition om at Danmark i 2050 skal være et lavemissionssamfund som efter sigende er et samfund baseret på vedvarende energi. Ambition støtter op om EU's langsigtede mål om at reducere drivhusgasemissionerne med 80-95 % 2050. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, Læst 2017)

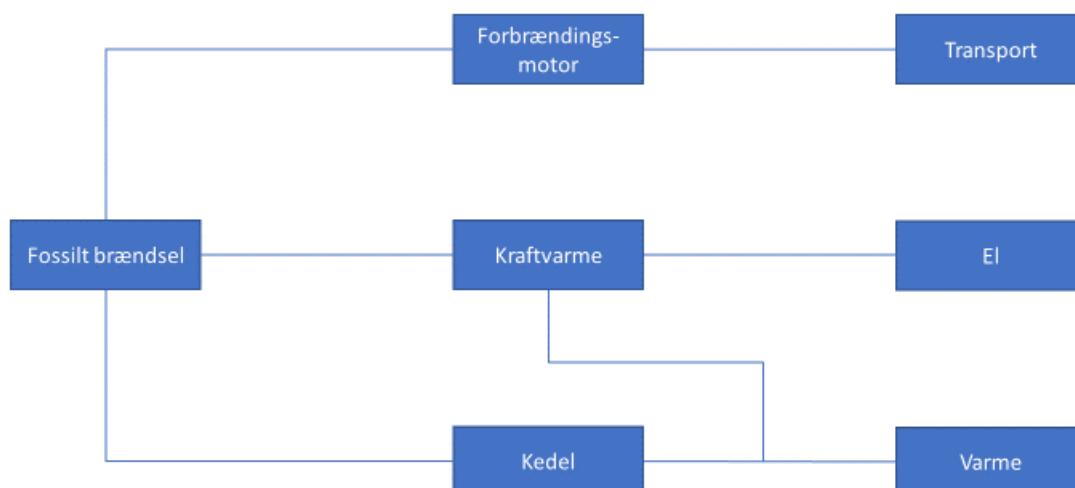
1.3 Danmarks energisystems udvikling mod Smart Energy System

Dette afsnit redegør for indledningsvist for Danmarks energisystems udvikling fra fossilt brændsel til vedvarende energi. Hertil redegøres der for Danmarks nuværende anvendelse af vedvarende energi i sektorerne el, varme og transport. Ydermere redegøres der for, hvorfor det moderne energisystem bør betragtes som en holistisk enhed fremfor enkelte sektorer.

Det danske energisystems opbygning er historisk baseret på fossilt brændsel som værende den primære energikilde. Fossilt brændsel anvendes til produktion af både varme, elektricitet og som drivmiddel i transportsektoren. Frem til oliekrisen i 1970'erne var det hovedsageligt olie som blev anvendt til produktion af varme og el. Oliekrisen blev en mindre samfundsmæssig krise, hvilket medførte flere tiltag såsom bilfrie søndage og mindre gadebelysning for at reducere olieforbruget. Hertil kom der et politisk fokus på den danske energipolitik som bl.a. betød, at størstedelen af de danske kraftværker blev omstillet til kraftvarmeværker baseret på kul i stedet for olie. Ligeledes begyndte der en politisk interesse for at reducere det samlede energiforbrug, hvilket medførte udbygning af fjernvarme, for derved at reducere olieforbruget til individuel opvarmning. Senere i 1980'erne blev naturgasnettet udbygget med 20.000 km stål- og plastrør. I dag er der ca. 400.000 husstande tilkoblet naturgasnettet samt ca. en tredjedel af alle virksomheder. I denne fase af den energipolitiske historie handlede energipolitikken om at opnå en høj grad af forsyningsikkerhed og lave energipriser. (Quartz+Co, 2015)

Danmark har de seneste mange år arbejdet på, at ændre energisystemet mod at være mindre afhængig af fossile brændsler og øge anvendelsen af vedvarende energi. Politisk er der 3 målepunkter på omstillingen som er at reducere udledningen af CO₂ emissioner, øge andelen af vedvarende energi og reducere det samlede energiforbrug. (Quartz+Co, 2015) I et energisystem baseret på fossilt brændsel kan der produceres energi efter samfundets behov. I et energisystem baseret på fluktuerende vedvarende energi produceres energien når de naturlige forhold som vind, sol og bølger tillader det. Derfor kræver omstillingen af energisystemets primære energi, at energisystemet i sin helhed ændres mod et mere holistisk system, hvor energisektorerne integreres på tværs så energien enten flyttes imellem sektorer eller lagres i f.eks. varmtvands-tanke. (Aalborg Universitet, 2015)

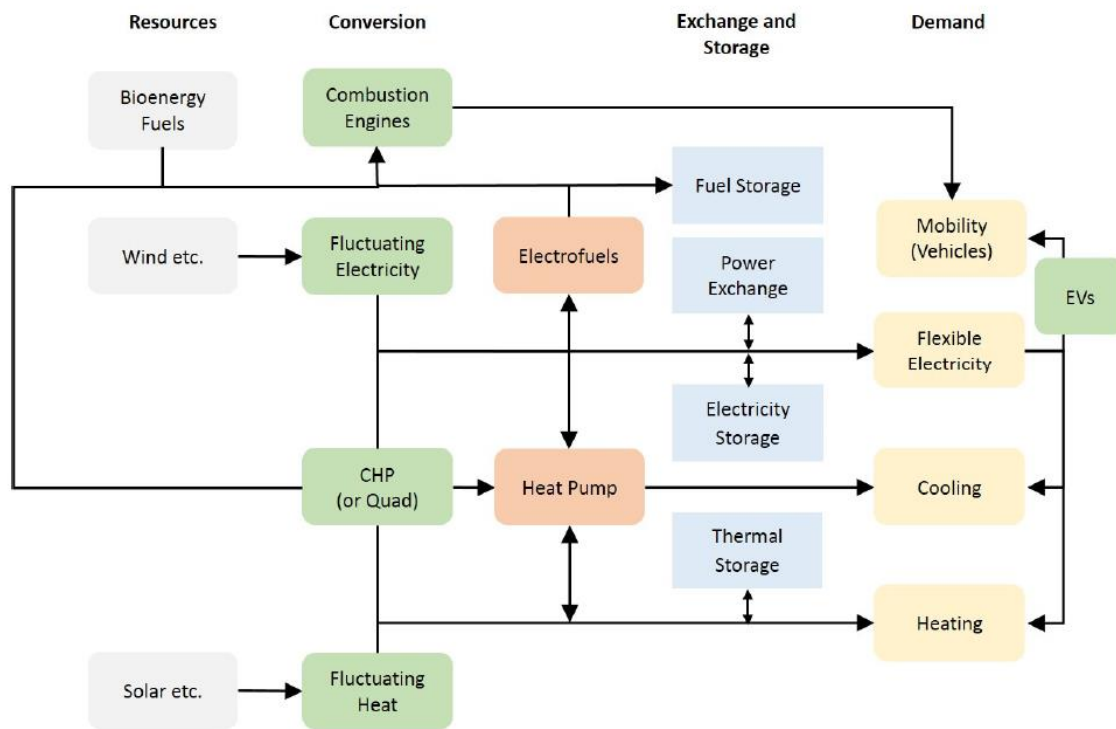
På nedenstående Figur 1 ses en model af energisystemet som det meget simplificeret kan se ud, når energisystemet alene er baseret på fossilt brændsel. Figur 1 viser til venstre den primære energi som i dette tilfælde er fossilt brændsel. I midterste kolonne ses konverteringsmetoden til at omdanne den primære energi til forbrugsenergi. Særligt for Danmark er, at energisystemet er opbygget af mange decentrale kraftvarmeanlæg, fjernvarmeanlæg og få centrale kraftvarmeanlæg. I øvrigt anvendes der flere konverteringsmetoder såsom kraftværker som alene producerer el samt kedler og turbiner som alene producerer varme. I tredje kolonne er samfundets behov af energien vist ved sektorerne transport, el og varme. Det bemærkes, at der er en lav grad af fleksibilitet i energisystemet. De fossile brændsler konverteres når der er et behov i en af sektorerne. Kun i konvertering med kraftvarme er der tegn på fleksibilitet.



Figur 1 Model af energisystemet baseret på fossile brændsler. Fossile brændsler er det primære energikilder som konverteres til samfundets behov som er el, varme og transport.

I dag er vedvarende energi integreret i energisystemets energiproduktion i form af vindenergi, solenergi, vandkraft, biogas og biomasse. Hertil kommer, at samhandlen på elmarkedet med de omkringliggende lande medvirker en bedre udnyttelse af vedvarende energi hvormed fossilt brændstof fortrænges. Det skyldes, at Danmarks periodiske overskud af elproduktion ved vindenergi kan udnyttes af andre lande, mens Danmark får del i elproduktionen fra Norges og til dels Sveriges vandkraft. (Energistyrelsen, 2017a)

Konceptet Smart Energy System er vist på Figur 2 og er et bud på, hvordan energisystemet kan se ud, uden at anvende fossile brændsler men samtidig opfylde samfundets behov vist ved sektorerne transport (Mobility), el (Flexible electricity), varme (Heating) og køling (Cooling). Fossilt brændsel er i sig selv et fleksibelt brændsel, da det kan lagres på ubestemt tid og anvendes når behovet opstår. Bioenergi har de samme egenskaber som fossilt brændsel men er en knap ressource, hvorfor en af de primære udfordringer er, at undgå et overforbrug af bioenergi og miste en del af fleksibiliteten på ressourcesiden. Den fluktuerende energi er ikke fleksibel og kan ikke styres men skal udnyttes og lagres når den er til stede. I konverteringsfasen på Figur 2 udnyttes energien på tværs af sektorerne ved hjælp af varmepumper eller lagres som varme, el eller brændsel, hvilket skaber en højere grad af fleksibilitet i energisystemets konverteringsfase. Sektorerne transport, el og varme er også forbundet, hvormed fleksibiliteten i denne fase også er tilstede. Flexibiliteten ses bl.a. på transportsektoren som er baseret på el (EV's) og bioenergi som konverteres med en forbrændingsmotor. Herudover er der basis for electrofuels som er en fællesbetegnelse for brændstof produceret af brint og kulstof fra f.eks. biogas eller biomasse. (Aalborg Universitet, 2015)

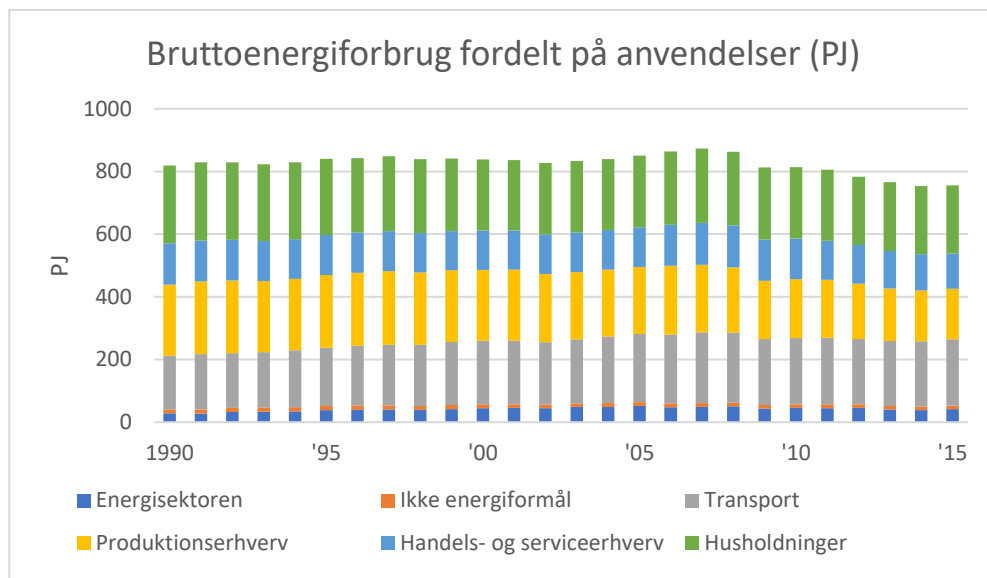


Figur 2 Model af konceptet Smart Energy System baseret på vedvarende energiformer fra bioenergi, vind og sol. Energien konverteres og lagres mellem sektorerne. (Aalborg Universitet, 2015)

Smart Energy System konceptets fleksibilitet er afhængig af en veludbygget energiinfrastruktur. Det er bl.a. nødvendigt med et veludbygget elnet, således at varmepumper og elbiler kan udnytte el, hvor der er behov for det. Ligeledes skal varmepumperne være i forbindelse med et fjernvarmenet som kan aftage varme eller lagre varmen i varmtvandstanke. Gasnettet skal også forbindes til et elnet og fjernvarmenet, hvormed gasnettet kan udnyttes som lager for både transportsektoren, varme og elsektoren. (Aalborg Universitet, 2015)

1.4 Danmarks energiforbrug

Det samlede energiforbrug i Danmark kan beregnes som det faktiske energiforbrug og det korrigerede bruttoenergiforbrug. Det faktiske energiforbrug var i 2015 720 PJ og er det energiforbrug Danmark havde i 2015. Det korrigerede bruttoenergiforbrug er en korrigeret af det faktiske energiforbrug, hvor der tages højde for årets vejrmæssige forhold samt udenrigshandel med el. Bruttoenergiforbruget kan i højere grad end det faktiske energiforbrug bruges til at beskrive udviklingen i Danmarks energiforbrug over tid. I 2015 var det korrigerede energiforbrug på 756 PJ, hvilket er en stigning på 0,3 % i forhold til 2014. I 2015 udgjorde vedvarende energi 30 % af Danmarks endelige energiforbrug. Det er svarende til EU's målsætning om at 30 % af det endelige energiforbrug skal udgøres af vedvarende energi i 2020. (Energistyrelsen, 2016b)



Figur 3 Bruttoenergiforbrug i PJ fordelt på anvendelser (Energistyrelsen, 2016b)

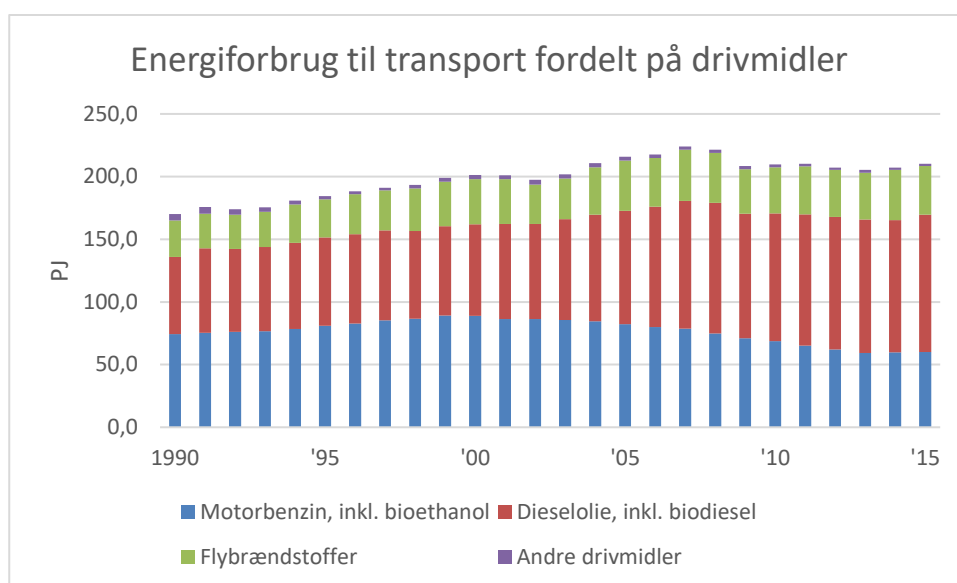
På Figur 3 ses det danske bruttoenergiforbrug fordelt på anvendelser. Det ses på Figur 3, at det samlede bruttoenergiforbrug er faldet siden 1990. Det største fald i det samlede bruttoenergiforbrug skete mellem år 2008 og 2009, hvilket formentlig er en effekt af finanskrisen. Det ses også, at udviklingen mellem år 2008 og 2009 sker efter bruttoenergiforbruget har været på sit højeste i 2007. I 2007 var det samlede bruttoenergiforbrug på 873 PJ. (Energistyrelsen, 2016b)

Produktionserhvervenes energiforbrug er siden 1990 reduceret med 28,7 % og er det anvendelsesområde som er reduceret mest. Handels- og serviceerhvervenes bruttoenergiforbrug reduceret siden 1990 med ca. 15 %. Ses der på udviklingen siden 2010, hvor finanskrisen har gjort sit indtog er både produktionserhvervene og handels- og serviceerhvervenes bruttoenergiforbrug faldet med ca. 14 %. Bruttoenergiforbruget til husholdninger omfatter både el og varmemeforbrug. Husholdningernes bruttoenergiforbrug er siden 1990 reduceret med ca. 12 %. Faldet skyldes bl.a. at flere husholdninger er skiftet fra individuel olieopvarmning til kollektivopvarmning som fjernvarme og naturgas. De seneste 3-4 år er bruttoenergiforbruget dog stagneret til ca. 218 PJ årligt. Energisektoren omfatter indvinding af råstoffer fra boreplatforme og raffinaderier. Denne sektor udgør en mindre del af det samlede billede, men bruttoenergiforbruget er dog siden 1990 steget med ca. 50 %. Ses der på transportsektoren er det den eneste sektor udover energisektoren, hvor bruttoenergiforbruget er steget siden 1990. Bruttoenergiforbruget i transportsektoren er siden 1990 steget med 23 %. (Energistyrelsen, 2016b)

1.4.1 Transportsektorens energiforbrug

Fokuseres der på endeligt energiforbrug i Danmark udgør transportsektoren i 2015 ca. en tredjedel af Danmarks samlede endelige energiforbrug. Det endelige energiforbrug er energiforbrug ved slutbrugeren, hvilket betyder at energiforbrug til produktionen, udvinding og raffinering af energi samt tab i konverteringsfasen er udelukket. Det endelige energiforbrug i forhold til bruttoenergiforbruget kan derfor være en indikation på effektiviteten i energisystemet. Derudover kan det endelige energiforbrug være udtryk for, hvilke sektorer der vejer tungest i anvendelsen af energi. (Energistyrelsen, 2017a)

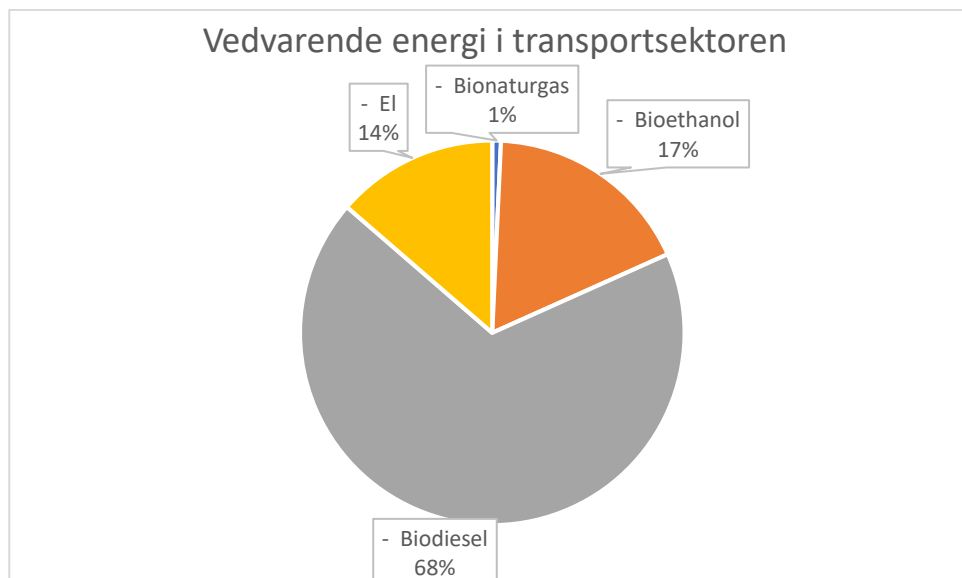
Transportsektoren omhandler i denne sammenhæng vejtransport, jernbanetransport, indenrigsluftfart og udenrigsluftfart som tankes i Danmark, indenrigssøfart og forsvarrets transport. I 2015 udgjorde vejtransporten ca. 75 % af energiforbruget mens alt luftfart udgør 19 %, hvoraf kun 3 % er indenrigsluftfart. Ses der alene på vejtransport udgør personbiler 63 % af energiforbruget, varebiler 18 % og lastbiler 14 %. De sidste 5 % udgøres af busser og motorcykler. (Energistyrelsen, 2017a)



Figur 4 Endeligt energiforbrug i transportsektoren i perioden 1990 til 2015 fordelt på Motorbenzin (inkl. bioethanol), dieselolie (inkl. biodiesel), flybrændstoffer og andre drivmidler. (Energistyrelsen, 2016b)

På Figur 4 ses transportens fordeling af drivmidler. Det ses at det samlede energiforbrug i transportsektoren i perioden frem til 2008 er stigende. I 2009 faldt energiforbruget, hvilket formentlig er en effekt af finanskrisen. 2009 til 2015 er nogenlunde stabilt dog ses i forhold til, at biodiesel og bioethanol er inkluderet i henholdsvis dieselolie og motorbenzin. Energiforbruget til transport er siden 1990 steget med 23,4%. I 2015 var det samlede energiforbrug i transportsektoren på 210,1 PJ. (Energistyrelsen, 2016b)

De fossile brændsler udgør i alt 95 % af transportsektorens energiforbrug. De sidste 5 procent udgøres af vedvarende energi. De 5 % vedvarende energi er fordelt på el, biogas, bioethanol og biodiesel. Andelen af elbiler er knap 0,3 %, hvorfor elforbruget som vist på Figur 5, hovedsageligt udgøres af jernbanernes elforbrug. (Energistyrelsen, 2016b)



Figur 5 Fordeling af vedvarende energikilder i transportsektoren målt på energiindhold. Det er forudsat at alt transport på naturgas er bionaturgas. Figuren er baseret på baggrundsdata til energistyrelsens energistatistik 2015. (Energistyrelsen, 2016b)

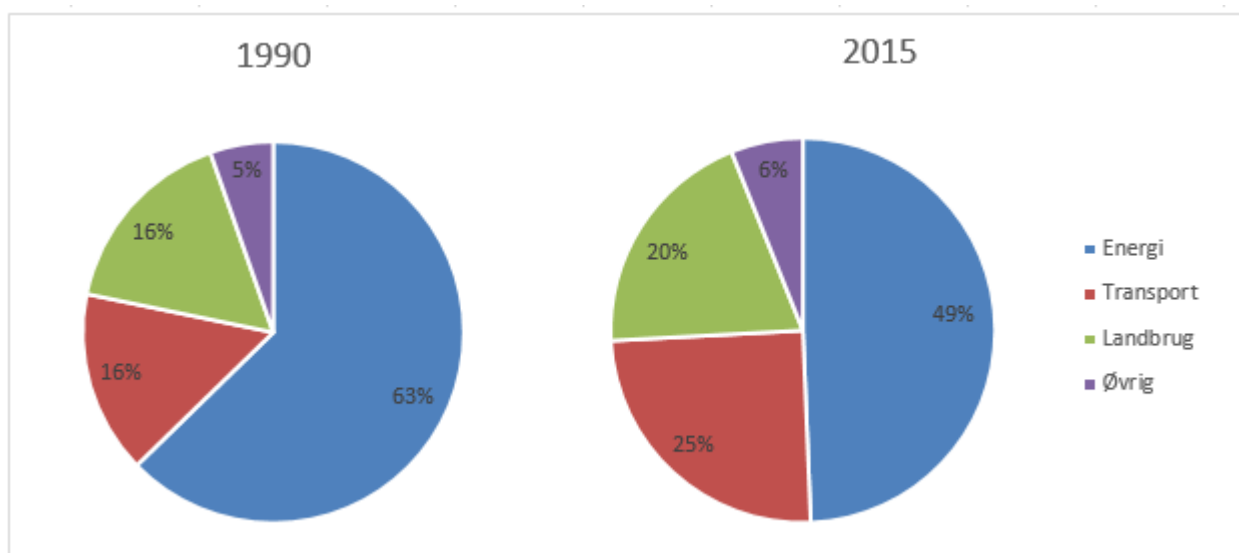
Diesel udgjorde i 2015 62,5 % af det samlede energiforbrug i vejtransporten og er dermed det mest anvendte drivmiddel til vejtransport. (Energistyrelsen, 2016b) Det er en af grundene til, at biodiesel udgør den største del af de 5 % vedvarende energi. Herudover iblandes en større andel biodiesel i diesel (B7) end bioethanol i benzin (E5). Mængden af iblanding af biobrændstoffer er styret af mineralolieafgiftsloven og biobrændstofferloven som er beskrevet nærmere i afsnit 6.3. Bionaturgas er opgraderet biogas som blandes med almindelig naturgas i naturgasnettet. Når et køretøj tankes med gas købes biogascertifikater, hvorved mængden af biogas registreres. Biogas som drivmiddel samt Biogascertifikatordningen er beskrevet nærmere i afsnit 7.2.2.

1.5 Drivhusgasemissioner i Danmark

Danmark udledte i 2015 drivhusgasser svarende til 51,9 mio. tons CO₂ ækvivalent, hvilket set ift. 1990 som ofte er referenceåret, er svarende til en reduktion på 27 % for de samlede udledninger i Danmark. (Energistyrelsen, 2017a)

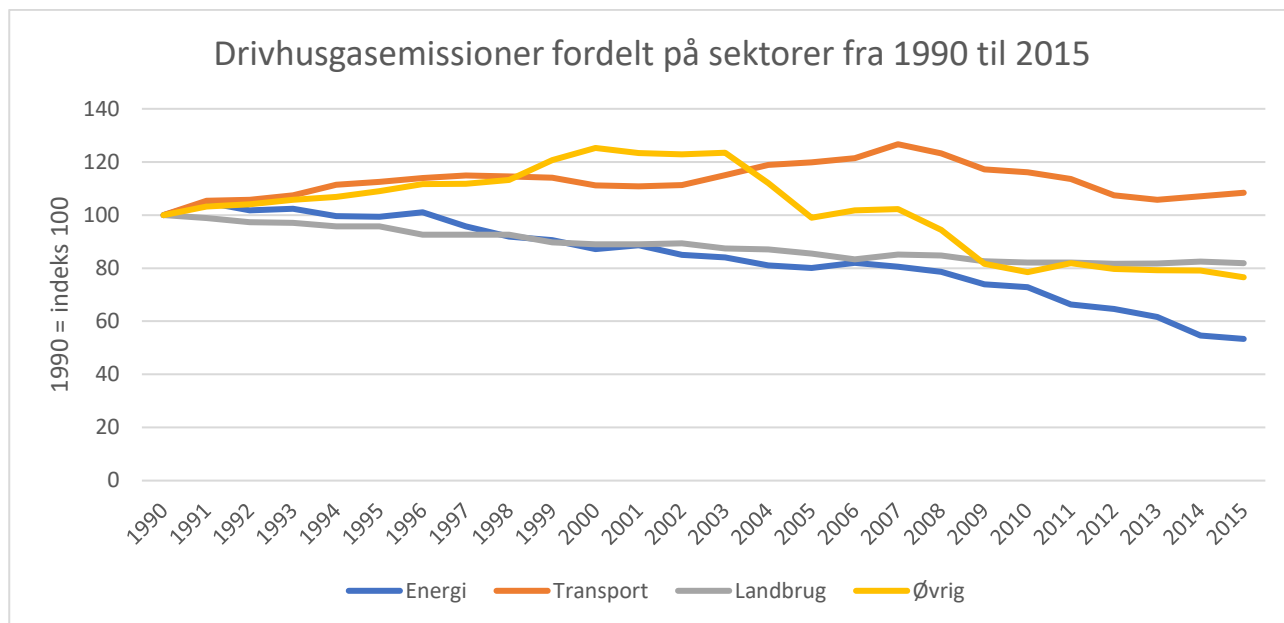
Udledning af drivhusgasemissioner opdeles i kvoteomfattet og ikke-kvoteomfattede sektorer som beskrevet i afsnit 1.2. Kvotesystemet blev introduceret i 2005 og regulerer udledningen af drivhusgasser i EU. Systemet er et 'cap and trade' system, hvor der er sat et loft for den samlede udledning af drivhusgasemissioner for de virksomheder som er en del af systemet. En kvote er en tilladelse til, at en virksomhed kan udlede drivhusgasemissioner svarende til 1 ton CO₂. Hvis en virksomhed udleder mindre CO₂ end virksomheden har tilladelse til via kvoter, kan virksomheden sælge sine kvoter til en anden virksomhed eller gemme kvoterne til senere anvendelse. Hermed gives 1 tons CO₂ en markedsværdi. Hvert år sendes nye kvoter på kvotemarkedet men andelen reduceres med 1,74 %, hvormed hele kvotesektoren over tid vil imødekomme målsætningerne for udledning af drivhusgasemissioner i EU. (European Commission, 2015) Udledningen af drivhusgasemissioner i kvotesektoren udgør ca. 40 % af de samlede udledninger i EU. De resterende drivhusgasemissioner omtales ofte som de ikke-kvoteomfattede sektorer og omfatter transport, landbrug, individuel opvarmning i bygninger, affaldsforbrænding, håndtering af deponier og spildevand mv. (Energistyrelsen, Læst 2017b)

I den ikke-kvoteomfattede sektor, som Danmarks målsætning om 20 % reducere af drivhusgasemissioner omhandler, er udledningen af drivhusgasemissioner i 2014 reduceret med 18,4 % ift. 2005. (Energistyrelsen, 2016b)



Figur 6 Danmarks samlede drivhusgasemissioner fordelt på sektorerne energi, transport, landbrug og øvrige i 1990 og 2015. (Øvrig: industrigasser, ikke-energirelaterede procesudledninger fra affald og spildevand). (Energistyrelsen, 2017)

På Figur 6 ses den samlede udledning fordelt på sektorerne energi, transport, landbrug og øvrig i 1990 og 2015. Energisektoren - herunder raffinaderier, el og varmeproduktion samt husholdningers og erhvervets energiforbrug – står for 49 % af den samlede danske udledning i 2015 mens energisektoren i 1990 stod for hele 63 % af den samlede drivhusgasudledning. Ses der på transportsektorens energiforbrug i 1990 stod den blot for 16 % af den samlede udledning af drivhusgasser. I 2015 udgør transportsektoren en større andel af de samlede drivhusgasemissioner end i 1990, svarende til 25 %. I landbrugssektoren er andelen af drivhusgasudledningen øget 4 % fra 1990 til 2015. I de øvrige sektorer udgøres ca. den samme andel af drivhusgasudledningerne i 1990 som i 2015.



Figur 7 Udviklingen i Danmarks udledning af drivhusgasemissioner i perioden 1990 til 2015 fordelt på sektorerne energi, transport, landbrug og øvrig. (Øvrig: industrigasser, ikke-energirelaterede procesudledninger fra affald og spildevand) (Energistyrelsen, 2017a)

På Figur 7 ses drivhusgasemissionernes udvikling for hver sektor i perioden 1990 til 2015. I denne periode er den samlede udledning af drivhusgasemissioner, som beskrevet, reduceret med 27 %. Det ses at transportsektoren er den eneste sektor som udgør en større udledning i 2015 end i 1990. Transportsektoren havde en negativ kurve fra 2007-2008, hvilket formentlig skyldes finanskrisen. Det ses dog også, at transportsektorens udledning af drivhusgasemissioner de seneste år har været stabil og let stigende. Energisektorens og landbrudssektorens udledning af drivhusgasemissioner har siden 1990 været støt faldende, hvor energisektoren nærmer sig en halvering. De øvrige sektors udledning af drivhusgasemissioner har fem til 2003 været stigende men har siden 2008 været under niveauet i 2008. De seneste år har udledningen i de øvrige sektorer været stabil til let faldende.

1.6 Konklusion på Problemanalyse

Den videre analyse baseres på problemanalysens betragtninger. I dette afsnit opsummeres disse betragtninger i forhold til den langsigtede målsætning om, at det danske energisystem skal baseres på 100 % vedvarende energi.

Der er global anerkendelse af, at temperaturstigninger er en udfordring og at drivhuseffekten er den primære årsag. Denne anerkendelse er baggrunden for, at den første energi- og klimapolitiske aftale med bindende målsætninger for, at reducere drivhusgasudledninger blev vedtaget i Rio i 1992. Danmark var som medlemsland i EU et af de lande som ratificerede aftalen, hvormed målsætningerne blev bindende. Den aftale var også en del af starten på at flere lande, herunder Danmark, begyndte at omstrukturere energisystemet fra at være baseret på fossilt brændsel til vedvarende energi. Siden Rio aftalen i 1992 er der indgået flere tværnationale aftaler på tværs af kontinenter. I EU er der nedsat specifikke målsætninger for andele af vedvarende energi, energieffektivitet og reducere af drivhusgasemissioner. Disse målsætninger er gældende for år 2020, 2030 og mere langsigtet 2050.

Omstillingen fra fossile brændsler til vedvarende energikilder er en udfordring som kan løses ved at se energisystemet som helhed i et Smart Energy System i stedet for at se energisystemet som enkelte sektorer. Dermed menes, at energisystemet skal være mere fleksibelt end hidtil, hvor de vedvarende energikilder kan flyttes mellem sektorerne.

Danmarks målsætninger for 2020 omhandler 20 % reducere af drivhusgasemissioner udenfor kvotesektoren ift. 2005, 30 % andel af vedvarende energi og 10 % vedvarende energi i transportsektoren. Ses der på reducere af drivhusgasser er de i 2014 reduceret med 18,4 % ift. 2005. Dermed er der et fornuftigt grundlag for, at denne målsætning kan opnås i 2020. EU's målsætning om at andelen af vedvarende energi i hver medlemsstat i 2020 skal udgøre 30 % af det endelige energiforbrug er umiddelbart opnået i 2015.

Transportsektorens målsætning er bindende og en del af EU direktivet om fremme af vedvarende energi. Målsætningen er, at vedvarende energikilder skal udgøre 10 % af energiforbruget i transportsektoren i 2020. Som vist i Figur 4 udgør andre drivmidler end diesel og benzin en minimal andel af det samlede energiforbrug. Ligeledes ses der ikke nogen tendens for, at andelen er steget de seneste år. Inkluderes biobrændstofferne andel i benzin og diesel i det samlede regnskab for vedvarende energi udgør vedvarende energi ca. 5 % af det samlede energiforbrug i transportsektoren. Transportsektoren udgør en større andel af de samlede drivhusgasemission i 2015 end i 1990. Hertil er transportsektoren den eneste sektor som udleder flere drivhusgasser i 2015 end i 1990.

Danmarks 2030 målsætning om 36-40 % reducere af drivhusgasemissioner udenfor kvotesektoren i forhold til 2005 virker umiddelbart ambitiøst. Transportsektoren er en del af den ikke-kvoteomfattede sektor, hvorfor en omstilling mod at opnå transportsektorens 2020 målsætning om 10% vedvarende energi kan være en del af løsningen for at opnå 2030 målsætningen.

2. Problemformulering

Problemanalysen viste, at transportsektorens drivmidler i høj grad udgøres af fossile brændsler. Ydermere er transportsektoren den del af energisystemet, hvor der endnu ikke ses en udvikling mod at reducere udledningen af drivhusgasemissioner. Herudover belyste problemanalysen, at der er flere politiske målsætninger for transportsektoren. Det ses på målene om reducere af drivhusgasemissioner udenfor kvotesektoren og Danmarks mål for 2020, hvor 10 % af energien i transportsektoren skal udgøres af vedvarende energi.

Omstillingen af transportsektoren er dog ikke alene interessant fordi der er målsætninger, men fordi transportsektorens udledning af drivhusgasser ikke er faldende som det ses på andre sektorer. Det essentielle er, at energisystemet udvikles i retning mod det langsigtede 2050 mål; at blive et lav emissionsamfund eller som EU målsætningen, at reducere drivhusgasemissionerne med 85-90 %.

I dette projekt er det valgt at fokusere på transportsektorens muligheder for, at udfase fossile brændsler til fordel for vedvarende energi som sektorens primære energikilde. Det er endvidere valgt at fokusere på personbiltransporten fordi denne udgør den største del af vejtransporten energiforbrug (63 %).

Denne udfordring undersøges ud fra nedenstående problemformulering og herunder 3 guidende problemstillinger:

Hvordan kan personbiler omstilles fra at være baseret på konventionelle drivmidler som benzin og diesel til alternative drivmidler?

Problemformuleringens spørgsmål er bredt, hvorfor der kan være mange svar på netop dette spørgsmål. Derfor styres besvarelsen af problemformuleringen med de 3 nedenstående problemstillinger.

1. Hvilke drivmidler er teknisk mulig at anvende som drivmiddel i personbiltransporten og i hvilken grad anvendes de i dag?
2. Hvordan er drivlinjerne stillet i et samfundsmæssigt perspektiv på kort, mellemlang og lang sigt og hvordan er drivlinjerne privatøkonomisk stillet i forhold til nuværende afgifter og regulering?
3. Hvordan kan drivlinjernes afgiftsstruktur ændres så drivlinjernes privatøkonomi afspejler resultaterne i de samfundsmæssige analyser og giver incitament til personbiltransporten omstilles til vedvarende energi?

Den første problemstilling er en screening af de drivmidler som har en teknisk mulighed for at være et alternativ til fossile brændsler. Det er her intentionen at få forståelse for hvert drivmiddels styrker og svagheder i forhold til rækkevidde, brændstofkvalitet og teknologiens modenhed. Herudover dannes et overblik over drivmidlets anvendelse i transportsektoren i dag. Hertil undersøges drivmidlernes nuværende infrastruktur i forhold til antal tankstationer/ladestationer samt tilgængelighed for personbiler. På baggrund af denne screening udvælges de drivmidler som undersøges nærmere i de næste problemstillinger.

Den anden problemstilling besvares ved tre samfundsmæssige analyser og en privatøkonomisk analyse. De tre samfundsmæssige analyser baseres på drivlinjernes samfundsøkonomi, energieffektivitet og udledning af drivhusgasemissioner for årene 2015, 2020, 2035 og 2050. I den samfundsmæssige analyse undersøges drivlinjerne fra Well-to-Wheels, fra råstoffets udvinding til anvendelse i personbilen. I den privatøkonomiske analyse undersøges drivlinjernes nuværende afgiftsstruktur og regulering.

Den tredje problemstilling er en diskussion om, hvorvidt drivlinjernes privatøkonomiske analyse afspejler de samfundsmæssige analyser. Diskussionen baseres på besvarelserne af den første problemstilling om de enkelte drivlinjer og den anden problemstilling om drivlinjernes privatøkonomiske analyse og samfundsmæssige analyser. I diskussionen inddrages den nuværende afgiftsstruktur for de enkelte drivlinjer. I besvarelsen



af den tredje problemformulering gives der anbefalinger til, hvordan incitamenter til omstillingen af personbiltransporten fra fossile brændsler til vedvarende energi kan forekomme.

Til at besvare problemformuleringen er det valgt at anvende teori om Innovativ projektvurdering. I denne teori tages højde for innovative alternative teknologiers udfordringer med at være et alternativ i et marked struktureret til konventionelle teknologier. Teorien er nærmere beskrevet i Kapitel 3 om teoretisk tilgang.

3. Teoretisk tilgang

I Dette kapitel beskrives den teoretiske tilgang til at besvare projektets problemformulering. I projektet undersøges, hvilke alternative drivmidler som kan erstatte de fossile brændstoffer som i dag driver personbiler. Den teoretiske tilgang er styrende for projektets retning og opbygning til at besvare projektets problemformulering.

I projektet er det valgt at anvende teorien om Innovativ projektvurdering, hvor innovative og alternative teknologier bl.a. sammenlignes og vurderes med konventionelle teknologier på flere samfundsrelevante parametre. Herudover lægger teorien om Innovativ projektvurdering vægt på, at markedet og dets institutionelle konstruktion er menneskeskabt, hvorfor det er tilpasset de teknologier som allerede er indlejret i markedet. Dette er umiddelbart tilfældet for personbilssektoren i Danmark, hvor markedets institutionelle konstruktion er tilpasset de konventionelle drivmidler som benzin og diesel. Med dette projekts problemformulering om, hvordan personbiler kan omstilles fra konventionelle drivmidler til alternative drivmidler, findes teorien om Innovativ projektvurdering relevant. Innovativ projektvurderings teorien er beskrevet i kapitlets første afsnit 3.1.

I underafsnittet 3.1.1 beskrives, hvordan teorien anvendes i dette projekt som den teoretiske tilgang til besvarelse af projektet problemformulering.

I det efterfølgende afsnit 3.2 beskrives de metodiske valg som er truffet for at besvare projektets problemformulering på baggrund af den teoretiske tilgang.

3.1 Innovativ projektvurdering

Den innovative projektvurdering anvendes til at vurdere og sammenligne alternativer teknologier som løsning på et konkret projekt. I den innovative projektvurdering inddrages alternativer som endnu ikke er teknologisk færdigudviklet og som ikke er indlejret i det nuværende marked. Alternativerne vurderes på flere - og andre - parametre end konventionelle projektvurderingsmetoder som cost-benefit og cost-effective analyser. (Hvelplund, 2015)

Den innovative projektvurdering har tre centrale genstandsområder som er forskellig fra de traditionelle projektvurderingsmetoder som vurderer på cost-benefit og cost-effectiveness. De tre genstandsområder er (Hvelplund, 2015):

- a) Der opstilles alternativer som også omfatter nye og ikke færdigudviklede teknologier. Der sammenlignes ikke kun på de teknologier som allerede er afprøvede og beregnes på de priser som er bestemt inden for det nuværende marked. Der inddrages teknologier som også er løsninger på de konkrete problemer men som er udenfor det nuværende marked og den traditionelle tankegang.
- b) Der foretages en konkret analyse af institutionelle barrierer og fremmere af de nye alternativer. Det nuværende marked er indlejret i samfundsmæssige institutioner som er menneskeskabte. Disse menneskeskabte institutionelle konstruktioner er ofte ikke optimale i forhold til at opnå de samfundsmæssige målsætninger. Det betyder, at markedets konstruktion kan være en barriere for de alternative som leverer den samfundsmæssigt bedste løsning.
- c) Der opstilles institutionelle scenarier der fremmer de nye alternativer som er en bedre løsning på samfundets problem. Punkt C dannes på baggrund af analysen i punkt B. Her adskiller innovativ projektvurdering sig fra andre teoretiske tilgange da der søges at foreslå konkrete ændringer til marke-

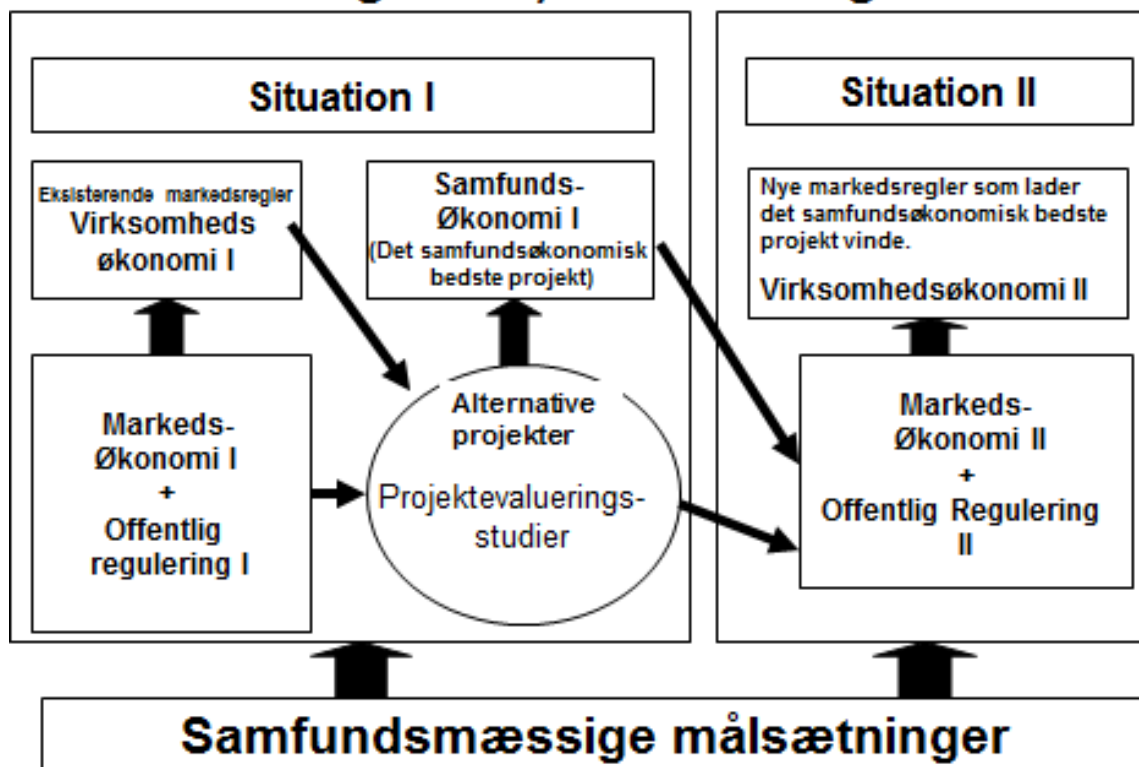


det og samfundsskabte institutioner generelt. Således at markedets barrierer for de samfundsmæssige bedste alternativer fjernes og der i stedet dannes institutionelle forhold som fremmer og understøtter de bedste løsninger.

Det forstås ud fra de tre punkter at innovativ projektvurderings formål er at undersøge og identificere de samfundsmæssige bedste løsninger til et problem. Herudover forstås det, at innovativ projektvurdering søger at identificere markedets og de samfundsmæssige institutioners barrierer som blokerer for at fremme innovative løsninger til problemer. Ydermere er det Innovativ projektvurderings formål at komme med forslag til, hvordan markedet og dets menneskeskabte institutionelle konstruktioner kan ændres, hvorved barriererne brydes.

Nedenstående Figur 8 viser processen for, hvordan Innovativ projektvurdering anvendes. I "Situation I" er de eksisterende markedsregler styrende for, hvilket projekt der giver den bedste "Virksomhedsøkonomi I". projektets "Virksomhedsøkonomi I" beregnes ud fra "Markedsøkonomi I" og "Offentlig regulering I". Der er i "Situation I" ofte ikke sammenhæng mellem projektets "Samfundsøkonomi I" og "Virksomhedsøkonomi I", hvilket vil sige at projekter med positiv samfundsøkonomi nogle gange ikke er virksomhedsøkonomisk interessant. Cirklen i "Situation I" udgør Innovativ projektvurdering teorien, hvor punkt A er at opstille og beregne alternative projektets samfundsøkonomi og vurdere det bedste alternativ. I Punkt B undersøges de barrierer som medfører at det samfundsøkonomiske bedste alternativ ikke er bedst i "Virksomhedsøkonomi I". Hermed identificeres de forhold i "Markedsøkonomi I" og "Offentlig regulering I" som står i vejen for udviklingen af den i Punkt A definerede teknologi. "Situation II" er udtryk for punkt C, hvor nye markedsregler konstrueres i "Markedsøkonomi II" og/eller "Offentlig regulering II" som lader det samfundsøkonomiske bedste alternativ være bedst i "Virksomhedsøkonomi II". (Hvelplund, 2015)

Design af nye markedsregler



Figur 8 om Innovativ projektvurdering. Figuren er et billede på, hvordan nye markedsregler kan designes for at opnå de samfundsmæssige målsætninger. (Hvelplund, 2015) Figuren er nærmere beskrevet ovenfor.

3.1.1 Innovativ projektvurdering som teoretisk tilgang

Som beskrevet i indledningen til dette kapitel 3, er det valgt at anvende Innovativ projektvurdering som teoretiske tilgang til at besvare projektets problemformulering. Det er valgt fordi den Innovative projektvurdering lægger vægt på at sammenligne alternative teknologier med konventionelle teknologier på flere parametre for at undersøge de samfundsmæssigt bedste løsninger. Ligeledes lægger teorien vægt på, at innovativ projektvurdering vægt på at markedet en menneskeskabt institutionel konstruktion, hvorfor den er tilpasset de konventionelle teknologier. Derfor findes den Innovative projektvurderings tilgang til, at identificere de eventuelle barrierer for de samfundsmæssigt bedste løsninger og komme med forslag til at ændre barriererne, relevant for besvarelsen af projektets problemformulering.

I dette projekt undersøges der ikke ét konkret projekt som Innovativ projektvurdering er beregnet til men en omstilling af personbilerne i transportsektoren fra konventionelle drivmidler til alternative drivmidler. Det er derfor nødvendigt at teorien tilpasses før den kan anvendes som teoretisk tilgang.

På Figur 8 ses processen for, hvordan innovativ projektvurdering bør anvendes. I Innovativ projektvurdering undersøges først 'situation I', hvor det bedste samfundsøkonomiske projekt findes og sammenholdes med virksomhedsøkonomien. I dette projekt undersøges drivmidlernes samfundsøkonomi som en del af en større samfundsmæssig analyse i kapitel 10 baseret på den teoretiske metode Well-to-Wheels som er beskrevet nærmere i afsnit 5.2. Den samfundsmæssige analyse indeholder udover en samfundsøkonomisk analyse også analyse af drivmidlernes udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet. I Kapitel 9 analyseres personbilerne og deres drivmidlers privatøkonomiske årlige omkostninger. Den privatøkonomiske analyse og

den samfundsmæssige analyse udgør i dette projekt 'Situation I' på Figur 8. 'Situation II' er i dette projekt en diskussion i kapitel 10. I diskussionen inddrages analysernes resultater samt de samfundsmæssige målsætninger og regulering fra kapitel 6 samt viden om de enkelte teknologier og deres infrastruktur beskrevet i kapitel 7.

3.2 Metodiske valg for besvarelse af problemformulering

Projektets besvarelse af problemformuleringen struktureres af de tre problemstillinger og den teoretiske tilgang. Problemstillingerne og den teoretiske tilgang er medvirkende til at sætte en ramme for, hvilke analyser der medtages og hvordan resultaterne fra analysen bearbejdes til besvarelse af problemformuleringen. I dette afsnit beskrives de metodiske valg som er truffet til at besvare problemformuleringen og skal ses som den mere praktiske forklaring af projektets opbygning.

Problemformuleringen afgrænser projektet til omstillingen af personbiler. Personbiler er kun en del af den samlede transportsektor, hvorfor projektet i Kapitel 4 indledes med en analyse af omfanget af den samlede danske bilpark. Bilparken analyseres i forhold til andel af det samlede energiforbrug i transportsektoren. Herudover dannes der et overblik over antallet af personbiler i Danmark og i hvilken takt det kan forventes at personbiler udskiftes. For at undersøge personbilernes udskiftningstakt estimeres antallet af biler i fremtiden. Et sådant estimat er altid forbundet med en vis grad af usikkerhed. I tillæg til analysen beskrives antallet af biler knyttet til familier.

Projektets næste skridt til at besvare problemformuleringen er i kapitel 7, at undersøge de drivmidler som kan anvendes i personbiler. Drivmidlerne er udvalgt på baggrund af diverse rapporter omhandlende omstilling af transportsektoren eller fremtidens energisystem. Det er bl.a. IDA's Energy Vision 2050 og Energistyrelsens Alternative drivmidler 3.0 (Aalborg Universitet, 2015) (Energistyrelsen, 2016d). Drivmidlerne hører uløseligt sammen med dens teknologi. For at opnå en større forståelse for et givent drivmiddel undersøges det derfor i relation til dets teknologi. Det værende forbrændingsmotor til anvendelse af diesel, benzin og gas mens brint anvender en brændselscelle som omdanner drivmidlet til el som driver personbilen.

I undersøgelsen af de enkelte drivmidler i kapitel 7, er det beskrevet i hvilken grad der er udbygget **infrastruktur** til de enkelte drivmidler. Infrastruktur er i denne sammenhæng tankstationer, ladestationer eller fyldestationer hvor en forbruger har mulighed for at tanke sin personbil. Tankstationer til benzin og diesel er naturligvis veludbygget eftersom personbiltransporten har været baseret herpå siden personbilens oprindelse. Der er dog forskel på de alternative drivmidlers infrastruktur. Både i form af antal og placering af infrastruktur samt hvorvidt infrastrukturen er tilgængelig for personbiler. Erfaringer om drivmidlernes infrastruktur inddrages som en del af problemformuleringens besvarelse.

De drivmidler som medtages i de videre analyser til besvarelse af projektets problemformulering er beskrevet i kapitel 7. I afsnit 7.5 beskrives kort nogle af de drivmidler som ikke er medtaget i de videre analyser. De udvalgte drivmidler er benzin, diesel, naturgas, biogas, el og brint. Drivlinjerne analyseres i fire analyser baseret på:

- Samfundsøkonomi
- Udledning af drivhusgasemissioner
- Energieffektivitet
- Privatøkonomi

De fire analyser udgør i dette projekt, hvad der svarer til 'Situation I' i den teoretiske tilgang beskrevet i afsnit 3.1.

Drivlinjernes analyser af samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet er baseret på Energistyrelsens model for Alternative Drivmidler (*Herefter "AD-model"*). Modellen er nærmere beskrevet i kapitel 5. Modellen er baseret på Well-to-Wheels teori som minder om en LCA (Life-Cycle-Assessment) analyse. Princippet i Well-to-Wheels er, at hele kæden fra drivmidlets produktion til drivmidlets energi overføres til køretøjets hjul inkluderes i beregningerne. Herudover inddrages omkostninger, drivhusgasemission og energiforbrug til produktionen af personbilen i modellen. Kæden fra Well-to-Wheels kaldes en drivlinje. Drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet nedskales til henholdsvis kr. pr kørt km, udledning af drivhusgasemissioner pr kørt km og energiforbrug pr kørt km. Nedskaleringen medvirker at drivlinjerne er let sammenlignelige. Omvendt medvirker nedskaleringen til, at det er svært at forholde sig til en enkelt drivlinjes samfundsøkonomiske omkostninger i kr. pr kørt km, da en personbils kørselsomkostninger normalt ikke nedskales på denne måde. Det er alligevel valgt at nedskalere til omkostninger pr kørt km fordi analysens formål er at sammenligne drivlinjerne.

Den **samfundsøkonomiske** analyse i afsnit 8.1 baseres på drivlinjernes omkostninger fra Well-to-Wheels. Det vil sige, at der i beregningerne inddrages omkostninger til produktion og vedligeholdelse af personbilen samt omkostninger til distribution og produktion af drivmidlet, udledning af emissioner, lokal luftforurening og støj. Der inddrages ikke skatter og afgifter i beregningen. I afsnit 5.5 beskrives metoden for beregning af drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger.

I afsnit 8.2 fremgår analysen for drivlinjernes **udledning af drivhusgasemissioner**. Analysen baseres på AD-modellen og Well-to-Wheels princippet. I afsnit 5.3 beskrives metoden for udregningen af drivlinjernes udledning af drivhusgasser. Analysen er medtaget fordi den er relevant i forhold til den overordnede miljømæssige problemstilling om udledning af drivhusgasser beskrevet i afsnit 1.1. Ligeledes er der som beskrevet i kapitel 6 politiske målsætninger tilknyttet reduktion af drivhusgasser i transportsektoren.

I afsnit 8.3 er analysen af drivlinjernes **energieffektivitet** beskrevet. Denne baseres ligesom den samfundsøkonomiske analyse og analysen om udledning af drivhusgasser på AD-modellen. Energieffektiviteten giver et billede af, hvor stort et energitab der er i kæden fra produktion af drivmiddel til drivmidlet omsættes til kørte km i personbilen. Der inddrages bl.a. energitab ved råstofudvinding, råstofkonvertering, distribution, mellemkonvertering, tab i motor og kabine samt tab ved fremstilling af personbilen. Dette er forklaret nærmere i afsnit 5.4.

I kapitel 9 analyseres drivlinjernes privatøkonomi. Den **privatøkonomiske** analyse baseres på den pris som en forbruger må betale for at købe en personbil som anvender et givent drivmiddel. Ved at beregne prisen for en almindelig forbruger inddrages den nuværende registreringsafgift og grønne afgifter pålagt personbilen afhængig af drivmidlet samt afgifter og tariffer pålagt drivmidlet.

De fire analyser danner baggrunden for at gå videre til 'Situation II' i projektets teoretiske tilgang beskrevet i afsnit 3.1. De fire analyser anvendes i en diskussion i kapitel 10, hvor der gives anbefalinger til, hvordan afgiftsstrukturen kan ændres, så der er større sammenhæng mellem privatøkonomi og samfundsmæssige interesser. Ændringer i afgiftsstrukturen bør medvirke større incitamenter for forbrugere til at tilvælge alternative drivlinjer fremfor konventionelle drivlinjer.

4. Personbiler i Danmark

Projektets fokus er rettet mod personbilers omstilling fra fossile drivmidler til alternative drivmidler. I dette kapitel redegøres der for personbilernes endelige energiforbrug i dag. Ydermere undersøges personbilers udvikling i Danmark i forhold til antal og vækst af biler over tid. Det undersøges fordi omstillingen af personbilernes drivmiddel må forventes at ske i takt med udskiftningen af den nuværende bestand af biler. Derfor undersøges bestanden af biler i Danmark samt hvilken tidshorisont der kan forventes før hele bestanden er udskiftet.

Danmarks endelige energiforbrug var i 2015 på 615 PJ. I Problemanalysens afsnit 1.4.1 beskrives transportsektorens energiforbrug at udgøre ca. en tredjedel af Danmarks endelige energiforbrug. Heraf udgjorde den samlede bilpark i 2015 et endelig energiforbrug 100,8 PJ. Hvorvidt det samlede energiforbrug til personbiler vil stige de kommende år afhænger af flere faktorer. (Energistyrelsen, 2017b)

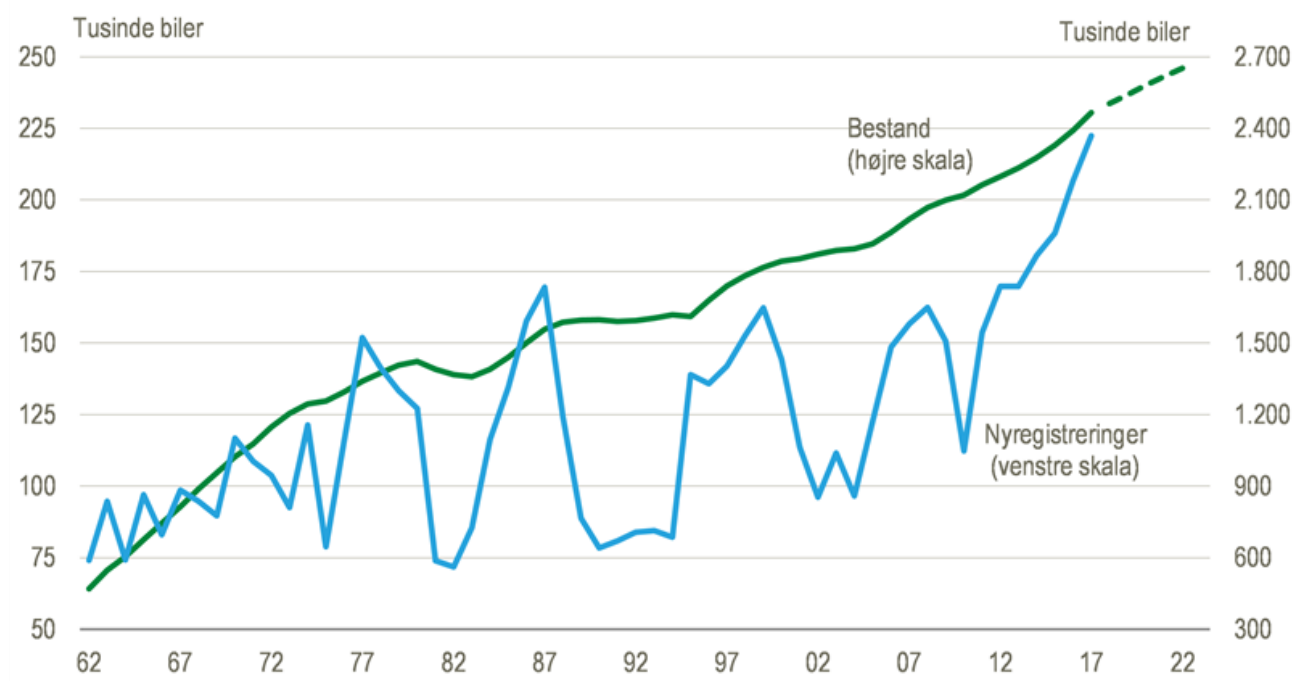
Den første faktor er, i hvilken grad den nuværende bilpark som næsten udelukkende er bestående af benzin- og dieslbiler kan effektiviseres yderligere. Eftersom ældre biler løbende skiftes ud med nyere og mere energieffektive biler kan der argumenteres for, at det endelige energiforbrug vil falde. Danmarks Statistik har opgjort at energieffektiviteten i nye benzin- og dieslbiler i 2016 i gennemsnit kørte 23,2 km/l mod 15,7 km/l i 2006. Dieslbiler kører flere km/l end benzinbiler, hver for sig kørte de henholdsvis 26 km/l og 21,8 km/l i gennemsnit i 2016. Energieffektiviteten er målt efter et EU-standardiseret regelsæt som sikrer at alle personbiler måles ens. Det er dog usikkert hvorvidt den målte energieffektivitet er svarende til nye bilers reelle energieffektivitet når de anvendes i praksis. Forholdet mellem den teoretiske energieffektivitet og den reelle energieffektivitet diskuteres ofte og har været diskuteret siden standardiseringen blev indført i 1997. EU-kommissionen offentliggjorde i 2011 en rapport om bilers brændstofforbrug, hvor det blev fastslået at bilers brændstofforbrug varierer. Generelt kan der på baggrund af rapporten konkluderes at benzinbilers energiforbrug er 10-15 % større end ved den EU-standardiserede metode og dieslbilens energiforbrug er 12-20 % større. (Danmarks Statistik, 2016) Det efterlader en forståelse af at energieffektiviteten er forbedret i nye biler. Dog ikke i så høj grad, at energieffektiviteten vil være en faktor som alene ændrer det samlede energiforbrug i fremtiden. (Energistyrelsen, 2017b)

En anden faktor som kan have indflydelse på bilparkens samlede energiforbrug i fremtiden er, om antallet af biler i fremtiden er stigende. Dette er undersøgt i nedenstående afsnit 4.1

4.1 Udvikling i antallet af personbiler

Ved indgangen af år 2017 var der 2,466 mio. personbiler indregistreret i Danmark. På nedenstående Figur 9 ses udviklingen af det samlede antal indregistrerede personbiler og antallet af nyregistrerede personbiler. Det ses at antallet af nyregistrerede personbiler har været svingende siden 1962. De seneste år siden finanskrisens begyndelse omkring år 2007 har antallet af nyregistrerede biler årligt været stigende. I 2016 blev der i alt indregistreret 222.476 personbiler. En nyregistrering af en personbil er ikke ensbetydende med, at en anden bil udgår af den samlede bilpark. De seneste ti år har nyregistrerede biler udgjort 5-9 % af bilparken mens bilparken årligt er vækstet med 1-3 % i samme periode¹. På Figur 9 ses, at det samlede antal af personbiler i Danmark har været stigende siden oliekrisen i 1980'erne. Antallet af personbiler forventes af Danmarks Statistik at stige yderligere til over 2,650 mio. i 2021, hvis der gennemsnitligt nyregistreres 184.373 biler årligt. 184.373 er et vægtet gennemsnit for nyregistreringer i perioden 2007-2016. (Danmarks Statistik, 2017a)

Bestand 1. januar og nyregistreringer af personbiler. 1962-2022



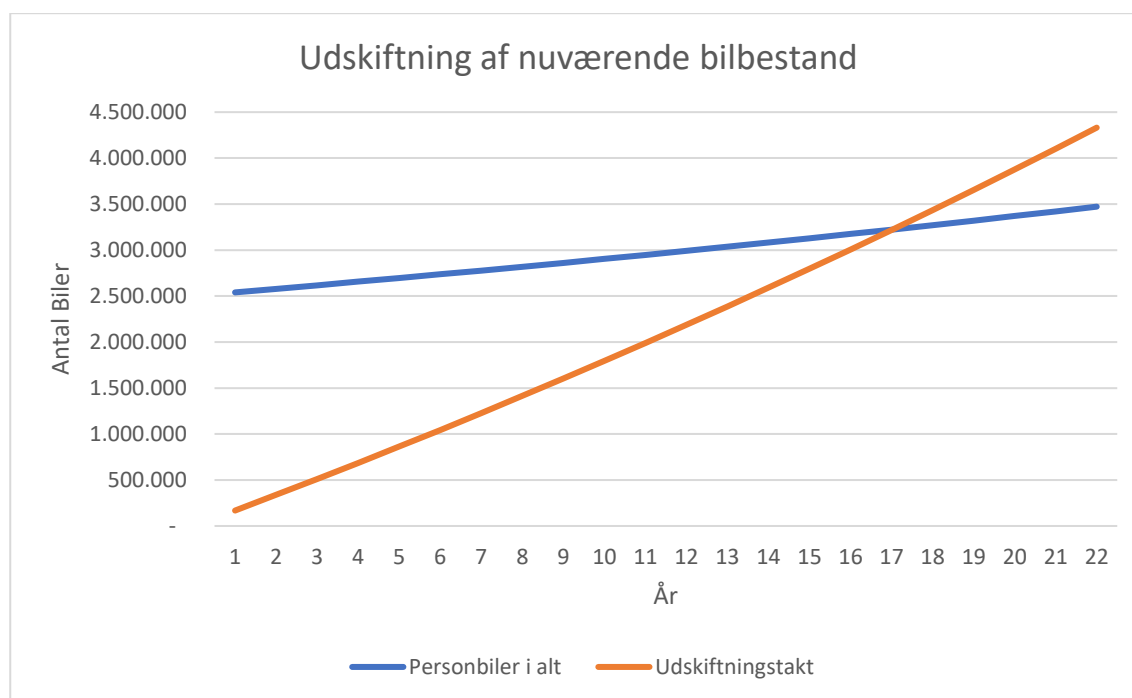
Figur 9 Årlig bestand og nyregistreringer af personbiler i perioden 1962 til 2022 (Danmarks Statistik, 2017a)

Figur 9 viser en tydelig tendens for, at bestanden af bilerne øges årligt. Der er dog flere faktorer som kan være årsag til, at bestanden de seneste år er steget yderligere. En af faktorerne er den mindre afgift for små biler, hvilket har medført et øget salg af denne type bil. Det formodes dog, at afgiftsnedsettelsens effekt på den øgede bestanddel af biler vil blive mættet, hvorved stigningen vil aftage. (Energistyrelsen, 2017b)

Nedenstående Figur 10 er et overslag på, hvor mange år det kan forventes at tage før den nuværende bestanddel af biler udskiftes med nye biler. Figur 10 er baseret på bestanddelen i år 2016 og en årlig tilvækst af biler i den samlede bestanddel på 1,5 %, er svarende til Danmarks Statistiks vurdering for bestanddel i år 2021. På nedenstående Figur 10 er År 1 svarende til år 2018, hvorfor År 4 er svarende til år 2021 med en bestanddel på ca. 2,650 mio. biler. Den gennemsnitlige udskiftningstakt i årene 2000 til 2014 var på 6,6%

¹ Danmarks Statistik offentliggør ikke hvor mange biler der afmeldes eller "udgår" af bilparken årligt.

(Energistyrelsen, 2015b). På den baggrund er en udskiftningstakt på 6,6 % vurderet at være retvisende at forudsætte for de kommende år. Formålet med Figur 10 er, at få en forståelse for udskiftningen af bestanden af personbiler.



Figur 10 Bilbestanden hvor år 1 er svarende til år 2018 baseret på bestanden i 2016 med en årlig tilvækst på 1,5 %. Udskiftningstakten er 6,6 % af den årlige bestand. (Danmarks Statistik, 2017b) (Energistyrelsen, 2015b)

Figur 10 viser at den nuværende bestanddel af biler teoretisk er udskiftet efter 17 år, såfremt det ikke er de samme biler som udskiftes og den vurderede tilvækst i bilparken og udskiftningstakten holder. I Figur 10 er år 2018 valgt som år 1, hvorfor der i år 2034 teoretisk kan forventes at bestanden af biler er udskiftet.

Den øgede bestand af biler er en medvirkende faktor til, at det samlede energiforbrug for bilparken i Danmark formentlig vil stige i fremtiden. Det er dog usikkert hvorvidt det øgede antal biler vil bibeholde det samme antal kørte km pr. bil som hidtil. I Energistyrelsens Basisfremskrivning 2017 er der på baggrund af synsdata udarbejdet en opgørelse for personbilers kørselslængde. Der estimeres at personbilers kørsel årligt reduceres med 2,2 %, hvilket er en betydelig reducerende faktor for bilparkens samlede energiforbrug. (Energistyrelsen, 2017b) En forklaring på, at der bliver kørt færre km pr bil kan være at antallet af biler pr familie er steget. I nedenstående Tabel 3 ses at antallet af familier med 2 biler eller flere er steget siden 2008. Det ses også at andelen af familier uden bil er faldet fra 40,6 % til 39,7 %.

	2008	2012	2016
Familier i alt	2.784.805	2.867.656	2.983.775
Familier uden bil	1.130.871	1.156.481	1.185.376
Familier med 1 bil	1.289.725	1.293.151	1.319.187
Familier med 2 biler	325.613	370.435	419.514
Familier med 3 biler	33.608	40.429	49.714
Familier med flere end 3 biler	4.988	7.160	9.984
	2008	2012	2016
Vækst i familier i alt	0,0%	3,0%	7,1%
Andel familier uden bil	40,6%	40,3%	39,7%
Andel familier med 1 bil	46,3%	45,1%	44,2%
Andel familier med 2 biler	11,7%	12,9%	14,1%
Andel familier med 3 biler	1,2%	1,4%	1,7%
Andel familier med flere end 3 biler	0,2%	0,2%	0,3%

Tabel 3 Familiers bilrådighed (antal biler pr familie) 2008 til 2016. En familie er her en eller flere personer registreret på en adresse. (Vejdirektoratet, 2017)

Energiforbruget afhænger af de faktorer som beskrevet i dette kapitel 4. Herudover afhænger energiforbruget af, om alternative teknologier til benzin- og dieslbiler indføres i den danske bilpark. De enkelte teknologier og drivmidler er beskrevet i Kapitel 7, hvor det f.eks. er vist at elbiler har et markant lavere energiforbrug end benzin- og dieslbiler.

5. Metodebeskrivelse af Alternative Drivmidler modellen

I dette kapitel beskrives Alternative Drivmidler – model 3.0 (herefter "AD-modellen") som anvendes i de samfundsmæssige analyser. Formålet med kapitlet er at redegøre for, hvordan modellen beregner drivlinjernes samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasser og energieffektivitet. Herudover beskrives, hvilke valg som er truffet i forhold til at opdatere modellen til brug i dette projekt. Alternative drivmidler modellen anvendes til at besvare problemstilling nr. 2 beskrevet i kapitel 2. AD-modellen er vedlagt som bilag i Excel-fil

Det er valgt at anvende AD-modellen i dette projekt fordi modellen beregner drivmidlers samfundsmæssige omkostninger for hele drivlinjen fra Well-to-Wheels som beskrevet i afsnit 5.2. Det betyder, at modellens beregningsresultater stemmer overens med den teoretiske tilgang om i 'Situation I' at vurdere og sammenligne drivmidlerne i samfundsmæssige analyser. Herudover bygger AD-modellen på et bredt datagrundlag for en stor variation af drivlinjer.

I det første afsnit 5.1 beskrives AD-modellens baggrunden for, hvorfor Energistyrelsen har udarbejdet AD-modellen samt de metodiske valg som træffes i AD-modellen.

I afsnit 5.2 beskrives AD-modellens teoretiske perspektiv Well-to-Wheels som betyder, at hele drivlinjen beregnes for hvert drivmiddel.

I afsnittene 5.3, 5.4 og 5.5 beskrives modellens beregningsforudsætninger og beregningsmetode for henholdsvis udledning af drivhusgasemissioner, energieffektivitet og samfundsøkonomi.

Til dette projekt er det valgt at opdatere baggrundstallene i forhold til den nyeste udgave af Energistyrelsens Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2017 og Transportøkonomiske enhedspriser 2017. Opdateringen af samfundsøkonomiske priser og værdisætning af emissioner er nærmere beskrevet i afsnit 5.5. Er der opdateret andre tal nævnes de løbende i dette kapitel. I Excel-filen som er vedlagt som bilag er opdaterede tal markeret med en grøn celle i arket 'Basic Data'.

Denne opdateringer kan give en mismatch mellem nogle data men det vurderes dog at være bedre at erstatte kendte forældede data med nye data. De opdaterede tal nævnes i løbende i dette kapitel.

5.1 Introduktion og metodiske valg i Alternative Drivmidler model 3.0

I dette afsnit beskrives baggrunden for AD-modellen og hvorfor Energistyrelsen har udarbejdet AD-modellen. Herudover beskrives AD-modellens basisscenarie og de metodiske valg som træffes for forudsætningerne som drivlinjerne beregnes på.

Energistyrelsen har siden 2006 arbejdet på at udarbejde en model til vurdering af drivmidlers samlede miljøbelastninger, energieffektivitet og samfundsøkonomiske omkostninger frem mod år 2050. AD-modellen er udarbejdet i Microsoft Excel, hvor alle data fremgår af regnearkets godt 60 ark som bl.a. indeholder teknologidata for drivmidler, køretøjer og konverteringsanlæg. Datagrundlag er baseret på viden fra indenlandske og udenlandske videnskabelige rapporter, producenter, eksperter og interesseorganisationer. (Energistyrelsen, 2016e)

Formålet med modellen er, at den skal anvendes til at vurdere forskellige alternativer som kan bidrage til at løse politiske langsigtede målsætninger om reduktion af CO₂ og udfasning af fossile brændstoffer. Den seneste opdatering til AD-modellen er version 3.0 som udkom i 2016 efter flere høringsprocessor i 2014 og 2015. AD-modellen består af 47 forskellige drivlinjer fordelt på personbiler, varebiler, lastbiler, busser, skibe, fly og tog. En drivlinje er et køretøj og et drivmiddel, f.eks. en elbil. (Energistyrelsen, 2016d)

Eftersom modellens datagrundlag er indsamlet fra mange forskellige kilder over en længere periode, er AD-modellens resultater forbundet med en vis usikkerhed. På baggrund af høringssvarene vurderes AD-modellens data for teknologierne at være tidssvarende. De priser som anvendes i AD-modellen er baseret på data ældre end 2015, hvilket også skaber en grad af usikkerhed. Priserne er prisindekskorrigeret til 2015 priser hvormed denne usikkerhed til dels imødekommes. (Energistyrelsen, 2016e) Modellen bygger på et basis-scenarie baseret på Energistyrelsens vindscenarie fra rapporten Energiscenarier, 2014. Det antages at elproduktionen er baseret på vindkraft med bidrag fra solenergi og kraftvarmeproduktion. Energipriserne er baseret på Energistyrelsens Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser som er beskrevet nærmere i afsnit 5.5. Angående biomasse antages det, at Danmark har 250 PJ til rådighed uden negativ påvirkning på fødevarereproduktion. Ud af de 250 PJ blev der i 2011 anvendt ca. 150 PJ. Det antages at der ikke importeres biomasse til biogasproduktion, hvorimod træ og træflis importeres. Der sættes altså en begrænsning på biomasseresourcer som antages at være fuldt udnyttet i 2050. (Energistyrelsen, 2016d)

På Figur 11 ses AD-modellens resultatside. De farvede kolonner i regnearket viser graden af modenhed for transportmidlet og drivmidlet. De teknologier som er mindst moden bør behandles med større usikkerhed. I den grå boks til venstre vælges de 8 forudsætninger som analysen baseres på. (Energistyrelsen, 2016e) I dette skriv, er det valgt at kalde de 8 valgmuligheder for parametre.

Det første parameter er årstal, hvor AD-modellen kan levere beregninger for år 2015, 2020, 2035 og 2050. (Energistyrelsen, 2016e)

LUC i Figur 11 står for 'Land Use Change' og inkluderer både direkte og indirekte ændring i arealanvendelsen i AD-modellen. Der er kun risiko for ændring i arealanvendelse ved anvendelse af biomasse som er en del af landbruget såsom halm og raps. Baggrunden for at medregne LUC er nærmere beskrevet i afsnit 6.1. I AD-modellen er der mulighed for at vælge 'Ingen LUC', 'Low LUC' og 'High LUC'. Forskellen på de tre er mængden af kg CO₂ ækvivalent pr GJ biomasse der udledes som konsekvens af ændring i arealanvendelsen. Hvis der vælges 'Ingen LUC' antages det, at der forekommer 0 emissioner fra biomasse som ændrer arealanvendelsen. At en øget anvendelse af biomasse ikke vil resultere i ændringen af arealanvendelsen vurderes at være det mindst realistiske scenarie. Vælges 'High LUC' antages det, at en stor andel af biomasseproduktionen til brændstof har virkning på LUC (Energistyrelsen, 2016d). Til dette projekts analyse vælges 'Low LUC' da denne er mere moderat. Den vælges på baggrund af den regulering der er for 1. generations og 2. generations brændstoffer som giver incitament til at undgå at påvirke en ændring af arealanvendelsen. Denne regulering er nærmere beskrevet i Kapitel 6.

Den tredje parameter i Figur 11 omhandler om CO₂-kvoter skal indgå i elprisen. Hvis CO₂-kvoter indgår i elprisen vil et øget elforbrug ikke resultere i øgede CO₂ emissioner, fordi kvotesystemet vil balancere den samlede udledning i kvotesektoren. Dermed er elprisen højere men der er ikke nogle samfundsøkonomiske omkostninger til CO₂. Hvis CO₂-kvoter ekskluderes så håndteres elprisen og CO₂ emissioner fra elproduktion særskilt. Dermed tillægges elproduktionens CO₂ udledning en omkostning mens elprisen er lavere. (Energistyrelsen, 2008) (Energistyrelsen, 2012) I forhold til AD-modellens beregningsresultater er der minimal forskel på om CO₂ kvoter inkluderes eller ej. Det er nærmere et teoretisk spørgsmål om analysen laves med en dansk afgrænsning eller europæisk afgrænsning. I dette projekt er fokus rettet mod omstilling af personbiltransporten i Danmark, hvorfor det vælges at ekskludere CO₂-kvoter fra elprisen. Der kan argumenteres for, at CO₂-kvoter ikke er en hindring for, at opretholde en dansk afgrænsning. Det er dog alligevel valgt at adskille elpris og CO₂-kvote, da det giver mulighed for at iagttage en eventuel øget drivhusgasudledning for de enkelte drivlinjer.

Fjerde parameter i Figur 11 omhandler inklusion af emissioner og energiforbrug fra produktion af transportmidler. (Energistyrelsen, 2016e) Denne inkluderes for at få den samlede samfundsøkonomiske analyse af drivmidlerne, hvilket også er i overensstemmelse med Well-to-Wheels beskrevet i afsnit 5.2.

Det femte og sjette parameter i AD-modellen omhandler emissioner knyttet til drivlinjernes behov for øget energiproduktion. AD-modellen anvender de gennemsnitlige emissioner fra energiproduktionen for alle processer med undtagelse af olieproduktion og elproduktion. Det femte parameter omhandler olieproduktion og det sjette parameter omhandler elproduktion.

Femte parameter er emissioner fra olieproduktionen. Der mulighed for at vælge en gennemsnitsværdi for olieproduktionen eller en marginal tilgang. Her anvendes en marginal tilgang, hvilket betyder at øget efterspørgsel på olie medfører en øget produktion hos olieproducenter som ikke fuldt ud har udnyttet produktionen. Den marginale olieproduktion udleder flere emissioner end gennemsnittet, fordi den olieproduktion som allerede udnyttes er bedre end den der ikke udnyttes. (Energistyrelsen, 2016d)

Det sjette parameter i AD-modellen omhandler emissioner knyttet til drivlinjernes behov for øget elproduktion. I AD-modellen er der fire mulige scenarier, hvorpå den ekstra elproduktion indregnes. Scenarierne er langsigtet marginal elproduktion, kortsigtet marginal elproduktion, gennemsnitlig elproduktion og CO₂-kvoter uden emissioner. De fire scenarier fremgår af Tabel 4. I det langsigtede marginale scenarie antages, at udbygningen af el produktionen sker i takt med at behovet øges, hvorfor den marginale emission er meget lav. Det kortsigtede marginale scenarie antages at elproduktionen ikke følger med det øgede forbrug, hvorfor den øgede elproduktion vil resultere i øgede emissioner. Det gennemsnitlige scenarie er baseret på Energi- og klimafremskrivningen for 2014. Det antages, at emissioner knyttet til øget elproduktion er lig emissionerne til den gennemsnitlige elproduktion. I det fjerde scenarie antages, at den øgede elproduktion købes indenfor CO₂-kvoteordningen, hvorfor der ikke er emissioner tilknyttet den øgede produktion. (Energistyrelsen, 2016d) I dette projekt er det valgt at anvende det gennemsnitlige scenarie fordi det synes mest realistisk og fordi den gennemsnitlige værdi også anvendes for anden energiproduktion end el og olie. Dertil synes det langsigtede scenarie at være for optimistisk og det kortsigtede scenarie at være for pessimistisk, hvorfor det gennemsnitlige scenarie tilvælges som et kompromis.

Det er valgt at opdatere tallene for emissionerne CH₄, N₂O, SO₂, NO_x og partikler i forhold til Energistyrelsen Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for 2017 om g/MWh emission ved gennemsnitlig elproduktion. Der er dog ikke opdaterede tal for CO₂, da denne er indlejret i den samfundsøkonomiske elpris i 2017. (Energistyrelsen, 2017c)

Det sjette parameter har ikke indflydelse på øget elproduktion til fremstilling af transportmidler, da det antages at disse produceres i udlandet, hvor modellen anvender en gennemsnitsværdi for elproduktion på verdensplan.

	Langsigtet marginal		Kortsigtet marginal		Gennemsnitlig		Ingen emissioner	
	CO ₂ e Kg/GJ	Andel vind	CO ₂ e Kg/GJ	Andel vind	CO ₂ e Kg/GJ	Andel vind	CO ₂ e Kg/GJ	Andel vind
2015	4,9	93%	214,3	20%	81,8	20%	0	20%
2020	4,3	97%	202,7	50%	40,8	50%	0	50%
2035	4,2	97%	104,3	70%	34,7	70%	0	70%
2050	0	97%	0	70%	0	70%	0	70%

Tabel 4 AD-modellens scenarier for elproduktion; langsigtet marginal, kortsigtet marginal, gennemsnitlig og ingen emissioner. I 2050 forventes ingen emissioner, hvor elproduktion ved centrale og decentrale anlæg er baseret på brint fra elektrolyse og biogas. (Energistyrelsen, 2016e)

Metodebeskrivelse af Alternative Drivmidler modellen

Det syvende i Figur 11 parameter omhandler udviklingen af alternative drivmiddeltechnologiers omkostnings-effektivitet. Der er tre muligheder som er ingen udvikling, moderat udvikling og hurtig udvikling. Dette parameter har ikke betydning for basisåret 2015 men har betydning for, hvornår de alternative teknologier er konkurrencedygtige med konventionelle teknologier. Teknologiernes udvikling forventes at ske i takt med at de udbygges, hvorved der dannes erfaring med anlæg og drift. Energistyrelsen anbefaler i rapporten til AD-modellen at anvende moderat udvikling, hvorfor denne anvendes i nærværende projekt. (Energistyrelsen, 2016d)

Ottende og sidste parameter i Figur 11 omhandler referencescenariet til den samfundsøkonomiske vurderings følsomhedsanalyse. Her anvendes det i modellen kaldte Baseline som anbefales i energistyrelsens rapport tilhørende AD-modellen. Der er mulighed for at øge følsomhed på omkostninger og energipriser mm. (Energistyrelsen, 2016e)

Teknologi-spor	Modenhed af teknologi			Økonomi			
	Jo mindre moden i 2015, jo større usikkerhed		Køretøj	DKK/km			
	Transportmiddel	Drivmiddel		Brændstof inkl. inf. Værdi emis: SØK omk.			
Bil-konv. diesel	Established	Established		1,18	0,22	0,10	1,50
Bil-konv. Benzin	Established	Established		1,10	0,26	0,09	1,45
Bil-E85 hvede	Established	Recent		1,10	0,38	0,09	1,57
Bil-E85 sukkerroer	Established	Recent		1,10	0,28	0,08	1,46
Bil-E85 halm	Established	Developing		1,10	0,40	0,07	1,57
Bil-Biodiesel FME	Established	Recent		1,18	0,31	0,11	1,59
Bil-Biodiesel halm	Established	Laboratory	Teknologi ikke tilgængelig				
Bil-DME	Laboratory	Demonstration	Teknologi ikke tilgængelig				
Bil-Natargas	Recent	Established		1,18	0,11	0,07	1,36
Bil-Biogas	Recent	New		1,18	0,37	0,07	1,62
Bil-MeOH-brændselscellehybrid	Laboratory	New	Teknologi ikke tilgængelig				
Bil-Brint-brændselscelle	Demonstration	Established		1,65	0,52	0,11	2,29
Bil-Brint-brændselscellehybrid	Laboratory	Established	Teknologi ikke tilgængelig				
Bil-EI	Developing	Established		1,25	0,06	0,05	1,37
Bil-EI, stort batteri	Developing	Established		1,38	0,08	0,06	2,12
Bil-Plugin Hybrid	Developing	Established		1,35	0,09	0,05	1,49
Varebiler							
Varebil-benzin	Established	Established		1,12	0,46	0,17	1,75
Varebil-Diesel	Established	Established		1,14	0,34	0,17	1,65
Varebil-CNG	Established	Established		1,28	0,20	0,14	1,62
Varebil-el	Developing	Established		1,38	0,14	0,08	1,60
Tunge Køretøjer							
Lastbil-Diesel	Established	Established		6,17	1,48	0,61	8,25
Lastbil-CNG	Recent	Established		6,60	0,83	0,57	8,00
Lastbil-Biodiesel FME	Established	Recent		6,21	2,06	0,72	9,00
Lastbil-Biodiesel HVO	Established	New		6,17	3,36	0,49	10,02
Lastbil-DME	Demonstration	Demonstration	Teknologi ikke tilgængelig				
Lastbil-CBG	Recent	New		6,60	2,78	0,52	9,30
Bus-Diesel	Established	Established		5,77	1,77	0,75	8,30
Bus-Biodiesel HVO	Established	New		5,77	4,03	0,62	10,42
Bus-CNG	Recent	Established		6,33	1,00	0,72	8,05
Bus-CBG	Recent	New		6,33	3,34	0,67	10,34
Bus-biodiesel FME	Established	Recent		5,77	2,48	0,84	9,09

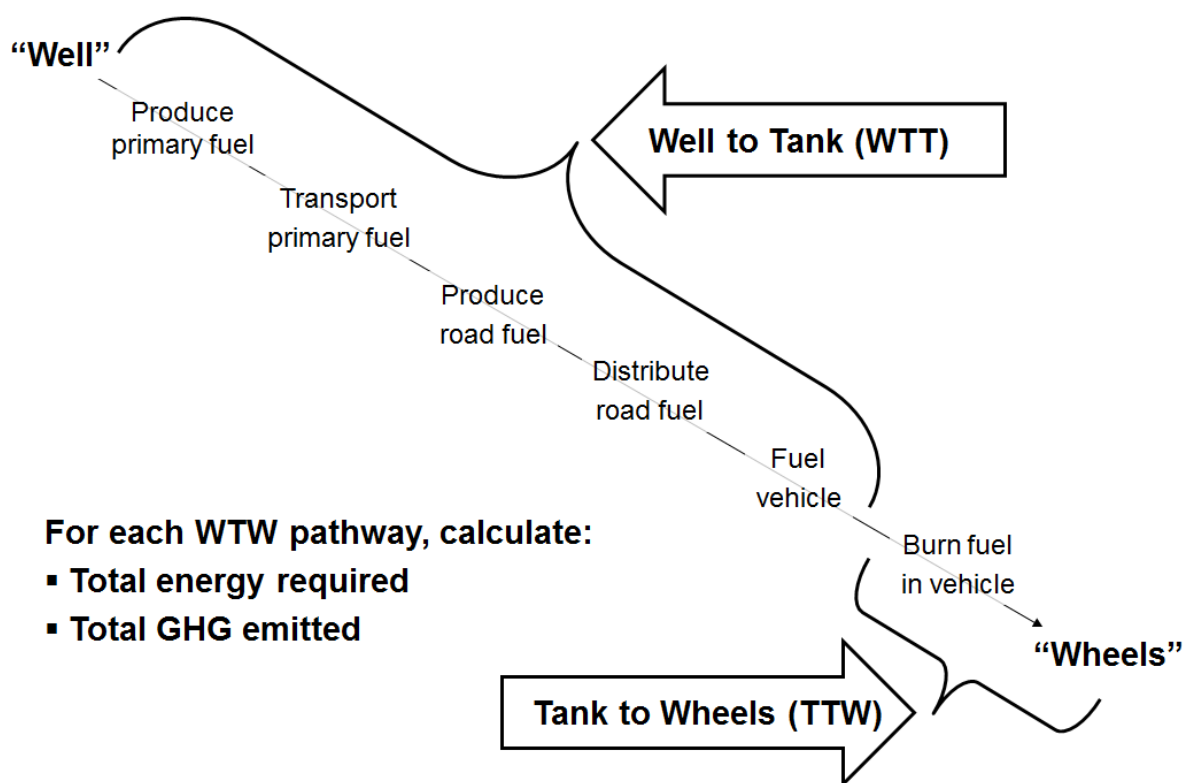
Figur 11 AD-modellens resultatside hvor der vælges hvilke forudsætninger analysen baseres på. De samfundsøkonomiske olie- og gaspriser som ses i den grå boks er baseret på Energistyrelsen Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2017. (Energistyrelsen, 2017c) (Energistyrelsen, 2016e)

Da AD-modellen omfatter mange forskellige drivlinjer er der i AD-modellen foretaget en række antagelser ved opgørelse af emissioner, energieffektivitet og samfundsøkonomiske omkostninger. Disse antagelser er beskrevet nærmere i underafsnittene 5.3, 5.4 og 5.5.

5.2 Well-to-Wheels

I dette afsnit beskrives Well-to-Wheels som er de teoretiske baggrund for AD-modellens opbygning.

AD-modellen er udarbejdet med formål om at sammenligne drivmidler på samlede miljøbelastninger, energieffektivitet og samfundsøkonomiske omkostninger. Derfor beregnes drivmidlerne i et Well-to-Wheels perspektiv. Well-to-Wheels betyder brønd-til-hjul og med det menes, at der inddrages miljøbelastninger, energieffektivitet og samfundsøkonomiske omkostninger i kæden fra råstof til anvendelse af drivmidlet. Well-To-Wheels minder om en LCA analyse (Life Cycle Assessment) som er en omfattende undersøgelse af et produkts samlede emissioner for et produkts livscyklus. (Energistyrelsen, 2016d) Well-to-Wheels fuldender dog ikke livscyklussen da emissioner, omkostninger og energiforbrug til deponering af køretøjer og udbygning samt renovering af distributionsmidler ikke inkluderes. (JEC, 2014). Et eksempel på kæden for et drivmiddel kan ses på Figur 12, hvor drivmidlets vej fra Well-to-Wheels er vist.



Figur 12 Et eksempel på Well-to-Wheels kæden. For nogle drivmidler vil kæden være kortere end for andre drivmidler. Det bemærkes at kæden slutter ved "Wheels", hvorfor energiforbrug og emissioner til deponering af køretøj ikke inkluderes. (European Commission, 2016)

Som vist på Figur 12 medtages omkostninger, emissioner og energiforbrug til produktion og anvendelse af drivmidlet og transportmidlet. Der medtages ikke omkostninger, emissioner og energiforbrug forbundet med produktion og bortskaffelse af infrastruktur som det pågældende drivmiddel anvender. Argumentet for ikke at medtage emissioner og energiforbrug relateret til infrastrukturen er, at denne vurderes at være af lille betydning. (Energistyrelsen, 2016d)

Angående de samfundsøkonomiske omkostninger inkluderes der omkostninger til produktion og vedligeholdelse af det specifikke køretøj samt omkostninger til råvarer, produktion og distribution af drivmidlet. Ydermere er der inkluderet samfundsøkonomiske omkostninger for udledning af CO₂ og lokal luftforurening og støj. (Energistyrelsen, 2016d)

5.3 Emissioner

De emissioner som opgøres afhænger af, hvilken drivlinje der fokuseres på. Udledningen af emissioner kan forekomme i hele drivlinjen som vist på Figur 12. Som oftest forekommer emissionerne ved produktion af drivmidlet og ved anvendelsen af drivmidlet i køretøjet. Emissioner som forekommer ved produktion og afskaffelse af infrastruktur er ikke inkluderet i AD-modellen. Infrastruktur i denne sammenhæng er f.eks. gastankstationer og ladestationer til elbiler. (Energistyrelsen, 2016d)

Generelt er det antaget, at emissioner for de industriprocesser som er tilknyttet et drivmiddel, inkluderer de processer som er en del af drivmidlets livscyklus. Et eksempel herfor er produktion af bioethanol på sukkerroer. Her medtages de emissioner som forekommer i de processer som er knyttet til denne produktion. Der inkluderes dog kun emissioner svarende til den mængde bioethanol som anvendes i modellen. Dette gælder dog ikke, hvis råproduktet er baseret på et restprodukt som f.eks. gylle, halm eller industriaffald og dette restprodukt er fuldt anvendt. Her antages det, at en øget efterspørgsel af et fuldt ud anvendt restprodukt medfører en øget efterspørgsel på et alternativ. I opgørelsen af en drivlinjes samlede emissioner medtages emissioner tilknyttet produktionen af det alternativ. (Energistyrelsen, 2016d)

Ved produktionen af et drivmiddel kan der forekomme produktion af biprodukter eller restprodukter. For biprodukter som fortrænger et andet produkt godskrives drivlinjen de emissioner som biproduktet fortrænger. (Energistyrelsen, 2016d)

Emissionerne som medtages er drivhusgasemissionerne CO₂, CH₄ (metan) og N₂O (lattergas). Drivhusgasemissionerne er vægtet i forhold til drivhusgasækvivalent efter gassens effekt set i et perspektiv på 100 år. Det betyder at 1 CH₄ er svarende til 25 CO₂ og 1 N₂O er svarende til 298 CO₂. Herudover medtages emissioner som har en effekt på den lokale luftkvalitet, såsom NO_x, SO₂ og partikler. Emissionerne er værdisat i underafsnit 5.5 om samfundsøkonomiske omkostninger. (Energistyrelsen, 2016d)

Det er valgt at opdatere tallene for emissionerne CH₄, N₂O, SO₂, NO_x og partikler i forhold til Energistyrelsen Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for 2017. Der er dog ikke opdaterede tal for CO₂, da denne er indlejret i den samfundsøkonomiske elpris i 2017. (Energistyrelsen, 2017c)

5.4 Energieffektivitet

Energieffektivitet er i denne forbindelse defineret som forholdet mellem ydeevnen i køretøjets hjul i forhold til den energi som tilføres og anvendes i drivlinjen. En analyse af drivlinjernes energieffektivitet har til formål at sammenligne mængden af energi der forbruges til at anvende og køre et transportmiddel. Dette spænder overens med Well-to-Wheels teorien som er beskrevet ovenfor. Energiforbruget til fremstilling af køretøjerne indgår også som en del af drivlinjens samlede energieffektivitet. (Energistyrelsen, 2016d)

Metoden for opgørelsen af en drivlinjes energieffektivitet beskrives i to dele. Den ene del omhandler køretøjets energieffektivitet, herunder fremstilling af køretøj, virkningsgrad i motor mm. På Figur 12 er det de to

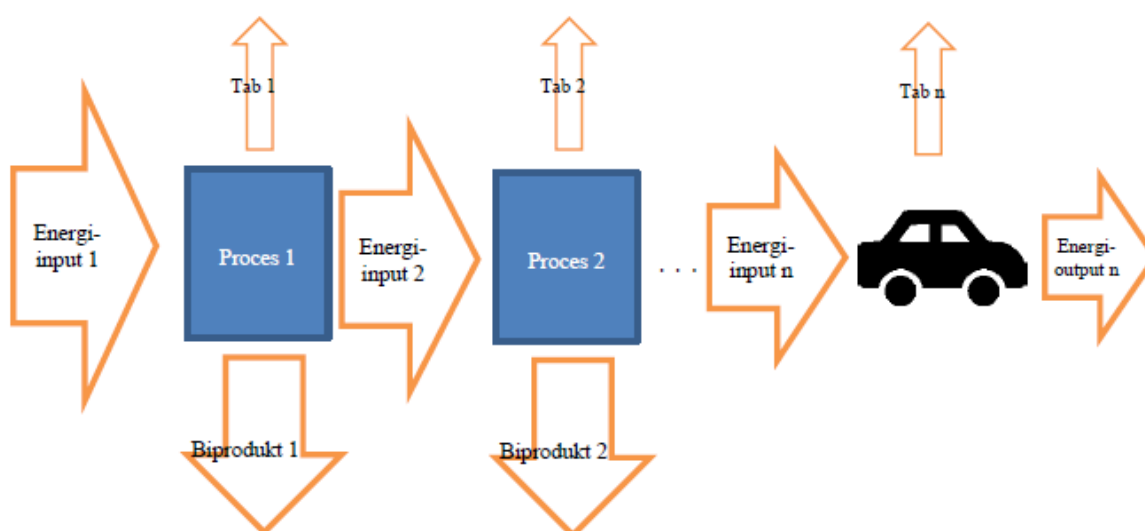
sidste led i Well-to-Wheels kæden som kaldes Tank-to-Wheels. Den anden del omhandler drivlinjens energieffektivitet. På Figur 12 er denne del fra Well-to-Tank, hvor brændstoffet er påfyldt køretøjet. (Energistyrelsen, 2016d)

Når der udregnes energieffektivitet for hele drivlinjen fra Well-to-Wheels er det nødvendigt at lave en afgrænsning, hvorfor nogle elementer ikke er inkluderet. Det gælder bl.a. energitab ved produktion af produktions- og transportfaciliteter. Det betyder at energitab ved etablering af naturgasnettet eller produktion af de lastbiler som transporterer drivmidler ikke er medtaget. Det energitab der forekommer i processen hvor drivmidlet transporteret er medtaget i AD-modellens beregning. (Energistyrelsen, 2016d)

De processor som inkluderes i AD-modellens beregning af en drivlinjes energieffektivitet er (Energistyrelsen, 2016d):

- Produktion af råstoffer som anvendes til drivmidler.
- Konverteringsprocessen af råstoffer og drivmidler
- Transport af drivmidler
- Produktion og afskaffelse af transportmidlet, som i dette projekt er personbiler
- Drivmidlets omsætning til mekanisk energi i transportmidlet

Måden hvorpå energieffektiviteten er udregnet kan vises ved nedenstående Figur 13. Energiinput er den primære energi, det kan f.eks. være olie, biomasse eller vindenergi. Processerne som er vist ved den blå boks kan være konvertering af råstof eller transport af råstof. I hver proces kan der forekomme et biprodukt. Hvis biproduktet har en værdi i form af anden anvendelse tilskrives denne en del af energitabet. Antallet af processor er afhængig af, hvilket drivmiddel der analyseres. (Energistyrelsen, 2016d)



Figur 13 Visualisering af udregningen for en drivlinjes energieffektivitet. Energiforbruget til fremstilling af transportmidlet er baseret på samme princip som for drivmidlet. (Energistyrelsen, 2016d)

Energiforbruget til produktion af det køretøj som anvendes i drivlinjen opgøres efter samme metode som ved fremstilling af drivmidlet. (Energistyrelsen, 2016d)

Bilens energiforbrug

Et køretøjs energiforbrug er kompliceret at vurdere. Energiforbruget afhænger af flere faktorer såsom, vindmodstand, kørselsmønstre, underlag og andet. Som beskrevet i Kapitel 4 er der regler fra EU om at nye bilers energiforbrug km/l testes standardiseret testbane. I AD-modellen 3.0 er personbilernes energiforbrug ikke baseret på disse EU standardiserede testcyklusser. Det er fravalgt at anvende disse, da personbilers kørsel i Danmark typisk er med højere gennemsnitshastighed end i testcyklusen. I stedet er personbilernes energiforbrug baseret på, hvad Energistyrelsen kalder tilnærmelsesvist faktiske danske forhold. Generelt betyder det, at personbilerne har et højere energiforbrug end beregnet i andre rapporter samt tidligere udgaver af AD-modellen. Elbilernes energiforbrug påvirkes i højere grad af højere hastigheder end det er tilfældet med de konventionelle biler. (Energistyrelsen, 2016d)

En personbils energieffektivitet er i AD-modellen beregnet ud fra den mængde energi som tilføres bilen i forhold til den mængde energi som skal til for at drive bilen under normal daglig kørsel. Vindmodstand og rullemodstand medregnes som en del af bilens tab. Bremseenergi som omdannes til varme indregnes også som tab medmindre bremseenergien anvendes i bilens system, hvor bremseenergien opsamles i f.eks. en elbils batteri. Det betyder en højere virkningsgrad i biler med bremseenergisystem end konventionelle biler uden. (Teknologisk Institut, 2016)

De køretøjer som der beregnes energiforbrug for, er i så vidt muligt omfang sammenlignelige køretøjer. Der beregnes energiforbrug på personbiler i C-segmentet som bl.a. omfatter VW Golf, Ford Focus, Skoda Octavia og Opel Astra. Der kan dog være forskelle på køretøjerne afhængigt af drivmidlet. For eksempel vejer en e-Golf elbil 271 kg mere end en VW Golf diesel. E-Golfen er dog mere aerodynamisk, hvilket opvejer en del af bilens energiforbrug. (Teknologisk Institut, 2016)

5.5 Samfundsøkonomiske omkostninger

I AD-modellen opgøres de samfundsøkonomiske omkostninger for hele drivlinjen fra Well-to-Wheels. Det betyder, at der medtages omkostninger til produktion og anvendelse af transportmidlet, omkostninger til produktion og distribution af drivmidler, omkostninger til infrastruktur og omkostninger i form af eksternaliteter ved produktion og anvendelse af drivmidlet. Omkostningerne er uden afgifter, skatter og tilskudsordninger. (Energistyrelsen, 2016d)

De omkostninger som er medtaget i den samfundsøkonomiske beregning er (Energistyrelsen, 2016d):

- Omkostninger til produktion af drivmidler, herunder råvarer og energiforbrug som baseres på markedspris.
- Indkomster fra biprodukter fra produktionen af drivmidlet. Det kan f.eks. være el og varme.
- Kapitalomkostninger for konverteringsanlæg og transportmiddel. Der anvendes en diskonteringsrate på 4 % og en økonomisk levetid.
- Drift og vedligeholdelseskostninger samt transportomkostninger af råvarer og drivmiddel
- Omkostninger til eksternaliteter for hele drivlinjen. Eksternaliteterne udgøres af luftemissionerne SO₂, NO_x, drivhusgasemissioner og partikler samt støj.

Priserne på råstoffer og biprodukter er i AD-modellen som udgangspunkt baseret på Energistyrelsens 'Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet', 2014. Til dette projekt er AD-modellen opdateret efter de samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner for 2017. Brændstofpriser er vist i nedenstående Tabel 5.

Brændstof	2017 (I modellen 2015)	2020	2035	2050
El-pris, kr./MWh	186	217	376	376
El-pris an virksomhed (brint) kr./MWh	394	426	596	596
Naturgas importpris kr./GJ	38	37,8	74,3	74,3
Råolie importpris kr./GJ	59,9	78,7	110,2	110,2

Tabel 5 Samfundsøkonomiske brændstofpriser opdateret fra samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner 2017. (Energistyrelsen, 2017c)

Eksternaliteterne medtaget i den samfundsøkonomiske analyse er CO₂, CH₄, N₂O, SO₂, NO_x, partikler og støj. CH₄ og N₂O prissættes som CO₂-ækvivalent, hvor der frem til og med 2020 anvendes en pris svarende til kvoteprisen på kr./ton CO₂-ækvivalent. I årene fra 2021 anvendes et skøn på 324 kr./ton CO₂-ækvivalent. (Energistyrelsen, 2017c) Angående emissionerne SO₂, NO_x og partikler samt støj er priserne for disse opdateret fra at være baseret på Transportøkonomiske enhedspriser fra 2010 til Transportøkonomiske Enhedspriser 2017. (DTU, 2017) Opdateringen til 2017 priser har generelt betydet lavere samfundsøkonomiske omkostninger for alle drivlinjer medtaget i dette projekt. I AD-modellen er emissionerne SO₂, NO_x og partikler vægтет i forhold til kørsel i by og land. AD-modellen vægter land 59 % og by 41 %. (Energistyrelsen, 2016e) De anvendte priser kan ses i nedenstående Tabel 6. Emissionerne er værdisat i forhold til deres miljømæssige skadelige virkning i forhold til luftforurening og andet tilknyttet konceptet "dose-response". (DTU, 2017)

Kr./kg	By (41 %)	Land (59 %)	Vægtet gennemsnit
SO ₂	242	209	223
NO _x	53	53	53
Partikler 2,5	1753	244	863

Tabel 6 Priser på emissioner anvendt i den samfundsøkonomiske analyse. (DTU, 2017)

Det har ikke været muligt at opdatere priserne for støj i AD-modellen. Værdisætningen af støj er en generel pris for personbiler, hvor der ikke differentieres mellem kørsel i by og land. (Energistyrelsen, 2016d)

Eventuelle biprodukter håndteres i samfundsøkonomien på samme måde som ved beregningen for emissioner og energieffektivitet. Dermed er der tilfælde hvor biprodukter fortrænger fossile brændsler og derved indgår som en indkomst i stedet for omkostning. (Energistyrelsen, 2016d)

Diskonteringsrenten på 4 % er finansministeriets anbefalede diskonteringsrente for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. Diskonteringsrenten funktion er at afspejle det mulige afkast som alternative investeringer kunne have bragt ved andre investeringer. (Energistyrelsen, 2013) I AD-modellens samfundsøkonomiske beregning medtages investeringer til drivlinjens konverteringsanlæg f.eks. biogasanlæg og elektrolyseanlæg. Herudover medtages investering til drivlinjens personbil. Det antages i AD-modellen at personbilerne har en økonomisk levetid på 16 år og kører årligt 18.000 km. (Energistyrelsen, 2016d)

I AD-modellens samfundsøkonomiske beregning for drivlinjerne indgår infrastrukturomkostninger til distribuering. Infrastrukturomkostninger til benzin og diesel antages at være inkluderet i markedsprisen, som anvendes som samfundsøkonomisk pris for benzin og diesel. For de alternative drivmidler er infrastruktur-omkostningerne baseret på estimater. Det antages for alle drivlinjer, at der er sket en udbygning af infrastrukturen således at infrastrukturen udnyttes effektivt. Det betyder at alternative drivmidler som brint og el sidestilles med konventionelle drivmidler som benzin og diesel. (Energistyrelsen, 2016d) Denne antagelse er nødvendig for at sammenligne drivlinjerne ligeværdigt. I virkeligheden er udbygningen af infrastruktur en

central udfordring for personbiltransportens omstilling til alternative drivmidler. Den egentlige udbygning af infrastruktur for hvert drivmiddel beskrives i afsnittene i Kapitel 7 og inddrages som en del af diskussionen i Kapitel 10.

6. Samfundsmæssige målsætninger og regulering

Transportsektoren er reguleret i forhold til afgifter og iblandingskrav af biobrændstoffer, kvalitetskrav og miljøkrav. I dette afsnit redegøres der for disse reguleringer samt hvor reguleringerne stammer fra, det værende EU-direktiver og national lovgivning. Formålet med afsnittet er at få et overblik over de samfundsmæssige målsætninger og reguleringer der er for transportsektoren.

Transportsektoren er i høj grad reguleret efter EU-direktiverne for biobrændstofkvalitet og vedvarende energi. Herudover er der CEN-standarder som er fastsat af bilindustrien, olieselskaber og EU kommissionen som fastsætter krav til brændstoffernes kvalitet indenfor direktivernes rammer. CEN-standarderne sætter bl.a. et loft på maks. 7 % biodiesel (B7) i diesel og maks. 5 % bioethanol (E5) i benzin eller maks. 10 % bioethanol (E10) i benzin. Loftet er sat af hensyn til ældre bilers motorer som kan tage skade af et for højt indhold af biodiesel eller bioethanol i brændstoffet. (Energi- og olieforum, Læst 2017) Det er dog tilladt for medlemsstater at tillade diesel med et højere indhold biodiesel, såfremt den endelige brændselsblanding ikke er modstridende med direktivernes andre krav som f.eks. maks. 7 % 1G biobrændstof.

6.1 Direktivet for fremme af vedvarende energi

VE-direktivet blev vedtaget i 2009 med et tillæg i 2015 som kaldes ILUC-direktivet (indirect land use change). VE-direktivet omhandler det endelige energiforbrug og herunder energiforbruget i transportsektoren. Det er i VE-direktivet fra 2009 at målsætningen om 10 % af transportsektorens energiforbrug skal udgøres af vedvarende energikilder senest i 2020 er vedtaget. Målsætningen er bindende for medlemslandene og er gældende for alt vej- og banetransport. De vedvarende energikilder kan være biobrændstoffer, biogas, el og brint. I VE-direktivet er der sat bæredygtighedskriterier for hvordan en energikilde kan certificeres som bæredygtig og indgå til opfyldelse af målsætningen. I ILUC-direktivet tager hensyn til biobrændstoffers oprindelse i forhold til deres indirekte ændring på arealanvendelsen. Et eksempel herfor kan være, at et landbrug omlægger sin produktion fra fødevarer til energiafgrøder. Det kan medføre at fødevarerproduktionen omlægges til andre arealer som anvendes til skov eller andet. Dermed sker en indirekte ændring af arealanvendelse som medføre en øget drivhusgasemission fordi skovens virkning som kulstoflager ophører. For at imødegå problemstillingen med indirekte ændring af arealanvendelsen sættes en række krav til andelen af biobrændstoffer der kan anvendes til opfyldelse af VE-direktivets målsætning. Herudover er der for drivmidler baseret på vedvarende energi som ikke kan henføres til indirekte ændring af arealanvendelsen bestemt beregningsmetoder så disse tæller mere end biobrændstof som kan ændre arealanvendelse. Kravene til opfyldelse af målsætningen og beregningsmetoderne kan ses i nedenstående Tabel 7 (Den Europæiske Unions Tidende, 2015) (Den Europæiske Unions Tidende, 2009a)

Krav til opfyldelse af VE-direktivets målsætning om 10 % vedvarende energi i transportsektoren	
1 G Biobrændstof	Maks. 7 %
Andel avancerede biobrændstoffer	Min. 0,5 % (DK min. 0,9 %)
Beregningsmetoder til opfyldelse af VE-direktivets målsætning om 10 % vedvarende energi	
1 G biobrændstof	Faktor 1
2 G biobrændstof	Faktor 2
Avancerede biobrændstoffer	Faktor 2
VE-el vejtransport	Faktor 5
VE-el banetransport	Faktor 2,5

Tabel 7 Krav til andel af 1. generations biobrændstof og avancerede brændstoffer samt beregningsmetoder til opfyldelse af målet. (Den Europæiske Unions Tidende, 2015)

Biobrændstof opgøres i 1. generation (1G) og 2. generation (2G). Af Tabel 7 fremgår at maks. 7 % 1G biobrændstof må udgøre det endelige energiforbrug i transportsektoren. 1G biobrændstof er biobrændstof produceret af stivelsesrige afgrøder såsom korn, majs, sukker, olieholdige afgrøder og alle andre afgrøder som produceres i landbruget med energi som det primære formål. 2G biobrændstof er brændstof som er produceret på affald eller biprodukter for landbruget. Det være halm, husdyrgødning, brugt madolie, animalske fedtstoffer og andet. Det ses i Tabel 7 at 2. generations biobrændstof tæller dobbelt, hvilket de gør fordi der er lav risiko for, at der sker en indirekte ændring af arealanvendelsen. I Tabel 7 ses også at der er krav til at minimum 0,5 % af det endelige energiforbrug skal udgøres avancerede biobrændstoffer. En de af 2. generations biobrændstofferne er avancerede biobrændstoffer. Avancerede biobrændstoffer er baseret biprodukter fra landbruget som ikke er i konkurrence med den primære landbrugsproduktion og affald. Biobrændstof produceret af brugt madolie fra f.eks. friture og slagteriaffald er ikke avanceret biobrændstof men 2G biobrændstof. (Den Europæiske Unions Tidende, 2015)

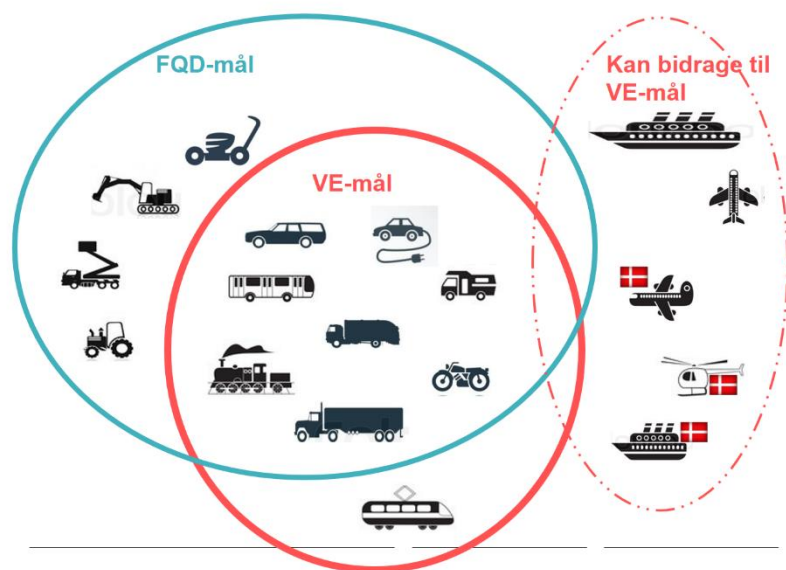
I Tabel 7 ses også, at el kan indgå til opfyldelse af VE-målet for transportsektoren. Det er dog kun for den el som kan tilskrives at være produceret af vedvarende energikilder som kan indgå som en del af de 10 %. Af ILUC-direktivet fremgår det, at medlemslandene kan anvende i EU's gennemsnitlige andel af el fra vedvarende energikilder eller det pågældende medlemslands andel af el produceret på egne vedvarende energikilder. (Den Europæiske Unions Tidende, 2015)

VE-direktivets 10 % målsætning for transportsektoren og ILUC-direktivets beregningsmetoder sætter en ramme for medlemsstaternes udvikling af transportsektorens energiforbrug vil medvirke en reduktion af drivhusgasemissioner og en øget anvendelse af biobrændstoffer baseret på biprodukter og restprodukter. ILUC-direktivet øger også incitamentet til anvende el som drivmiddel. Det betyder også at en del af transportsektorens drivhusgasudledning flyttes ind i den kvoteomfattede sektor.

6.2 Brændstofkvalitetsdirektivet

Brændstofkvalitetsdirektivet blev vedtaget i 2009 og sætter miljømæssige og helbredsmæssige krav til kvaliteten af benzin og diesel. Herudover sætter brændstofkvalitetsdirektivet en fælles standard for brændstoffer som sikrer en lige høj kvalitet af brændstof i alle EU's medlemslande. F.eks. er der en maksimumværdi for indhold af svovl og kriterier for brændstoffernes oktantal og cetantal. Herudover er der maksimum begrænsning for iblanding af biobrændstofferne bioethanol i benzin og FAME (fedtsyremethylestere) i diesel. (Den Europæiske Unions Tidende, 2009b) FAME er biodiesel og er produceret på animalsk eller vegetabilsk olie og kan være 1G eller 2G biobrændstof. (Energistyrelsen, 2015a) Begrænsningen er sat af hensyn til forbrugernes motorer som kan have tekniske komplikationer ved et for højt indhold af enten bioethanol i benzin eller FAME i diesel. Begrænsningen på biodiesel (FAME) kaldes ofte B7 og sætter en maks. for iblanding på 7 %. Iblanding af bioethanol i benzin er enten 5 % (E5) eller 10 % (E10). Det er hensigten med brændstofkvalitetsdirektivet at iblandingen af bioethanol skal være 10 % men medlemsstaterne har tilladelse til at bibeholde den tidligere begrænsning på 5 % bioethanol. (Den Europæiske Unions Tidende, 2009b) I 2014 var der kun Tyskland, Frankrig og Finland som ændrede iblandingen af bioethanol fra E5 til E10 (Hartenergy, 2014). Enkelte ældre biler kan have tekniske komplikationer ved benzin med 10 % bioethanol mens nyere biler er indstillet til at køre på et højere indhold af bioethanol. Bioethanol kan produceres som 1G eller 2G biobrændstof. Det er typisk produceret af stivelsesholdige materialer, hvor 1G er typisk er baseret på korn eller sukker mens 2G er baseret på halm. Bioethanol produceret på halm kan også indgå til opfyldelse af EU-kravet om 0,5 % avancerede biobrændstoffer i transportsektoren, vist i Tabel 7. (Energistyrelsen, 2015a)

Brændstofkvalitetsdirektivet stiller krav om at vugge til grav drivhusgasemissionerne i EU reduceres med 6 pr. energienhed leveret brændstof i 2020 ift. 2010. Da Danmarks udledning af drivhusgasemissioner er højere end gennemsnittet for EU skal Danmarks udledning af drivhusgasemissioner reduceres med 6,4 % ift. niveauet i 2010. Målet kan indfries ved at iblande biobrændstoffer i benzin og diesel eller ved at skifte drivmiddel til biogas, el eller andre som lever op til EU's bæredygtighedskriterier. Brændstofkvalitetsdirektivets målsætning gælder ikke for de samme transportmidler som VE-direktivets 10 % målsætning for transportsektoren. Brændstofkvalitetsdirektivets målsætning gælder for alt brændstof til vejtransport, tog og andre mobile maskiner som vist på Figur 14. (Den Europæiske Unions Tidende, 2009b) (Energistyrelsen, 2015a)



Figur 14 Fartøjer som kan indgå til opfyldelse af målsætninger fra VE-Direktivet og brændstofkvalitetsdirektivet. (Figuren er fra et slideshow præsenteret af en repræsentant fra energistyrelsen i 2016). (Energistyrelsen, 2016c)

På Figur 14 ses det at der er forskel på de to målsætninger fra brændstofkvalitetsdirektivet og VE-direktivet om end de overlapper hinanden. Biobrændstofkvalitetsdirektivets målsætning omhandler reduktion af drivhusgasemissioner i brændstof, hvorfor målsætningen omhandler alle maskiner uanset om formålet transport, landbrug eller industri. Det bemærkes at el til vejtransport kan indgå i brændstofkvalitetsdirektivets målsætning med el til banetransport ikke kan indgå. VE-målsætningen omhandler transport, hvor det i øvrigt er frivilligt for medlemslande at inddrage søfart og flytrafik i målsætningen. (Energistyrelsen, 2015a)

6.3 Dansk lovgivning for anvendelse af fossile brændstoffer og iblandingskrav af bio-brændstoffer

Danmark har som medlemsland i EU pligt til at opfylde EU-direktivernes rammebetingelser og målsætninger. Det kan gøres ved at implementere lovgivning som støtter direktivernes målsætninger eller ved at benytte statsligt styrede virkemidler. Virkemidlerne kan være støttepuljer, afgifter eller oplysning om f.eks. alternativet til at anvende forurenende stoffer. I nedenstående Tabel 8 ses reguleringen for iblanding af biobrændstoffer og afgifter for benzin og diesel i Danmark. Ligeledes er kravet om reduktion af drivhusgasemissioner for brændstof vist i Tabel 8.

Nogle gange implementeres EU's direktiver direkte i den danske lovgivning. Det ses delvist ved den danske 'lov om bæredygtige biobrændstoffer og om reduktion af drivhusgasser fra transport' (biobrændstofloven) som implementerer dele af VE-direktivet og brændstofkvalitetsdirektivet. Med loven fremmes anvendelsen af bæredygtige biobrændstoffer ved at importører eller producenter af benzin, gas eller diesel har pligt til at iblande mindst 5,75 % biobrændstoffer målt på energiindhold til landtransport. Hertil indføres definitionen på biobrændstoffer som den er defineret i VE-direktivet. Herunder er der også indført mulighed for at 2G biobrændstof tæller dobbelt til opfyldelse af iblandingskravet. Det er tilladt for virksomheder som af den ene eller anden grund ikke opfylder iblandingskravet at betale en eller flere andre virksomheder for at iblande mere biobrændstof. derved kan der sælges brændstof i Danmark uden indhold af biobrændstoffer. Brændstofkvalitetsdirektivets mål om at reducere vugge til grav drivhusgasemissioner fra brændstoffer til transport med 6 % senest i 2020 er også indført i biobrændstofloven. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2011)

Energiaftalen fra 2012 som blev vedtaget af Socialdemokraterne, Det Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti, Venstre, Dansk Folkeparti, Enhedslisten og Det Konservative Folkeparti. Energiaftalen er den seneste store aftale på energiområdet og dækker periode 2012 til 2020 med aftale om forhandlinger af ny aftale i 2018. En del af energiaftalen er et bidrag til at opfylder VE-målsætningen for transportsektoren ved at iværksætte virkemidler i form af støttepuljer til infrastruktur og forsøgsordninger med alternative drivmidler. (Energiaftale 2012, 2012)

I slutningen af 2016 blev en ny lov indført om iblanding af avancerede biobrændstoffer. ILUC-direktivet fastsatte et krav om at avancerede biobrændstoffer skal udgøre mindst 0,5 % af energiforbruget. Den danske sætter iblandingskravet for avancerede biobrændstoffer på 0,9 % af energiforbruget. De 0,9 % kan udgøre en del af iblandingskravet på 5,75 % biobrændstoffer. Avancerede biobrændstoffer er i dansk lov defineret efter ILUC-direktivets definition. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016c)

Biobrændstofloven	
Iblandingskrav af biobrændstof målt på energiindhold	5,75 %
Reduktion af vugge til grav drivhusgasemissioner for brændsel	6 %
Iblanding af avancerede biobrændstoffer	0,9 %
Mineralolieafgiftsloven – øre/liter (energiafgift)	
Diesel (svovlfri)	271,1
Diesel med 6,8 % biobrændstoffer (svovlfri) målt på volumen	269,7
Benzin (blyfri)	426,8
Benzin med 4,8 % biobrændstoffer (blyfri) målt på volumen	419,5

Tabel 8 Regulering for iblanding af biobrændstoffer samt afgifter for benzin og diesel med og ud iblanding af biobrændstoffer. Afgiftssatserne er ved dagtemperatur.



I mineralolieafgiftsloven er afgiftssatserne for benzin og diesel vedtaget. Det ses i Tabel 8 at der er forskellig afgift for brændstof med biobrændstof og brændstof uden biobrændstof. Ligeledes bemærkes det, at afgiften kun er reduceret såfremt der iblandes minimum 4,8 % biobrændstof i benzin eller 6,8 % biobrændstof i diesel. Som beskrevet i forrige afsnit om brændstofkvalitetsdirektivet er maksimumgrænsen for iblanding af 5 % bioethanol i benzin E5 og 7 % FAME i diesel B7. Det betyder at importører og producenter af benzin og diesel ikke kan iblande ekstra FAME eller bioethanol i tilfælde af, at de ikke opfylder iblandingskravet. (Energistyrelsen, Forsynings- og Klimaministeriet, 2014) I 2015 var iblandingen af bioethanol i benzin og FAME i biodiesel svarende til 5,36 % af det samlede energiindhold i benzin og diesel, hvilket ikke opfylder iblandingskravet på 5,75 %. For at opfylde biobrændstoflovens iblandingskrav har importører og producenter af benzin og diesel 3 muligheder. De kan iblande 2G biobrændstof som tæller dobbelt i 5,75 % iblandingskravet eller anvende anden 1G biodiesel såsom HVO som ikke indgår i B7 begrænsningen. De har også mulighed for at betale andre virksomheder som har iblandet for meget. Det kan eksempelvis være biogas som også indgår i iblandingskravet. (Energistyrelsen, 2017b)

7. Transportsektorens drivmidler

I dette kapitel besvares problemstilling 1, ved at undersøge drivmidler som har teknisk mulighed for at erstatte de konventionelle drivmidler i personbiltransporten. Ydermere er formålet med kapitlet at opnå kendskab til drivmidlernes anvendelse i personbiler, drivmidlernes infrastruktur samt i hvor høj grad drivmidlerne i dag anvendes i den danske personbiltransport.

I det første afsnit 7.1 beskrives forbrændingsmotoren som er baggrunden for, at benzin og diesel er det foretrukne drivmiddel i dag. I andet afsnit 7.2 beskrives der på gas som drivmiddel. Gas benytter sig ligesom benzin og diesel af en forbrændingsmotor til at drive et køretøj. I tredje afsnit 7.3 beskrives der på el som drivmiddel. El drives ikke af en forbrændingsmotor og er derfor i et teknisk perspektiv en innovativ ændring af måden at tænke drivmidler på. I fjerde afsnit 7.4 beskrives brint som drivmiddel i en bil med brændselscelle. Til sidst i afsnit 7.5 nævnes nogle af de drivmidler som har potentiale for helt eller delvist at erstatte de konventionelle drivmidler men som ikke medtages i dette projekt.

7.1 Benzin og diesel som drivmiddel i transportsektoren

Dette afsnit indledes med en beskrivelse af forbrændingsmotoren som en vigtig del af transportens udvikling. Der fokuseres på benzin og diesel og deres regulering i forhold til iblanding af biobrændstoffer samt kvalitetskrav. Herefter fokuseres der på de alternative drivmidler værende biodiesel, bioethanol, biogas, brint og el.

Diesel og benzin har siden forbrændingsmotorens oprindelse og gennembrud i slutningen af 1800-tallet været de foretrukne brændsler til drive et transportmiddel. Før forbrændingsmotoren var damp det foretrukne drivmiddel til køretøjer men dampen var besværlig at håndtere. I samme periode som forbrændingsmotorens gennembrud var der forsøg med elbiler. Elbilerne var lette at manøvrere og havde fart, men batteriernes lave kapacitet medførte at de aldrig fik et egentligt gennembrud da elbilernes rækkevidde var for kort. I løbet af 1900-tallet udviklede bilen sig til det folkelige transportmiddel som kendes i dag. (Den Store Danske, 2017)

De forbrændingsmotorer som anvendes i dag er enten baseret op Rudolf Diesels dieselmotor eller Nicolaus August Ottos ottomotor. Hvorvidt den ene motor er bedre end den anden er blevet diskuteret siden 1900-tallet, hvorfor den diskussion ikke tillægges opmærksomhed i dette projekt. Det kan dog ikke diskuteres at forbrændingsmotorerne var et teknologisk fremskridt. Dampmotoren havde en udnyttelsesgrad på 10 % mens Rudolf Diesels motor i 1987 havde en udnyttelsesgrad på brændselsenergien på 34 %.

7.1.1 Benzinbilens brændstofforbrug

Benzinbilen drives med en ottomotor der som oftest anvender benzin men kan også anvende petroleum eller gas. Forskellen på ottomotoren og dieselmotoren er forbrændingsprocessen hvor brændslet antændes i motorens cylinder. I ottomotoren blandes benzin og luft inden den indføres i motorens cylinder. Benzin er en tynd væske der danner dampe som når det blandes med luft er i risiko for eksplosion. Benzins selvantæn-

dingstemperaturer er ca. 450 grader. I ottomotorens cylinder komprimeres benzin og luftblandingen hvorefter den antændes med en gnist fra et tændrør. Ved at anvende en gnist til at antænde brændstoffet sikres at brændstoffet antændes på de rigtige tidspunkt. (Petersen, 2007)

En benzinbil i C-segmentet, omfatter biler med 1.0l turbomotorer eller 2.0l motorer uden turbo. Biler i denne klasse er vurderet til et gennemsnitligt energiforbrug på 2,22 MJ pr. kørte km. Det svarer til 14,8 liter benzin pr. km. (Teknologisk Institut, 2016)

7.1.2 Diesebilens brændstofforbrug

I dieselmotoren er anderledes end ottomotoren ved, at der ikke anvendes et tændrør til at antænde brændstoffet. Dieselen indføres motorens cylinder efter luften er komprimeret. Da det kun er luft som komprimeres er der ikke nogen eksplosionsrisiko som det er tilfældet med ottomotoren. Efter komprimeringen af luft indsprøjtes diesel som selvantændes ved kontakt med varmen skabt fra luftkomprimeringen. (Petersen, 2007) Diesel selvantændes typisk ved 220-300 grader. (OK, 2007)

En diesebil i C-segmentet med turbo-dieselmotor som eksempelvis VW TDI 2.0l og PSA HDI 1.6l er vurderet til at gennemsnitligt energiforbrug pr. km på 1,99 MJ pr. km. Det svarer til ca. 18 liter diesel pr. km. (Teknologisk Institut, 2016)

7.2 Gas som drivmiddel i transportsektoren

I dette afsnit beskrives naturgas og biogas som drivmiddel til personbiler. Der fokuseres både på naturgas og biogas fordi disse teknisk og systemmæssigt virker på samme måde. Ydermere beskrives gastankstationerne og gastankstationernes placering.

7.2.1 Gasbiler

Gasbiler drives af en modificeret ottomotor/benzinmotor. Naturgas eller anden gas af naturgaskvalitet har et højere oktantal som ottomotoren skal tilpasses til for at opnå den bedst mulige virkningsgrad. Gasbilerne opbevarer gassen i tryktanke, hvor gassen er komprimeret til 200 bar. Ved at komprimere gassen kan gasbilerne opnå en længere rækkevidde på en optankning. Komprimeret naturgas kaldes CNG (Compressed natural gas) og komprimere biogas kaldes CBG (compressed biogas). (Gasbiler.info, 2016) I dette projekt omtales drivlinjerne biogasbil og naturgasbil, der er dog altid tale om biler med komprimeret gas på 200 bar.

En gasbil i C-segmentet med komprimeret gas og modificeret ottomotor har et gennemsnitligt energiforbrug pr. km på 2,12 MJ. (Teknologisk Institut, 2016) Det svarer til 18,6 km/m³ naturgas.

I 2016 var der 327 indregistrerede naturgaskøretøjer. Heraf var 163 lette køretøjer dvs. under 3500 kg. 73 var busser og 91 var lastbiler. (Gasbiler.info, 2016)

7.2.2 Biogasproduktion til anvendelse som drivmiddel

Biogas er primært baseret på husdyrgødning fra landbruget men der anvendes også andre organiske materialer som kan være restprodukter fra industri, organisk, halm og andet. Der kan også anvendes energiafgrøder. (Energinet.dk, 2013) Et biogasanlæg kan dog højst bruge 25 % energiafgrøder, hvis biogasanlægget øn-

sker økonomisk støtte til biogasproduktionen. I 2018 reduceres andelen af tilladte energiafgrøder i biogasproduktion til 12 %. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2015) Biogassen som sælges til transportformål og som ønsker økonomisk støtte må biogassen ikke være produceret af korn, majs, roer eller jordskokker. (Energi-, Forsynings- og klimaministeriet, 2016d)

I biogasanlægget opbevares det organiske materiale i en anaerob reaktortank. I reaktortanken sker en biologisk proces hvor det organiske materiale nedbrydes af bakterier, hvorved biogassen skabes. Biogassen består hovedsageligt af 2/3 CH₄ og 1/3 CO₂ og lidt svovlbrinte og brint. (Nordisk Folkecenter, 2008)

Fra biogas til bionaturgas

Biogas produceret på et biogasanlæg kan anvendes direkte til produktion af el og varme til nærtliggende fjernvarmenet. En anden mulighed er at opgradere biogassen til bionaturgas, hvorved gassens indhold af CO₂ trækkes ud så gassens indhold af metan er på samme niveau som naturgas. Den opgraderede bionaturgas kan injiceres i naturgasnettet hvorved bionaturgas fortrænger naturgas. (Energinet.dk, 2013) Den mængde CO₂ som biogassen indeholder udledes til naturen når biogassen anvendes som brændsel eller biogassen opgraderes til naturgas. Biogas er bæredygtig fordi husdyrgødningen og de andre anvendte biomasse ville frigive drivhusgasser naturligt, hvis de ikke blev anvendt til biogasproduktionen. Udslippet af metangasser reduceres ca. 20 gange når gassen afbrændes fremfor at metanen frigives som gødning på en landbrugsmark. (Nordisk Folkecenter, 2008) Hvor end biogas eller bionaturgas anvendes er den medvirkende til at reducere de samlede drivhusgasemissioner såfremt den fortrænger anvendelsen af fossile brændsler.

Når bionaturgassen blandes med naturgas i naturgasnettet kan mængden af biogas ikke måles hos forbrugerne. I stedet er der mulighed for at opkøbe biogas certifikater som dokumenterer at den mængde gas som forbruges er svarende til hvad der er produceret på et biogasanlæg. Et certifikat er svarende til 1 MWh bionaturgas og udstedes af energinet.dk til biogasanlæggene. Hvert biogasanlæg som leverer bionaturgas til naturgasnettet har en konto hos energinet.dk hvor certifikaterne opbevares. Ligeledes kan virksomheder som forbruger naturgas oprette en konto og opkøbe certifikater fra biogasanlæg. Dermed opkøbes retten til at kalde sit naturgasforbrug for bionaturgas. Energinet.dk administreres certifikaterne og sikrer at certifikaterne annulleres når certifikaterne forbruges i Danmark eller eksporteres til udlandet. (Energinet.dk, 2017a)

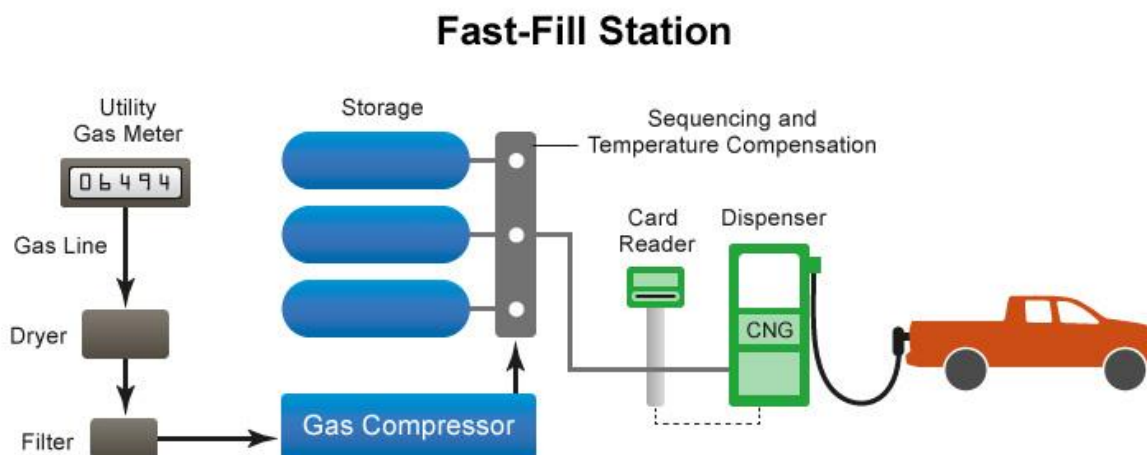
7.2.3 Gastankstationer

Et gastankstationsanlæg er opbygget af en kompressor, et lager bestående af tryktanke og en fyldestation med dispenser. Kompressoren komprimerer gas til ca. 200 bar som opbevares i tryktanke. Fyldestationens design ligner diesel og benzin fyldestationer. Størrelsen på kompressor og tryktanke kan variere afhængig af gastankstationens formål. Teknisk konstrueres gastankstationsanlæg på to måder. Den ene er fast-fill gastankstation og den anden er time-fill tankstation. (U.S. Department of energy, 2017)

Fast-fill gastankstation

Fast-fill anlæg velegnet til offentlige formål, hvor et varieret antal køretøjer tanker gas. Anlægget kan påfylde køretøjer hurtigt og leverer teknisk den samme service som benzin- og dieseltankstationer. På Figur 15 ses en skitse af et fast-fill anlæg. Kompressoren komprimerer gas til et antal tryktanke. Når et køretøj fylder gas fra dispenserens er gassen allerede komprimeret, hvorved gassen kan påfyldes hurtigt. Gassen kan fyldes på køretøjer hurtigere end kompressoren kan komprimere den samme mængde gas. I planlægningen af en gastankstation skal forholdet mellem kompressor og kapacitet i tryktankene i forhold til det forventede antal køretøjer som benytter tankstationen skal vurderes. Hvis tankstationens kapacitet i tryktankene er for lille i

forhold til behovet resulterer det i dårlig service, da gaskøretøjet ikke kan påfyldes. (U.S. Department of energy, 2017)



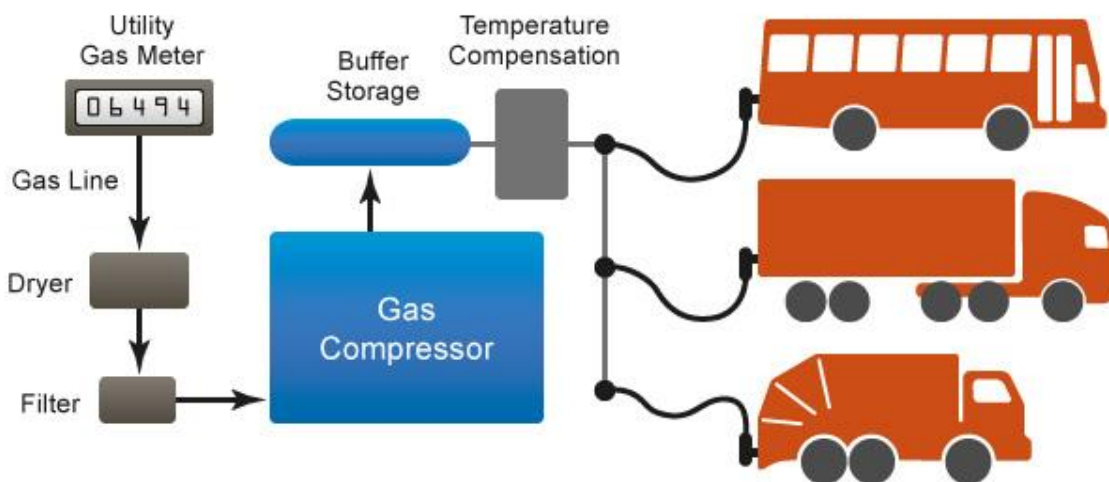
Figur 15 Skitse af et Fast-fill anlæg (U.S. Department of energy, 2017)

Time-fill gastankstation

En time-fill gastankstation henvender sig til projekter hvor kørselsmønsteret er kendt for de køretøjer som anvender gastankstationen. Time-fill anlægget henvender sig til flåder af tunge køretøjer såsom busser, lastbiler og renovationskøretøjer som er parkeret det samme sted i længere tid. Der kan påfyldes flere køretøjer på samme tid. På Figur 16 ses en skitse af et Time-fill anlæg. Det ses at tryktankenes lagerkapacitet er mindre end ved fast-fill anlægget. I Time-fill anlægget anvendes tryktankene i mindre grad som lager og i højere grad som buffertank til at styre mængden af komprimeret gas som påfyldes køretøjerne. Kompressoren arbejder hver gang der er behov for at påfylde et eller flere køretøj. Størrelsen på kompressoren afhænger af antallet af køretøjer samt hvor hurtigt køretøjerne skal påfyldes. (U.S. Department of energy, 2017)

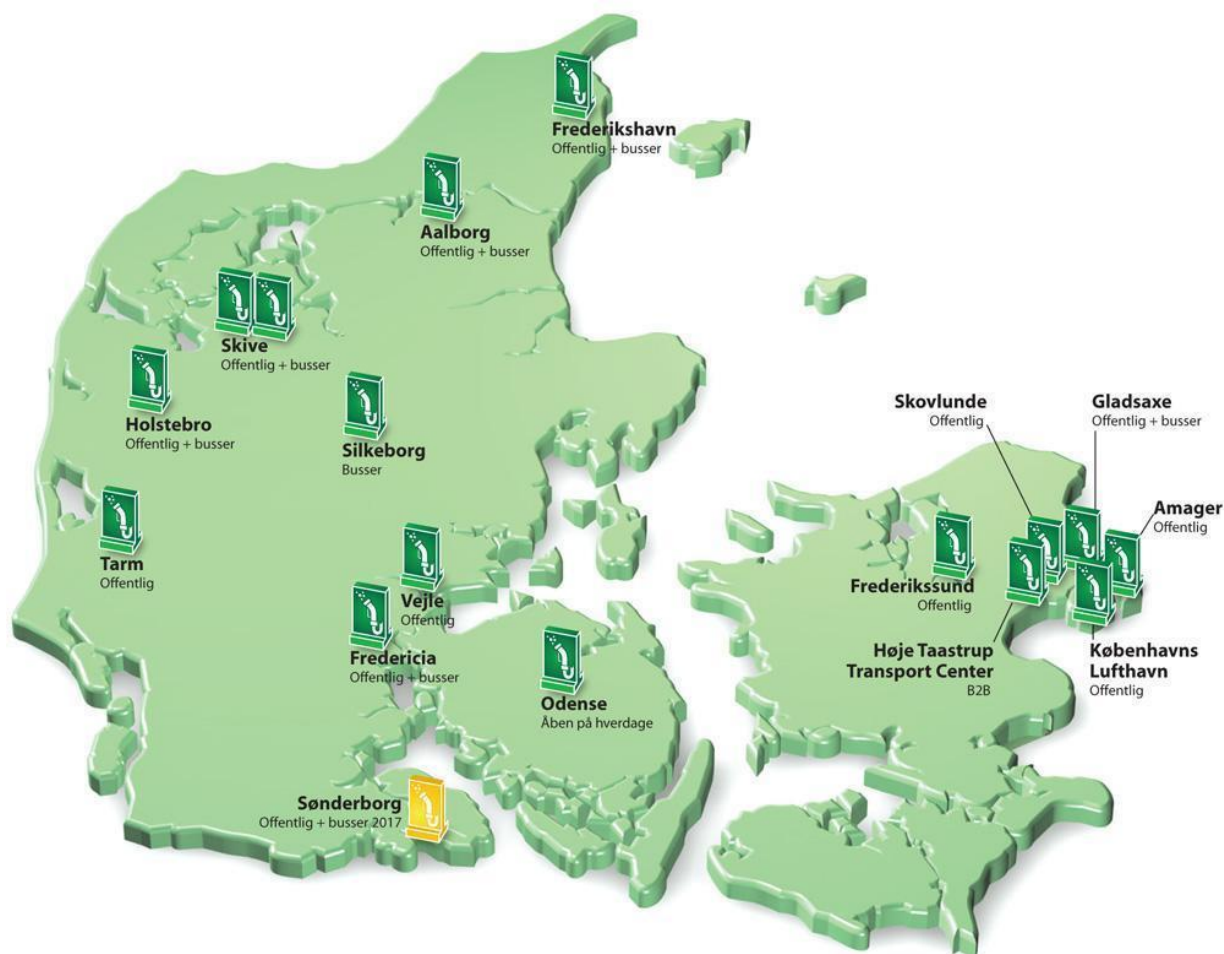
En time-fill anlæg kaldes i en nedskaleret udgave for en hjemmefyldestation. Hjemmefyldestation tilkøbes en husholdnings gasinstallation og kan optanke en personbil over natten. Prisen for gassen anvendt i en hjemmefyldestation afhænger af gasprisen hos det gasselskab, hvor gassen købes fra. (Dansk Gasteknisk Center a/s, 2015)

Time-Fill Station



Figur 16 Skitse af Time-fill anlæg (U.S. Department of energy, 2017)

I dag er der 16 gastankstationer i Danmark. På Figur 17 ses det, at 9 er placeret i Jylland, 6 er placeret på Sjælland og 1 på Fyn. Det bemærkes at gastankstationerne i Jylland ikke er placeret nærheden af store byer som Aarhus og Esbjerg. Herudover er der ikke placeret gastankstationer langs den jyske motorvej. Herudover ses det på Figur 17 at gastankstationen i Silkeborg ikke er offentlig for personbiler og gastankstationen i Odense kun er åben på hverdage. På baggrund af Figur 17 ses der ikke nogen klar strategi for placeringen af gastankstationer i et større netværk til fordel for personbiler.



Figur 17 Gastankstationer i Danmark. I alt 16 gastankstationer i drift og 1 planlagt. (Gas2move, 2016)

7.3 El som drivmiddel i transportsektoren

El som drivmiddel er ikke nødvendigvis et vedvarende drivmiddel men afhænger af, hvordan den anvendte el er produceret. I problemanalysens afsnit 1.3 gøres det klart at det fremtidige energisystem baseres på vedvarende energi og som i Danmark i høj grad vil produceres ved vindkraft.

Der er i dag godt 9000 indregistrerede elbiler i Danmark, heraf blev der registreret 1248 Tesla i december 2016. (Dansk Elbil Alliance, 2017) I dette afsnit fokuseres der på to typer af elbiler. Den ene er elbiler som modelmæssigt sammenlignes med biler i C-segmentet såsom VW e-Golf og Nissan Leaf. Den anden type elbil er Tesla som betegnes som en luksusbil. Tesla medtages fordi bilen er udstyret med et større batteri end andre elbiler, hvormed Tesla i forhold til rækkevidde kan sidestilles med benzin og dieslbiler. Denne type elbiler kaldes i den videre analyse for 'Elbil med stort batteri'.

En elbil er udstyret med en elmotor til at drive bilen i stedet for en forbrændingsmotor som er tilfældet med benzin, diesel og gas. Det betyder at elbilen kan designes mere aerodynamisk fordi elmotoren er mindre og ikke har behov for den samme mængde køleluft. Til gengæld vejer en elbil mere end biler med forbrændingsmotorer. Forskellen på en e-Golf og en diesel golf er for eksempel 271 kg i egenvægt. Modsat forbrændingsmotorer har elmotoren et minimalt tomgangstap og høj virkningsgrad uanset belastning. Elbilen har yderligere den fordel at den kan regenerere bremseenergi tilbage til batteriet. Derved har elbilen ikke det samme

bremsetab som er tilfældet med benzin, diesel og gasbiler. Regenereringen af energi og den højere virkningsgrad medvirker at elbiler har et væsentlig lavere energiforbrug end benzin og dieselmotorer. Til gengæld har elbilen et øget behov for varme, fordi der ikke udvikles varme fra bilens motor. I nye elbiler er der installeret en varmepumpe til at holde temperaturen i kabinen. Derfor kan elbilens energiforbrug pr kørt km variere omkring 10 % afhængigt af årstiden. (Teknologisk Institut, 2016)

En af elbilernes store udfordringer er rækkevidde. En elbil som e-Golf er typisk udstyret med et batteri på 24 kWh, hvilket svarer til en rækkevidde på 150-200 km. En Tesla har et batteri på 70 kWh, hvilket svarer til en rækkevidde på ca. 500 km. (Energistyrelsen, 2016d) Det større batteri i Tesla medvirker en højere egenvægt i bilen, hvilket medfører et større energiforbrug pr. km.

Elbilens batteri skal oplades med jævnstrøm. Derfor skal vekselstrøm fra elnettet ensrettes før elbilen kan oplades. Konverteringsenheden sidder i elbilerne og har i gennemsnit et ladetab i konverteringen på ca. 19,2 % af den energi som tilføres bilen. (Teknologisk Institut, 2016) Elbilsejere oplever ladetabet når elbilen oplades på hjemmeadressen. Her er antal kWh forbrug på elregningen til opladning større end antallet af kWh som elbilen måler på batteriet (elbilforum.no, 2014).

En elbil som e-golf med et lille batteri har et gennemsnitligt energiforbrug på 0,55 MJ/km mens en elbil med stort batteri har et energiforbrug på 0,66 MJ/km. (Teknologisk Institut, 2016) Det svarer til henholdsvis

7.3.1 Udbygning af infrastruktur

De fleste elbiler oplades over natten på ejerens adresse eller på arbejdspladsen. En fuld opladning på egen adresse med en 220 V forbindelse kan tage 4-8 timer. (Elbiler.nu, 2014) Da det er muligt at oplade elbilen på hjemmeadressen er der ikke det samme behov for infrastruktur som der er ved anvendelse af andre drivmidler.

Der findes fem forskellige ladestik afhængig af, hvilket bilmærke elbilen tilhører. Der er derfor også forskellige ladestik på de forskellige ladestander. Fra 2018 er der i EU vedtaget en fælles standard for, hvilket ladestik der skal være på de enkelte ladestander. (Dansk elbil alliance, 2015).

Hvis elbilen skal oplades offentligt skal elbilen parkeres ved en ladestander. De to største udbydere af ladestander er E.ON som har over 1000 ladestander og Clever som har over 600 ladestander. Ladestanderne er dog kun tilgængelige for brugere med abonnement. (CLEVER, 2016a) (E.ON, 2017a) Ladestander er offentlige men somme tider placeret ved virksomheders parkeringspladser, hvorfor det er usikkert hvor mange der reelt er offentlige.

Da der ikke har været en standard for ladestik er de fleste offentlige ladestander uden kabel. Disse ladestander fungerer som en stikkontakt til elbiler, hvor hver elbil har sit eget kabel eller kabeladapter til at lade elbilen. Denne type ladestander har typisk en effekt på 11-22 kW men begrænses ofte af elbilens konverteringsenhed. En Kia Soul EV kan f.eks. maksimalt oplade med 3,7 kW. (Delk, 2016)

I løbet af de seneste år har Tesla, E.ON og Clever opført ladestationer som oplade omkring 80 % af elbilernes batteri på ca. 20 minutter. Disse ladestander konverterer vekselstrøm til jævnstrøm i ladestanderen oplades batteriet uden om elbilens konverteringsenhed. Af sikkerhedshensyn er disse ladestander udstyret med et fast kabel, da strømstyrken kan være op til 400 ampere. Der kan være tre forskellige kabler på disse ladestationer som passer til enten tyske biler, japanske biler eller Tesla. (Delk, 2016)

Både Clever og E.ON kræver en abonnementsaftale for at anvende deres ladestandere. De har begge forskellige abonnementsaftaler. En abonnementsaftale er et oprettelsesgebyr på 100 kr. eller 350 kr. med en opladningspris på henholdsvis 5,25 kr./kWh eller 5,5 kr./kWh. En anden abonnementsaftale som de tilbyder er fri opladning til en fast månedlig ydelse på 379 kr. til 699 kr. afhængig af batterikapaciteten i elbilen. (Clever, 2016b) (E.ON, 2017b)

7.4 Brint og brændselsceller som drivmiddel

Brint produceres ved elektrolyse, hvor elektricitet anvendes til at spalte vand til ilt og brintgas. (Energistyrelsen, 2015c) Nye elektrolyseanlæg kan producere brint i et spænd på 15-100% af anlæggets kapacitet, hvorfor elektrolysen kan producere brint efter behovet på en brinttankstation. (Greenhydrogen.dk, Læst 2017)

Brinten har som brændsel flere anvendelsesmuligheder end som drivmiddel i transportsektoren. Brinten kan udnyttes til balancering af elnettet, produktion af varme, produktion af syntetiske gasser eller som lager af el til senere udnyttelse (Dansk Energi, 2016). Hvis der ses på energisystemet i et Smart Energy System perspektiv som beskrevet i problemanalysens afsnit 1.3 kan brint være en samfundsmæssig en del af løsningen på et energisystem uden fossile brændstoffer. Smart Energy System er som vist på Figur 2 i afsnit 1.3 et fleksibelt system, hvor der i perioder er overskydende el som skal lagres. Her kan brint være en løsning til at lagre den overskydende el, hvorefter brinten senere kan udnyttes i energisystemet.

Brintproduktionens infrastruktur til transportformål kan enten opbygges med centrale elektrolyseanlæg som producerer store mængder brint, hvorefter brinten distribueres i tryktanke med lastbiler til brinttankstationer som det kendes fra benzin og diesel. En anden mulighed er, at have decentrale elektrolyseanlæg med lager placeret ved brinttankstationerne, hvormed omkostningerne til distribution med lastbiler undgås. Der kommer dog omkostninger til transmission og distribution af el. Ca. halvdelen af de danske brinttankstationer producerer brinten decentralt ved brinttankstationen. (ForskEL - Energinet.dk, 2015) Elektrolyseanlæggene har omtrent den samme effektivitet på decentrale og centrale anlæg. (Energistyrelsen, 2015c)

I Danmark er der i dag 10 tankstationer i drift i Danmark. Brinttankstationernes placering ses på kortet på Figur 18. Placeringen af brinttankstationerne er strategisk udvalgt med fokus på at skabe et landsdækkende netværk af brinttankstationer. Derfor er brinttankstationerne fordelt over hele landet og placeret i nærheden af motorvejene og de større byer. En fuld optankning med brint tager ca. 3-4 minutter, hvilket er sammen-

ligneligt med en benzinbil. Elektrolyseanlæggene producerer typisk brint i 30 bar mens brintbilen har et lagringstryk på 700 bar. (Hydrogen Link, 2013) (Greenhydrogen.dk, Læst 2017) Derfor er der ved tankstationerne også et komprimeringsanlæg lignende det beskrevet i afsnit 7.2 om gastankstationer.

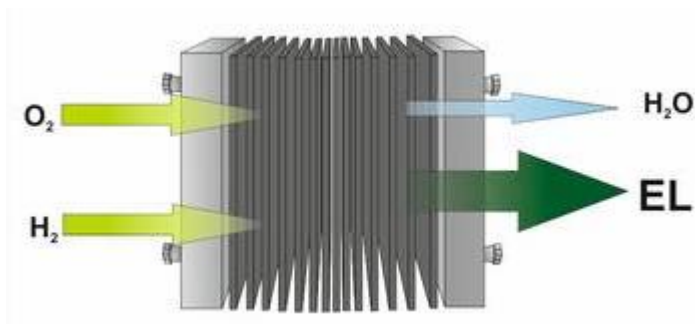


Figur 18 - 10 brinttankstationer i drift i Danmark. (Brintbiler.dk, 2017a)

7.4.1 Brintbil med brændselscelle

Brint kan drive en bil med en forbrændingsmotor på samme måde som det er beskrevet i afsnit 7.2 om gas som drivmiddel. Hvis brint anvendes i en forbrændingsmotor er der udslip af NO_x, ligesom det er tilfældet når andre drivmidler afbrændes i en forbrændingsmotor. De fleste store bilfabrikanter som Toyota, Honda, HyundaiFord, Renault VW og Fiat fokuserer på brændselsceller som en integreret del af brintbilen, da brændselscellen udnytter en større del af brintens energiindhold. Brændselscellen producerer el som udnyttes i en elmotor til at drive bilens hjul. (Nielsen, 2006) På nedenstående Figur 19 ses en tegning af en brændselscelle og den proces der sker i brændselscellen som kaldes en elektrokemisk proces. Det ses, at Brint og ilt fra luften an i brændselscellen omdannes til el og vand. Der udledes i processen ingen drivhusgasser og miljøskadelige

partikler. Tegningen på Figur 19 er af én enkelt brændselscelle. For at øge produktionen af el serieforbindes en lang række af brændselsceller. (Partnerskabet for Brint og Brændselsceller, 2015) Det betyder, at der i dette projekt og helt generelt nævnes 'bil med brændselscelle' er der tale om et brændselscellesystem.



Figur 19 Tegning af en brændselscelle hvor Brint og ilt fra luften udnyttes til at producere el med vand som det eneste splidprodukt.

Den el som brændselscellen producerer ledes til et mindre batteri som anvendes til at drive bilen. Batteriets funktion er en form for buffer mellem brændselscellen og elmotoren. Batteriet aflades ved accelerationer, hvor elbilen kortvarigt har behov for mere el. Batteriet anvendes også til opsamling af bremseenergi. (Partnerskab for Brint og Brændselsceller, 2014) En brintbil er vurderet til at have et energiforbrug på 1,25 MJ/km. (Teknologisk Institut, 2016)

Brint og brændselsceller er for nuværende på et demonstrationsstadium. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2017) I dag er der 75 indregistrerede brintbiler i Danmark (Brintbiler.dk, 2017b). I Danmark er der tre brintbiler med brændselscelle på markedet. Det er Hyundai ix35, Honda Clarity og Toyota Mirai. (Brintbiler.dk, 2017b) Hyundai ix35 har en salgspris fra 625.000 kr. (Hyundai, 2017) Toyota Mirai har på det japanske marked en salgspris på ca. 360.000 kr. og på det europæiske marked ca. 500.000 kr. uden moms og afgifter. (Toyota, 2014) Både Hyundai ix35 og Toyota Mirai er dog større end biler C-segmentet som er udgangspunktet for de andre drivlinjer. (Teknologisk Institut, 2016) Eftersom der ikke er andre brintbiler med brændselscelle at tage udgangspunkt i, er det valgt at Hyundai ix35 og Toyota Mirai er udgangspunkter for brintbiler i dette projekt. Toyota Mirai og Hyundai ix35 kan ses på nedenstående Billede 1.



Billede 1 Toyota Mirai og Hyundai ix35 ved Nordisk Folkecenter for vedvarende energi. (Eget foto, i forbindelse med konference om grøn mobilitet)

7.5 Andre drivmidler som kan anvendes som drivmiddel i personbiler

I dette afsnit nævnes nogle af de drivmidler som kan anvendes til helt eller delvist at fortrænge fossile brændstoffer i personbiltransporten. Disse drivmidler medtages ikke i den videre analyse, hvorfor dette afsnits formål til dels er, at gøre opmærksom på de drivmidler som kan have en rolle som drivmiddel i fremtidens transportsektor. Afgrænsningen af disse drivmidler bunder i, at projektets omfang skal passe til de tidsmæssige ressourcer som er til rådighed i projektperioden.

Biobrændstoffer

I kapitel 6 er det beskrevet at bioethanol og biodiesel iblandes benzin og diesel. Det er teknisk muligt at iblande en større andel af biobrændstof end den nuværende regulering tillader, såfremt personbilernes motorer justeres til et højere indhold af biobrændstof, hvilket også er beskrevet i 6. Bioethanol produceres på stivelsesholdig og sukkerholdig biomasse såsom sukkerroer, sukkerrør, korn og majs. Biodiesel kan produceres på olieholdige produkter og animalsk fedt. (Hveiti - Refining life, 2011)

Det er valgt ikke at medtage biodiesel og bioethanol i den videre analyse. Der valgt fordi det ikke forventes at der kan produceres tilstrækkelig biodiesel og bioethanol baseret på 2. generations biomasse til at forsyne hele transportsektoren. (Energistyrelsen, 2016d) Hertil er det valgt at fokusere på drivmidler som kan omstille personbiltransporten fra konventionelle drivmidler, ikke delvis erstatte ved iblanding af biobrændstof.

Syntetiske biobrændstoffer

Syntetiske biobrændstoffer er brændstof som er industrielt produceret. Der nævnes her to syntetiske brændstoffer som kunne være medtaget i dette projekt. Det er i projektet valgt ikke at fokusere på de syntetiske brændstoffer fordi de teknologisk ikke er på samme udviklingsniveau som de drivmidler der er medtaget i analysen.

Metanol er i dag oftest produceret fra naturgas og kul men det kan produceres fra vedvarende energi som biogas og biomasse, hvorved metanolen er CO₂-neutral. En personbil som anvender metanol som drivmiddel er udstyret med en brændselscelle og en reformer. Reformeren anvendes til at konverterer metanolen til brint. Brinten anvendes i en brændselscelle på samme måde som beskrevet i afsnit 7.4 om brint og brændselsceller. Dermed er metanolen funktion som drivmiddel at bære brinten frem til brændselscellen. Metanol er flydende og derfor nemmere at håndtere end brint. (Serenergy, Læst 2017)

DME er dimethylether og produceres fra biomasse og affald. DME er på gasform men ved minus 25 grader eller ved 5 bar omdannes DME fra gas til væske. DME kan anvendes som brændsel i forbrændingsmotorer og i brændselsceller. Nogle af fordelene ved DME er, at den er svovlfri samt CO₂ og NO_x udledningen er lavere end ved benzin og diesel. (Simonsen, 2011) (Danish Technological Institute, 2011)

8. Samfundsmæssige analyser

I dette kapitel analyseres drivlinjerne i et samfundsmæssigt perspektiv. Drivlinjerne analyseres i tre analyser med fokus på samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet. Formålet med de tre analyser er at besvare projektets 2. problemstillingsspørgsmål, beskrevet i Kapitel 2. ved at besvare problemstillingsspørgsmål nr. 2 medvirker den samfundsmæssige analyse til besvarelse af den overordnede problemformulering.

De drivlinjer som er medtaget i de samfundsmæssige analyser er benzinbil, dieselbil, naturgasbil, biogasbil, elbil, elbil med stort batteri og brintbil med brændselscelle.

Benzin og diesel er de konventionelle drivlinjer og ses som en reference til de alternative drivlinjer.

Naturgas er medtaget som drivlinje i de samfundsmæssige analyser fordi naturgas deler flere karakteristika med biogas drivlinjen. Naturgas og biogas drivlinjerne anvender samme type forbrændingsmotor og infrastruktur i form af gasnet og gastankstationer. Ved biogas drivlinjen antages det i den samfundsmæssige analyse er biogassen produceres på 2. generations biomasse og at den overskydende CO₂ ved biogasproduktionen ikke sælges videre til anden anvendelse.

Der er medtaget to drivlinjer for elbiler. Den ene er med lille batteri og den anden med stort batteri. Som beskrevet i afsnit 7.3 er elbilen med stort batteri sammenlignelig med benzinen i dieselbilen målt på rækkevidde mens elbilen med lille batteri er i C-segmentet ligesom bilerne i de andre drivlinjer.

Brint er også medtaget i analysen og som beskrevet i afsnit 7.4 er teknologien på demonstrationsstadiet. Brint er medtaget som drivlinje fordi den forventes at være et alternativ til benzin og diesel i på længere sigt. I de samfundsmæssige analyser for brintscenariet antages det, at brinten produceres på decentrale elektrolyseanlæg ved brinttankstationen (Energistyrelsen, 2016e).

Den samfundsøkonomiske analyse sammenligner drivlinjernes samfundsøkonomi i kr./km, beregnet uden skatter og afgifter. Det er i denne analyse formålet at finde frem til de samfundsøkonomisk mest fordelagtige drivlinjer som kan erstatte de konventionelle drivlinjer. Herudover indgår den samfundsøkonomiske analyse i den teoretiske tilgang om innovativ projektvurdering som beskrevet i afsnit 3.1.

Analysen af udledning af drivhusgasemissioner bidrager til samfundets overordnede udfordring med drivhus-effekten og temperaturstigninger som beskrevet i afsnit 1.1. Denne analyse bidrager med et andet samfundsmæssigt perspektiv end den samfundsøkonomiske analyse, hvilket udvider diskussionen om, hvilke alternative drivlinjer der bør erstatte de konventionelle drivlinjer.

Analysen af drivlinjernes energieffektivitet medvirker til en bedre forståelse for, hvilke drivlinjer der udnytter energien mere energieffektivt end andre drivlinjer. I problemanalysen er det beskrevet i forhold til Smart Energy System i afsnit 1.3, at et energisystemet baseret på fluktuerende energi i konverteringsfasen mellem energiproduktion og forbrug er mere fleksibelt. I denne analyse af drivlinjernes energieffektivitet undersøges hvor i drivlinjens kæde der forekommer energitab.

Resultaterne af de samfundsmæssige analyser opsummeres i afsnit 8.5.

8.1 Samfundsøkonomisk analyse

I dette afsnit analyseres de udvalgte drivlinjernes samfundsøkonomi. Analysen er baseret på AD-modellens udregninger som er nærmere beskrevet i afsnit 5.1. Drivlinjernes samfundsøkonomi vurderes på år 2015 samt drivlinjernes forventede udvikling frem mod årene 2020, 2035 og 2050. Det bemærkes at AD-modellen antager at alle drivlinjernes infrastruktur er tilpas udbygget, således at drivlinjerne kan sammenlignes ligeligt fra Well-to-Wheels, se afsnit 5.1.

Drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger fremgår af Figur 20. Omkostningerne er delt i omkostninger til personbilen, drift og vedligehold, brændstof og eksternaliteter. Eksternaliteterne medtaget i den samfundsøkonomiske analyse er CO₂, CH₄, N₂O, SO₂, NO_x, partikler og støj, som beskrevet i afsnit 5.5.

På Figur 20 ses at dieselbilens og benzinbilens samfundsøkonomiske omkostninger er tilnærmelsesvist lige og forventes at stige ligeligt frem mod år 2050. Der forventes en teknologisk udvikling på benzin- og dieselmotorens virkningsgrad men prisstigningerne på brændstof og på CO₂-ækvivalent efter 2020 medfører en samlet samfundsøkonomiske stigning. Der forventes ingen prismæssig udvikling af personbilens produktionsomkostninger hverken for benzinbilen eller dieselbilen.

Det ses på Figur 20 at naturgasbilen og elbilen for basisåret 2015 er de drivlinjer med lavest samfundsøkonomiske omkostninger. Det skyldes især deres lave brændstofomkostninger. Naturgasbilens samfundsøkonomiske omkostninger til personbilen og D&V er sammenlignelig med benzinbilen, dieselbilen og biogasbilen som også benytter forbrændingsmotorer. Biogasbilens samfundsøkonomiske omkostninger er i 2015 højere end de konventionelle drivlinjer, hvilket primært skyldes omkostningerne til brændstof. Frem mod år 2050 forventes brændstofomkostninger at falde, hvorfor biogasbilens samfundsøkonomiske omkostninger i 2050 kommer på niveau med de konventionelle drivlinjer. Biogasbilens omkostninger til eksternaliteter er frem til 2035 faldende fordi biogassen fortrænger fossile brændstoffer. I 2050 forventes biomasseressourcens fulde potentiale at være udnyttet, hvorfor anvendelsen af biogas i transportsektoren resulterer i, at biomasseressourcen ikke kan anvendes et andet sted. Dermed fortrænges der ikke fossile brændstoffer, de fossile brændstoffer flyttes blot rundt i samfundet. Derfor tillægges biogas i 2050 flere omkostninger til eksternaliteter end i 2035. Loftet over den danske biomasseressource er nærmere beskrevet i afsnit 5.1.

På Figur 20 ses, at omkostningerne til eksternaliteter for år 2015 udgør en mindre del drivlinjernes samlede samfundsøkonomiske omkostninger. Dieselbilen har de største omkostninger til eksternaliteter på 0,1 kr./km mens benzinbilen har 0,09 kr./km og naturgasbilen har 0,07 kr./km. Elbilen har færrest omkostninger til eksternaliteter på 0,04 kr. km.

Som nævnt er naturgasbilen og elbilen de drivlinjer som har færrest samfundsøkonomiske omkostninger af drivlinjerne medtaget i analysen. Naturgasbilens samfundsøkonomiske omkostninger stiger frem mod 2050 mens elbilens samfundsøkonomiske omkostninger frem mod 2050 reduceres. Dermed er elbilen den mest favorable drivlinje set på samfundsøkonomiske omkostninger både på kort sigt i 2015 og på lang sigt i 2050. Særligt for elbilen er, at omkostninger til fremstilling af personbilen udgør en større del af drivlinjens samlede omkostninger end det er tilfældet ved drivlinjerne med forbrændingsmotor. Det forventes at elbilens omkostninger til fremstilling af personbilen reduceres markant frem mod år 2035.

Elbilen med stort batteri er som beskrevet i afsnit 7.3 hovedsageligt baseret på en luksusbil såsom Tesla og er derfor i en højere prisklasse end de andre drivlinjer. Elbilen med stort batteri er medtaget i analysen fordi den er sammenlignelig med de andre drivlinjer på bilens rækkevidde, hvor elbilen med stort batteri kan køre ca. 500 km. Det ses på Figur 20, at elbilen med stort batteri er den samfundsøkonomisk næstdyreste drivlinje.

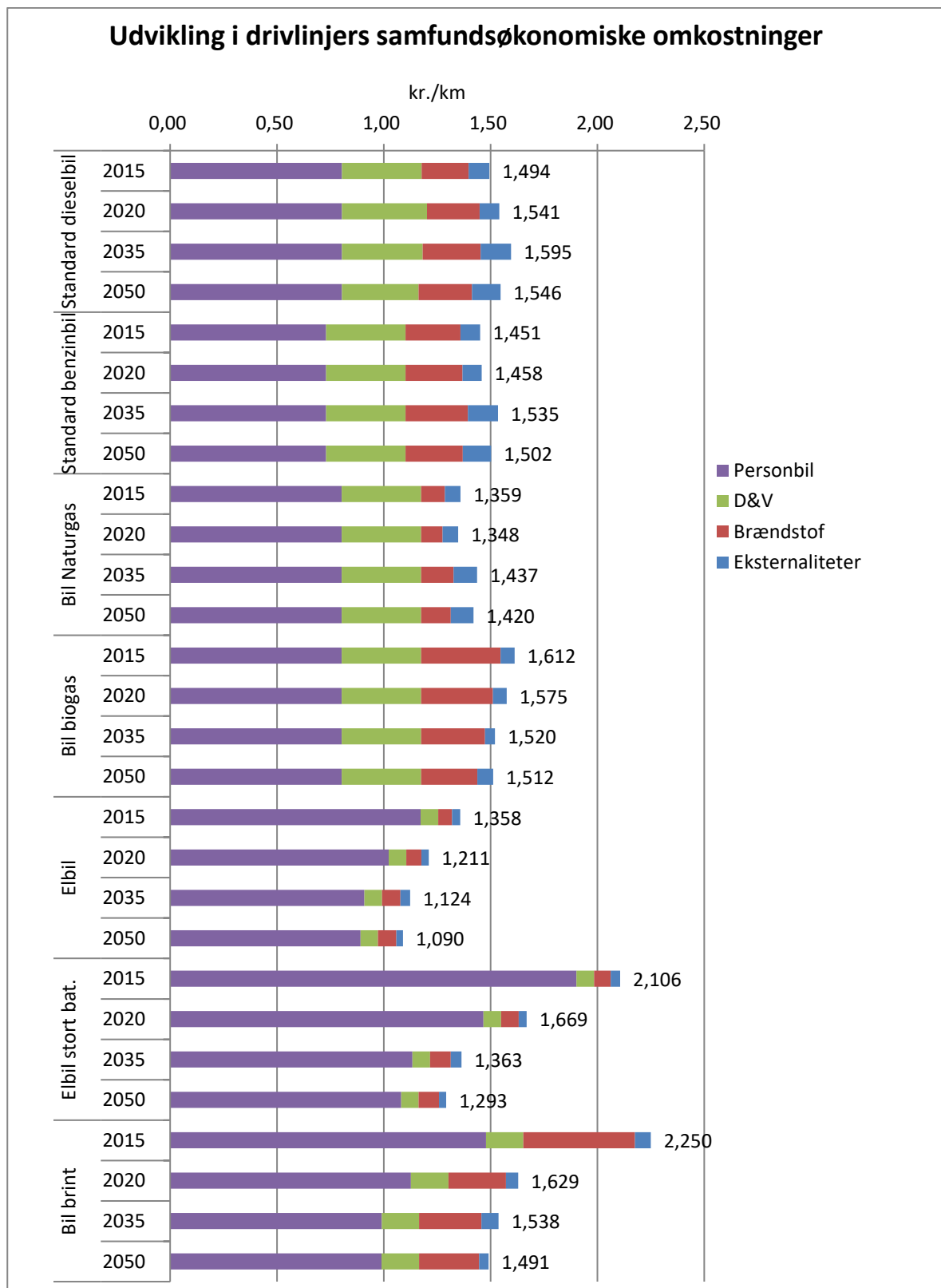


Elbilen med stort batteri forventes dog i år 2035 at være på niveau med de andre drivlinjer medtaget i analysen. Både elbilen og elbilen med stort batteri har lavere omkostninger til D&V og brændstof end de andre drivlinjer i analysen.

Den sidste drivlinje er brint som udviklingsmæssigt er på demonstrationsniveau. Det ses af Figur 20 at brint er den samfundsøkonomiske dyreste af alle drivlinjerne i år 2015. Drivlinjen har høje omkostninger til både produktionen af personbil og brændstof.

Brintbilen er i år 2015 den drivlinje med de højeste samfundsøkonomiske omkostninger af de medtagne drivlinjer. Brintbilen har høje omkostninger til fremstilling af bilen og høje brændstofomkostninger. Som beskrevet i afsnit 7.4 er brintbilen stadig på demonstrationsniveau. Omkostningerne til fremstilling af brintbilen og brændstofomkostninger forventes allerede i 2020 at falde væsentligt så drivlinjen nærmer sig de andre alternativer. I år 2035 forventes brintdrivlinjen at være på niveau med de konventionelle drivlinjers samfundsøkonomiske omkostninger.

Ses der samlet på Figur 20 er elbilen særligt interessant ud fra denne samfundsøkonomiske analyse, da den i 2015 har laveste omkostninger og forventning om at reducere omkostningerne yderligere mod år 2050. Drivlinjerne som anvender forbrændingsmotorer (diesel, benzin, naturgas og biogas) er rimeligt lige og der forventes ikke nogen større udvikling frem mod 2050. Elbilen med stort batteri og brint er de drivlinjer med størst forventning til at omkostningerne reduceres frem mod 2035 og 2050.



Figur 20 Drivlinjernes samfundsmæssige omkostninger kr./km for årene 2015, 2020, 2035 og 2050. omkostningerne er delt på personbilen, drift og vedligehold, brændstof og eksternaliteter. Omkostningerne summeret fremgår for hver drivlinje, f.eks. 1,496 kr./km for dieselbil år 2015.

8.2 Analyse af drivlinjernes drivhusgasemissioner

I dette afsnit analyseres drivlinjernes udvikling i udledning af drivhusgasemissioner. Denne del af analysen er især sammenhængende med problemanalysens overordnede problemstilling om at udledningen af drivhusgasemissioner skal reduceres for at imødekomme klimaforandringerne. Analysen er baseret på AD-modellens beregning af drivlinjerne på baggrund af Well-to-Wheels som er beskrevet nærmere i afsnit 5.1

Analysen af drivlinjernes drivhusgasemissioner fremgår af Figur 21 og er delt på kategorierne opstrøm, udstødningsrør, personbil og ILUC. Opstrøm er emissioner tilknyttet produktion og konvertering af råstof til brændsel. Emissioner til udstødningsrør er de emissioner som udledes når bilen er i drift. Emissioner som forekommer ved produktion af bilen er vist ved personbil. ILUC er indirekte ændringer i arealanvendelsen som forårsager øgede drivhusgasemissioner. De drivmidler som er medtaget i analysen har ingen indirekte ændringer på arealanvendelsen. ILUC forekommer ved drivlinjer som anvender brændstof baseret på 1. generations biobrændstoffer.

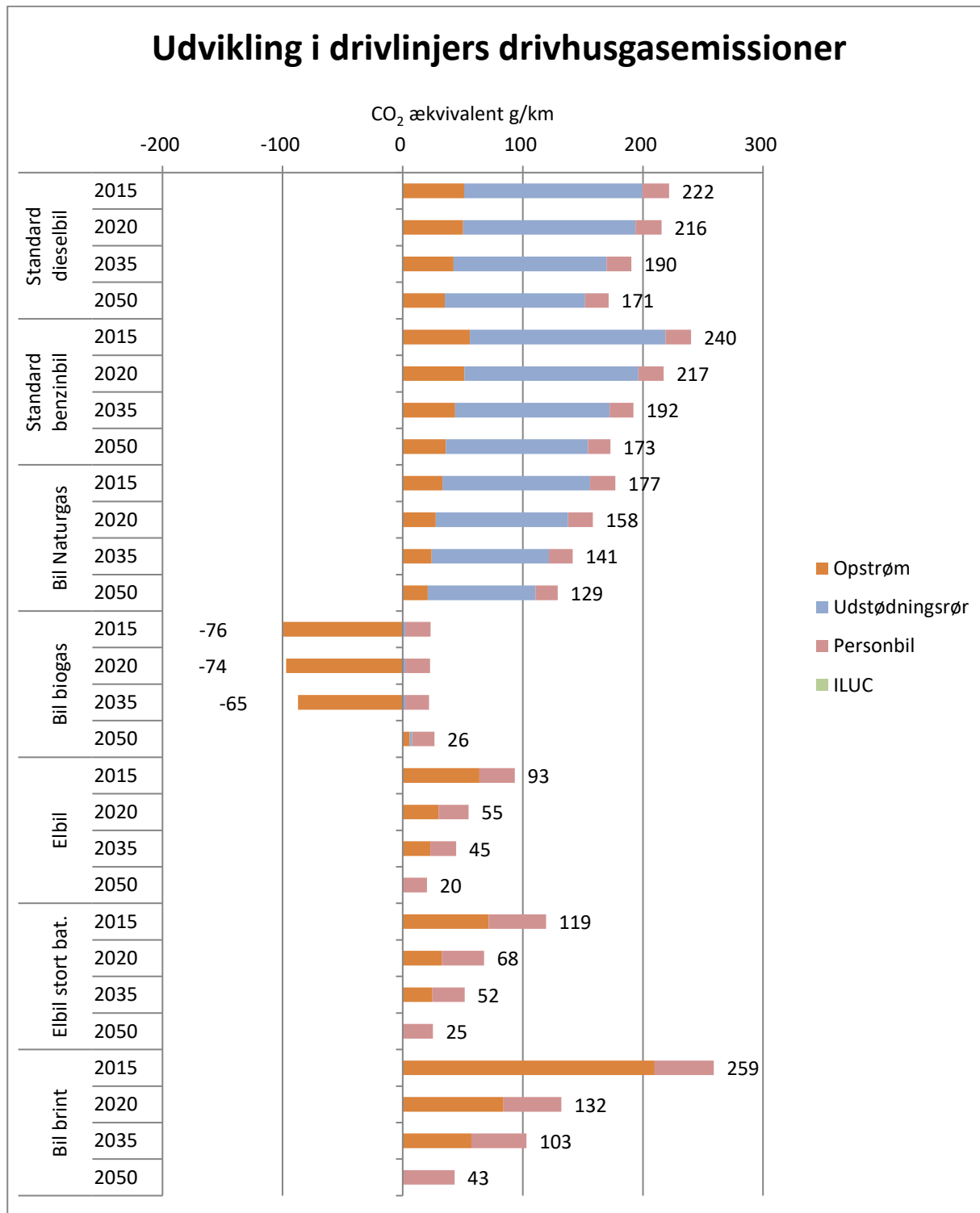
På Figur 21 ses at dieselbilens og benzinbilens drivhusgasemissioner er relativt ligelig i år 2015 og reduceres løbende mod 2050. Naturgasbilen udleder færre drivhusgasemissioner end benzinbilen og dieselbilen, eftersom der er færre drivhusgasser i naturgas. Størstedelen af emissionerne udledes ved udstødningsrøret mens opstrømmissioner og emissioner ved produktion af personbil udgør en mindre del. Forbrændingsmotorens virkningsgrad forventes at blive forbedret frem mod 2050, hvorfor drivhusgasemissionerne reduceres frem mod 2050.

På Figur 21 ses at biogasbilen skiller sig ud i forhold til de andre drivlinjer medtaget i analysen ved at have negative CO₂ udledninger i årene 2015, 2020 og 2035. Biogassen anvendt i modellen antages at være baseret på restprodukter fra landbruget som gylle og dybstrøelse. Endvidere antages det, at drivhusgasserne fra gylle og dybstrøelse bliver udledt på landbrugsmarker i tilfælde af, at biomasserne ikke anvendes til biogasproduktion. Ved at anvende biogassen til transport eller til anden anvendelse i energisystemet reduceres udledningen af metan, hvorfor metanen beregnes som negativ i AD-modellen (Energistyrelsen, 2012). Det ses også på Figur 21 at biogasbilens samlede negative drivhusgasemissioner ophører i 2050, hvilket sker fordi biogasens fulde potentiale er opnået (se afsnit 5.1). Drivhusgasemissioner til produktion af personbil til biogasdrivlinjen er på samme niveau som drivlinjerne for benzin, diesel og biogas.

Elbilen er i år 2015, 2020 og 2035 den drivlinje som udleder næstmindst drivhusgasemissioner. Som det ses på Figur 21 er elbilens drivhusgasemissioner delt på opstrøm og personbilen. Opstrømmissionerne til elbilens drivlinje er i høj grad afhængig af, om elproduktionen er baseret på fossile brændsler eller vedvarende energi. Som beskrevet i afsnit 5.1 er elproduktionen baseret på Energistyrelsen fremskrivning for de forventede gennemsnitlige emissioner ved elproduktion. I 2050 forventes dog ingen emissioner ved elproduktion. Det ses at drivhusemissionerne til produktion af elbilen falder frem mod 2050, hvor elbilen er den drivlinje som udleder færrest drivhusgasemissioner. Elbilen med stort batteri udleder i 2015 færre drivhusgasemissioner end drivlinjerne med forbrændingsmotorer. I 2050 er elbilen med stort batteri på niveau med den mindre elbil og biogas drivlinjerne, når der ses på udledning af drivhusgasemissioner.

Brintbilen er som beskrevet i afsnit 7.4 på demonstrationsniveau. På Figur 21 ses det, at brintbilens opstrømmissioner i 2015 er meget høje. Opstrømmissionerne forekommer ved produktionen af brint, hvor der i konverteringsprocessen forbruges el. Brintbilen er derfor ligesom elbil drivlinjerne afhængig af, hvad elproduktionen er baseret på. Herudover antages det i modellen at brint teknologien forbedres, hvormed drivhusgasemissionerne reduceres. I 2050 er brintbilens drivhusgasemissioner reduceret til næsten at være på niveau med drivlinjerne for elbiler og biogas.

Ses der samlet på drivlinjernes udvikling i drivhusgasemissioner på Figur 21 er biogasbilen umiddelbart den mest interessante. Biogassens begrænsede ressource medfører dog, ressourcens potentiale er fuldt udnyttet inden år 2050. Ses der alene på denne analyse for drivlinjernes drivhusgasemissioner kan biogasdrivlinjen anvendes i en periode men i 2050 er drivlinjerne for elbiler mest attraktiv for personbiltransporten.



Figur 21 Udvikling i drivlinjers drivhusgasemissioner i g CO₂ ækvivalent pr km for årene 2015, 2020, 2035 og 2050. Drivhusgasemissionerne er delt på opstrøm, udstødningsrør, personbil og ILUC. For de udvalgte drivlinjer er der ingen emissioner tilknyttet ILUC.

8.3 Analyse af drivlinjernes energieffektivitet

I dette afsnit analyseres de udvalgte drivlinjers energieffektivitet. Analysen er baseret på AD-modellen som er nærmere beskrevet i afsnit 5.1. Formålet med dette afsnit er, at sammenligne drivlinjernes energieffektivitet fra Well-to-Wheels. Afsnittet er en del af besvarelsen på projektets problemstilling 2 i kapitel 2.

I afsnit 5.4 beskrives metoden for udregning af drivlinjernes energieffektivitet i AD-modellen. I metodeafsnittet er energieffektiviteten defineret som forholdet mellem den omsatte energi i transportmidlets hjul og den mængde energi som forbruges i processerne for at skabe drivmidlet og transportmidlet. I denne analyse ses alt energiforbrug som ikke er mekanisk energiforbrug ved transportmidlets hjul som tabt energi. På Figur 22 fremgår drivlinjernes energieffektivitet baseret på AD-modellen.

På tekstforklaringen Figur 22 ses 8 kategorier som er led i drivlinjernes energiforbrug fra Well-to-Wheels. Det er ikke alle led er repræsenteret i alle drivlinjerne, da det afhænger af antallet af processer der skal til for at producere det enkelte drivmiddel. Det samlede energiforbrug vist ved tallet til højre for hver søjle i Figur 22. De 8 kategorier er beskrevet nedenfor: (Energistyrelsen, 2016d) (Energistyrelsen, 2016e)

- Mekanisk energiforbrug er udtryk for drivlinjens energieffektivitet. Dvs. procentvis andel af det samlede energiforbrug som udmøntes i transportmidlets hjul.
- Råstofudvinding – tab er udtryk for tabet ved udvinding af råstof. Det ses på Figur 22 at der ikke er tillagt tab ved udvinding af råstof til biogasdrivlinjen, hvilket skyldes at biogassen i modellen er baseret på restprodukter og derfor ikke tilskrives tab ved udvindingen af produkterne.
- Råstofkonvertering – tab er processen fra råprodukt til drivmiddel. For biogas er råstofkonverteringen den proces der sker på biogasanlægget, hvor gylle og halm konverteres til bionaturgas. Råolie konverteres til benzin og diesel. Ligeledes er tab ved elproduktion inkluderet i denne kategori. Eventuelle biprodukters andel af energitabet i råstofkonvertering fratrækkes drivmidlets energitab.
- Distributionstab – råstofkonvertering til mellemkonvertering er nettab i elnettets transmissionsnet og distributionsnet. Dette punkt er kun gældende for elbildrivlinjerne og brintbildrivlinjen.
- Mellemkonvertering – tab er tab ved komprimering af gas på gastankstationen til gasbiler, ladetab vil ladestationer til elbiler og tab ved elektrolyse og komprimering af brint til brintbiler.
- Distributionstab, transport er transport af drivmiddel på vej, hvilket i denne analyse kun er gældende for benzin og diesel. Energitabet udgør en meget lille del, hvorfor tabet ikke kan ses på Figur 22.
- Motor- og kabinetab er tabet i motoren baseret på motorens virkningsgrad. Herudover kabinetab som udtryk for energiforbrug til opvarmning af kabinen samt rullemodstand og vindmodstand.
- Transportmiddelfremstilling – tab er udtryk for energiforbrug ved produktion af personbilen.

På Figur 22 fremgår energieffektiviteten for de medtagne drivlinjer i analysen for årene 2015, 2020, 2035 og 2050. Drivlinjernes energieffektivitet fremgår af den hvide bjælke, kaldet 'Mekanisk energiforbrug'.

Diesel og benzins drivlinjers energieffektivitet.

Det ses på Figur 22, at diesebilens samlede energiforbrug i 2015 er 2,58 MJ/km. Størstedelen af energiforbruget tabes i motoren og kabinen. Ca. 15 % af energiforbruget tabes ved udvinding af råstoffet mens ca. 10 % tabes ved fremstilling af transportmidlet. Endeligt ses det, at ca. 16 % af drivlinjens samlede energiforbrug udmøntes som mekanisk energi i personbilens hjul. Benzinbilens samlede energiforbrug for hele drivlinjer er 2,84 MJ/km. Udover det samlede energiforbrug er benzinbilens energitab i drivlinjen lignende diesebilen.

Benzinbilen har en mindre procentvist lavere energieffektivitet i mekaniske energiforbrug, hvilket skyldes benzinbilens højere samlede energiforbrug.

Naturgas og biogas drivlinjers energieffektivitet

Naturgasbilens drivlinje har et samlet energiforbrug i 2015 på 2,74 MJ/km. Energitalbet i naturgasbilens drivlinje er lignende dieselbilens og benzinbilens energitab med hensyn til motor- og kabinetab, tab ved råstofudvinding og tab til transportmiddelfremstilling. Naturgasbilen har et energitab ved mellemkonvertering som er energiforbrug til komprimering af naturgassen til CNG.

Biogasdrivlinjen har et samlet energiforbrug på 2,50 MJ/km, hvilket er lidt mindre end drivlinjerne til diesel, benzin og naturgas. Biogasdrivlinjens fordeling af energiforbruget er dog forskellig fra de tre andre drivlinjer med forbrændingsmotor som det ses på Figur 22. Det ses at der ikke inkluderes et tab ved råstofudvinding til produktion af biogas. I AD-modellen er biogasdrivlinjen alene baseret på 2. generations biogas, råprodukterne er restprodukter som halm og gylle. Det er derfor et metodisk valg i modellen at der ikke inkluderes et energiforbrug til råstofudvinding af restprodukter. Biogasdrivlinjen har et energitab til råstofkonvertering som er processen fra biomasse restprodukterne til produktion af bionaturgas. Råstofkonverteringen udgør i 2015 5 % af drivlinjens energiforbrug. Biogasdrivlinjen har ligesom naturgas et energitab til mellemkonvertering til komprimering af gassen til CBG. Biogasbilens energieffektivitet i mekanisk energiforbrug er på niveau med dieselbilen, benzinbilen og naturgasbilen på ca. 16 %. Motor- og kabinetabet udgør på Figur 22 en større procentvis andel af det samlede energiforbrug end dieselbilen, benzinbilen og naturgasbilen. Der er dog ikke forskel disse drivlinjers reelle motor- og kabinetab.

Elbilernes drivlinjers energieffektivitet

Elbilens drivlinjens samlede energiforbrug er i 2015 1,39 MJ/km, hvilket er lavere end alle andre drivlinjer medtaget i analysen. Det ses på Figur 22 at elbilens energieffektivitet ved mekanisk energiforbrug er højere end drivlinjerne med forbrændingsmotorer. Elbilens energieffektivitet i 2015 er 31 %. I elbilens drivlinje er det energitab ved råstofudvinding, råstofkonvertering, distributionstab, mellemkonvertering, motor- og kabinetab og tab til fremstilling af transportmiddel. Energitalbet ved råstofudvinding er energiforbrug ved produktion af elektricitet. (Energistyrelsen, 2016e) Dette forbrug er antagelig stabilt for årene 2015, 2020, 2035 og 2050, hvilket ikke er i fuldstændig overensstemmelse med modellens fremskrivning af elproduktionen løbende mod år 2050 baseres udelukkende på vedvarende energi, hvoraf 70 % er vindenergi. Tab ved råstofkonvertering er baseret på virkningsgraden på de el producerende anlæg. Dette tab forventes frem mod 2050 at udgøre en mindre andel af elbilens samlede energiforbrug. Den går bjælke er distributionstab som er nettab elnettets transmissionsnet og distributionsnet. Nettabet forventes ikke at udgøre en mindre procentvis andel af elbilens energiforbrug frem mod 2050. Energitalbet ved mellemkonvertering er ladetabet mellem ladestation og elbil. I takt med at elbilens samlede energiforbrug forventes at falde, forventes ladetabet at udgøre en større andel af energiforbruget. I forhold til drivlinjerne med forbrændingsmotor udgør elbilen motor- og kabinetab en meget mindre andel af det samlede energiforbrug på grund af elmotorens høje virkningsgrad. Energiforbruget til fremstilling af elbilen udgør til gengæld en større del af det samlede energiforbrug end det er tilfældet med drivlinjerne med forbrændingsmotorer. Energiforbrug til fremstilling af elbilen udgør i 2015 23 %, hvor energiforbrug til fremstilling af dieselbilen udgør 9 %. Der er ca. 0,1 MJ/km i forskel på energiforbruget til fremstilling af elbilen og dieselbilen. Endeligt ses på Figur 22 at energieffektiviteten i år 2050 forventes at stige til 38 % af det samlede energiforbrug som i 2050 forventes at være 0,98 MJ/km.

Elbilen med stort batteri har i 2015 et samlet energiforbrug på 1,68 MJ/km. Fordelingen i drivlinjens energitab er for alle led i drivlinjen lignende med elbilen med lille batteri. Elbilen med stort batteri har en lidt mindre energieffektivitet på 29 % og et større energitab til fremstilling af elbilen end det er tilfældet med den lille elbil.

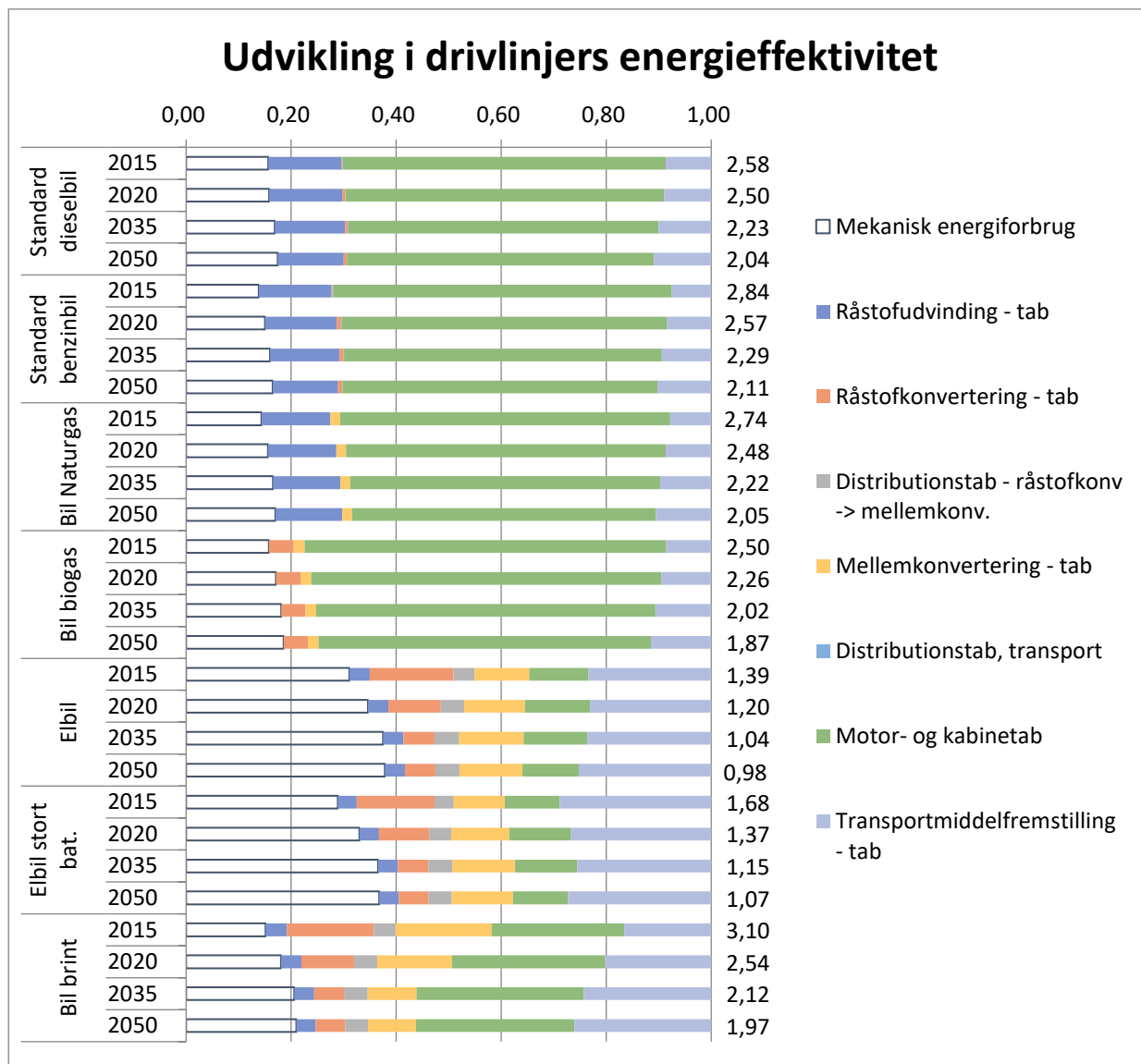
Brintbil drivlinjens energieffektivitet

Brintbilens drivlinje har et samlet energiforbrug på 3,10 MJ/km i 2015, hvilket er højere end alle andre drivlinjer i analysen. Brintbilens drivlinje er energitabene fordelt på tab ved råstofudvinding, råstofkonvertering, distributionstab, mellemkonvertering, motor- og kabinettab og tab til transportmidelfremstilling. Brintbildrivlinjens tab til råstofudvinding udgør det procentvist samme tab som til elbilernes drivlinjer. Ligeledes udgør brintdrivlinjens tab til råstofkonvertering og distributionstab omtrent det samme som elbildrivlinjerne, da disse tab er afhængig af elproduktionen og tab i elnettet. Tabet ved mellemkonvertering er ved brintdrivlinjen tabet ved elektrolyse og komprimering af brint. Tabet ved mellemkonvertering udgør i 2015 18 % af drivlinjens samlede energiforbrug. I år 2050 er det antaget at energiforbruget ved mellemkonvertering halveres til at udgøre 9 % af det samlede energiforbrug. Motor- og kabinettab udgør 25 % i 2015. Det forventes at motor- og kabinettabet reduceres i årene frem mod 2050, dog vil tabet udgøre en større andel af drivlinjens samlede energiforbrug i 2050. Energitabet til fremstilling af brintbilen en større andel af drivlinjens samlede energiforbrug i 2050 end i 2015. Brintbildrivlinjens energieffektivitet ved mekanisk energiforbrug er i 2015 15 %, hvilket er på niveau med diesel, benzin, naturgas og biogasdrivlinjernes energieffektivitet.

Opsummering på drivlinjernes energieffektivitet

I 2015 er energieffektiviteten baseret på mekanisk energiforbrug ca. 15 % for drivlinjerne diesel, benzin, naturgas, biogas og brint. Der forventes frem mod år 2050 en lille udvikling i energieffektiviteten for drivlinjerne diesel, benzin, naturgas og biogas. Brintdrivlinjens energieffektivitet forventes i 2050 at stige til 21 %. Elbilernes energieffektivitet er i 2015 ca. 30 % og forventes i 2050 at stige til ca. 38 %, hvilket er væsentlig mere end de andre drivlinjer medtaget i analysen. Det samlede energiforbrug i MJ/km i år 2015 er for elbilernes drivlinjer markant lavere end de andre drivlinjer i analysen. Elbil drivlinjernes energiforbrug i MJ/km er i år 2050 under halvdelen af energiforbruget til de andre drivmidler medtaget i analysen.

Drivlinjernes udvikling frem mod 2050 er dels baseret på en udvikling i energisystemet og del en teknologisk udvikling for de enkelte drivlinjer. Den teknologiske udvikling kommer især til udtryk ved drivlinjerne til elbilerne og brintbilerne. Udviklingen frem mod år 2050 skal varetages med en vis grad af usikkerhed.



Figur 22 Drivlinjernes energieffektivitet i procent for årene 2015, 2020, 2035 og 2050. Energieffektiviteten ses ved det mekaniske energiforbrugs procentvise andel af drivlinjens samlede energitab. Tallet til højre for søjlerne indikerer drivlinjens samlede tab i MJ pr km.

8.4 Følsomhedsanalyse

I dette afsnit præsenteres en række følsomhedsanalyser for den samfundsøkonomiske analyse. Følsomhedsanalysen undersøger analysens robusthed i forhold til ændringer i energipriser, omkostninger og diskonteringsrente.

Følsomhedsanalyserne er udarbejdet for de 7 drivlinjer som er medtaget i projektets analyser. På Figur 23 fremgår følsomhedsanalysen for den samfundsøkonomiske analyse. Der er lavet følsomhedsanalyse for frem scenarier:

- Olie og gasprisen stiger med 50 %
- Elprisen stiger med 100 %
- anlægsomkostninger stiger 50 %
- CO2 pris på 324 kr./ton
- Diskonteringsrente ændres fra 4 % til 6 %

Brændstofpriser er generelt usikre, hvorfor det er valgt at opstille to følsomhedsscenarier hvor brændstofpriserne ændres. I det første scenarie ændres olieprisen på 59,9 kr./GJ og gasprisen på 38 kr./GJ til at stige 50%. Det ses på Figur 23 at en stigning i olie og gasprisen på 50 % alene har indvirkning på dieselbilens, benzinbilens og naturgasbilens samfundsøkonomiske omkostninger. Det ses at naturgasbilens samfundsøkonomiske omkostninger stiger 3 % mens dieselbilen stiger 5 % og benzinbilen 6 % i forhold til drivlinjernes basisscenarier.

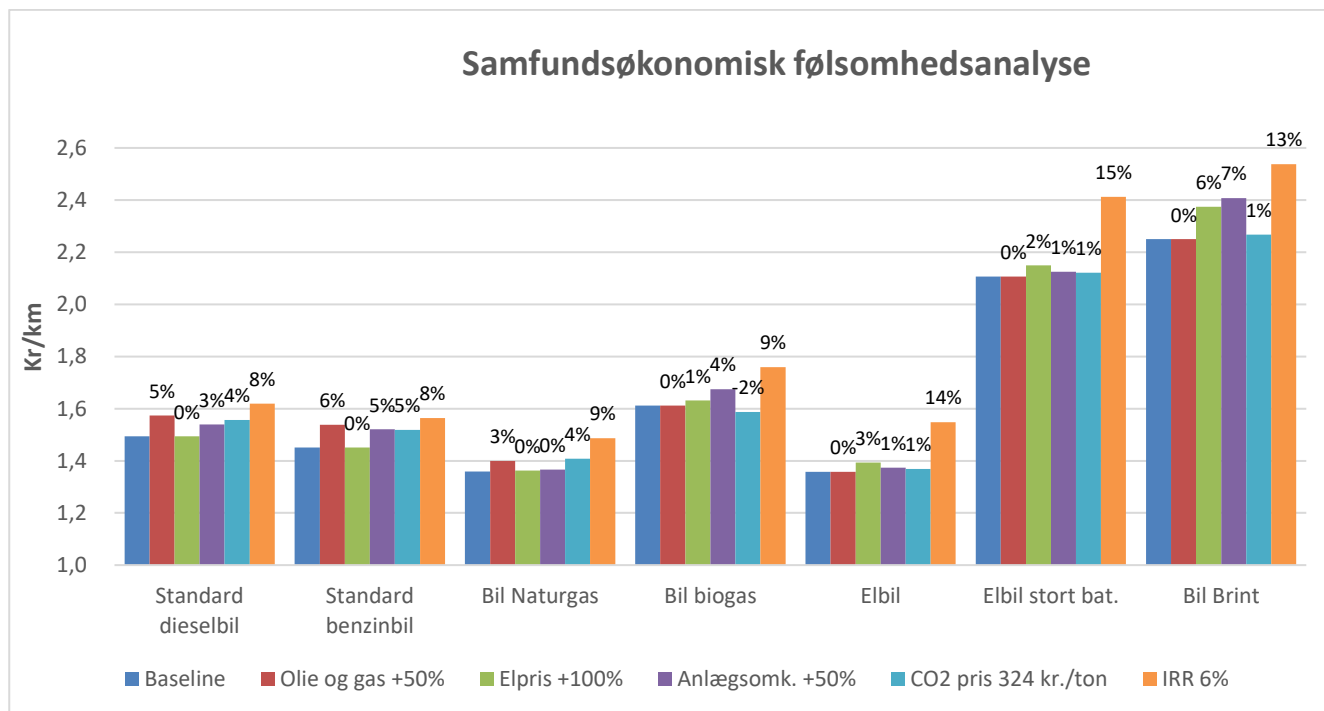
I det andet scenarie ændres elprisen til at stige 100%. Det ses at elprisen har indvirkning på biogasbilen, elbilerne og brintbilen. Biogasbilens påvirkning af elprisstigninger er lille i forhold til de tre andre drivlinjer. Drivlinjen til brintbilen er den drivlinje der påvirkes mest af elprisstigninger på grund af det høje elforbrug til produktion af brint.

I det tredje scenarie er omkostningerne til anlæg øget med 50 %. Alle drivlinjerne medtaget i analysen påvirkes af en stigning på anlægsomkostninger. Brintbilen påvirkes mest af stigninger på omkostninger til anlæg. Det skyldes bl.a. brintdrivlinjens forholdsvis store omkostninger til elektrolyseanlæg. Brintens anlægsomkostninger forventes dog at reduceres som følge af teknologiudvikling.

I det fjerde scenarie hæves prisen på CO2 til 324 kr./ton. I den samfundsøkonomiske analyse er CO2 prisen som beskrevet i afsnit 5.5 baseret på Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for 2017. Transportsektoren er udenfor kvotesektoren men det anbefales at anvende en lav CO2 pris svarende til kvoteprisen frem til 2021, hvorefter der bør anvendes et skøn på 324 kr./ton (Energistyrelsen, 2017c). Det ses på Figur 23, at CO2 prisen har størst virkning på dieselbilen, benzinbilen og naturgasbilen mens den har negativ virkning på biogasbilen.

Det femte og sidste følsomhedsscenario er en ændring af diskonteringsrenten fra 4 % til 6 %. Renten på 4 % er som beskrevet i afsnit 5.5 baseret på finansministeriets anbefalinger. Diskonteringsrenten på 4 % er et skøn for, hvor stort et afkast en alternativ investering kan indbringe. Det er derfor interessant at se, hvordan en ændring i dette skøn ændrer analysen. Det ses på Figur 23, at en ændring i diskonteringsrenten medfører store udsving i drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger. Det ses at elbilerne og brintbilens samfundsøkonomi påvirkes mest af rentestigningen på grund af de større investeringsomkostninger.

Generelt er drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger robuste i forhold til prisstigninger på olie, gas, el, anlægsomkostninger og CO2 pris. Det skyldes at en stor del af drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger udgøres af omkostninger til personbilen og i mindre grad drivmiddelomkostninger. Derfor påvirkes drivlinjerne også mest af ændringer i diskonteringsrenten.



Figur 23 Samfundsøkonomisk følsomhedsanalyse på olie og gaspris, elpris, og kapitalomkostninger. Analysen er baseret på den samfundsøkonomiske analyses data for år 2015 som fremgår i figuren som Baseline. Over hver søjle er følsomhedsscenariets procentvise stigning vist i forhold til baseline. Bemærk at y-aksen starter ved 1 og ikke 0.

8.5 Opsummering på drivlinjernes samfundsmæssige analyse

I dette afsnit opsummeres resultaterne fra den samfundsøkonomiske analyse, analysen af drivlinjernes udledning af drivhusgasemissioner og analysen af drivlinjernes energieffektivitet. Formålet med dette afsnit er at opsummere på den samfundsmæssige analyses resultater som tilsammen besvarer projektets problemstilling nr. 2. Ligeledes er den samfundsmæssige analyse en vigtig del af den teoretiske tilgang til at besvare projektets problemformulering.

Analysen af drivlinjernes samfundsøkonomiske omkostninger viser, at elbilen og naturgasbilen i år 2015 har de laveste samfundsøkonomiske omkostninger. Naturgasbilens samfundsøkonomiske omkostninger forventes dog at stige, hvor elbilens samfundsøkonomiske omkostninger reduceres. Dermed er elbilen vurderet alene på samfundsøkonomiske omkostninger det bedste alternativ til dieselbilen og benzinbilen. Elbilen med stort batteri forventes i 2035 at være samfundsøkonomiske billigere end dieselbilen og benzinbilen, hvorfor elbilen på længere sigt er et reelt alternativ. Brintbilens samfundsøkonomiske omkostninger er i år 2035 på niveau med de samfundsøkonomiske omkostninger til benzinbilen og dieselbilen. I år 2050 forventes brint-

bilens samfundsøkonomiske omkostninger at reduceres yderligere, hvormed brintbilen er samfundsøkonomisk bedre end dieselbilen og benzinbilen. Elbilen er dog uden tvivl det samfundsøkonomisk billigste alternativ til benzinbilen og dieselbilen.

Analysen af drivlinjernes udledning af drivhusgasemissioner viser, at biogasbilen i årene 2015, 2020 og 2035 er den drivlinje der reducerer drivhusgasudledningen mest. Det skyldes biogassens udnyttelse af biomassers uudnyttede potentiale. I 2050 er biogasressourcerne fuldt udnyttet, hvorfor udledningen af drivhusgasemissioner fra biogasdrivlinjen stiger i år 2050. Elbilernes drivlinjer er i år 2050 på niveau med biogasdrivlinjen. Brintbilen udleder i år 2050 lidt flere drivhusgasemissioner end drivlinjerne til biogasbilen, elbilen og elbilen med stort batteri.

Analysen af drivlinjernes energieffektivitet viser, at elbilerne er de mest energieffektive drivlinjer medtaget i den samfundsmæssige analyse. Elbilerne har et markant lavere energiforbrug pr. km end de andre drivlinjer. I år 2015 udnytter elbilerne ca. 30 % af det samlede energiforbrug som mekanisk energi mens de andre drivlinjer kun udnytter omkring 15 %. I år 2050 er elbilernes samlede energiforbrug endnu lavere end de andre drivlinjer. Brintbilens og biogasbilens energiforbrug i år 2050 er lavere end de konventionelle drivmidler men energiforbruget er næsten dobbelt så stort som elbilernes. Brintbilens og biogasbilens energieffektivitet i mekanisk energiforbrug er i år 2050 omkring 20 % mens elbilernes energieffektivitet er omkring 37 %.

For den samlede samfundsmæssige analyse vurderes elbilen at have de største samfundsmæssige kvaliteter i forhold til de andre drivmidler medtaget i analysen. På kort sigt er elbilen det bedste alternativ til de konventionelle drivmidler vurderet på drivlinjernes samfundsøkonomi og energieffektivitet. Ved udledning af drivhusgasemissioner er biogasbilen på kort sigt det bedste alternativ, men biogasbilen er samfundsøkonomisk dyrere end de fleste andre drivlinjer. På længere sigt i år 2035 og 2050 er elbilen med stort batteri i forhold til samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet næsten på niveau med elbilen med lille batteri. På længere sigt forbedres brintbilens samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet således at brintbilen er samfundsmæssigt bedre end dieselbilen og benzinbilen. På baggrund af analyserne af drivlinjernes samfundsøkonomi og energieffektivitet er brintbilen ikke på at foretrække fremfor elbilerne.

9. Privatøkonomisk analyse af personbiler

I dette afsnit analyseres drivlinjernes privatøkonomi for en forbruger i Danmark. I analysen inkluderes skatter, afgifter og moms. Analysen udarbejdes på baggrund af projektets teoretiske tilgang som er beskrevet nærmere i afsnit 3.1. Endvidere er formålet med analysen at besvare på problemstillingspørgsmål nr. 3 i kapitel 2. I analysen sammenlignes drivlinjernes privatøkonomiske priser i de nuværende markedsregler i Danmark. Der beregnes en købspris for personbilerne og en drivmiddelpris i kr./km samt drivlinjernes samlede årlige omkostninger.

I Tabel 9 fremgår prisen på en personbil inkl. moms og registreringsafgift som tilsammen udgør en forbrugers købspris. Priserne på personbilerne ekskl. afgifter og moms er de samme som anvendes i AD-modellen og er baseret på et gennemsnit af en større flåde af biler i C-segmentet. Som beskrevet i afsnit 7.2 om gas som drivmiddel til personbiler er en naturgasbil og en biogasbil identisk. I de nuværende markedsregler er en gasbil reguleret ens, uanset om den drives med naturgas eller biogas. Derfor er disse to drivlinjer i den privatøkonomiske analyse slået sammen og fremgår i Tabel 9, Tabel 10 og Tabel 11 som 'Gasbil'. Den anvendte pris for brintbilen ekskl. afgifter og moms er baseret på den nuværende pris for en brintbil i Danmark, hvilket er nærmere beskrevet i afsnit 7.4.

Grøn ejerafgift betales årligt for det enkelte køretøj på baggrund af det oplyste brændstofforbrug i km/l. Satserne er forskellige for benzin og diesel, hvor gas indgår som dieselkøretøj til beregning af den grønne ejerafgift. En ny dieselbil som kører 26 km/l skal årligt betale 2.120 kr. mens en benzinbil som kører 21,8 km/l skal betale 3.720 kr. Der betales også grøn ejerafgift af elbiler, men da disse er mere energieffektive betaler de 620 kr. i grøn ejerafgift. (SKAT, 2017a)

Privatøkonomisk pris for personbilerne

Registreringsafgiften er for benzinbilen, dieselbilen og gasbilen er reguleret med et såkaldt skalaknæk, hvor afgiften er 105 % af bilens værdi op til 106.600 kr. og herefter 150 % af bilens værdi. Afgiften betales af hele bilens værdi inkl. moms. (skatteministeriet, 2017) Dermed pålægges dyre biler en højere afgift end små biler.

Elbiler har indtil år 2016 været fritaget for registreringsafgift. Fra begyndelsen af år 2016 pålægges elbilerne gradvist registreringsafgift begyndende med 20 % i år 2016, 40 % i år 2017, 65 % i år 2018, 90 % i 2019 og 100 % i 2020. Hertil er der indført et bundfradrag på elbilerne på 10.000 kr. (Skatteministeriet, 2015)

Brintbiler er fritaget for registreringsafgift frem til 2019, hvorefter brintbiler og andre brændselsceller pålægges registreringsafgift over en 5-årig periode. (Skatteministeriet, 2015)

	Dieselbil	Benzinbil	Gasbil	Elbil	Elbil med stort batt.	Brintbil
Pris personbil ekskl. afgifter, moms	170.976	155.116	170.603	249.208	404.246	480.000
Moms 25%	42.744	38.779	42.651	62.302	101.061	120.000
Registreringsafgift	272.610	242.872	271.911	120.604	198.123	-
Samlet købspris	486.330	436.766	485.166	432.115	703.430	600.000

Tabel 9 Købsprisen for en personbil med de forskellige drivmidler. Personbilernes omkostning er baseret på AD-modellen. Registreringsafgiften er de gældende satser i 2017 og beregnes for personbil inkl. moms. Benzin, diesel og gasbilens registreringsafgift er 105% op til 106600 kr., herefter 150%. Elbilens registreringsafgift er 40 % i 2017 mens brintbilen er afgiftsfritaget.

På Tabel 9 ses at registreringsafgiften udgør over halvdelen af den samlede pris for en personbil på diesel, benzin eller gas. Elbilens registreringsafgift udgør en mindre del af elbilens samlede pris, men fordi elbilen er

dyrere er elbilens samlede pris næsten på niveau med diesel, benzin og gas. Elbilen med stort batteri er den privatøkonomiske dyreste bil. Det bemærkes at registreringsafgiften til elbilen med stort batteri er lavere end registreringsafgiften til dieselbilen, benzinbilen og gasbilen. Dermed har staten et tab på afgiftsprovener såfremt forbrugere køber elbiler i stedet for dieselbiler, benzinbiler eller gasbiler.

Brintbilen er på grund af afgiftsfritagelsen den billigere end elbilen med stort batteri. Som beskrevet i afsnit 7.4 er priserne for en brintbil i Danmark op imod 600.000 kr. hos en forhandler.

Privatøkonomiske drivmiddelomkostninger

Personbilernes energiforbrug i Tabel 10 er baseret på AD-modellens data om personbilernes energiforbrug i MJ/km. (Energistyrelsen, 2016e) Personbilernes energiforbrug er et estimat for det faktiske energiforbrug ved kørsel under danske forhold. Antagelsen om personbilernes faktiske energiforbrug er beskrevet nærmere i afsnit 5.4. Elbilerne har som beskrevet i afsnit 7.3 et gennemsnitligt ladetab på ca. 19,2 %. Dette er i den privatøkonomiske analyse inkluderet i elbilernes energiforbrug i MJ/km. Ladetabet inkluderes i analysen fordi ladetabet er inkluderet i forbrugernes elregning.

I Tabel 10 er drivlinjernes drivmiddelpris udregnet i kr./km. drivmiddelpriserne er sammensat af en produktpris, afgifter, tariffer og moms. Da det er hensigten af sammenligne drivlinjernes drivmiddelpriser er priserne omregnet til kr./MJ.

Produktprisen kaldes også markedsprisen og er uden afgifter, moms og tariffer. For diesel, benzin og el er produktprisen baseret på en gennemsnitspris for 2016. Prisen på gas er baseret på en gennemsnitspris fra d. 1/5-2016 til d. 30/4-2016, da det ikke har været muligt at finde en gennemsnitspris for år 2016. prisen for diesel og benzin er inkl. transport mens prisen for gas og el ekskl. transportomkostninger. (Energi- og olieforum, 2017) (Gaspoint Nordic, 2017) (Nord Pool, 2017) Produktprisen på brint er baseret på Aalborg Kommunes erfaringer med 4 brintbiler anvendt i et år i løbet af 2015 og 2016. De 4 biler købte brint fra offentlige brinttankstationer i Nord- og Midtjylland til en gennemsnitspris på 85,8 kr./kg, hvilket svarer til 0,71 kr./MJ. (Miljø- og Energiforvaltning, 2016)

Privatøkonomiske drivmiddelomkostninger Afgifter og tariffer i kr./MJ	Diesebil (6,8% biobr.)	Benzinbil (4,8% bioeth.)	Gasbil	Elbil	Elbil med stort batt.	Brintbil
Personbilens energiforbrug MJ/km	1,99	2,22	2,12	0,65	0,79	1,25
Produktpris drivmiddel, ekskl. moms og afgifter	0,118	0,126	0,035	0,055	0,055	0,714
Energiafgift	0,075	0,127	0,076	0,253	0,253	
CO2 afgift	0,012	0,012	0,010			
NOx afgift	0,0003	0,0002	0,0007			
Sum afgifter	0,087	0,139	0,087	0,253	0,253	
Transmissions- og nettarif/transport			0,0001	0,023	0,023	
Distributionstarif og energisparebidr.			0,005	0,024	0,024	
Biogascertifikat og Handelsomkost. PSO			0,009	0,043	0,043	
Moms 25 %	0,051	0,066	0,034	0,099	0,099	
Samlet drivmiddelpris kr./MJ	0,26	0,33	0,17	0,50	0,50	0,71
Drivmiddelomkostninger Kr./km	0,51	0,73	0,36	0,32	0,39	0,89

Tabel 10 Personbilernes drivmiddelomkostninger i kr./km. Produktpriser, afgifter og tariffer er omregnet til kr./MJ. Nederst i tabellen fremgår drivmiddelprisen i kr. pr km. For elbilen beregnes prisen som kan forventes ved hjemmeopladning, for at undgå at tage stilling til diverse abonnementsstyper.

I Tabel 10 fremgår energiafgifterne i 2017 satser vist i kr./MJ. Brint er afgiftsfritaget, hvorfor det kun er diesel, benzin, gas og el der er pålagt energiafgifter. (Skatteministeriet, 2016a) (Skatteministeriet, 2016c) (SKAT, 2017b) Det ses at energiafgiften på el er markant højere end energiafgifter til diesel, benzin og gas.

Som det ses i Tabel 10 er det kun diesel, benzin og gas som er pålagt CO2 afgifter. CO2 afgift for el indgår som en del af energiafgiften til el. De CO2 afgifter som fremgår af tabellen er 2017 satser. (SKAT, 2017b)

NOx afgiften udgør en lille del af den samlede pris set i forhold til de andre afgifter. NOx afgiften er 0,9 øre/l til diesel, 0,8 øre/l til benzin og 2,8 øre/m³ gas. (Skatteministeriet, 2016b) Som det fremgår i Tabel 10 er NOx afgiften omregnet til kr./MJ ikke mere end 3 gange så høj for gas end for diesel.

I Tabel 10 ses, at el er afgiftsbelagt markant højere end de andre drivmidler i kr./MJ. Benzin er på grund af energiafgiften samlet afgiftspålagt højere end diesel og gas.

Produktprisen for gas og el er uden transportomkostninger som betales ved anvendelse af gasnettet eller elnettet. Transportomkostningerne er delt i transmissionsstariffer og distributionstariffer. Det gælder for begge net at Energinet.dk administrerer transmissionsnettet og opkrævning af tariffer hertil. Tarifferne opkræves til vedligeholdelse af nettet samt opretholdelse af nødforsyninger og reservekapacitet i nettet. Tariffer til transmissionsnettet fremgår i Tabel 10. (Energinet.dk, 2017c) (Energinet.dk, 2017b). Distributionstariffen til gas består i Tabel 10 af en tarif til vedligeholdelse af distributionsnettet og et energisparebidrag. Tariffen til el er en gennemsnit af distributionstarifferne i Danmark i 2016. (HMN Gasnet, 2016) (Dansk Energi, 2016)

I tillæg til gasprisen inkluderes omkostninger til biogascertifikater og handelsomkostninger. Handelsomkostninger forstås her som omkostninger til de selskaber som handler el og gas på spotmarkederne som vidresælges til en tankstation eller ladestation. Biogascertifikatordningen er nærmere beskrevet i afsnit 7.2.2. Prisen på biogascertifikat pr. m³ er 0,25 kr. og handelsomkostninger 0,1 kr. pr m³ (HMN Naturgas, et al., 2015). Det antages at handelsomkostninger til elprisen er det samme som til gasprisens handelsomkostninger pr. energiindhold. Handelsomkostninger indgår i produktprisen til benzin og diesel.

PSO tariffen er medtaget i beregningen af den samlede elpris selvom det politisk er besluttet at tariffen udfases frem mod år 2022, hvor de omkostninger som PSO tariffen før har dækket flyttes fra elregningen til finansloven. (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016) I 2017 er PSO tariffen 14,4 øre pr. kWh, hvilket svarer til 0,04 kr. pr MJ

I Tabel 10 fremgår den samlede drivmiddelpris i kr./MJ. Det ses at brint er det dyreste drivmiddel i kr./MJ selvom drivmidlet er afgiftsfritaget. Prisen for brint på tankstationerne er formentlig kunstigt opretholdt og som beskrevet i afsnit 7.4 afhænger brintens produktionspris af elprisen. Elbilernes drivmiddelpris i kr./MJ er dyrere end både diesel, benzin og gas. Det skyldes især afgifterne på el som er højere end for de andre drivmidler. Drivmiddelprisen for gas i kr./MJ er den laveste, hvilket skyldes en lav produktpris og lave transportomkostninger.

På baggrund af personbilernes energiforbrug og den samlede drivmiddelpris beregnes personbilernes drivmiddelomkostninger i kr. pr. km. I Tabel 10 fremgår det, at de største drivmiddelomkostninger er ved brint. Benzins drivmiddelomkostninger er højere end diesel, gas og el. Drivmiddelomkostningerne til el er den laveste af de medtagne drivmidler i analysen. Gassens drivmiddelomkostninger er på niveau med drivmiddelomkostningerne til elbilen med stort batteri. Benzins drivmiddelomkostninger er ca. 0,2 kr./km højere end diesel.

Samlede årlige omkostninger for drivlinjerne

I nedenstående Tabel 11 beregnes drivlinjernes årlige omkostninger på baggrund af Tabel 9 og Tabel 10. Herudover inkluderes grøn ejeravgift og vedligeholdelsesomkostninger. Til beregning af drivlinjernes private økonomiske årlige omkostninger er følgende antagelser foretaget:

- 16 års levetid for personbilernes
- 18.000 km årlig kørsel
- Rente på 4 %
- 10 år batterilevetid i elbilers i dag
- 16 år batterilevetid ved udskiftning

Det antages at personbilerne kører 18.000 km årligt og har en levetid på 16 år. I beregningen er der valgt en rente på 4%. Det kan diskuteres hvorvidt denne er for lav, eftersom en billånsrente kan variere mellem 3-10% afhængig af købers økonomi (Mybanker.dk, 2017). Baseret på AD-modellens antages batterilevetiden for elbilerne at være 10 år. Herefter udskiftes batteriet med et nyt batteri som grundet teknologisk udvikling har en levetid og 16 år. De nye batteriers overskydende levetid (10 år) inkluderes ikke i ikke som en del af de årlige omkostninger i denne analyse. Omkostninger til batteriets første 6 år er i Tabel 11 inkluderet i omkostninger til personbilerne. Det er antaget at brintbilens batteri ikke udskiftes indenfor brintbilens levetid på 16 år. Brintbilens batteri er væsentlig mindre end elbilernes og derfor mindre omkostningstung.

Den privatøkonomiske årlige omkostning for personbilerne er beregnet ud fra nedenstående annuitetsformel. Købsprisen for personbilerne er den samlede købspris som fremgår af Tabel 9.

$$\text{Årlig omkostning} = \text{Købspris} \cdot \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

I Tabel 11 fremgår personbilernes vedligeholdelsesomkostninger. På baggrund af Energistyrelsens Transportøkonomiske enhedspriser antages en omkostning på 0,35 kr./km. (DTU, 2017) På baggrund af AD-modellen er det vurderet at brintbilens vedligeholdelsesomkostninger er 47 % af en standard personbil med forbrændingsmotor. For elbilerne er der vurderet vedligeholdelsesomkostninger svarende til 22 % af en standardpersonbil med forbrændingsmotor. (Energistyrelsen, 2016e)

Kr. inkl. moms og afgifter	Dieselbil	Benzinbil	Gasbil	Elbil	Elbil med stort batt.	Brintbil
Årlige omkostninger						
Personbil	41.737	37.483	41.637	38.243	63.748	51.492
Grøn ejerafgift	2.120	3.720	2.120	620	620	-
Vedligeholdelsesomkostninger	6.300	6.300	6.300	1.386	1.386	2.961
Drivmiddelomkostning	9.156	13.227	6.379	4.840	5.874	16.071
Samlet årlig omkostning	59.313	60.731	56.550	46.055	72.800	70.524

Tabel 11 Drivlinjernes samlede årlige omkostninger inkl. moms og afgifter. Det antages at bilerne har en levetid på 16 år, kører 18.000 km årligt og købes til en forrentning på 4 %. I omkostninger til Personbil er der inkluderet batteriskift til elbilen og elbilen med stort batteri.

I Tabel 11 fremgår drivlinjernes samlede årlige omkostninger. Det ses at elbilen er det privatøkonomiske billigste alternativ af de medtagne drivlinjer i analysen. Elbilen lukrerer på lave drivmiddelomkostning, vedligeholdelsesomkostning og investeringsomkostninger i forhold til de andre drivlinjer. Som beskrevet ovenfor stiger elbilens registreringsafgift i 2020 til 100 %. Beregnes elbilen med registreringsafgiften på 100% er den samlede årlige omkostninger 61.580 kr. Derved bliver elbilen dyrere end dieselbilen, benzinbilen og gasbilen såfremt der ikke sker ændringer for disse drivlinjer. Beregnes elbilen med registreringsafgift på 90 % er elbilens årlige omkostninger 58.993 kr., hvormed den er på niveau med de konventionelle personbiler. Med registreringsafgiften for år 2018 på 65 % er elbilen privatøkonomiske årlige omkostninger 52.524 kr., hvormed elbilen stadig har en privatøkonomisk fordel i forhold til de andre drivlinjer.

Brintbilen er den privatøkonomiske dyreste drivlinje, hvilket skyldes brintens høje investeringsomkostninger og drivmiddelomkostninger.

De samlede årlige omkostninger for dieselbilen og benzinbilen er ca. lige dyre. Benzinbilen har lavere omkostninger til indkøb af bilen men større årlige omkostninger til grøn ejerafgift og drivmiddelomkostninger end dieselbilen. Gasbilen samlede omkostninger er ca. 4.000 kr. billigere end benzinbilen og ca. 3.000 kr. billigere end dieselbilen. Årsagen hertil er hovedsageligt gasbilens lavere drivmiddelomkostninger.

For både elbilen, gasbilen og brintbilen gælder det, at der endnu ikke er udbygget den samme mængde infrastruktur som det er tilfældet med de konventionelle drivlinjer. Der kan derfor argumenteres for, at der burde indregnes en ekstra omkostning til etablering af infrastruktur. Der kunne også indregnes omkostninger til installation af hjemme-opladning/-fyldestation. Det er dog fravalgt at medtage disse omkostninger i nærværende privatøkonomiske analyse.

Elbilen med stort batteri er markant dyrere end dieselbilen, benzinbilen, gasbilen og elbilen. Elbilen med stort batteri er væsentlig dyrere i investeringsomkostning. Den årlige drivmiddelomkostning er større end den lille elbil, fordi elbilen med stort batteri er tungere end den lille elbil.

9.1.1 Følsomhedsanalyse for den privatøkonomiske analyse

Dette afsnit omhandler en følsomhedsanalyse for ovenstående privatøkonomiske analyse. Følsomhedsanalysens formål er at undersøge den privatøkonomiske analyses robusthed overfor prisændringer.

Følsomhedsanalysen er udarbejdet ved at ændre én omkostning for hver drivlinje og beregne drivlinjernes privatøkonomiske årlige omkostninger. De omkostninger som ændres i følsomhedsanalyserne er de variable omkostninger som der kan være en vis usikkerhed omkring. I følsomhedsanalysen beregnes drivlinjernes privatøkonomiske omkostninger i fire scenarier:

- Drivmidlernes produktpris i kr./MJ stiger 50%
- Prisen på personbilerne stiger 10% (før moms og afgifter)
- Renten til billånet stiger til 6%
- Renten til billånet stiger til 10%

I det første scenarie er det valgt at beregne følsomhedsanalyse for drivlinjerne ved at ændre produktprisen. Produktpriserne er generelt ustabile og forventes at ændre sig i fremtiden da de er afhængig af andre energipriser på olie, gas og el. Det er ikke usandsynligt at nogle brændselspriser vil stige mere end andre, hvorfor drivlinjernes årlige omkostninger i basisscenariet kan sammenlignes med enkelte drivlinjers årlige omkostninger med øget produktpris. I det andet scenarie ændres drivlinjernes pris på bilen med 10 %. Som beskrevet indledningsvist i dette kapitel 9 er priserne på bilerne medtaget i analysen baseret på en gennemsnitspris for en flåde af biler i C-segmentet. Det er usikkert, hvor mange biler flåden udgøres af og i hvor høj grad alle drivlinjer er repræsenteret i flåden af biler. Det tredje og fjerde scenarie omhandler ændring i renten. En købers rente afhænger i høj grad af købers egen økonomi og størrelsen på investeringen, hvorfor renten kan variere fra køber til køber. Renten er ikke afhængig af, hvilket drivmiddel den enkelte personbil anvender.

I nedenstående Tabel 12 fremgår resultaterne for den privatøkonomiske følsomhedsanalyse. I tabellen ses basissceniets privatøkonomiske årlige omkostninger og de fire scenarier. På Figur 24 fremgår følsomhedsanalysens resultater i et søjlediagram med scenariernes procentuelle virkning på drivlinjerne.

Privatøkonomiske årlige omkostninger	Dieselbil	Benzinbil	Gasbil	Elbil	Elbil med stort batt.	Brintbil
Basisscenarie	59.313	60.731	56.550	46.055	72.800	70.524
Drivmiddel produktpris kr./MJ +50%	61.420	63.249	57.213	46.377	73.192	78.560
Pris personbil +10%	63.899	64.891	61.125	49.797	78.872	75.673
Rente på 6%	65.700	66.466	62.921	51.907	82.555	78.403
Rente på 10%	79.738	79.073	76.925	64.769	103.996	95.722

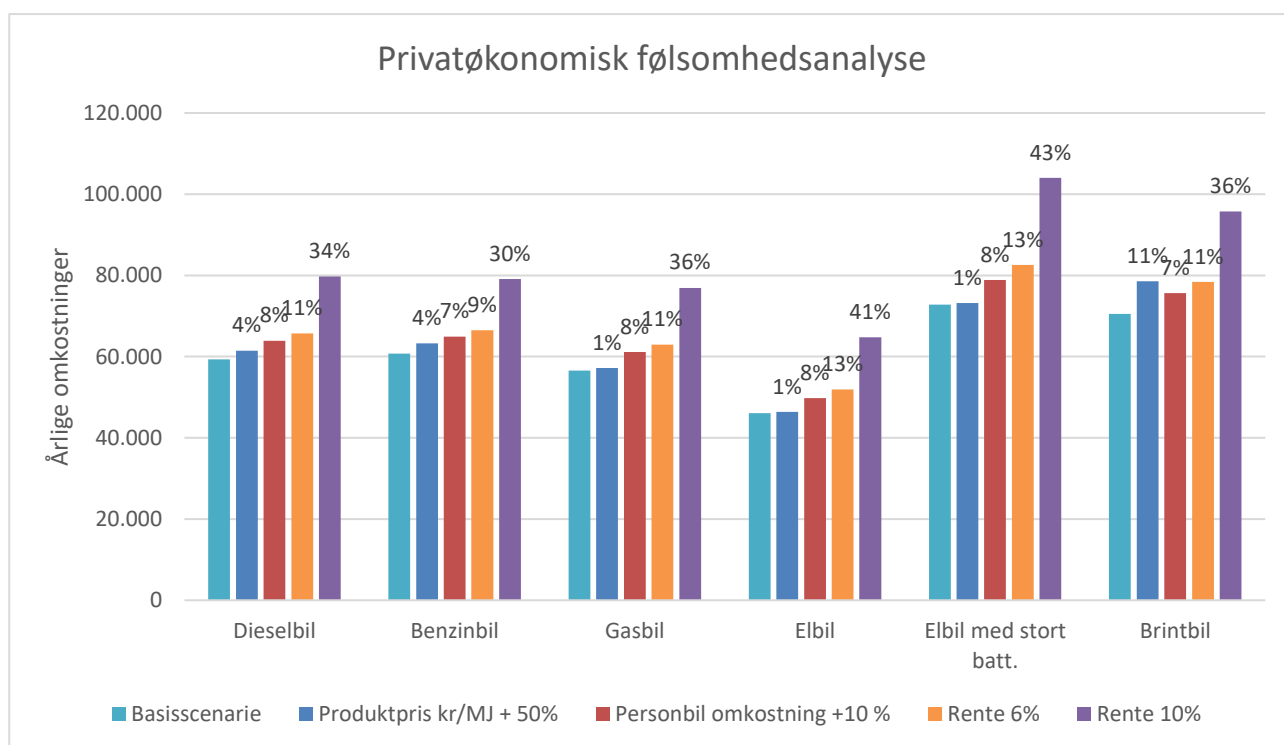
Tabel 12 Privatøkonomisk følsomhedsanalyse af de medtagne drivlinjer i analysen. Følsomhedsanalyse for drivlinjernes privatøkonomiske årlige omkostninger. Følsomhedsanalysen er udregnet i fire scenarier for drivmidlers produktpris, pris på

I det første scenarie er produktprisen i kr./MJ 50% højere end basisscenariet. Det svarer til at dieselprisen og benzinprisen er steget ca. 2 kr./l, gasprisen stiger 0,7 kr./m³, elprisen stiger 0,1 kr./kWh og brintprisen stiger 43 kr./kg. I Tabel 12 ses at en stigning i drivmidlernes produktpris medfører, at brintbilen er den drivlinje med de højeste privatøkonomiske årlige omkostninger. Brinten udgør en større del af brintdrivlinjens samlede årlige omkostninger, hvorfor brintdrivlinjen er mindre robust overfor ændringer i brintprisen. På Figur 24 ses at brintbilens årlige omkostninger stiger 11 %, hvor dieselbilen og benzinbilen stiger 4 % og elbilerne stiger 1

%. Herudover ses det, at hvis dieselprisen stiger 2 kr./l (50 %) og benzinprisen ikke stiger, er dieselbilens årlige omkostninger større end benzinbilen.

I andet scenarie stiger prisen for personbilerne i drivlinjerne med 10 % før moms og afgifter. De 10 % svarer inkl. afgifter og moms til at købsprisen på dieselbilen og gasbilen stiger ca. 53.000 kr., gasbilen stiger ca. 48.000 kr., elbilen stiger ca. 44.000 kr. mens elbilen med stort batteri og brintbilen stiger henholdsvis 71.000 kr. og 60.000 kr. Dermed har prisstigningen på 10 % varieret effekt på personbilernes pris fordi drivlinjernes afgifter er forskellige og fordi personbilernes pris er forskellig. Denne prisstigning har ingen betydning for hvilken drivlinjerne der privatøkonomisk er mest fordelagtig i forhold til årlige omkostninger. På Figur 24 ses at prisstigningen på 10 % medfører en nogenlunde ligelig stigning i drivlinjernes årlige omkostninger på 7-8 % i forhold til basisscenariet.

I det tredje og fjerde scenarie er stiger renten på bilkøbet fra 4 % til henholdsvis 6 % og 10 %. Det ses i Tabel 12, at hvis renten stiger til 10 % er de samlede årlige omkostninger for dieselbilens drivlinje større end benzinbilens årlige omkostninger. Dieselbilens bilindkøb udgør en større del af drivlinjens samlede årlige omkostninger end det er tilfældet for benzinbilen, Derfor er drivlinjen for dieselbilen mindre robust overfor ændringer i renten end benzinbilen. Ses der på Figur 24 er drivlinjernes privatøkonomiske årlige omkostninger generelt påvirket af den højere rente. Ved rente på 6 % som er en rentestigning på 2 procentpoint stiger drivlinjernes årlige omkostninger med 9-13 %. Stiger renten til 10 % stiger drivlinjernes årlige omkostninger mellem 30-43 %. De årlige omkostninger til elbilen med stort batteri stiger ved en 10 % rente med 43 % i forhold til basisscenariet. Elbilen med stort batteri stiger mest, fordi billånet udgør en større del af de årlige omkostninger end det er tilfældet for de andre drivlinjer.



Figur 24 Privatøkonomisk følsomhedsanalyse af de medtagne drivlinjer i analysen. I Figuren indgår de årlige omkostninger fra den egentlige privatøkonomiske analyse som basisscenarie samt følsomhedsanalyse på drivmidlers produktpris, pris på personbilen og højere rente. Procentsatserne over søjlerne indikerer den procentvise stigning i forhold til drivlinjens basisscenarie.



9.1.2 Opsummering på den privatøkonomiske analyse

I den første del af den privatøkonomiske analyse beregnes personbilernes priser inklusive afgifter og moms for hver drivlinje medtaget i analysen. Det ses at elbilen med stort batteri som i forhold til rækkevidde er sammenlignelig med de andre drivlinjer, er den dyreste personbil både ekskl. og inkl. afgifter. Den lille elbil som på mange andre parametre er sammenlignelig med de andre drivlinjer er prismæssigt på niveau med benzinbilen og lidt billigere end gas og diesel. Det ses dog også at elbilens registreringsafgift i 2017 er væsentlig lavere end registreringsafgiften til benzinbiler, dieslbiler og gasbiler. I år 2020 er registreringsafgiften på elbiler planlagt til at være 100%. Hvis det antages at bilernes pris er det samme i 2020 som i 2017, vil registreringsafgiften til elbilen stadig være lavere end dieselbilen og gasbilen i år 2020. Derved har staten et tabt afgiftsprovener i registreringsafgift når en forbruger tilvælger en elbil fremfor en dieselbil eller gasbil.

I anden del af den privatøkonomiske analyse inddrages drivlinjernes drivmiddelomkostninger samt hvilke elementer drivmiddelpriserne er sammensat af. Dieselprisen, benzinprisen og gasprisen er sammensat af flere forskellige afgifter som i forhold til drivmidlernes energiindhold er skævvredet. Den samlede drivmiddelpris på gas er lavere end de andre drivmidler men elbilens effektive udnyttelse af drivmiddel i elmotoren medvirker at elbilens omkostninger pr km er lavere end de andre drivmidler.

I den tredje del af analysen beregnes drivlinjernes samlede årlige omkostninger baseret på personbilernes privatøkonomiske købspris, drivmiddelomkostninger, vedligeholdelsesomkostninger og grøn ejerafgift. Elbilen er det billigste alternativ og herefter gasbilen. Som nævnt er der for drivlinjerne til el, gas og brint ikke udbygget infrastruktur i samme omfang som for de konventionelle drivlinjer. Ved udbygningen af ny infrastruktur til disse drivlinjer er der investeringsomkostninger som skal tilbagebetales. Hvis infrastrukturen ikke finansieres med offentlig støtte vil tilbagebetalingen formentlig ske ved et tillæg til drivmiddelprisen på den enkelte tankstation. Det er derfor ikke usandsynligt at den reelle drivmiddelpris ved tankstationer til gas, brint og el vil være højere end den anvendte drivmiddelpris i denne analyse, grundet et tillæg til prisen for tilbagebetaling af tankstation.

10. Diskussion af analysens resultater

I dette kapitel diskuteres analysens resultater fra kapitel 8 og 0 i sammenhæng med empirien fra kapitel 7 om drivmidlernes teknologier og infrastruktur. Hertil inddrages kapitel 6 om samfundsmæssige målsætninger og regulering. Formålet med dette afsnit er at besvare på de tredje problemstillings spørgsmål til problemformuleringen i kapitel 2. Herudover er dette afsnit 'situation II' i den teoretiske tilgang beskrevet i kapitel 3, hvor den samfundsmæssige analyse og den privatøkonomiske analyse anvendes til at finde muligheder for at omstrukturere markedet til at imødekomme alternative teknologier til de konventionelle teknologier.

I projektets samfundsmæssige analyser og privatøkonomiske analyse er 7 drivlinjer analyseret. Drivlinjerne er udvalgt på baggrund af kapitel 7. De udvalgte drivlinjer er personbiler drevet med drivmidlerne diesel, benzin, naturgas, biogas, brint med brændselscelle, el med lille 24 kW batteri og el med 70 kW batteri. De alternative drivmidler kan fra et teknisk perspektiv opfylde det samme behov som de konventionelle drivmidler. Hvert drivmiddel har dog styrker og svagheder. Generelt for de alternative drivlinjer er der behov for at udbygge infrastrukturen såfremt, personbiltransporten skal omstilles til et af de alternative drivmidler. Elbilens infrastruktur er den af de alternative drivmidler med størst udbygget infrastruktur. Elbilen har dog en udfordring med at opfylde det samme kørselsbehov som de konventionelle drivmidler opfylder, fordi elbilens rækkevidde er væsentlig kortere end benzin og dieselbilen. Elbilen med stort batteri opfylder det samme behov som benzinbilen og dieselbilen.

De samfundsmæssige analyser i kapitel 8 viste, at elbilen med lille batteri er den mest fordelagtige drivlinje på kort sigt. Elbilen har færrest samfundsøkonomiske omkostninger og er den mest energieffektive. Biogasbilens drivlinje er på kort sigt fordelagtig i forhold til udledning af drivhusgasemissioner. På baggrund af samfundets overordnede problemstilling om at reducere drivhusgasemissioner, som beskrevet i problemanalysens afsnit 1.1, er biogasbilen yderst favorabel i forhold til de konventionelle drivlinjer. Hvis biogasbilen skal være et alternativ til benzinbilen og dieselbilen er der behov for flere gastankstationer. Hertil er placeringen af gastankstationerne problematisk. På baggrund af Figur 17 i afsnit 7.2.3 synes der, at mangle en strategi for at udbygge infrastruktur ved de større byer og langs de danske motorveje. Som beskrevet i afsnit 7.4 er der for brint en strategi om, at brinttankstationerne placeres langs motorveje og nær de større byer.

De samfundsmæssige analyser i kapitel 8 viser at, på længere sigt i årene 2035 og 2050 er elbilen med stort batteri tæt på at være ligeså fordelagtig som elbilen med lille batteri. Brintbilen med brændselscelle er på trods af høje forventninger om teknologiens udvikling frem mod 2035 og 2050 ikke samfundsmæssigt konkurrencedygtig med elbilerne, hvis der alene ses på dette projekts samfundsmæssige analyse for personbiler.

Naturgasbilen og biogasbilen er pålagt den samme afgiftsstruktur for både personbil og drivmiddel. Som det ses i Tabel 9 er personbilerne med naturgas og biogas afgiftspålagt på samme måde som dieselbilen i registreringsafgift og grøn ejerafgift. I Tabel 10 ses, at biogas som drivmiddel af afgiftspålagt som værende naturgas. Biogas og naturgas bør som drivmiddel til transport afgiftspålægges forskelligt. Det bør de på baggrund af flere argumenter. I afsnit 7.2 gøres det klart at biogas er et bæredygtigt brændstof. I den samfundsmæssige analyse i kapitel 8 gøres det klart, at biogasbilens drivlinje bidrage til reduktion af drivhusgasemissioner. Hermed kan biogasbilen også bidrage til de politiske målsætninger beskrevet i afsnit 6.3 om iblanding af 0,9 % avancerede biobrændstoffer og 6 % reduktion af drivhusgasemissioner i transportsektoren. På baggrund af disse argumenter bør biogas ikke pålægges CO₂-afgift. I afsnit 7.2 beskrives at der er kontrol med andelen af bionaturgas der tilføres naturgasnettet og ved biogascertifikatordningen er kontrol med andelen af bionaturgas der forbruges fra i gasnettet. Derved kan biogascertifikatet være den praktiske dokumentationen for, hvordan gasbiler kan blive fritaget for CO₂-afgiften. I den privatøkonomiske analyse i Tabel 11 er gasbilernes årlige omkostninger udregnet til at være ca. 3-4.000 kr. lavere end dieselbilen og benzinbilen.

Hvis biogasbilen fritages for CO₂-afgiften reduceres biogasbilens årlige omkostninger med ca. 500 kr. Hermed styrkes det økonomiske incitament til at udnytte det miljømæssige potentiale som ses af analysen i afsnit 8.2 om drivlinjernes udledning af drivhusgasemissioner.

Naturgasbilen bør afgiftspålægges ligeligt med de konventionelle biler med fossile brændstoffer. I Tabel 10 ses at afgifterne på de fossile brændsler i kr./MJ ikke er ligestillet. Afgifterne i Tabel 10 er i Kr./MJ drivmiddel, hvilket svarer til udledninger fra personbilernes udstødningsrør. Både NO_x afgiften og CO₂ afgiften bør afgiftspålægges i forhold til emissionernes skadesomkostninger og i forhold til mængden af emissioner der udledes når personbilen drives. I Tabel 6 ses, at NO_x i den samfundsøkonomiske analyse er værdisat til 53 kr./kg på baggrund af emissions omkostninger for samfundet. CO₂ er i den samfundsøkonomiske analyse som beskrevet i afsnit 5.5 i 2015 værdisat på baggrund af kvoteprisen på 42 kr./ton. I 2021 og frem anbefales det at anvende et estimat på 324 kr./ton. CO₂ er dermed værdisat i forhold til markedsprisen på CO₂ kvotemarkedet i stedet for emissionens skadesomkostninger. I nedenstående Tabel 13 er afgifterne til NO_x og CO₂ ligestillet for personbilerne i forhold til hvor meget der udledes fra personbilens udstødningsrør pr kørt km. Det ses i tabellen at den samfundsøkonomiske pris for CO₂ for år 2021 på 324 kr./kg ca. svarer til en fordobling af den privatøkonomiske CO₂ afgift. Den samfundsøkonomiske værdisætning på NO_x er næsten 20 gange højere i kr./MJ end den privatøkonomiske NO_x afgift for diesel. For benzin er den samfundsøkonomiske værdisætning næsten 6 gange højere og naturgassens værdisætning er ca. en fordobling. På baggrund af Tabel 13 kan der argumenteres for at afgifterne er for lave. Herudover kan der argumenteres for, at de enkelte drivlinjer er afgiftspålagt uretfærdigt i forhold til hinanden. NO_x afgifterne på benzin og diesel bør i forhold til deres udledning af NO_x emissioner være lavere end diesel. I Tabel 13 fremgår i hvor høj grad en ændring af afgiften påvirker resultatet i den privatøkonomiske analyse. Det ses at de årlige omkostninger ændres 607 kr. for diesel, 523 kr. for benzin, 371 kr. for naturgas og -440 kr. for biogas, hvis det antages at biogas afgiftsfritages for CO₂ afgiften. I forhold til drivlinjernes privatøkonomiske årlige omkostninger betyder en ændring i CO₂ og NO_x afgift ikke en ændring drivlinjernes prismæssige rækkefølge.

	Diesel	Benzin	Naturgas	Biogas
CO ₂ afgift kr./MJ	0,012	0,012	0,010	0,010
NO _x afgift kr./MJ	0,00025	0,00024	0,00071	0,00071
Afgifter ift. samfundsøkonomisk værdisætning				
Ny CO ₂ afgift Kr./MJ (324 kr./ton)	0,024	0,024	0,019	Afgiftsfritages
Ny NO _x afgift Kr./MJ (53 kr./kg)	0,00483	0,00145	0,00151	0,0015
Forskel i drivlinjernes årlige omkostninger	607	523	371	-440

Tabel 13 Nye privatøkonomiske beregninger med afgifter svarende til den samfundsøkonomiske værdisætning af CO₂ og NO_x. Afgifterne er ligestillet i forhold til drivmidlernes udledning af CO₂ og NO_x pr kørt km. Nederst i tabellen fremgår forskellen på drivlinjernes privatøkonomiske årlige omkostninger med afgiftsændringerne i forhold til de årlige omkostninger i den privatøkonomiske analyse i Tabel 11.

I den privatøkonomiske analyse er drivlinjernes årlige omkostninger beregnet i Tabel 11 med afgiftssatser for år 2017. I Tabel 11 ses, at elbilen med det lille batteri er den markant billigste drivlinje på grund af registreringsafgiften i 2017 er på 40 %. Dermed er elbilen i 2017 den mest fordelagtige drivlinje baseret på både den samfundsøkonomiske analyse og den privatøkonomiske analyse. Som beskrevet i kapitel 9 stiger elbilens registreringsafgift de kommende år frem til 2020. I 2019, hvor registreringsafgiften på elbilen er på 90 % er elbilen på niveau med de konventionelle biler og i 2020, hvor registreringsafgiften er 100 % er elbilen dyrere end de konventionelle biler. Elbilen med stort batteri er afgiftspålagt på samme måde som den mindre elbil, men er

væsentlig dyrere eftersom det er en dyrere bil og den bruger mere brændstof på grund af bilens øgede vægt til større batteripakke.

I forhold til projektets problemformulering, om at omstille personbiltransporten fra konventionelle drivmidler til alternative drivmidler, er en stigning i elbilernes registreringsafgift ikke anbefalelsesværdig fordi det økonomiske incitament til at købe en elbil forsvinder. Stigningen af registreringsafgiften på elbiler er, som beskrevet i kapitel 9, formentlig en konsekvens af tabt afgiftsprovenu. Staten har et tabt afgiftsprovenu i tilfælde hvor elbiler tilvælges fremfor dieselmotorer, benzindrevne og gasdrevne biler som har et højere afgiftsprovenu end elbilerne.

Det er bemærkelsesværdigt, at selvom elbilen med den nuværende registreringsafgift på 40% er økonomisk fordelagtig sker der ikke nogen betydelig omstilling af personbiltransporten fra benzindrevne og dieselmotorer til elbiler. Hertil er det i afsnit 7.3 beskrevet, at elbilen har mulighed for at lade på hjemmeadressen og elbilens infrastruktur er relativt veludbygget. Det kan betyde, at det er andre faktorer end det økonomiske som afholder forbrugere fra at skifte den konventionelle bil ud med en elbil. Elbilen har en kortere rækkevidde end de konventionelle biler, hvilket kan være en faktor som afholder forbrugere fra at købe en elbil. Som beskrevet i afsnit 7.3 har elbilen en rækkevidde på 150-200 km på en fuld ladning. I dette projekts analyser antages en personbil at køre 18.000 km om året. SKAT har som hovedregel at der er 216 arbejdsdage på et år (SKAT, 2015). Det betyder, at der køres 83 km pr arbejdsdag, hvormed elbilens rækkevidde tilstrækkelig til at dække et typisk behov. Der kan være at den enkelte forbruger alligevel afholder sig fra elbilen grundet et behov for enkelte længere køreture end elbilens rækkevidde.

I Tabel 3 i kapitel 4 ses en opgørelse over familiers antal af personbiler, hvor det ses at antallet af biler pr. familie er steget siden 2008. En måde hvorpå, registreringsafgiften til elbiler kan fastholdes så det økonomiske incitament forbliver intakt og staten kan få dækket en del af tabet i afgiftsprovenu er, hvis afgiftsniveauet for køb af familiers første bil fastholdes men afgiften øges for konventionelle biler ved familiers køb af bil nummer to eller flere. Herved skabes et yderligere økonomisk incitament til at tilvælge en elbil fremfor en konventionel bil som bil nummer 2. ydermere vil en elbils kortere rækkevidde formentlig dække kørselsbehovet for familiers bil nummer 2.

I den privatøkonomiske analyse ses, at brintbilen er afgiftsfritaget men er den privatøkonomiske dyreste af personbilerne både for indkøb af personbilen og drivmiddelpris. Ligeledes er brintbilen på baggrund af den samfundsmæssige analyse i kapitel 8 ikke fordelagtig på kort sigt. På længere sigt i år 2050 er brint på baggrund af resultaterne fra de samfundsmæssige analyser et fordelagtigt alternativ til benzin og diesel i personbiltransporten. Brintteknologien afhænger dog af markant teknologisk udvikling, hvorfor det er usikkert i hvor høj grad denne udvikling reelt vil ske. Sammenlignes brintbilen med elbilen er brintbilen samfundsmæssigt ikke et bedre alternativ end elbilen. Det er ligeledes svært at se, at brintbilen i et privatøkonomisk perspektiv kan være konkurrencedygtig med de andre drivmidler, hvis det antages at brinten og brintbilen på sigt skal pålægges afgifter.

11. Konklusion

Projektets problemformulering er dannet på baggrund af problemanalysens iagttagelser om transportsektorens stigende udledning af drivhusgasemissioner og øget energiforbrug baseret på fossile brændstoffer. Projektets problemformulering er:

Hvordan kan personbiler omstilles fra at være baseret på konventionelle drivmidler som benzin og diesel til alternative drivmidler?

I projektet er det valgt at anvende teorien om Innovativ projektvurdering som den teoretiske tilgang til at besvare problemformuleringen. Med denne teoretiske tilgang søges det at besvare problemformuleringen ved at sammenligne flere alternative drivmidler til de konventionelle drivmidler. Drivmidlerne sammenlignes ikke kun i en privatøkonomiske analyse men også i tre samfundsrelevante analyser af drivmidlernes samfundsøkonomi, udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet. Derved undersøges de alternative drivmidler på et bredt samfundsrelevant fundament, hvorpå de samfundsmæssigt bedste alternative drivmidler kan identificeres. I tråd med den teoretiske tilgang besvares problemformuleringen ved at formulere anbefalinger til, hvordan institutionelle konstruktioner kan ændres til at fremme de alternative drivmidler som bidrager til at løse samfundsmæssige målsætninger.

På baggrund af analysen af drivlinjernes udledning af drivhusgasemissioner er biogas frem til år 2050 det markant bedste alternativ til de konventionelle drivlinjer. Samfundsøkonomisk er biogassens drivlinje på kort sigt dyre end de konventionelle drivlinjer, men forventes at forbedres som følge af teknologis udvikling der reducere omkostninger til produktion af biogas. Biogasbilen og naturgasbilen er de, på nær elbilen, billigste privatøkonomiske alternativet. Med en ændring af afgiftsstrukturen så biogas fritages for CO₂ afgiften og afgiften på NO_x ligestilles med diesel og benzin er biogas et endnu billigere alternativ til benzin og diesel.

Brint er som alternativ drivmiddel til personbiltransporten endnu ikke teknologisk udviklet til at være på niveau med de andre drivmidler medtaget i dette projekt. Privatøkonomisk er drivmiddelprisen og prisen på brintbilen på trods af afgiftsfritagelse langt fra at konkurrencedygtig med de andre alternativer. Samfundsøkonomisk forventes brintens drivlinje i år 2035 at være på niveau med de konventionelle drivmidler. I år 2035 forventes de samfundsøkonomiske omkostninger til elbilen og elbilen med stort batteri at være markant mere fordelagtig end brintbilen, hvilket også gør sig gældende for drivlinjernes energieffektivitet og udledning af drivhusgasemissioner. På baggrund af resultaterne fra dette projekts analyser kan brinten ikke konkluderes som værende det bedste alternative drivmiddel til at erstatte konventionelle drivmidler i personbiltransporten.

På baggrund af den privatøkonomiske analyse kan det konkluderes at elbilen er det billigste alternative drivmiddel. Der er derfor allerede i det nuværende marked økonomiske incitament til at omstille fra konventionelle fossile drivmidler til elbilen som alternativ drivmiddel. Planlagte stigninger i elbilens registreringsafgift medfører at elbilens økonomiske incitament i år 2019 ikke længere er eksisterende. På baggrund af den samfundsøkonomiske analyse og analysen af drivlinjernes energieffektivitet er elbilen det bedste alternativ til de konventionelle drivlinjer baseret på fossile brændsler. Det er derfor ikke hensigtsmæssigt at elbilens økonomiske incitament fjernes inden omstillingen er begyndt.

Konklusion

Elbilen med stort batteri er privatøkonomisk dyrere end de andre drivmidler på nær brintbilen. Sammenlignes elbilen med stort batteri med de konventionelle drivmidler på udledning af drivhusgasemissioner og energieffektivitet er elbilen med stort batteri i 2015 et fordelagtigt alternativ. I år 2035 er elbilen med stort batteri også et samfundsøkonomiske fordelagtigt alternativt drivmiddel til de konventionelle drivmidler. Elbilen med stort batteri har en rækkevidde på ca. 500 km mens elbilen med lille batteri har en rækkevidde på 150-200 km, hvorfor elbilen med stort batteri i forhold til rækkevidde er sammenlignelig med de konventionelle drivmidler.

Det kan konkluderes, at hvis personbiltransporten skal omstilles fra konventionelle drivmidler til alternative drivmidler er el det samfundsmæssigt bedste alternativ. Biogas kan i nogen grad anvendes som alternativ til de konventionelle drivmidler men biogassens råprodukter er knappe, hvorfor personbiltransporten på længere sigt ikke alene kan baseres på biogas. Biogassen har også andre anvendelsesmuligheder end anvendelse som drivmiddel i personbiltransporten.

Det er vigtigt for omstillingen at elbilens økonomiske incitament fastholdes i de kommende år. Derfor anbefales det, at registreringsafgiften ikke stiger til mere end 65 % som det er planlagt i år 2018. Ydermere anbefales det, at afgiftsstrukturen for køb af personbiler ændres, så familiers bil nr. 2 er højere afgiftsbelagt hvis denne anvender konventionelle drivmidler. Hermed skabes et incitament for, at investere i en personbil med alternativ drivmiddel, hvormed omstillingen af personbiltransporten accelereres.

Referencer

Brintbiler.dk, 2017a. *Etablering af brinttankstationer i Danmark*, s.l.: s.n.

Brintbiler.dk, 2017b. *Honda Clarity*. [Online]

Available at: <http://brintbiler.dk/honda-fcv-concept/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

CLEVER, 2016a. *Find ladestation*. [Online]

Available at: <https://clever.dk/find-ladestation/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Clever, 2016b. *Køb et ladekort*. [Online]

Available at: <https://clever.dk/kob-ladekort/#>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Danish Technological Institute, 2011. *GreenSynFuels*, s.l.: s.n.

Danmarks Statistik, 2016. *Nye biler kører 7,5 km længere pr. liter end i 2006*. [Online]

Available at: <http://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/nyt/GetPdf.aspx?cid=22633>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Danmarks Statistik, 2017a. *Yngste bilpark siden 2003*, s.l.: Danmarks Statistik.

Danmarks Statistik, 2017b. *Priser og Forbrug*. [Online]

Available at: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1920>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Dansk elbil alliance, 2015. *Om ladekort*. [Online]

Available at: <http://www.danskelbilalliance.dk/Viden%20om%20elbiler/Ladekortet.aspx>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Dansk Elbil Alliance, 2017. *Bestand af elbiler i Danmark*. [Online]

Available at: http://www.danskelbilalliance.dk/Statistik/Bestand_aar.aspx

[Senest hentet eller vist den 2017].

Dansk Energi, 2016. *Brint i fremtidens energisystem*, s.l.: Dansk Energi.

Dansk Energi, 2016. *Elforsyningens nettariffer & priser*, s.l.: s.n.

Dansk Gasteknisk Center a/s, 2015. *En guide om gas til rapport*, s.l.: Rosendahls.

Delk, 2016. *DELK's guide til opladning af Kia Soul EV*. [Online]

Available at: http://www.danskelbilkomite.dk/Guide_soul_opladning.html

[Senest hentet eller vist den 2017].

Den Europæiske Unions Tidende, 2009a. *VE-Direktivet 2009/28/EF*, s.l.: Den Europæiske Unions Tidende.

Den Europæiske Unions Tidende, 2009b. *Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2009/30/EF af 23. april 2009*, Strasbourg: Den Europæiske Unions Tidende.

Den Europæiske Unions Tidende, 2015. *ILUC-Direktivet 2015/1513*, s.l.: Den Europæiske Unions Tidende.

Referencer

Den Store Danske, 2017. *Bil*. [Online]

Available at: <http://denstoredanske.dk/index.php?sideid=46983>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Det Europæiske Råd, 2014. *2030-Rammen for klima- og energipolitiken*, Bruxelles: s.n.

DMI, 2012. *Drivhusgasser*. [Online]

Available at: <https://www.dmi.dk/laer-om/temaer/klima/drivhusgasser/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

DTU, 2017. *Transportøkonomiske enhedspriser*. [Online]

Available at: <http://www.modelcenter.transport.dtu.dk/Noegletal/Transportoekonomiske-Enhedspriser>

[Senest hentet eller vist den 2017].

E.ON, 2017a. *Oversigt over E.ONs offentlige ladepunkter*. [Online]

Available at: <http://www.eon.dk/privat/strom-til-din-elbil/oversigt-ladepunkter.html>

[Senest hentet eller vist den 2017].

E.ON, 2017b. *Produkter og priser*. [Online]

Available at: <https://www.eon.dk/privat/strom-til-din-elbil/produkter-og-priser/city-charge.html#/card>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Elbiler.nu, 2014. *Opladning af elbiler*. [Online]

Available at: <http://www.elbiler.nu/index.php/kom-godt-i-gang/opladning>

[Senest hentet eller vist den 2017].

elbilforum.no, 2014. *Emne: Reelt strømforbrug (incl. ladetab og tab ved stilstand)*. [Online]

Available at: <http://elbilforum.no/forum/index.php?topic=16664.0>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi- og olieforum, 2017. *Benzin*. [Online]

Available at: <http://www.eof.dk/Priser-og-Forbrug/Benzin>

[Senest hentet eller vist den 2016].

Energi- og olieforum, Læst 2017. *Benzin og diesel - standarder*. [Online]

Available at: <http://www.eof.dk/Viden/Temaer/Tankstationer/Artikler/Benzin%20og%20diesel%20-%20standarder>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2011. *Bekendtgørelse af lov om bæredygtige biobrændstoffer og om reduktion af drivhusgasser fra transport*. [Online]

Available at: <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=137888>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og klimaministeriet, 2013. *EU's byrdefordelingsaftale 2008-2012*. [Online]

Available at: <http://old.efkm.dk/energi-forsynings-klimapolitik/eus-klima-energipolitik/eus-indsats-reduktion-drivhusgasser/eus>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2013. *Kyotoprotokollen*. [Online]

Available at: <http://old.efkm.dk/energi-forsynings-klimapolitik/danmarks-internationale-klima->



energisamarbejde/klimaforhandlinger--11

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2014. *Bekendtgørelse af lov om energiafgift af mineralolieprodukter m.v.* [Online]

Available at: <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=163901>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2015. *Bekendtgørelse om bæredygtig produktion af biogas.* [Online]

Available at: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=168945>

[Senest hentet eller vist den 2016].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016. *Aftale om afskaffelse af PSO-afgiften.* [Online]

Available at: <http://efkm.dk/media/7912/elementer-i-aftale-om-pso.pdf>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016a. *Historisk klimaaftale træder i kraft med lyn fart.* [Online]

Available at: <http://efkm.dk/aktuelt/nyheder/nyheder-2016/november/parisaftalen/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016b. *Klimapolitisk redegørelse 2016*, s.l.: efm.

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2016c. *Lov om ændring af lov om bæredygtige biobrændstoffer og om reduktion af drivhusgasser fra transport.* [Online]

Available at: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=185842>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og klimaministeriet, 2016d. *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om bæredygtig produktion af biogas.* [Online]

Available at: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=180212>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2017. *Energipolitisk redegørelse 2017*, s.l.: s.n.

Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, Læst 2017. *Klimaindsatsen i Danmark.* [Online]

Available at: <http://www.efkm.dk/klima-og-vejr/klimaindsatsen-i-danmark/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energiaftale 2012, 2012. *Energistyrelsen.* [Online]

Available at: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/EnergiKlimapolitik/aftale_22-03-2012_final_ren.doc.pdf

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energinet.dk, 2013. *Hvad er biogas.* [Online]

Available at: <http://energinet.dk/DA/GAS/biogas/Om-biogas/Sider/Hvad-er-biogas.aspx>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Energinet.dk, 2017a. *Gascertifikater er garanti for biogas.* [Online]

Available at: <http://www.energinet.dk/da/gas/biogas/gascertifikater/sider/default.aspx>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Referencer

- Energinet.dk, 2017b. *Aktuelle tariffer og gebyrer*. [Online]
Available at: <http://energinet.dk/DA/EI/Engrosmarked/Tariffer-og-priser/Sider/Aktuelle-tariffer-og-gebyrer.aspx>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Energinet.dk, 2017c. *Betalinger for transport i gastransmissionsnettet*. [Online]
Available at:
<http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Gas/Prisliste%20pr.%201.%20oktober%202017.pdf>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Energistyrelsen, 2008. *Alternative Drivmidler i transportsektoren*, s.l.: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2012. *Alternative drivmidler*, s.l.: COWI.
- Energistyrelsen, 2013. *Samfundsøkonomiske analysemetoder*. [Online]
Available at: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/notat_om_kalkulationsrenten_juni_2013.pdf
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Energistyrelsen, 2015a. *Analyse af alternative muligheder til opfyldelse af 2020 målet for VE til transport*, s.l.: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2015b. *Baggrundsrapport D: Transport*, s.l.: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2015c. *Technology Data for Energy Plants*, s.l.: s.n.
- Energistyrelsen, 2016a. *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2016*, København: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2016b. *Energistatistik 2015*, s.l.: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2016c. *Opfyldelse af 2020 målet for VE til transport*. s.l.:Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2016d. *Alternative Drivmidler*, København: s.n.
- Energistyrelsen, 2016e. *Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren*, s.l.: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2017a. *Basisfremskrivning 2017*, København: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2017b. *Baggrundsrapport til Basisfremskrivningen 2017*, s.l.: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, 2017c. *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner*, København: Energistyrelsen.
- Energistyrelsen, Læst 2017a. *Målsætninger, der har betydning for den danske klimapolitik*. [Online]
Available at: <https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-dansk-energi-klimapolitik/dansk-klimapolitik>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Energistyrelsen, Læst 2017b. *Reduktion af drivhusgasser fra de ikke-kvoteomfattede sektorer*. [Online]
Available at: <https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/eus-klima-energi-politik/reduktion-af-drivhusgasser-fra-de-ikke>
[Senest hentet eller vist den 2017].

EU-Oplysningen, 2016. *EU's klimapolitik*. [Online]

Available at: <http://www.eu.dk/da/fakta-om-eu/politikker/klimapolitik>

[Senest hentet eller vist den 217].

EU-Oplysningen, Læst 2017. *Energipolitik*. [Online]

Available at: <http://www.eu.dk/da/fakta-om-eu/politikker/energipolitik>

[Senest hentet eller vist den 2017].

europa.eu, 2017. *Energi*. [Online]

Available at: https://europa.eu/european-union/topics/energy_da

[Senest hentet eller vist den 2017].

Europa-parlamentet, 2016a. *Energipolitik: generelle principper*. [Online]

Available at: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/da/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.1.html

[Senest hentet eller vist den 2017].

Europa-parlamentet, 2016b. *Energieffektivitet*. [Online]

Available at: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/da/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.3.html

[Senest hentet eller vist den 2017].

Europa-parlamentet, 2016c. *Vedvarende energi*. [Online]

Available at: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/da/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html

[Senest hentet eller vist den 2017].

European Commission, 2015. *EU ETS Handbook*, s.l.: European Union.

European Commission, 2016. *Well-to-Wheels Analyses*. [Online]

Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>

[Senest hentet eller vist den 2017].

ForskEL - Energinet.dk, 2015. *MegaBalance - Assessment on a widespread Hydrogen Refueling Station network for grid balancing of renewable electricity in Denmark 2035 and 2050*, s.l.: s.n.

Gas2move, 2016. *Gastankstationer i Danmark*. [Online]

Available at: <https://gas2move.dk/gastankstationer>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Gasbiler.info, 2016. *FAQ om gas til transport*. [Online]

Available at: <http://www.gasbiler.info/faq-om-gas-til-transport>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Gaspoint Nordic, 2017. *Prisberegner*. [Online]

Available at: <http://www.gaspointnordic.com/end-user/price-calculator?lang=da&period=12&month1=&month2=&month3=>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Greenhydrogen.dk, Læst 2017. *Hyprovide A60*. [Online]

Available at: <http://greenhydrogen.dk/technology/hyprovide-250tm/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Hartenergy, 2014. *International Fuel Quality Standards and Their implications for Australian Standards*, s.l.: Australian Government, Department of the Environment.

Referencer

- HMN Gasnet, 2016. *Distributionstariffer 2017*. [Online]
Available at: <https://gasnet.dk/priserogbetingelser/distributionstariffer/2017/>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- HMN Naturgas, Midttrafik & Planenergi, 2015. *Partnerskab for biogas til buskørsel i Region Midtjylland*, s.l.: Region Midtjylland.
- Hveiti - Refining life, 2011. *Hvad er bioethanol?*. [Online]
Available at: <http://www.hveiti.dk/da/hvad-er-bioethanol>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Hvelplund, F., 2015. *Bæredygtighed - Værdier, Regler og metoder*. s.l.: Aarhus Universitetsforlag.
- Hydrogen Link, 2013. *Status & erfaringer - brintbiler og tankstationer i Danmark og udland*, s.l.: s.n.
- Hyundai, 2017. *Hyundai ix35 Brint*. [Online]
Available at: <https://www.hyundai.dk/ix35-brint>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge: Cambridge University Press.
- JEC, 2014. *Well-To-Wheels, version 4.a*, s.l.: s.n.
- Jex, C., 2016. *Menneskeskabt global opvarmning begyndte for 180 år siden*. [Online]
Available at: <http://videnskab.dk/naturvidenskab/menneskeskabt-global-opvarmning-begyndte-for-180-aar-siden>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Klimarådet, 2016. *EU's 2030-målsætning og reglerne for målopfyldelse*, s.l.: Klimarådet.
- Miljø- og Energiforvaltning, 2016. *Notat - Status for brint-/brændselsceller*. [Online]
Available at:
<http://www.aalborg.dk/usercontrols/AalborgKommune/Referater/Pdf.aspx?pdfnavn=17406233-15427204-3.pdf&type=bilag&pdfid=70762>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Mybanker.dk, 2017. *Sammenlign priser på billån*. [Online]
Available at: <https://www.mybanker.dk/sammenlign/billaan/>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Nielsen, R. H., 2006. *Naturvidenskab for alle - Vejen til brintsamfundet*. 2 red. s.l.: Fysikforlaget.
- Nord Pool, 2017. *Historical market data*. [Online]
Available at: <http://www.nordpoolspot.com/historical-market-data/>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- Nordisk Folkecenter, 2008. *Introduktion til biogas*. [Online]
Available at: <http://www.folkecenter.dk/dk/rd/biogas/biogas/>
[Senest hentet eller vist den 2017].
- OK, 2007. *Sikkerhedsdatablad*. [Online]
Available at: <http://www.ok.dk/webstedetsdokumenter/Sikkerhedsdata/sikkerhedsdata-svovlfri-diesel.pdf>
[Senest hentet eller vist den 2017].

Partnerskab for Brint og Brændselsceller, 2014. *Brint & Brændselsceller til transport i Danmark*. s.l.:s.n.

Partnerskabet for Brint og Brændselsceller, 2015. *Hvad er brændselsceller*. [Online]

Available at: <http://www.hydrogenet.dk/braendselsceller/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Petersen, F. H., 2007. *Motorlære - Skibssystemer og elteknik*. 1 red. Aarhus: Fiskericirklen.

Quartz+Co, 2015. *Energiindustriens historiske omstilling og betydning for Danmark*, København: Quartz+Co.

Serenergy, Læst 2017. *Methanol production*. [Online]

Available at: <http://serenergy.com/forside-test/technology/methanol-production/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Simonsen, S. B., 2011. *FiB*. [Online]

Available at: http://www.biopress.dk/PDF/FiB_36-2011_05.pdf/view

[Senest hentet eller vist den 2017].

SKAT, 2015. *Antal arbejdsdage*. [Online]

Available at: <https://www.skat.dk/SKAT.aspx?oID=171299>

[Senest hentet eller vist den 2017].

SKAT, 2017a. *Vægtafgift og grøn ejerafgift*. [Online]

Available at: <https://www.skat.dk/SKAT.aspx?old=2234535>

[Senest hentet eller vist den 2017].

SKAT, 2017b. *E.A.4.6.3.2 Godtgørelse af afgift af elektricitet*. [Online]

Available at: <http://www.skat.dk/SKAT.aspx?oID=2062223&chk=214126>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Skatteministeriet, 2015. *Aftale mellem regeringen (V) og Socialdemokratiet, Dansk Folkeparti og Radikale Venstre om de fremtidige afgiftsvilkår for elbiler og brændselscellebiler*. [Online]

Available at: http://www.skm.dk/media/1265173/091015_aftaletekst_elbiler.pdf

[Senest hentet eller vist den 2017].

Skatteministeriet, 2016a. *Mineralolieafgiftsloven*. [Online]

Available at: <http://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser/mineralolieafgiftsloven>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Skatteministeriet, 2016b. *Kvælstofoxiderafgiftsloven (NOx)*. [Online]

Available at: <http://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser/kvaelstofoxiderafgiftsloven-nox>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Skatteministeriet, 2016c. *Gasafgiftsloven*. [Online]

Available at: <http://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser/gasafgiftsloven>

[Senest hentet eller vist den 2017].

skatteministeriet, 2017. *Registreringsafgiftsloven*. [Online]

Available at: <http://www.skm.dk/skattetal/satser/satser-og-beloebsgraenser/registreringsafgiftsloven#reg>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Referencer

Teknologisk Institut, 2016. *Validering af energiforbrugsdata for køretøjer i AD modellen*, Aarhus: s.n.

Toyota, 2014. *Salget af brintbilen Mirai er i gang*. [Online]

Available at: <https://www.toyota.dk/world-of-toyota/news/nu-starter-salget-af-brintbilen-toyota-mirai.json>

[Senest hentet eller vist den 2017].

U.S. Department of energy, 2017. *Compressed Natural Gas Fueling Stations*. [Online]

Available at: http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_cng_stations.html#fastfill

[Senest hentet eller vist den 2017].

UNFCCC, 2012. *Doha amendment to the Kyoto Protocol*, Doha: UNFCCC.

UNFCCC, 2014. *A summary of the Kyoto Protocol*. [Online]

Available at: http://unfccc.int/kyoto_protocol/background/items/2879.php

[Senest hentet eller vist den 2017].

UNRIC, 2017. *FN og klimaændringer*. [Online]

Available at: <https://www.unric.org/da/component/content/article/20-humanitarian-affairs/26193-fn-ogklimaaendringer>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Vejdirektoratet, 2017. *Nøgletal om vejtransport*. [Online]

Available at:

http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/statistik/trafikken%20i%20tal/Noegletal_om_vejtransport/Sider/default.aspx

[Senest hentet eller vist den 2017].

Aalborg Universitet, 2015. *IDA's Energy Vision 2050*, Aalborg, Denmark: Department of Development and Planning, Aalborg University.