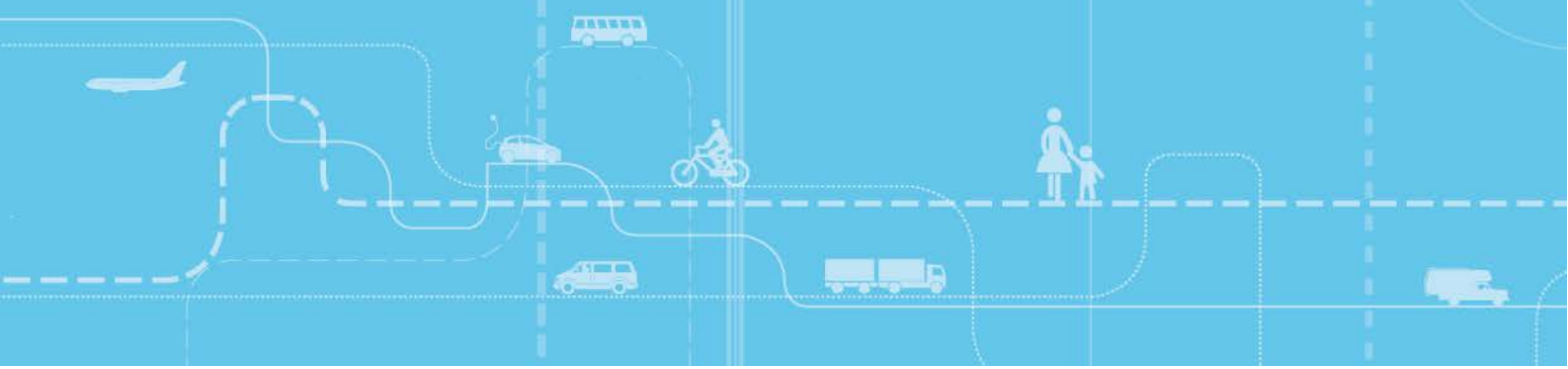
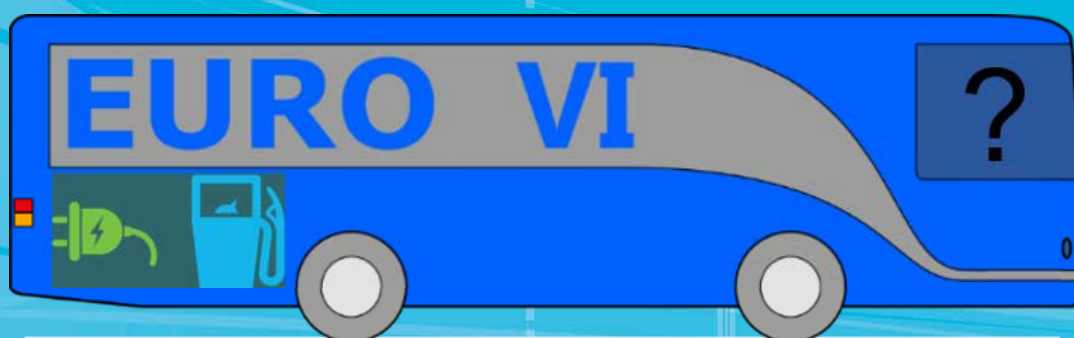


Klima- og miljøvennlig transport frem mot 2025

Vurderinger av mulige teknologiske løsninger
for buss



Klima- og miljøvennlig transport frem mot 2025

Vurderinger av mulige teknologiske løsninger for buss

Rolf Hagman
Astrid H. Amundsen
Mikaela Ranta
Nils-Olof Nylund

Forsideillustrasjon: Rolf Hagman, TØI

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

ISSN 0808-1190

ISBN 978-82-480-2051-6 Papirversjon

ISBN 978-82-480-2050-0 Elektronisk versjon

Oslo, mai 2017

Tittel Klima- og miljøvennlig transport frem mot 2025. Vurderinger av mulige teknologiske løsninger for busser.

Forfatter(e): Rolf Hagman, Astrid H. Amundsen, Mikaela Ranta, Nils-Olof Nyland.

Dato: 05.2017

TØI-rapport 1571/2017

Sider: 75

ISBN papir: 978-82-480-2051-6

ISBN elektronisk: 978-82-480-2050-9

ISSN: 0808-1190

Finansieringskilde(r): NHO Transport

Prosjekt: 4459 – NHO Miljøvennlig transport

Prosjektleder: Rolf Hagman

Kvalitetsansvarlig: Erik Figenbaum

Fagfelt: 23

Emneord: Elektriske kjøretøy, biodrivstoff, buss

Sammendrag:

Ambisjonene når det gjelder klima- og miljøvennlig transport er høye i Norge og dette gjeldet spesielt for kollektivtrafikken. I dette prosjektet har vi vurdert hvilke teknologiske løsninger og energibærere som kan gjøre busser klima- og miljøvennlige frem mot 2025.

Vår vurdering er at elbusser nå og frem mot 2025 med stor sannsynlighet vil gi mest nytte i forhold til kostnadene. Hurtiglading ved endestasjonene er en investering som vil bli lønnsom ved kommende overganger til full bruk av elbusser i norske byer.

Biodrivstoffer til dieselmotorer vil sammen med "biogass" være fornybare drivstoffer som egner seg for busstransport på lengre strekninger. En forutsetning for bruk av biodrivstoffer er at de oppfyller de omfattende og til enhver tid gjeldende bærekraftskriteriene til EU. Såkalte avanserte biodrivstoffer som oppfyller de strengeste fremtidige bærekraftskriteriene blir foreløpig ikke produsert i Norge. Økonomisk konkurransedyktig produksjon og å få opp tilstrekkelige produksjonsvolumer er utfordringer ved satsing på biodrivstoffer.

Title Climate- and environmental friendly transport towards 2025. Assessment of possible technological solutions for busses.

Author(s) Rolf Hagman, Astrid H. Amundsen, Mikaela Ranta, Nils-Olof Nyland.

Date: 05.2017

TØI Report: 1571/2017

Pages: 75

ISBN Paper: 978-82-480-2051-6

ISBN Electronic: 978-82-480-2050-9

ISSN: 0808-1190

Financed by: Confederation of Norwegian Enterprise, dep. Transport

Project: 4459 – NHO Environmental friendly transport

Project Manager: Rolf Hagman

Quality Manager: Erik Figenbaum

Research Area: 23

Keyword(s) Electric vehicles, biofuel, bus

Summary:

The ambitions for climate and environmentally friendly transport are high in Norway and this is specially the case for Public Transport. In this project we have analyzed the technical solutions and energy carriers that can make buses climate and environmentally acceptable towards 2025.

Our analysis show that Electric buses are most likely to be the most cost effective solution for urban bus transport towards 2025. Fast charging at the end stops is an investment that will pay off with a future full electrification of the urban bus transport in Norway.

Biofuels to diesel engines will together with bio-methane, be renewable fuels that are suited for bus transport on suburban and longer bus routes. Biofuels must however comply with the EU renewable directive and its complex and increasingly demanding sustainability criteria. So called Advanced Biofuels are not yet produced in Norway. Economically competitive production in sufficient quantities are challenges related to biofuel availability.

Language of report: Norwegian

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

For å nå målene om null-utslippssamfunnet vil nye og mer klima- og miljøvennlige kjøretøyteknologier måtte tas i bruk. I den forbindelse ønsket NHO Transport å få vurdert fordeler, ulemper og potensialet ved ulike kjøretøyteknologier. Fokuset er på mulige teknologiske løsninger for busser frem mot 2025. El-teknologien, og dens muligheter og utfordringer er et hovedtema, men også biodrivstoff og andre fremdriftsteknologier er vurdert. Det er også utført en kostnadsvurdering av de ulike fremdriftsteknologiene.

Ved Transportøkonomisk institutt har forsker Rolf Hagman vært prosjektleder. Hagman er rapportens hovedforfatter og forsker Astrid Amundsen er medforfatter. Rapporten er utarbeidet i samarbeid med det finske forskningsinstituttet VTT.

Forsker Mikaela Ranta, VTT har bidratt til kapittelet om el-busser. Professor Nils-Olof Nylund, VTT har kommet med innspill til flere av kapitlene, blant annet kapittel 5, 7 og 8. Forsker Astrid H. Amundsen har bidratt på kapittel 7 og 9, og kommet med innspill til kapittel 1, 2 og 8. Forskningsleder Erik Figenbaum har kvalitetssikret rapporten, mens sekretær Trude Rømming har tilrettelagt rapporten for publisering.

NHO Transport er oppdragsgiver og har finansiert prosjektet. Kollektivtrafikkforeningen og Kolumbus har gitt økonomisk bidrag til utarbeidelsen av rapporten. Jon H. Stordrange og Jofri Lunde har vært oppdragsgivers kontaktpersoner.

Oslo, mai 2017

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Michael W J Sørensen
Ardelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Bakgrunn og begreper	1
1.1	Mulige klima- og miljøvennlige løsninger	1
1.2	Begreper og terminologi.....	4
2	Metode.....	10
2.1	Oppsummering av tidligere opparbeidet kunnskap	10
2.2	Potensial og prognoser	10
2.3	Bidragstyttere og resurser.....	11
3	Elektrifisering og elbusser	12
3.1	Kort om historikk og markedsutvikling for elbusser	12
3.2	Elbusser – tekniske muligheter.....	13
3.3	Batterier, økonomi og fremtid.....	18
4	Hydrogen og brenselcellebusser.....	24
4.1	Kort historikk og utvikling.....	24
4.2	Muligheter og begrensninger	26
4.3	Økonomi og fremtid.....	28
5	Forbrenningsmotorer og busser	30
5.1	Kort historikk om forbrenningsmotorer	30
5.2	Dieselmotorer og konvensjonelle dieselbusser	32
5.3	Gassmotorer og gassbusser.....	35
5.4	Sammenligning Euro VI, økonomi og fremtid.....	36
6	Hybrid fremdrift og hybridbusser.....	40
6.1	Kort historikk og teknologiutvikling	40
6.2	Økonomi og fremtid.....	43
7	Biodrivstoff.....	44
7.1	Biodrivstoffer og klimapåvirkning.....	44
7.2	Regelverket for fornybare drivstoff	47
7.3	Bruk og tilgang på biodrivstoff.....	51
7.4	Økonomi og fremtid.....	61
8	Økonomiske vurderinger	63
8.1	Kostnader og synspunkter	64
8.2	Beregning av samlede kostnader 2017, 2020 og 2025.....	65
9	Konklusjon	71
10	Referanser.....	73

Sammendrag

Klima- og miljøvennlig transport frem mot 2025

Vurderinger av mulige teknologiske løsninger for buss

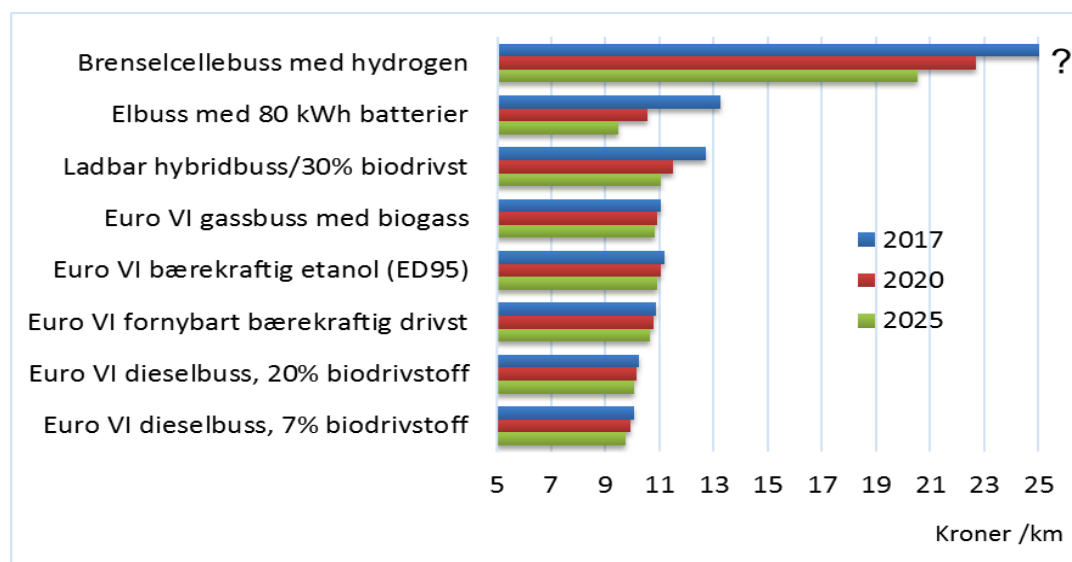
TØI rapport 1571/2017

Forfattere: Rolf Hagman, Astrid H. Amundsen, Mikaela Ranta og Nils-Olof Nylund

Oslo 2017 75 sider

Å stoppe global oppvarming er en krevende utfordring. Transportsektoren er en av de store bidragsyterne til utslipp av klimagasser og uønsket klimapåvirkning. Busstransport er i Norge et prioritert område for satsing på lavutslippsteknologi og fornybare drivstoffer. Fylkeskommunene har økonomiske muligheter å prioritere klima- og miljøvennlige løsninger ved anbudsutlysninger på busstrafikk. Hva som gir mest klima- og miljø for pengene er derfor et spørsmål som aktørene trenger mer kunnskap om.

Vår vurdering er at elbusser nå og frem mot 2025 med stor sannsynlighet vil gi mest nytte i forhold til kostnadene. Hurtiglading ved endestasjonene er en investering som vil bli lønnsom ved kommende overganger til full bruk av elbusser i norske byer.



Figur S1: Beregnede samlede kostnader (kr/km) for bussdrift på en 10 km bybusslinje med aktuelle alternativene for fremdriftsteknologier og drivstoffer.

Elbusser

Elbusser for bytrafikk gir fra 2020 mest klima- og miljø for pengene. Elbusser i Norge er energieffektive og kan bruke norsk fornybar elektrisk energi fra vannkraft. For innfasing av elbusser vil vi anbefale å begynne med en bybusslinje, og med tanke på fremtidig elektrifisering av bussflåten frem mot 2025 gradvis bygge opp et nett med hurtigladestasjoner. For elbusser forventes frem mot 2025 en rask teknologisk utvikling, lavere priser og høyere driftssikkerhet. Figur S1 viser de samlede kostnadene for aktuelle alternativer med klima- og miljøvennlige bybusser i Norge.

Alternativene med elbusser forutsetter gradvis større innkjøp av elbusser i 2020 og 2025. Videre forutsettes færre antall hurtigladestasjoner per buss etter hvert som antallet elbusser øker.

Ladbare hybridbusser og forbrenningsmotorer

Ladbare el-hybridbusser og konvensjonelle dieselbusser med fornybar diesel, i form av biodrivstoffer som oppfyller fastsatte bærekraftskriterier, vil konkurrere med elbusser på lengre bussruter. Moderne gassbusser med biogass er et klima- og miljøvennlig alternativ. Gassbusser kan bli økonomisk konkurransedyktig, hvis prisen på "biogass" er så mye lavere enn prisen på fornybart biodrivstoff til dieselmotorer, at dette kompenseres for gassmotorenes lave energieffektivitet og økonomiske merkostnader med gassbusser.

Politiske signaler tilsier at biodrivstoff vil fungere som en brobygger inntil elektrisk fremdrift er moden nok til å omfatte flere transportmidler og transporttyper. Etter dette vil behovet reduseres en del. På sikt vil bruk av biodrivstoff innenfor transportsektoren være mest aktuell innenfor tungtransporten, mellomlange- og lange reiser med buss, samt sjø- og luftfart. Person- og varebiler, og med tiden også bybusser vil alle ha potensial til å kunne elektrifiseres i Norge.

Avgassutslippene av NO_x og PM fra biodrivstoffer er avhengig av motor og renseteknologi. Hvis kjøretøyene benytter Euro VI-motorer vil utslippene av lokalt helseskadelige avgasser ligge på tilsvarende lave nivåer som kjøretøy som benytter konvensjonelle drivstoffer.

Biodrivstoffer og klimapåvirkning

Klimapåvirkningen vil være avhengig av type råstoff og produksjonsmetoder. Avanserte biodrivstoff basert på avfall fra skogbruk vil kunne ha en reduksjon av klimapåvirkningen på opp mot 80-90 prosent.

Kostnadene på 1. generasjons biodrivstoff vil i stor grad påvirkes av prisen på råvarene. Prisen på både 1. generasjons biodrivstoff og avansert biodrivstoff påvirkes også av tilgang og etterspørsel. For avansert biodrivstoff vil kostnader i større grad være forbundet med produksjonsprosessene, spesielt kapitalkostnadene og energibehovet i prosessene.

Vi har i Norge potensial til å produsere avansert biodrivstoff basert på avfall fra skogsindustrien. Men dette vil kreve store investeringer i teknologier som enda ikke er helt modne. Avansert biodrivstoff vil koste mer enn dagens diesel- og biodrivstoff, og vil være avhengig av et marked som er villige til å betale den ekstra kostnaden. Internasjonalt har flere anlegg for biodrivstoff gått konkurs på grunn av blant annet lave priser på fossilt drivstoff. Økonomisk støtte fra ENOVA og skatte- og avgiftsinsentiver kan bidra til å gjøre avanserte biodrivstoffer mer konkurransedyktige i markedet, mens et omsetningskrav vil sikre at en viss mengde drivstoff tas i bruk og omsettes uavhengig av prisnivået.

For Norges del er nasjonal produksjon i kommersiell målestokk av avansert biodrivstoff basert på råstoff fra skog, sannsynligvis ikke tilgjengelig før i 2025-2030. I og med at de fleste produksjonsanleggene i Norge kun er på planleggingsstadiet, vil Norge i flere år fremover være avhengig av å importere biodrivstoffer.

Per i dag er kun rundt en prosent av biodrivstoffet som produseres globalt å anse som avansert biodrivstoff. Med økte krav til andel avansert biodrivstoff både i Norge og resten av verden, vil det på kort sikt kunne være vanskelig å få tilgang på nok avansert biodrivstoff til å tilfredsstille et omsetningskrav. Dette kan bli enda vanskeligere dersom EU og Norge endrer og skjerper definisjonene av hva som kan ansees som avansert biodrivstoff.

Hvis produksjonsanlegg etableres i Norge, er det en fordel om anleggene er fleksible og kan tilpasses en fremtid hvor etterspørselen av biodrivstoff til vegtransporten kan reduseres, mens den potensielt kan øke i andre sektorer.

Teknologi og egnethet frem mot 2025

I tabell S.1 har vi sammenfattet vår vurdering av egnethet for ulike teknologier for busser frem til 2025.

Tabell S.1: Egnethet for ulike teknologier og drivstoff for busser i perioden frem til 2025, (grønn farge angir velegnet og olivengrønn farge angir egnet).

Fremdrift	Bybuss	Regional- og turbuss
Elektrisk med batterier	Velegnet Moden teknologi fra ca. 2020. Klimavennlig med norsk elektrisitet. Hurtiglading krever noe areal til ladestasjoner. Konkurransedyktig på pris.	Foreløpig lite egnet. Dyrt med store nok batterier. Kan bli problematisk med rekkevidde.
Hybrid/ladbar el-hybrid	Egnet Elektrisk fremdrift i kombinasjon med Euro VI forbrenningsmotor med biodrivstoff eller med brenselcelle og hydrogen kan gi lav klimapåvirkning. Kan bli mer kostbar enn helelektrisk drift med batterier. Hydrogen krever ny infrastruktur.	Velegnet Elektrisk fremdrift i kombinasjon med Euro VI forbrenningsmotor med biodrivstoff eller med brenselcelle og hydrogen kan gi lav klimapåvirkning. Dyrt med to motorteknologier. Hydrogen krever ny infrastruktur.
Dieselmotor med biodrivstoff	Egnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Særlig de avanserte biodrivstoffene gir mye lavere klimapåvirkning enn fossilt drivstoff. Begrenset tilgang på avansert biodrivstoff til akseptabel kostnad.	Velegnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Særlig de avanserte biodrivstoffene gir mye lavere klimapåvirkning enn fossilt drivstoff. Begrenset tilgang på avansert biodrivstoff til akseptabel kostnad
Gassmotor og biogass	Egnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Gassmotorer har lav energivirkningsgrad. Krever egnet infrastruktur for lagring og transport.	Lite egnet Avhengig av utstrakt utbygging av infrastruktur. Gassmotorer har lav energivirkningsgrad..
Brenselcelle-buss Hydrogen	Kan bli egnet på sikt Sannsynligvis kommersielt konkurransedyktig først etter 2025. Klima- og miljøvennlig med norsk vannkraft. Foreløpig kostbar teknologi. Krever utbygging av fyllestasjoner.	Kan bli velegnet på sikt Sannsynligvis kommersielt konkurransedyktig først etter 2025. Klima- og miljøvennlig med norsk vannkraft Foreløpig kostbar teknologi. Krever utbygging av fyllestasjoner.
Dieselmotor med fossil diesel	Egnet Med Euro VI motorer lave utslipp av PM og NOx, men fortsatt høy klimapåvirkning. Potensial for lave samlede kostnader.	Egnet Med Euro VI motorer lave utslipp av PM og NOx, men fortsatt høy klimapåvirkning utslipp. Potensial for lave samlede kostnader.

Hydrogen, teknisk og økonomisk modenhet

Hydrogen er en energibærer med potensial for fremtidig produksjon på en bærekraftig og økonomisk konkurransedyktig måte. I tidsperspektivet vurdert i denne rapporten, blir brenselceller og hydrogen vurdert som umoden teknologi for kommersielt konkurransedyktige fremdriftssystemer for busser i regulær trafikk.

Teknisk og økonomisk modenhet hos ny teknologi og nye drivstoffer er vanskelig å vurdere. Ulike aktører og interessegrupper har ulik tilgang til informasjon og forskjellige agendaer. Politikere kan bli utsatt for påvirkning og få inntrykk av at ny teknologi er mer tilgjengelig og mer moden enn hva som er tilfelle.

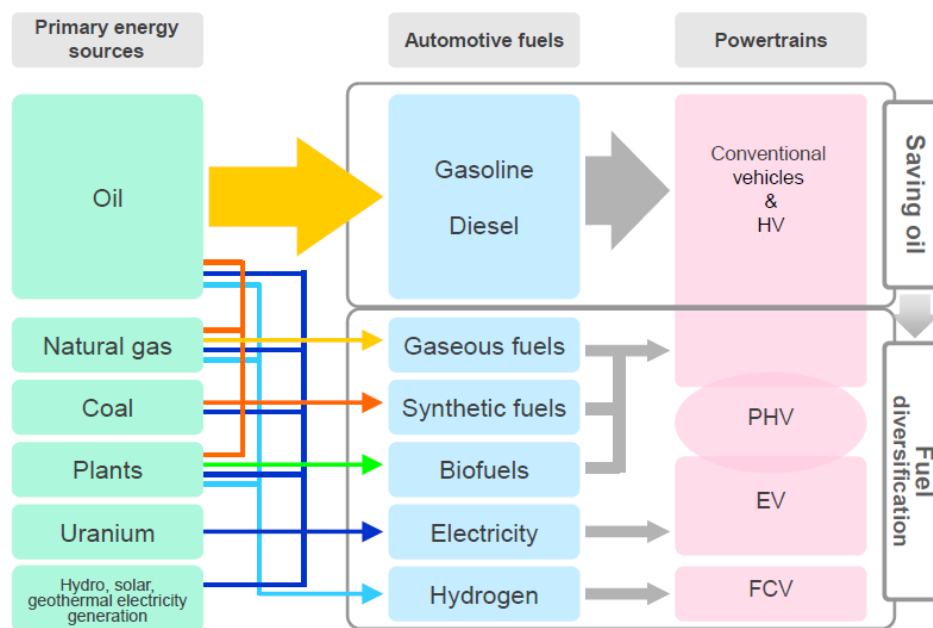
1 Bakgrunn og begreper

1.1 Mulige klima- og miljøvennlige løsninger

TØI er av Næringslivets hovedorganisasjon, NHO Transport bedt om å lage en vurdering av hva som er mulig og realistisk å innfase av nye klima- og miljøvennlige teknologier og energibærere for kjøretøy og transportløsninger i Norge. Oppdraget gjelder spesielt busser og omfatter ny teknologi, og mulighetene med elektrisk fremdrift. Fordeler, ulemper og potensial med ulike teknologier inkludert biodrivstoffer i perioden frem til 2025 skal diskuteres.

Denne rapporten vurderer de kombinasjoner av fremdriftsteknologier og drivstoffer/energibærere som er mulige for å oppnå klima- og miljøvennlig busstransport i Norge.

For klima- og miljøvennlig transport står løsninger og utfordringer med energikilder, drivstoffer og fremdriftssystemer sentralt. De muligheter som finnes for vegtransport generelt (gjelder også for busser) er vist i figur 1.1.



Figur 1.1: Aktuelle energikilder, energibærere og fremdriftssystemer for vegtransport. (Hirose 2014)

Utfordringer med lokalt helseskadelige avgassutslipp lar seg løse med effektiv rensing av forbrenningsavgassene som kommer ut fra selve motoren.

Klimapåvirkningen fra transport kan reduseres ved hjelp av energieffektive fremdriftssystemer og bruk av energibærere med lav eller ingen klimaeffekt, det vil si energibærere basert på helt eller delvis fornybare energikilder. EUs og norske Miljødirektoratets til enhver tid gjeldende bærekraftskriterier definerer spesifiserte krav til

fornybare energibærere og klimapåvirkning. Klimanøytrale transportløsninger er transportløsninger som ikke bidrar til global oppvarming.

Energikilden fossil mineralolje, energibærerne bensin og diesel, konvensjonelle kjøretøy og hybride kjøretøy (HV=kjøretøy med flere fremdriftssystemer) forventes på verdensbasis å dominere vegtransport frem mot 2030. Forbedringer av energieffektiviteten i forbrenningsmotorer vil bidra til å reduserte utslipp av klimagassen CO₂, men utfordringene er at utvinning og forbrenning av fossil olje bidrar til klimapåvirkning og global oppvarming (Tanaka 2011).

Naturgass i form av metan er en energikilde og energibærer som kan brukes direkte, i konvensjonelle kjøretøy og hybride kjøretøy, eller som basis for produksjon av syntetiske drivstoffer. Utfordringene er at utvinning og forbrenning av fossil naturgass og syntetiske drivstoffer produsert av naturgass bidrar til klimapåvirkning og global oppvarming.

Kull kan også brukes til produksjon av syntetiske drivstoffer som kan brukes i konvensjonelle kjøretøy og hybride kjøretøy. Utfordringene er at utvinning av kull og forbrenning av drivstoffer fra kull i høy grad bidrar til klimapåvirkning og global oppvarming.

Planter, biomasse og biologisk avfall kan brukes til produksjon av biogass, biodrivstoffer og syntetiske biodrivstoffer. En forutsetning er at biodrivstoffene er raffinert til en kvalitet som aksepteres av produsentene av forbrenningsmotorer, og at de oppfyller internasjonale standarder for drivstoffer. Utfordringene er en lite kostnadseffektiv produksjonsteknologi samt å sikre tilgang på planter, vegetabiliske oljer og biomasse som oppfyller EUs og norske krav til fornybare drivstoffer og bærekraftkriterier.

Kjernekraft med radioaktivt nedbrytbare stoffer er internasjonalt en av kildene til produksjon av elektrisk energi til bruk i elektriske kjøretøy. Utfordringene er hovedsakelig sikkerhet og lagring av radioaktivt avfall.

Vannkraft, vindkraft, solkraft og geotermisk energi er på alle måter fornybare og bærekraftige energikilder for produksjon av elektrisk energi til elektrisk fremdrift av elektriske kjøretøy (EV) og ladbare hybride kjøretøy (PHEV). En utfordring som er på veg til å bli mindre har vært at batteriene som anvendes i disse biltypene for lagring av elektrisk energi har vært store, tunge og kostbare. I motsetning til de fleste andre land har Norge allerede i 2017 kapasitet til at all vegtransport kan bli utført med nasjonalt produsert fornybar elkraft (mindre enn 20 TWh/år trengs). Utfordringene med elektrifisering av langtransport og tunge kjøretøy er behovet for store batteripakker i bilene eller en kostbar infrastruktur for å lade batterier undervegs.

Fornybar elkraft kan brukes som energikilde for splitting av vann for produksjon av energibæreren hydrogen. Utfordringene for hydrogen som energibærer er produksjonsanlegg, fyllestasjoner samt foreløpig kostbar og kommersielt umoden brenselcelleteknologi.

Alle energikilder, det være seg fossile eller fornybare, kan brukes til å produsere elektrisk energi og hydrogen. Generelt kan alle energikilder, hvor energien er bundet i form av energirike hydrokarbonforbindelser, det være seg fossile eller fornybare, med større eller mindre innsats av energi, brukes til å produsere hydrokarbonbaserte drivstoffer til forbrenningsmotorer. Hindringene er i større grad økonomisk konkurransedyktighet enn tekniske muligheter.

I Europa og Norge skal innføringen av EU direktiv (2014/94/EU) sørge for at det blir krav til utbygging av infrastruktur for alternative energibærere. Figur 1.2 er hentet fra et av bakgrunnsdokumentene til dette EU direktivet, og viser hvilke former for transport alternative energibærere vil egne seg for i henhold til direktivet. At figuren og EUs direktiv

fra 2014 betegner batterielektrisk fremdrift som uegnet for personbiler på middels lange distanser viser hvor raskt utviklingen av nye og bedre batterier har gått.

 Clean Power for Transport Package												
	Road						Air	Rail	Water			
												
Range	Urban	Medium	Long	Short	Medium	Long			Inland	Short sea	Maritime	
Natural gas					LNG	LNG	✗		LNG	LNG	LNG	
Electricity		✗	✗		✗	✗	✗			✗		
Biofuels												
Hydrogen						✗	✗				✗	

Figur 1.2: Alternative energibærere for transport i henhold til et EU direktiv fra 2014 (Steen 2014).

I henhold til Marc Steen ved DG Joint Research Centre, European Commission vil metan i form av komprimert gass eller i flytende form kunne egne seg for alle former for transport unntatt fly (Steen 2014). Grunnet begrensninger med batterier vil elektriske kjøretøy foreløpig være best egnet for bykjøring og kortere distanser. Godkjente og sertifiserte biodrivstoffer i flytende form vil egne seg for alle former for transport. Hydrogen vil i henhold til Marc Steen egne seg som energibærere for alle transportformer unntatt for fly og langtransport.

Økonomiske utfordringer er alltid knyttet til introduksjon av ny teknologi. Det kan være forskjellige vurderinger av i hvilken grad vi befinner oss i et tidlig stadium der teknologien fortsatt utvikles, eller i en rask utvikling mot å bli økonomisk moden. I en fase hvor teknologien raskt er på veg mot å bli økonomisk konkurransedyktig kan det være hensiktsmessig å gå inn for å støtte en ønsket utvikling og høste erfaring.

Ny teknologi og nye drivstoffer introduseres i transport- og buss-sektoren som følge av at teknologiutvikling gjør det mulig og at krav i anbud gjør det nødvendig. Ved utprøving og introduksjon av helt nye driftsformer og investeringer i infrastruktur med stor betydning kan det være behov for nytenkning. Ønsker om elektrifisering, hydrogen og "biogass" i bussanbud krever nytenkning i forhold til drivstoffer som passer i moderne dieselmotorer og som kan fylles fra tradisjonelle fyllestasjoner.

Teknisk og økonomisk modenhet hos ny teknologi og nye drivstoffer er vanskelig å vurdere. Ulike aktører og interessegrupper har ulik tilgang til informasjon og forskjellige agendaer. Politikere kan bli utsatt for påvirkning og få inntrykk av at ny teknologi er mer tilgjengelig og mer moden enn hva som er tilfelle.

Ny forskning, teknologi og løsninger på klima- og miljøutfordringene blir etterspurt. Praktisk teknologiutvikling og introduksjon av ny teknologi initieres av produsentene av kjøretøy. Forskningen viser til nye muligheter og det er generelt optimisme og interesse for ny forskning. Løsninger vil bli forsøkt realisert så sant de er teknologisk mulige i forhold til krav knyttet til kostnader og driftssikkerhet. Mulige løsninger blir testet og finansiert med støtte fra internasjonale forskningsmidler og risikokapital. Det er viktig å forstå dynamikken og hvordan ulike aktører påvirker og agerer for å få en hensiktsmessig innfasing av ny teknologi i transportsektoren i Norge.

Innfasing av ny og kompleks teknologi medfører ofte tekniske utfordringer. Ny teknologi kan være bedre enn eldre løsninger, men det kan vise seg at den ikke klarer å bli konkurransedyktig i operativ drift i bussflåter i forhold til konvensjonelle alternativer. Driftsbetingelsene og bruk kan gi overraskelser avhengig av i hvilken grad det finnes erfaringer fra virkelige og relevante forhold.

Professor Nils-Olof Nylund ved VTT (Finlands tekniske forskningsinstitutt) som er bidragsyter til denne rapporten vurderer status for klima- og miljøvennlige energibærere og busser som følger (per 2017):

- *Dieseldrivstoffer fra fornybare kilder*: Kommersielt tilgjengelige drivstoffer for kommersielt modne busser med dieselmotorer.
- *Biometan fra fornybare kilder (biogas)*: Tilgjengelig drivstoff for kommersielt modne busser med gassmotorer.
- *Elektrisk energi lagret i batterier*: Et alternativ som er i en fase hvor elbusser nå i løpet av de nærmeste årene blir et kommersielt interessant og modent alternativ for bytrafikk.
- *Hydrogen fra elektrolyse av vann*: Et alternativ hvor busser med brenselceller nå er i en pre-kommersiell utviklingsfase.

1.2 Begreper og terminologi

Et klart og entydig begrepsapparat for klima- og miljøpåvirkning er en forutsetning for at mål, status og resultat skal være mulige å definere. En kort gjennomgang og diskusjon av de begreper som vi bruker og anbefaler for å beskrive klima- og miljøpåvirkning fra vegtransport og drivstoffer innleder denne rapporten.

Utslipp med negativ påvirkning på klima- og miljø er noe vi vil fjerne eller i hvert fall redusere. Utslipp er et enkelt og billedlig begrep, men så generelt at det dekker alt fra enkelte avgasskomponenter fra avgassrøret til den samlede klimapåvirkningen av utslipp og opptak av klimagasser i et livsløpsperspektiv. **CO₂** (karbondioksid) er en klimagass som påvirker temperaturen på jorden. Den er nødvendig for livet på jorden og karbonsyklusen i naturen. Tilførsel av ny karbon fra fossile kilder forstyrrer balansen mellom utslipp og opptak. Oksidasjon eller forbrenning av karbon frigjør varmeenergi og gir utslipp av CO₂ og bidrar derigjennom til global oppvarming.

Drivstoffer er **energibærere** som brukes i kjøretøy med forbrenningsmotorer eller elektriske motorer. Drivstoffer til **bensinmotorer** (Ottomotor) og **dieselmotorer** blir kalt bensin og diesel, og blir produsert fra fossile kilder. **Biodrivstoffer** kan også brukes i bensinmotorer og dieselmotorer, men det kan være forvirrende å kalle biodrivstoffer som brukes i disse forbrenningsmotorene for bensin og diesel. **Biodiesel** ble tatt i bruk som navn på **RME (Rapsmetylester)** som er et første generasjons biodrivstoff til dieselmotorer. Det er krevende å sette adekvate og godt beskrivende navn på nye avanserte biodrivstoffer som passer for bruk i bensin- og dieselmotorer.

I forbrenningsmotorer omformes den energien som energibæreren bærer med seg til bevegelsesenergi. I prosesser med å raffinere eller omforme energikilder i form av olje eller vannkraft til energibærere vil en del av energien i energikilden gå tapt. Tapet består som regel i at en viss andel av energien går over i en lavere energiform, som varme. Energibærere blir vurdert i forhold til hvor stor del av den opprinnelige energikildens energiinnhold som i et livsløpsperspektiv kommer til nytte. Høy **energieffektivitet** innebærer at lite energi går tapt i prosessene fra energikilde til tiltenkt bruk av energien. For et system med energikilde, energibærer og kjøretøy er bevegelse og nyttig transport den tiltenkte bruken av energi. Fossil bensin og fossil diesel er eksempler på energibærere, hvor energikilden er fossil mineralolje. Biodrivstoff er eksempel på energibærere, hvor energikilden er biomasse.

Med **avgasser** fra kjøretøy og vegtrafikk mener vi utslipp som kommer ut fra avgassrøret til kjøretøy. Avgasser dannes som følge av forbrenning av drivstoffer og blir etter at de kommer ut fra selve motoren ofte rensset i et avgassrensesystem. Avgassutslippene kan deles inn i **lokalt helseskadelige avgasser** og **klimagasser**. Avgassutslippene måles i gram, kilogram eller tonn.

Med **klimapåvirkning** eller klimaeffekten fra drivstoffer mener vi den samlede effekten av utslipp og opptak av klimagasser som i et livsløpsperspektiv bidrar til global oppvarming. Klimapåvirkningen blir målt i gram, kilogram eller tonn **CO₂-ekvivalenter (CO₂-ekv)**. Drivstoffer eller kjøretøy som ikke i det hele tatt bidrar til global oppvarming kaller vi **klimanøytrale**.

1.2.1 Definisjon av lokalt helseskadelige avgasser

Kjøretøy med forbrenningsmotorer kan ved forbrenning av drivstoffer bidra til redusert luftkvalitet ved at avgassene fra eksosrøret inneholder lokalt helseskadelige avgasskomponenter. Lokalt helseskadelige avgasser er blant annet **NO_x** (nitrogenoksider), **HC** (hydrokarbonforbindelser i avgasser), **CO** (kulloksid) samt **PM** (partikler, particulate matter). Miljøpåvirkningen og mengden avgassutslipp av de nevnte avgasskomponentene ved kjøring av kjøretøy måles i g/km (gram/km). I moderne Euro VI-godkjente forbrenningsmotorer, som brukes i tunge kjøretøy, blir det meste av de lokalt helseskadelige avgasskomponentene fra selve motoren fjernet før de kommer ut av avgassrøret. Fjerningen skjer ved hjelp av effektive avgassrensesystemer.

Partikkelforurensning fra vegtrafikken i form av svevestøv fra veg- og dekkslitasje bidrar sterkt til konsentrasjonen av partikler i luften men er uavhengig av fremdriftsteknologier og drivstoffer.

1.2.2 Klimapåvirkning og global oppvarming

CO₂ er en for livet på jorden nødvendig gass men er også en avgasskomponent som måles i g/km. CO₂ vil i for store konsentrasjoner i jordens atmosfære påvirke jordens klima og gi uønsket **global oppvarming**. Karbon som er bundet i fossilt kull, fossil olje og naturgass vil ved utvinning og forbrenning gi en økte konsentrasjoner av CO₂ i atmosfæren.

Det finnes flere gasser og avgasskomponenter enn CO₂ som påvirker jordens klima og gir global oppvarming. Klimapåvirkningen fra ulike klimagasser regnes om til CO₂-ekv avhengig av hvor sterk klimapåvirkning de har. Mengden CO₂-ekv målt i gram eller som utslipp fra et kjøretøy i g/km gir et mål på den samlede klimapåvirkningen fra forskjellige klimagasser.

Klimapåvirkningen av forskjellige drivstoff- og kjøretøykombinasjoner må vurderes i et livsløpsperspektiv. En full **"LCA" (Life Cycle Analysis)** inkluderer hele livssyklusen for

drivstoffene og kjøretøy, inklusive bygg og vraking av kjøretøyet. Bruk av jordbruksareal og skog vil gi klimapåvirkning. Bruk av eksisterende landbruksarealer (tidligere brukt til matvareproduksjon) til dyrking av biomasse for produksjon av biodrivstoffer vil kunne føre til et behov for at produksjonen av matvarer flyttes til et annet sted som igjen kan føre til nydyrking av jordbruksareal og avskoging. Dette fenomenet kalles *ILUC*, (*Indirect Land Use Change*) og vurderes å ha en sterkt negativ klimapåvirkning.

En *WTT-analyse (Well-To-Wheel)* er noe mindre omfattende analyse av klimapåvirkning og ser på summen av drivstoffets klimapåvirkning i to skritt. Først *WTT (Well-To-Tank)* og klimapåvirkningen av forbrenningen av drivstoffet *TTW (Tank-To-Wheel)*. Utslippene WTT står for klimapåvirkningen, inklusive eventuelle opptak av CO₂, fra kilde og produksjon av drivstoffet til det har nådd drivstofftanken. Utslippene WTT består av CO₂-avgassutslipp samt andre klimapåvirkende avgassutslipp ut fra avgassrøret ved forbrenningen av drivstoffet.

Begrepene WTW, WTT og TTW kan på norsk oversettes til "kilde til hjul", "kilde til tank" og "tank til hjul".

1.2.3 Drivstoffer og bærekraftkriterier

Drivstoffer som brukes i forbrenningsmotorer består av karbon- og hydrogenatomer samt eventuelt også oksygenatomer. I tillegg kan mindre mengder forurensinger som blant annet svovel forekomme i drivstoffene.

Fossile drivstoffer inneholder karbon og hydrogen fra fossile kilder (råolje og naturgass) og tilfører ved forbrenning tidligere fossilt bundet karbon til atmosfæren i form av klimagassen CO₂.

Fornybare drivstoffer vil i forhold til gitte bærekraftkriterier i et livsløpsperspektiv ikke bidra med utslipp av tidligere bundet karbon i form av CO₂ og andre klimagasser til atmosfæren, eller med en reduksjon som overstiger en terskelverdi. EUs fornybarhetsdirektiv og Norges implementering av dette direktivet har komplekse kriterier for fornybare drivstoffer og bærekraft. Kriteriene er under kontinuerlig revisjon. Enkelt kan det sies at i hvilken grad biodrivstoffer er bærekraftige kan karakteriseres av hvordan de produseres og hva de produseres av.

Sertifisering av drivstoffenes klimapåvirkning i et livsløpsperspektiv blir brukt for å verifisere at de har en klimagevinst og hvor stor den er. Fornybare drivstoffer kan i tillegg til biomasse produseres fra avfallsprodukter samt fra CO₂ og hydrogen med tilførsel av fornybar energi.

Alternative drivstoffer er et begrep som omfatter de drivstoffer som er et alternativ til mineraloljebasert råoljebasert bensin og diesel. Alternative drivstoffer var et vanlig uttrykk på 1990-tallet og begynnelsen på 2000-tallet. På den tiden var fokus mer rettet mot lokalt forurensende avgassutslipp og i mindre grad mot klimagasser og global oppvarming. Naturgass og propan fra fossile kilder ble for eksempel betegnet som alternative drivstoffer.

1.2.4 Biodrivstoffer

Biodrivstoffer er drivstoffer som er produsert med utgangspunkt i forskjellige typer av biomasse. Karbonet i biodrivstoffer inngår i en livsløpsyklus, hvor CO₂ ved fotosyntese blir tatt opp av planter. Avgassutslippene av CO₂ ved forbrenning av biodrivstoffer forutsettes å bli kompensert av at tilsvarende mengde CO₂ i et livsløpsperspektiv blir tatt opp av de planter som er utgangspunkt for produksjonen. Ulike innsatsfaktorer brukt i produksjonen og "ILUC-effekten" kan gi opphav til uønsket klimapåvirkning. Fornybare

biodrivstoffer er drivstoffer som oppfyller EUs og Miljødirektoratets til enhver tid gjeldende bærekraftkriterier.

Miljødirektoratets krav til fornybare drivstoffer og bærekraftkriterier baseres på:

- Et regelverk for EU/EØS
- Regelverkets implementering i Miljødirektoratets Produktforskrift kap. 3 i 2014
- Årlig rapportering (31. mars)
- Strengt regime med omfattende dokumentasjon
- Krav om verifikasjon fra 3. part

Fornybare drivstoffer som har de samme egenskapene og som kan blandes med tradisjonelle fossil-oljebaserte drivstoffer er attraktive, da de kan brukes i alle dagens kjøretøy. Alternative drivstoffer som i alle konsentrasjoner er fullt kompatible med konvensjonelle norske drivstoffer kalles "**Drop in fuels**". **HVO (Hydrogenerert Vegetabilsk Olje)**, og **Syntetiske drivstoffer** med lav klimapåvirkning er attraktive eksempler på "**Drop in fuels**". Disse drivstoffene kan ha utmerkede egenskaper for forbrenning i konvensjonelle dieselmotorer og samtidig lav klimapåvirkning i en livsløpsperspektiv. Utfordringene vil være produksjon og leveringspotensial, pris og den sertifiserte klimapåvirkningen. Et norsk uttrykk for "**Drop in fuels**" kan være fullt blandbare drivstoffer.

Andre aktuelle biodrivstoffer er alkoholer og især etanol i form av dieseldrivstoffet **ED95** og biodiesel i form av estere som **RME (RapsMetylEster)** (FAME-produkter basert på planteoljer og alkoholer). **DME (Dimetyleter)** er et eksperimentdrivstoff som er meget godt egnet som drivstoff i modifiserte dieselmotorer. ED95, RME og DME er ikke fullt blandbare biodrivstoffer, men kan brukes i modifiserte dieselmotorer eller med spesielle rutiner for service og vedlikehold.

1.2.5 Ulike generasjoner av biodrivstoff

Biodrivstoff inndeles ofte i ulike generasjoner av drivstoff, forklaringene under er hentet fra nettsidene til European Biofuels (Anon 2015).

1. generasjons biodrivstoff stammer hovedsakelig fra sukker, fettstoffer eller stivelse direkte fra plantene. Førstegenerasjons biodiesel produseres ofte av oljebaserte råvarer som raps og soya, mens førstegenerasjons bioetanol produseres av råvarer som: Sukkerrør, sukkerroe, frukt, mais, hvete og poteter. Avlingen er ofte i direkte konkurranse med bruk av arealene til matproduksjon. Går også under betegnelsen **konvensjonelle biodrivstoff**.

2. generasjons biodrivstoff stammer hovedsakelig fra cellulose/tremasse, hemicellulose eller pektin. Her brukes hovedsakelig avfallet fra skogbruk, jordbruk eller husholdninger som basis for biodrivstoffproduksjonen, men til dels også noe rotasjonsavlinger eller raskt groende gresstyper. Her kan i større grad hele planten brukes. Råvarene her skal i større grad ha begrenset eller ingen "ILUC effekt".

3. generasjons biodrivstoff stammer blant annet fra videre prosessering av 2. generasjonsdrivstoff samt bruk av alger og lignende. Dyrket på arealer mer eller mindre uegnet til matproduksjon.

Hvor bærekraftige de ulike generasjonene av drivstoff er vil være avhengig av hvor og hvordan det produseres og den totale energibalansen (Anon 2015).

Avansert biodrivstoff produseres fra blant annet lignocellulose (avfall fra jord/skogbruk), gress, alger eller industriavfall, har høy reduksjon av drivhusgasser og liten klimapåvirkning samt null eller lav ILUC verdi. Dette er ofte biodrivstoff produsert ved hjelp av mer avanserte prosesser (for eksempel er det drivstoffer som BioDME og typer HVO). Avansert biodrivstoff brukes av flere som en fellesbetegnelse på 2. og 3. generasjons biodrivstoff. Definisjonene av de ulike generasjonene av biodrivstoff varierer noe fra kilde til kilde (og fra land til land).

1.2.6 Biogass

Biogass (biometan) kan brukes som drivstoff i gassmotorer og kan produseres fra husholdningsavfall, kloakk og annet biologisk avfall, og vil derfor være et alternativ for å ta vare på energiresursene i slik biomasse. Biometan er et bærekraftig alternativ til metan i form av naturgass. Utfordringene med metangass er lav energivirkningsgrad i gassmotorer, kostnader for oppbevaringstanker og faren for negativ klimapåvirkning i form av metanlekkasje. Avfall for produksjon av biometan er en nasjonal men begrenset resurs som imidlertid vil kunne gi drivstoff til et stort antall busser og renovasjonsbiler.

1.2.7 Kjøretøy med forbrenningsmotorer

Kjøretøy som utelukkende bruker en forbrenningsmotor for fremdrift kaller vi i denne rapporten generelt for **konvensjonelle kjøretøy**. Mer spesifikt bruker vi begreper som dieslbiler, bensinbiler og dieselbusser. At kjøretøy med bensin- og dieselmotorer kan bruke biodrivstoffer og i drift være mer eller mindre klimanøytrale er kompliserende for bruk av uttrykk som fossile kjøretøy og bensin og diesel. Biodrivstoffer som for eksempel HVO i dieselbusser kan være en praktisk, klima- og miljøvennlig løsning under forutsetning at råstoffet for produksjon av HVO oppfyller fastsatte bærekraftkriterier. Bensinbiler kan bruke fossil bensin med innblanding av 10 prosent etanol, og med enkle justeringer bruke høyere konsentrasjoner av etanol som drivstoff.

Hybride kjøretøy er **hybridbiler** og **hybridbusser** som kombinerer forbrenningsmotorer med elektrisk motordrift drift for å oppnå lavere energiforbruk og eventuelt bedre ytelse.

Ladbare hybridbiler og **ladbare hybridbusser** er kjøretøy med større batterikapasitet enn hybride kjøretøy og hvor batteriene kan lades med elektrisk energi fra strømmettet og kjøre helt eller delvis elektrisk over lenger strekninger.

Forbrenningsmotorer i form av moderne dieselmotorer er forholdsvis energieffektive omformere av kjemisk lagret energi til mekanisk bevegelse. I den politiske diskusjonen om redusert klimapåvirkning har fornybare, bærekraftige biodrivstoffer en sentral plass.

Standard dieselmotorer fungerer fint med opp til syv prosent innblanding av RME (godkjent innenfor drivstoffstandarden EN590). RME er det foretrukne biodrivstoffet for lavinnblanding av biodrivstoff i fossil diesel pga. lav pris, og er et utmerket additiv som bidrar med å holde dyser i dieselmotorer rene for avleiringer.

Dieselmotorer tilpasset dieseldrivstoffet ED95 (med 95 prosent etanol) tilbys av Scania og brukes av noen transportører i Norge.

Gassmotorer er forbrenningsmotorer som kan bruke fornybart drivstoff i form av biometan (biogass) og brukes i noen fylkeskommuner fremfor alt i gassbusser og renovasjonsbiler.

1.2.8 El og elektriske kjøretøy

Elbiler, elbusser og andre **elkjøretøy** definerer vi som kjøretøy med all tilgjengelig energi (drivstoff) for fremdrift lagret i form av elektrisk energi i ladbare batterier. Olje- og etanolbrennere for oppvarming i kjøretøy gir utslipp av CO₂ og er i en gråsone når det gjelder bruk i elbiler og elbusser. **Rekkeviddeforlengere** og **elektriske generatorer** i elbiler og elbusser medfører at disse kjøretøyene i Norge ikke karakteriseres som elkjøretøy. Med fremtidige rekkeviddeforlengere i form av brenselceller og hydrogen som energibærer vil elbiler med rekkeviddeforlengere fortsatt kunne være nullutslippsbiler. Om vi skal kalle slike biler for elbiler eller hydrogenbiler får fremtiden vise.

Elektrisk fremdrift er en meget energieffektiv form for transport, gir null utslipp av lokalt forurensende avgasser og gir ingen direkte utslipp av klimagasser ved fremdrift av kjøretøy. Elektrisk energi kan på en klimavennlig måte produseres ved hjelp av vannkraft, vindkraft og solenergi, men også fra fossile kilder. Elektrisk energi kan for fremdrift lagres i batterier. Norge har et sterkt strømnnett og den elektriske energien produseres fra fornybar vannkraft og er tilgjengelig over hele landet.

I Norge er 98 prosent av produsert elektrisitet fornybar (ca. 96 prosent vannkraft). Selv om vi produserer nok til eget forbruk, eksporterer og importerer vi elektrisitet på det europeiske markedet. Praktisk talt all produksjon av elektrisitet i EØS-området er omfattet av EUs kvotedirektiv. Det betyr at ved å erstatte et kjøretøy med forbrenningsmotor som slipper ut klimagasser, med et elektrisk kjøretøy, vil utslippet flyttes til kvotepliktig sektor. Det maksimale utslippet i kvotesystemet er gitt gjennom et tak, lik summen av alle tildelte kvoter. Det økte utslippet ved produksjon av strøm til kjøretøyene vil derfor måtte kompenseres ved mindre utslipp fra andre kvotepliktige kilder. I alle fall gjelder dette fra det tidspunkt da samlet kvotepliktig utslipp når opp til taket i kvotesystemet. I mellomtiden bidrar elektrifisering til å drive opp kvoteprisen, dvs. til å gjøre energisparing og avkarbonisering mer lønnsomt i alle deler av den kvotepliktige sektoren.

1.2.9 Hydrogen og kjøretøy med brenselceller

Hydrogenbiler, hydrogenbusser og **andre hydrogenkjøretøy** er kjøretøy med elektrisk fremdrift og som bruker hydrogen som energibærer. I tillegg er det hensiktsmessig at denne typen kjøretøy også kan lagre elektrisk energi i batterier. Elektrisk energi til kjøretøy blir i Norge utelukkende produsert fra vannkraft, vindkraft og fornybare energi. Hydrogen er tilgjengelig som biprodukter fra industriprosesser eller kan produseres fra elektrisitet. I denne rapporten velger vi å betrakter norskprodusert hydrogen som et klimanøytralt drivstoff.

2 Metode

2.1 Oppsummering av tidligere opparbeidet kunnskap

TØI og VTT har tidligere gjennomført og deltatt i prosjekter rettet mot kollektivselskapers introduksjon av ny teknologi, herunder:

- Elbusser i Tromsø (Pihlatie et al. 2016)
- Hydrogenbusser i Oslo (Hagman bistand ved innkjøp)
- Busstrafikk i Trondheim fra 2018 (Hagman arbeidsdokument)
- Bussteknologi og strategi for Helsingfors Trafikkselskap (VTT bistand)
- Elbusser i Østfold (Hagman arbeidsdokument)

I denne rapporten syntetiserer vi kunnskap som ble opparbeidet i disse prosjektene. Kontakter og diskusjoner med tilbydere og kjøpere av busser samt busstrafikkoperatører danner et grunnlag forståelse av status i 2017, når det gjelder kostnader og teknologi i praktisk drift.

Statistikk, artikler, rapporter og nyheter i media har blitt studert, fulgt opp og analysert for å fange opp erfaringer og hva som kan skje i den nære fremtiden. En annen viktig kilde er informasjon fra resurspersoner i pågående og planlagte aktiviteter og prosjekter med biodrivstoffer, biogass og elektrifisering av bussdriften i Norge.

Forskningsinstitutter og kontakter med europeiske leverandører av busser gir oss en forståelse av hva fremtiden frem mot 2025 vil kunne bringe. TØIs partner VTT har et eget avansert laboratorium for testing av busser, og samarbeidet med VTT medfører at rapporten inneholder kunnskap og vurderinger som ellers ikke ville være tilgjengelig i Norge.

2.2 Potensial og prognoser

De teknologiene og drivstoffene som vi gir vår vurdering av, befinner seg i mer eller mindre kritiske utviklingsfaser. Det finnes mange forskjellige interesser og ulikt syn på hva som er rett å satse på. I dette oppdraget er målet å presentere en sannsynlig fremtidig utvikling. Total økonomi og samlede kostnader for bussdrift er en viktig faktor ved valg av teknologi og drivstoffer. I tillegg til kostnader i 2017 er en estimering av de samlede kostnader med bussdrift med de aktuelle teknologiene og drivstoffene 2020-2025 med på å legge grunnlag for våre anbefalinger. Samlede kostnader er vår norske betegnelse for *total costs of ownership* (TCO).

TØI har kunnskap og følger kontinuerlig utviklingen innen teknologi og innføring av nye fremdriftsformer og drivstoffer. I tillegg til den informasjon vi allerede har opparbeidet oss har vi innhentet informasjon om status og siste nytt ved at VTT har levert utkast til rapportens avsnitt om elbusser og busser med forbrenningsmotorer og biodrivstoff.

Vurderinger av innhentet informasjon om kostnadsutvikling, teknologisk utvikling og modenhet i denne rapporten, når det gjelder for ny fremdriftssystemer og drivstoffer, er forfatterens egne ansvar.

2.3 Bidragsytere og resurser

I løpet av prosjektet er det innhentet informasjon blant annet fra følgende ressurspersoner, miljøer og nettsider:

- Vår samarbeidspartner VTT's gruppe for elbusser og simulering (Finland) for kunnskap om innfasing av elbusser og elektrisk bussdrift.
- Vår samarbeidspartner VTT's gruppe for bussteknologi og avgasstesting (Finland) for kunnskap, status og utviklingsmuligheter for forbrenningsmotorer og biodrivstoffer.
- Neste, ST1, UPM, CIRCLE K Norge, og andre ledende miljøer når det gjelder biodrivstoffer.
- Miljødirektoratet med hensyn til diskutere begrepsavklaringer, forståelse og praktisering EUs fornybarhetsdirektiv og sertifisering av biodrivstoffer.
- Institutt for energiteknikk, IFE, hydrogen og brenselcelleteknologi.
- Norsk institutt for bioøkonomi, Nibio, med hensyn til potensialet for norsk biomasse til produksjon av biodrivstoff.
- SSB med hensyn til status og beregninger av potensial for produksjon av biodrivstoff i Norge.
- EUs nettsider med hensyn til forståelse av klimaeffektene av indirekte bruk av jordbruksarealer (ILUC).
- Informasjon fra seminarer/konferanser om elektrifisering, el-teknologi, hydrogen og biodrivstoffer.
- Styremedlemmene i Kollektivtransportforeningen.
- Ledelsen og styremedlemmene i NHO Transport.
- Volvo Norge.
- Scania Norge.
- Siemens Norge
- Kollektivtransportforetaket Brakar.
- Oppland kollektivtrafikk.
- Østfold kollektivtrafikk.

3 Elektrifisering og elbusser

I Norge ligger forholdene godt til rette for elektriske kjøretøy. Elektrisk fremdrift har ingen direkte utslipp av klimagasser, er energieffektivt og gir null utslipp av lokalt forurensende avgasser. Elektrisk energi kan på en klimavennlig måte produseres ved hjelp av vannkraft og lagres i batterier. Norge har et sterkt strømmnett og overskudd på produksjon av elektrisk energi. Takket være incentiver fra myndighetene er Norge ledende i verden når det gjelder innfasing av elbiler i personbilmarkedet. Antallet elbiler i Norge ved utgangen i april 2017 var 110 000 (Norsk elbilforening 2017) hvorav ca. 105 000 var personbiler.

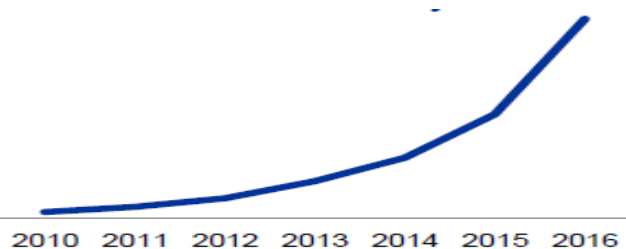
Elbusser vil i Norge kunne bidra til store klima- og miljøgevinster. Attraktive elbusser vil bidra til at flere tar buss i stedet for bil. Elbusser vil gi større klima- og miljøgevinster enn andre busser og større miljøgevinster enn alle former for transport med personbil, inklusive elbiler. Elbusser er i 2017, på grunn av batteriene for lagring av elektrisk energi, mer kostbare i innkjøp enn busser med forbrenningsmotor. Selv om elbusser foreløpig er kostbare i innkjøp, er forventningen at innkjøpsprisen vil synke.

Elbusser trenger en infrastruktur for oppladning av batteriene med elektrisitet fra kraftnettet. Oppbygging av en standardisert infrastruktur vil være en forutsetning for gradvis innfasing og langsiktig satsing på elbusser. En infrastruktur for ladning av elbusser som er standardisert og installert uavhengig av bussoperatøren, vil kunne gjøre det lettere å skifte operatør for bussdriften ved nye anbudsrunder.

3.1 Kort om historikk og markedsutvikling for elbusser

Utviklingen av elbusser har gått svært raskt de siste årene. Full-elektriske 12-meters busser ble tatt i bruk for første gang i Kina i forbindelse med OL i Beijing 2008. Bussenes rekkevidde var da bare 75 km, men allerede i 2010 hadde Kina busser med en rekkevidde på 250 - 300 km. Siden den gang har antallet busser økt kraftig, spesielt i kinesiske storbyer. I disse byene fant vi i 2015 hele 98 prosent av det totale antallet på 173 000 elbusser i verden (ZeEUS 2016). Utviklingen i Europa har gått tregere. Mye av forskningen på elbusser foregår i Europa, og alle de store bussprodusentene i Europa utvikler eller tilbyr elbusser. I mange tilfeller kan de europeiske elbussene fortsatt sies å være pre-kommersielle modeller.

I Europa er markedet for elbusser nå i sterk vekst, se figur 3.1. Det engelske selskapet Alexander Dennis oppgir at det i Europa i januar 2017 er levert ca. 800 elbusser og at ytterligere ca. 600 elbusser er i bestilling (Baguette 2017).



Figur 3.1: Eksponentiell vekst av leverte elbusser i Europa (Baguette 2017).

I de europeiske landene er det Storbritannia som har flest elbusser, men også Nederland, Sveits, Polen og Tyskland har en betydelig del av de elbusser som er tatt i bruk. Mange pilotprosjekter er for tiden på gang i Europa, hvorav flere er tilknyttet det EU-finansierte forskningsprosjektet ZeEUS (ZeEUS 2016). Karakteristisk for bruken av elbusser i Europa er at det hovedsakelig dreier seg om tester i liten skala av forskjellige busstyper og ladeløsninger.

I Norge har aktører med de elbussene som har vært mest økonomisk konkurransedyktige vunnet de fleste anbud som har vært utlyst. Rogaland var med Boreal Transport som operatør det første fylke i Norge som satte inn elbusser i ordinær trafikk. Fem elbusser er våren 2017 med Norgesbuss som operatør i trafikk på strekningen Stavanger-Sandnes. Disse elbussene er produsert av EBUSCO og har mellomstore batterier (300 kWh). Bussene i Stavanger lades i depot hvor bussene vanligvis er parkert og kompletteringslades i Sandnes for å klare hele driftsdøgnet.

I Buskerud er det bestilt seks elbusser fra EBUSCO som driftes med hurtig-vedlikeholds-lading. I Oslo skal til sammen seks elbusser fra Solaris og EBUSCO (i tre forskjellige utgaver for depotlading og hurtiglading) testes med hensikt å høste erfaring fra både depot-nattlading og vedlikeholds-hurtiglading. Trondheim skal kjøpe 35 elbusser og har derved de mest ambisiøse planene om rask innføring av elbusser i Norge. For Troms fylke har VTT med bidrag fra TØI gjennomført en mulighetsstudie for innføring av elbusser i Tromsø by (Philatje et al. 2016).

Tilbudet på elbusser har stadig økt. Selv om en meget stor del av elbussproduksjonen skjer i Asia, så er også de europeiske produsentene i ferd med å utviklet elbusser. Det finnes i dag 30 forskjellige merker tilgjengelig på markedet (ZeEUS 2016). De fleste elbussene er 12 meter lange, men det finnes også leddbusser og dobbeltdekkere fra flere produsenter på markedet.

3.2 Elbusser – tekniske muligheter

3.2.1 Elbusser – elektriske busser

Elbusser er definert som busser som drives av en elektrisk motor og som har et oppladbart batteri som energikilde. Med fornybar elektrisk energi som energikilde er driften av elbusser klimanøytral og bidrar ikke til negativ klimapåvirkning i form av global oppvarming. En stor fordel med elbusser er at de ikke slipper ut noen lokalt forurensende avgasser. Man kan derfor i prinsippet kjøre innendørs med elbusser og det er mulig å plassere bussholdeplasser innendørs, for eksempel i kjøpesentre.

I tillegg er elbusser stillegående, noe man kan merke både inne i og utenfor bussen. Lydnivået er viktig for passasjerenes komfort. Lavt støynivå gjør elbussene egnet for kjøring i sentrum så vel på dagen som om natten. Ved hastigheter over ca. 60 km i timen vil allikevel dekkstøy være den dominerende støykilden uansett hvilke fremdriftssystemer en buss har.

Elbusser er energieffektive, og krever mye mindre energi enn dieselbusser. Deres bruksområde begrenses av batterikapasiteten. Elbussenes eventuelle bidrag til klimagasser avhenger av hvor energien/strømmen de bruker kommer fra. Der hvor elektrisiteten produseres med fornybare kilder som i Norge, er den elektriske bussen et meget klima- og miljøvennlig alternativ.

Elbusser kan deles inn i to kategorier. Busser som har et relativt stort batteri (opp til ca. 300 kWh) og som hovedsakelig lades i et depot om natten og busser som har mindre batterier og derfor må lades mange ganger om dagen. Dette kan skje på endeholdeplassene og i noen tilfeller kan det også være hensiktsmessig å lade på holdeplasser undervegs.

3.2.2 Depotladete busser

Depotladete busser er enkle å sette i drift og å bruke for operatørene. Bruken skiller seg ikke vesentlig fra dieselbusser. De lades i løpet av natten og kan siden brukes fritt i løpet av dagen så lenge batteriet rekker. Ulempen med disse bussene er at de krever et meget stort batteri for å kunne oppnå en tilstrekkelig rekkevidde. Dette medfører at bussene blir tyngre og forbruker mer energi. Batteriet må dimensjoneres slik at bussen kan kjøre en hel dag selv under de vanskeligst tenkbare forhold. Alternativt kan bussen tas ut av tjeneste et par timer om dagen for ladning. Med depotladete elbusser kan man bli tvunget til å øke selskapets totale antall busser for å sikre en tilstrekkelig transportkapasitet.

Ladeinfrastrukturen for depotladete busser kan være relativt billig gitt at det er snakk om et begrenset antall elbusser, og at depotet har en stabil og godt dimensjonert strømforsyning. Da bussene bare lades en gang per døgn, kreves ingen automatikk, og man kan bruke faste standard kontakter og kabler. Selv om effektuttaket fra en enkelt buss er lavt blir den samlede effekten høy når mange busser skal lades samtidig i et depot i løpet av noen få nattetimer der bussene ikke er i bruk. Man bør derfor forsikre seg om at strømmettet kan håndtere belastningen når et større antall busser skal lades samtidig eller når man øker antallet busser i et depot. I en stor by med mange busser i hvert depot trengs som regel kostbare investeringer i ny kraftforsyning ved overgang til elbusser med depotlading.

Waterloo depot i London har et opplegg med depotlading for 46 elbusser. Erfaringene fra Waterloo er at intelligent datastyrt kontroll av alle bussers ladning ble nødvendig og var en løsning for ikke å overbelaste det lokale strømmettet, med mørklegging av bydelen som følge (Baguette 2017).



Figur 3.2: Anlegg for depotlading av 46 elbusser ved Waterloo bussdepot i London (Bilde: Zap Map).

3.2.3 Hurtigladete busser

Busser som hurtiglades på endeholdeplassene i løpet av dagen trenger et vesentlig mindre batteri enn de depotladete bussene. Dette gjør at bussen vil vege mindre og at batteriet tar mindre plass, noe som i sin tur betyr at passasjerkapasiteten blir større. Mindre vekt medfører også at energiforbruket blir mindre. Hurtigladete busser krever tilgang til ladestasjoner under hele driftsdøgnet. For å unngå at trafikken blir forstyrret av tilfeldige feil på ladestasjonen anbefales det at hver buss minst har tilgang til to forskjellige stasjoner. Ladestasjonene kan med fordel plasseres på endeholdeplasser der bussen uansett står stille i noen minutter. Det er ved behov også mulig å plassere ladestasjoner mellom endeholdeplassene.

Hurtiglading av busser i løpet av dagen krever god planlegging. Rutetabellene bør utformes slik at det blir nok tid for ladning. Man bør også forsikre seg om at bussene greier forsinkelser eller andre eventuelle forstyrrelser i trafikken. Ladeinfrastrukturen må planlegges for hver enkelt busslinje. Beroende på lokale forhold kan det i enkelte tilfeller bli vanskelig å finne tilstrekkelig med plass til ladestasjoner med transformatorstasjon og strømvaktaker. Også arkitektoniske krav bør vurderes ved planleggingen av hurtigladestasjoner. Fra operatørens perspektiv er det viktig med samordning av ladningen av bussene og sjåførenes pauser mellom hver tur. Ideelt sett bør det finnes så mange ladestasjoner og ladetidene bør være så korte at bussen kan lades i løpet av de ordinære reguleringsstidene (tid for pause og innhenting av eventuell forsinkelse) ved endeholdeplassene.

Ved hurtiglading blir belastningen på el-nettet forskjellig fra depot- og nattlading. De to løsningene er forskjellige med hensyn til hvordan ladningen blir startet og hvordan kommunikasjon foregår mellom bussen og ladestasjonen. Effekttoppene forårsaket av en enkelt hurtigladet elbuss blir høyere, men mer kortvarige enn med en depotladet buss. For en hel bussflåte blir belastningen mer utjevnet både over døgnet og geografisk over en by, siden bussene lades på ulike tider og ved flere ulike ladepunkter.

Hurtiglading innebærer i praksis at bussene lades ved endestasjonene for en eller flere busslinjer. Infrastruktur for strømforsyning og hurtigladestasjoner for elbusser er mulig å kombinere med eksisterende elkraftnett i norske byer. Hurtigladestasjoner spredt i et byområde vil kun belaste en lokal del av strømmettet med ladning av en buss av gangen. Strømmettet vil også få belastningen av å lade elbusser spredt relativt jevnt over driftsdøgnet.

Både internasjonalt og på europeisk nivå pågår arbeid med standardisering av systemer og løsninger for hurtiglading. En vanlig løsning er en pantograf (strømvaktaker) montert på bussens tak. Tre europeiske produsenter har blitt enige om et system for hurtiglading av elbusser med et konsept hvor den rørlige delen senkes ned fra den stasjonære delen av hurtigladesystemet. Konseptet "Opportunity charging" med nedsenkbar rørlig pantograf vises i figur 3.3 og er blant annet en del av Volvos strategi for elbusser. Innen standardiseringsorganisasjonen CEN-CENELEC foregår et aktivt arbeid med målsetting om å kunne presentere en standard eller en anbefaling til standard i 2019.

En fordel med en standard for tilkobling og hurtiglading er at elektrisk bussdrift kan settes ut på anbud og utsettes for konkurranse uten at infrastruktur for ladning er en del av anbudet. Infrastruktur for ladning kan bygges opp og driftes av en lokal aktør samtidig som operatørene av elbusser kan vinne eller tape anbud. Vinnere av anbud for bussdrift vil komme og gå, men ladestasjonene i en by vil stå der de står og kunne brukes uansett hvilken operatør som vinner anbudet.



Figur 3.3: Hurtiglading av elbusser med en pantograf som i dette tilfelle senkes ned og på taket tilkobles bussens elektriske system (Bilde: Internett).

3.2.4 Energiforbruk

Elbussens energiforbruk påvirkes av flere faktorer, både bussen selv og hvordan den brukes har betydning. Bussens vekt har stor innvirkning på det totale forbruket. Siden batteriets kapasitet korrelerer med vekten, bruker hurtigladede busser generelt mindre energi enn depotladete. Også drivlinjen og ladningens virkningsgrad påvirker energiforbruket. Ved laboratorietester har man funnet store variasjoner mellom ulike busser. Forskjellen i energiforbruk mellom ulike elbusser kan under like kjøreforhold være 10-20 prosent.

Topografi er også viktig når man skal sammenlikne energiforbruket hos elbusser med dieselbusser og hybridbusser. Elbusser regenererer energi i utforkjøringer og ved bremsing, og kan derfor være spesielt energisparende i kupert terreng. Sjåføren har også en relativt stor innvirkning på energiforbruket ettersom kjørestilen både påvirker mengden energi som brukes og mengden som regenereres.

Det nordiske klima stiller spesielle krav til elbussene. Om vinteren øker strømforbruket hovedsakelig på grunn av behovet for å varme opp bussen. Foreløpig finns det relativt lite data på hvor mye forbruket øker. Som del av et pilotprosjekt i Helsingfors har elbusser kjørt kontinuerlig i kommersiell tjeneste omtrent et år. Basert på data fra disse bussene, kan man se at energiforbruket begynner å øke når temperaturen synker under + 10 °C. Ved minusgrader kan energiforbruket være opp til 30 prosent høyere enn i løpet av en sommerdag. Det bør imidlertid nevnes at man ikke har tatt hensyn til eventuelle variasjoner i passasjermengde. Datamengden er dessuten liten, da vinteren 2016-2017 har vært svært mild. Man har så langt ikke kunnet måle mer ekstreme forhold slik som temperaturer under -20 °C. De fleste produsentene av elbusser bruker ved kuldegrader konvensjonelle oljebrennere for oppvarming, for ikke å belaste batterikapasiteten.

3.2.5 Ladning

Det er utviklet forskjellige løsninger for hurtigladning av elbusser. Da man bare har noen få minutter til rådighet for ladningen, bør den automatiseres så langt som mulig. De fleste hurtigladete elbusser som er tatt i bruk i trafikken lades via taket ved hjelp av en konvensjonell pantograf eller en nedsenkbar pantograf. Pantografen er en arm som installeres på bussens tak og løftes opp når bussen befinner seg under ladeordningen. Alternativt kan man benytte en nedsenkbar pantograf (se figur 3.4). Med denne modellen installeres den rørlige delen på selve ladeordningen og senkes ned for å få kontakt med strømskinnene på bussens tak. Å bruke en pantograf er relativt enkelt for sjåføren siden det finns en viss toleranse for hvordan bussen kan plasseres.

En nedsenkbar pantograf krever trådløs kommunikasjon mellom bussen og basestasjonen for at ladningen skal gå greit. Inverterte pantografer medfører større risiko når det gjelder operasjonell sikkerhet, siden en feil i pantografen gjør at hele ladestasjonen blir ubrukelig. Dette vil påvirke alle busser som bruker samme stasjon. Eventuelle feil i pantografer på bussens tak påvirker bare den aktuelle bussen, men installasjonen krever plass på taket. Pantografens innvirkning på bussens vekt er minimal. Ved bruk av pantografer kan ladningen begynne og avsluttes i løpet av ca. 15 sekunder, avhengig av den tekniske løsningen, og en ladeeffekt på opptil ca. 600 kW kan oppnås.

I enkelte byer har man også testet automatisk ladning av bussen via en sidekontakt. Erfaringene med disse er ikke like bra, siden det stiller store krav til at sjåføren parkerer bussen i eksakt riktig posisjon. Man kan også bruke helt kontaktløs ladning via induksjon. Dette krever at det er installert en ladeordning under vegoverflaten. Effekten av induksjonsladning er lavere enn ved bruk av pantografer. Den maksimale effekten er ca. 200 kW, noe som gjør at ladetiden blir lengre. Teknisk sett er det mulig å bytte batteri i løpet av dagen, men også her har sjåføren den samme utfordringene med å parkere bussen helt riktig. I tillegg kreves ekstra investeringer i batterier, og bussen mister dermed sin lønnsomhet.



Figur 3.4: Nedsenkbar pantograf hvor den rørlige delen på selve ladeordningen senkes ned for å få kontakt med skinnene på bussens tak (Bilde: Internett).

3.2.6 Fremdriftssystemer med elektriske motorer

Elektrifisering av busser kan gjøres enkelt ved at dieselmotoren erstattes med en elektrisk motor men at drivaksel og hjuloppheng er de samme som i produsenters tradisjonelle dieselbusser.

Elektrisk fremdrift med elektriske motorer i hjulene kan bli mer energieffektiv enn elektriske motorer kombinert med tradisjonelle fremdriftssystemer. Med elektriske motorer i hjulene unngår man energitap i girkasse, drivaksel og bakakseloppheng.



Figur 3.5: Bakaksel til elbuss med elmotorer integrert i hjulene (Bildet: Hybricon AB).

Svenske Hybricon AB har tatt frem bakaksel med integrerte elmotorer i hjulene, se figur 3.5, og har nå egenprodusert elbusser i drift i den svenske byen Umeå. Elmotorer montert i hjulene er en av mulighetene for firehjulsdrift av elektriske leddbusser. Firehjulsdrift av leddbusser er en fordel spesielt ved is og glatt føre.

En ulempe med integrerte elmotorer er at den ufjærede massen av hjulene blir større. Høy ufjæret masse kan gi problemer med fjæring og demping og er en utfordring ved dårlig vegstandard og høy hastighet.

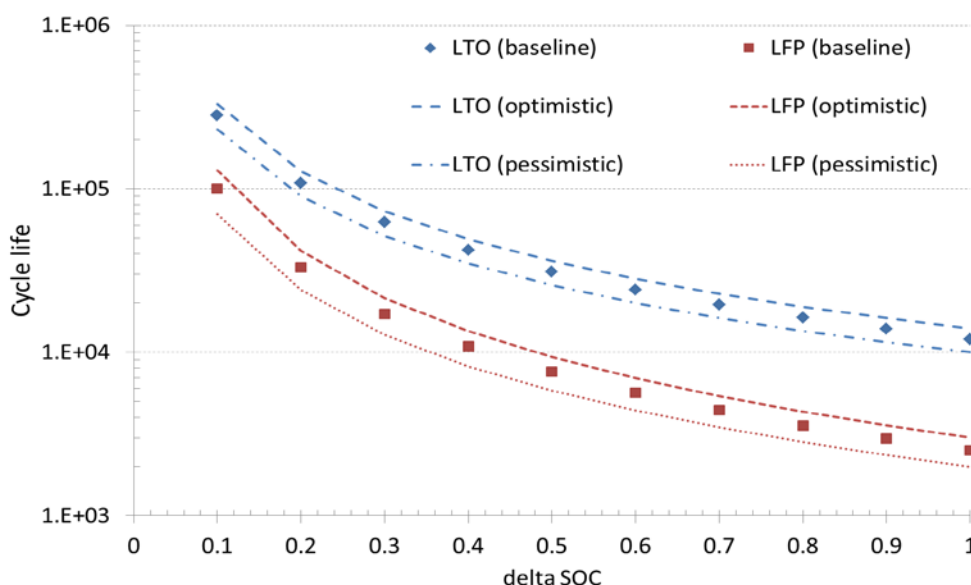
3.3 Batterier, økonomi og fremtid

Sjåførenes lønnskostnader utgjør en betydelig del av kostnadene for busstrafikk. Skal man oppnå økonomisk lønnsomhet med elbusser er det derfor viktig at man ikke må øke antallet busser i forhold til andre alternativer. Man bør heller dimensjonere elbussene slik at kapasiteten for å betjene en rute blir den samme som for dieselbusser. Store utgiftsposter er kostnader for elbusser samt ladeinfrastruktur for elbusser.

3.3.1 Batterier og infrastruktur

Siden elbusser har en annen kostnadsprofil enn konvensjonelle dieselbusser er det viktig å vurdere kostnadene for hele livstiden ved sammenlikninger mellom de ulike busstypenes samlede kostnader. Innkjøpsprisen for en elbuss er i 2017 i størrelsen det dobbelte av prisen for en dieselbuss med tilsvarende kapasitet. Kostnaden for batteriene, som utgjør en stor del av elbussens pris, er sterkt avhengig av batterikapasiteten. Elbusser krever også investeringer i infrastruktur for ladning. Hurtiglading av elbusser kan avhengig av den ledige lokale kapasiteten på elkraftnettet, gi større eller mindre investeringskostnader enn depotladning. Men etterhvert som elbusstrafikken øker og bruksfrekvensen på hurtigladestasjonene stiger, så synker kostnadene for infrastruktur per buss. Dersom annen tung bytrafikk og diverse servicebiler elektrifiseres i framtida, kan sambruk av hurtigladestasjoner eventuelt ytterligere redusere kostnadene for kollektivtrafikken.

Batteriets levetid bør også tas med i en kostnadsberegning. Batteriets levetid avhenger av en rekke faktorer, blant annet materiale, produksjonsprosessen og regulering av batteriets temperatur og er dermed relativt vanskelig å analysere. Figur 3.6 gir et eksempel på hva dyputladning betyr for batteriets levetid. Batteriets gjennomsnittlige utladning, variasjonen i utladning SOC (State of Charge) blir i figuren karakterisert fra 0,1 til 1. Batteriene er to ulike typer av litium-ionbatterier. LFP står for litium-jernfosfat batterier som blir optimert med henblikk på egenskaper som gjør det mulig å lagre store mengder energi, samt å bruke langsomladning med relativt lav elektrisk effekt. Denne batteritypen kan benyttes i depotladete busser. LTO står for litium-titanatoksid batterier og er batterier som er optimert for ladning med maksimal mulig elektrisk effekt, mange og hurtige ladesykluser. LTO egner seg altså for hurtigladede busser der det er viktig å kunne lade med en tilstrekkelig høy elektrisk effekt.



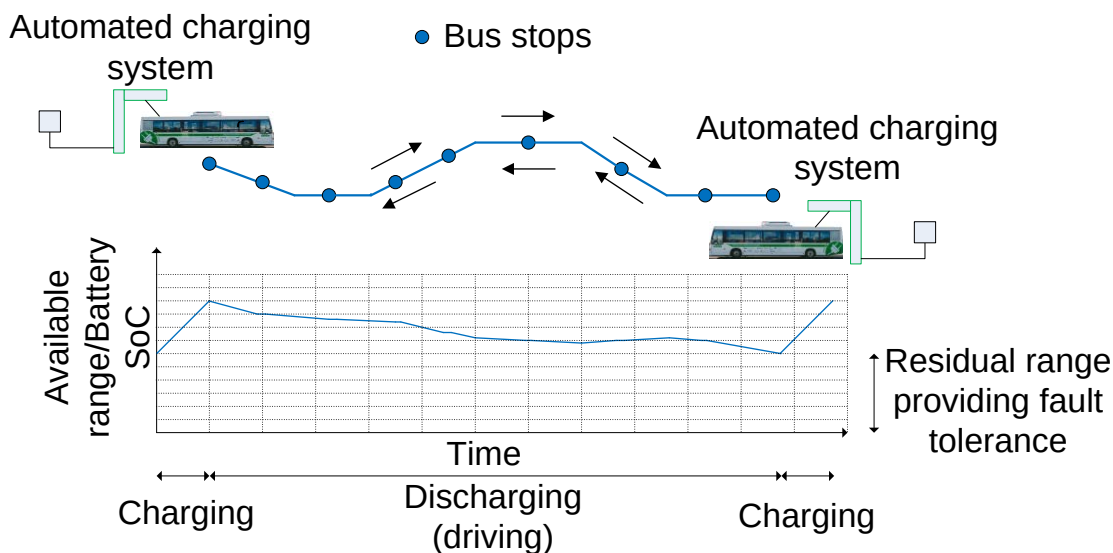
Figur 3.6: Batteriets levetid som funksjon av variasjon i grad av utladning for to forskjellige batterityper. (Piblatie et al. 2014).

Antallet sykluser et batteri kan håndtere under sin livstid avhenger av hvor dypt batteriet utlades. Utladningsintervallet "delta SOC" som i figur 3.6 er beskrevet med tallet 0,1, betyr at utladningen er innenfor et vindu på 10 prosent SOC. Utladningsintervallet som i figur 3.6 er beskrevet med tallet 1 betyr at batteriet ladetilstand vil variere mellom fulladet batteri og et batteri som helt utladet.

Depotladete busser kjennetegnes av meget dype utladningssykluser siden bussen må greie seg en hel dag på en eneste ladning. Variasjonen mellom morgen og kveld kan være opp mot 90 prosent av batteriets totale kapasitet, noe som tilsvarer en levetid på ca. 3000 sykluser for et LFP-batteri. Hurtigladete busser har typisk utladning ned til 50-60 prosent av batteriets fulle kapasitet, noe som gjør at batteriet eldes mer langsomt enn et LFP-batteri. Et LTO-batteri forventes ved slik bruk å få en lengre levetid med opp til ca. 50 000 sykluser (Pihlatie et al. 2014).

Figur 3.7 viser skjematisk en bybussrute med elbusser som har LTO-batterier og hurtigladning ved endestasjonene. På den vertikale akse vises batterienes ladetilstand (SOC). På en enkel tur brukes kun en del av den i batteriene opplagrede elektriske energien. Ved stopp på endestasjonene tilføres batteriene den samme mengde energi som ble brukt på en enkel tur. Hele tiden finnes det reserver av elektrisk energi lagret i batteriene slik at uforutsette hendelser som forsinkelser ikke vil skape driftsproblemer.

Hvis det ved enkelte reguleringsstopp ikke er tid til ladning av batteriene grunnet en forsinkelse kan batterikapasiteten dimensjoneres slik at det er mulig å kjøre en eller flere turer med den energi som finnes i batteriene.

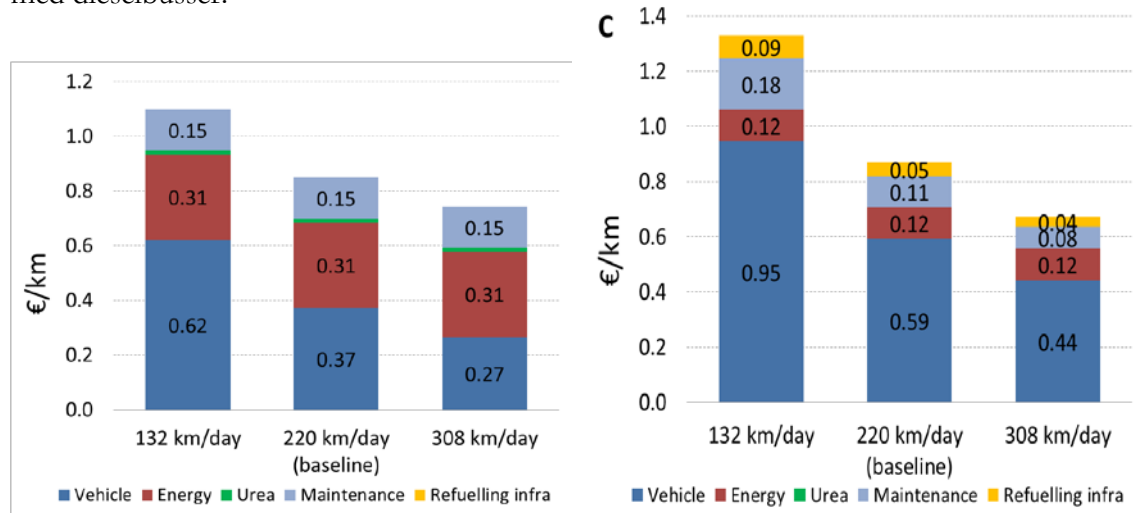


Figur 3.7: Skjematisk en bybussrute med elbusser og hurtigladning ved endestasjonene (Pihlatie et al. 2014).

Flere strategier for hurtigladning er mulige. Et viktig aspekt er at hurtigladningen skal kunne skje innenfor normal reguleringsstid slik at behovet for antall elbusser ikke overstiger behovet for antall konvensjonelle busser. I den skjematiske bybussruten i figur 3.7 lades batteriene opp så mye ved endeholdeplassene at den tilførte energien dekker behovet tilbake til ladestasjonen ved den andre endeholdeplassen. En annen mulig strategi er å gi elbussene så høy batterikapasitet i forhold til rutelengden at det er mulig med en gradvis utladning under driftsdøgnet. Batteriene kan så lades opp til full kapasitet under den tid av døgnet som bussen ikke er i drift.

3.3.2 Kostnader

Som en følge av kostnadene for drivstoff får elbussenes utnyttelsesgrad stor innflytelse på de samlede kostnadene for bussdriften. Et eksempel på kostnader per km for dieselbusser og hurtigladete elbusser som resultat av forskjellige daglige kjørelengder vises i figur 3.8. Hvis en elbuss bare brukes en del av dagen blir kapitalkostnadenes andel av de totale kostnadene stor, noe som betyr at dieselbussen totalt sett blir rimeligere. Jo høyere utnyttelsesgraden blir, desto lavere blir de samlede kostnadene for elbussene sammenlignet med dieselbusser.



Figur 3.8: Et eksempel på kostnader for dieselbusser (til venstre) og elbusser (til høyre) per km ved ulike kjørelengde per dag (Pihlatie et al. 2014).

Kapitalkostnader/km for moderne dieselbusser med Euro VI-motorer er på samme måte som for elbusser avhengig av den daglige kjørelengden. Samme sak gjelder for infrastrukturen for ladning av elbussene.

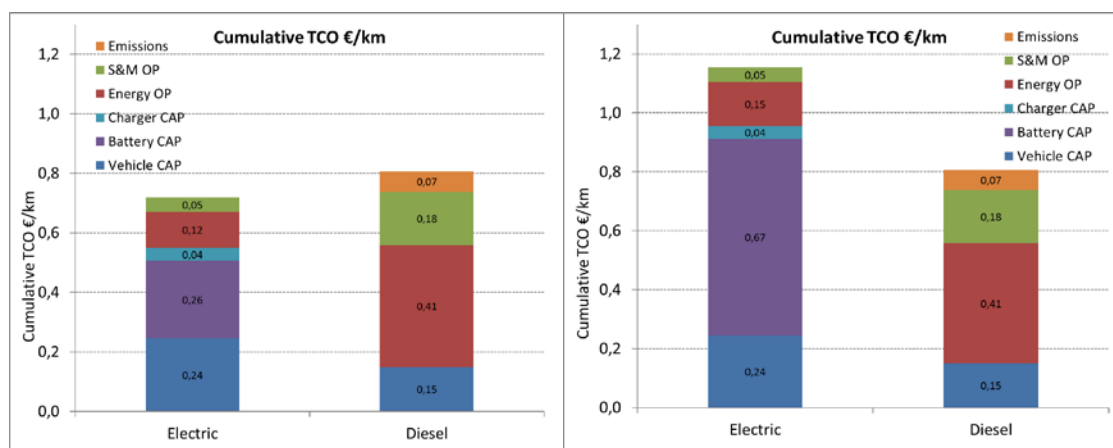
Kostnadene/km for drivstoff, og urea som benyttes i avgassrensingen, er for dieselbussene uavhengige av den daglige kjørelengden. For elbusser er kostnadene for elektrisk energi/km til fremdrift av bussen små i forhold til kostnadene for dieseldrivstoff, og uavhengig av daglig kjørelengde.

Service- og vedlikeholdskostnadene/km i form av vask, oljeskift slitasje med mere for både dieselbusser og elbusser er til dels avhengig av den daglige kjørelengden, men i figur 3.8 er dieselbussenes service- og vedlikeholdskostnader per km forenklet til å være uavhengige av daglig kjørelengde. Forenklingen begrunnes med at service- og vedlikeholdskostnadene for dieselbusser med forbrenningsmotorer og slitasjedeler i større grad øker med lang daglig kjørelengde enn hva som er tilfelle for elbusser med elmotorer.

I tillegg til å sammenlikne kostnader med dieselbusser, er det interessant å sammenlikne kostnadene mellom ulike typer elbusser. I en elbussanalyse gjort for Tromsø høsten 2016 kunne man se store forskjeller mellom depotladete og hurtigladete busser, hvilket illustreres i figur 3.9 (Pihlatie et al. 2016). I analysen var den beregnede nedskrivningstiden for både elbussene og dieselbussene 14 år. Kostnadene for batteribytte er medregnet i batterikostnadene. Batterienes levetid for de hurtigladete elbussene var syv år og for de depotladete elbussene fem år. Nedskrivningstiden var for begge typene elbusser på 14 år. Kostnadene for dieseldrivstoff var i beregningene 1€/liter og for elektrisk energi 0,1€/kWh. Kostnaden for klimapåvirkning og helseskadelige avgassutslipp fra dieselbussene er i dette fall estimert til 0,07 €/km.

Nest etter personalkostnadene, representerer drivstoff og energikostnadene den største andelen av driftskostnadene. Elbussenes høye energieffektivitet og lave kostnader for norsk elektrisk energi, fører til merkbart lavere drivstoff- og energikostnader enn bruk av dieselbusser. Dette gjelder uansett bruk av fossilt dieseldrivstoff eller bruk av noe mer kostbart men mer klimavennlig biodrivstoff i form av fornybart dieseldrivstoff som oppfyller de gjeldende bærekraftskriteriene.

Driftskostnadene omfatter også servicekostnader. Elbusser har bare vært i trafikk en kort tid, og det er vanskelig å beregne nøyaktig hvor store servicekostnadene blir. Spesielt i startfasen trengs utdanning av servicepersonalet siden en stor del av teknikken i bussene er forskjellig fra dieselbussene. Generelt sett er elmotorer meget driftssikre og elbusser er også mindre utsatt for vibrasjoner enn dieselbusser, så servicekostnadene kan forventes å bli noe lavere enn for dieselbusser.



Figur 3.9: Samlede kostnader for hurtigladete busser (til venstre) og depotladete elbusser (til høyre) sammenliknet med dieselbusser på en og samme busslinje. TCO – Total Costs of Operation. (Pihlatie et al. 2016).

Kapitalkostnadene for depotladete busser blir meget høye på grunn av kravet om stor batterikapasitet. I tillegg blir energikostnadene noe høyere siden de depotladete elbussene veger mer enn de hurtigladete elbussene. Sammenliknet med dieselbusser kan man ut ifra denne analysen tydelig se at en depotladet elbuss er en forholdsvis dyr løsning, mens en hurtigladet elbuss totalt sett kan være mer kostnadseffektiv enn en dieselbuss med fossilt dieseldrivstoff.

For depotlading vil kapitalkostnadene være lave så lenge det er et så lite antall elbusser at den lokalt tilgjengelige strømforsyningen er tilstrekkelig for langsom nattlading. Når det med et stort antall elbusser blir behov for høyere spenning, ny strømforsyning og nye transformatorstasjoner kan investeringskostnadene for dette bli høye. Kapitalkostnadene for infrastruktur til depotlading kan ta et hopp hvis en prøvedrift med elbusser i liten skala blir en suksess og det blir et ønske om utvidelse i stor skala. I eksemplet i figur 3.9 er det antatt en kapitalkostnad for depotlading på 0,04 €/km, men dette vil kunne variere fra sted til sted.

For hurtigladete elbusser forutsettes mulighet for hurtiglading i depot for service, kompletteringslading og sikkerhet, men dette er ikke en nødvendighet. Ladingen av elbusser i bytrafikk vil til daglig skje ved ladestasjoner på endeholdeplassene.

Hurtigladingstasjoner ved endeholdeplassene forutsettes med forventet geografisk spredning, å kunne forsynes med strøm uten store investeringer i ny strømforsyning. I henhold til Siemens Norge vil investering i en ladestasjon totalt ligge på ca. fire mill. kroner. Ved utvidelse av elbussdriften vil flere busslinjer kunne bruke de samme endestasjonene og de

hurtigladede elbussenes kapitalkostnadene/km vil da gå ned. I eksemplet i figur 3.9 er det estimert en kapitalkostnad for hurtigladning på 0,04 €/km.

Så lenge det totale antallet busser ikke forandres, kan de samlede kostnadene for en elbussflåte være lavere enn for konvensjonelle dieselbusser med Euro VI motorer (Pihlatie et al. 2016).

3.3.3 Elbussens framtid

Interessen for elbusser er stor og antallet elbusser i Europa er ventet å øke kraftig de nærmeste årene. Myndigheter og operatører i Europa har i ca. 25 byer satt opp som mål å ha en elbussflåte på 6 prosent av den totale bussflåten i 2020. Innen år 2025 ønsker ca. 18 byer å oppnå en elbussandel på 43 prosent. Enkelte bussprodusenter hevder at elbussene er modne for å ta over for konvensjonelle busser allerede i 2018-2020. Flere europeiske bussprodusenter mener at elbussene vil bli teknologisk og økonomisk modne for masseproduksjon i løpet av årene 2020-2025.

Teknisk sett er elbusser modne for å tas i bruk i mer omfattende grad enn vi har sett så langt og de utgjør et klimavennlig alternativ. Å øke antallet elbusser og flytte fokus fra pilotprosjekt til et større antall busser i vanlig trafikk er likevel ikke helt uten problemer. Investeringskostnadene for elbusser og ladestasjoner er fortsatt høye selv om prisen på batterier har sunket kraftig de seineste årene og forventes å synke ytterligere. Også prisen på bussene og på ladestasjonene forventes å gå ned.

En og samme løsning med elbusser er ikke nødvendigvis egnet for alle applikasjoner og steder. Lokale forhold og krav bør tas i betraktning i valget mellom ulike typer elbusser og mer konvensjonelle busser. Rutiner for anbud, innkjøp og kontrakter for busstrafikken kan trenge å justeres eller endres.

Ladning av elbusser er helt forskjellig fra påfylling av drivstoff til konvensjonelle busser. Investeringer og drift av ladestasjoner og infrastruktur for strømforsyning krever nytenkning og stiller nye krav. Et nært samarbeid med produsentene og distributører av elektrisk kraft må utvikles. Forskning og praktiske prøveprosjekt er i gang og utfordringene blir forhåpentlig løst i nær framtid.

I Norge ligger forholdene godt til rette for elbusser. Norge har rimelig strøm produsert av vannkraft og et sterkt og godt utbygget elkraftnett. Med planlegging og gjennomtenkt strategi kan elbusser relativt raskt tas i bruk og bidra til redusert klimapåvirkning.

For demonstrasjon og kjøp av en eller to elbusser vil det være hensiktsmessig med depotladning. Med en planlagt fremtidig satsing på elektrifisering av bussdriften vil vi tro at en hensiktsmessig strategi er innkjøp av fem til åtte elbusser og hurtigladestasjoner for å kunne starte med å elektrifisere en bussrute. En til to ladestasjoner ved endeholdeplassene og ytterlige en ladestasjon i depotet vil dekke behovet. Et slikt opplegg vil gi nyttige erfaringer og kunnskap for en senere videreføring av elektrifiseringsprosessen.

Et antall på fem til åtte elbusser er interessant for de fleste leverandører og vil legge til rette for service og støtte i den krevende overgangen fra tradisjonell drift med dieselbusser. Etter noen år med erfaring med et mindre antall elbusser og en bussrute kan det forventes at kostnadene både for elbusser og ladestasjoner om noen år er lavere enn de nå er i 2017. Kvalitet og driftssikkerhet kan for de første elbussene være viktigere enn lavest mulig pris. I en overgangsfase vil det uansett komme utfordringer med blant annet elbussenes driftsegenskaper, kulde og vinterforhold. Pris, kvalitet og krav til elbusser og ladestasjoner blir lettere å definere og vurdere med en erfaring som vi nå til stor del mangler.

4 Hydrogen og brenselcellebusser

Hydrogen er en energirik energibærer, men ikke en energikilde. Energien som er lagret i hydrogengass ligger i elektronene som hydrogenatomene (H_2) deler. En klimanøytral energikilde for produksjon av energibæreren hydrogen er elektrisk energi fra fornybare energikilder som vannkraft, solkraft og vindkraft. Metan i form av naturgass er til forskjell fra biometan en ikke fornybar energikilde for produksjon av hydrogen.

I Norge kan hydrogen produseres gjennom elektrolyse av vann. Elektrolysører ble i sin tid produsert av Norsk Hydro på Notodden og produksjonen føres nå videre av nye eiere i selskapet NEL. I elektrolysører splittes vannmolekylene til hydrogengass og oksygen. Elektrolyse av vann for produksjon av hydrogen har et energitap på ca. 30 prosent. Alternativet til splitting av vann er at hydrogen produseres av metangass ved partiell oksidasjon eller damp-reforming. Også her er energitapet på ca. 30 prosent.

For bruk som drivstoff må hydrogenet komprimeres (350-700 bar) og lagres i trykktanker eller eventuelt lagres i flytende form. I kjøretøyet må hydrogenet gjennom en brenselcelle for å gjøres om til elektrisk energi og vann. I beste fall er fremdrift med hydrogen produsert fra vannkraft, brenselceller og elektrisk motor halvparten så energieffektiv som elektrisk fremdrift med strøm fra vannkraft.

Forskningsmiljøer ved Institutt for Energiteknikk og SINTEF/NTNU har sammen med et sterkt politisk engasjement og norskproduserte elektrolysører gitt grunnlag for en stor hydrogeninteresse i Norge.

Kostbar produksjon av brenselceller, lave produksjonsvolumer og høye priser har vært en hindring for vekst i antallet hydrogenkjøretøy både internasjonalt og i Norge. Produksjon, fyllestasjoner og tilgang til hydrogenkjøretøy har tradisjonelt vært en del av den typiske "høna og egget" problematikken. "Uten kjøretøy ingen fyllestasjoner, og uten fyllestasjoner ingen kjøretøy".

4.1 Kort historikk og utvikling

Hydrogen har lenge vært vurdert som fremtidens energibærer. De siste 15-20 årene har mange bilprodusenter hatt flåter på 50-100 testbiler med brenselceller og hydrogen som energibærer ute i trafikken. Veksten i antallet hydrogenkjøretøy har derimot vært lav og bygging av infrastruktur har foreløpig uteblitt.

Tyskland, Japan og USA er de land hvor det foreløpig satses mest på og brukes størst ressurser på hydrogen og kjøretøy med brenselceller og hydrogen. Den norske regjeringen gikk i St.meld. nr. 9 (2002-2003) inn for satsing på hydrogen. Det var et politisk ønske om å profilere Norge som en "hydrogen-nasjon" og transportsektoren var et viktig element. Det var en politisk målsetning å henge med i den internasjonale utviklingen for ikke å sakte akterut i forhold til land vi liker å sammenligne oss med. I EU og USA ble det i begynnelsen av 2000-tallet satset betydelige midler til FoU og demonstrasjonsprosjekter. Forsyningssikkerhet var et hovedargument for hydrogensatsingen i EU og USA.

Det europeiske prosjektet Clean Hydrogen in European Cities (CHIC) er et av flere prosjekter med hydrogen som har vært støttet av EU. CHIC startet opp i 2010 og satte 26 brenselcellebusser i trafikk i Aarau (Sveits), Bolzano (Italia), London, Milano og Oslo.

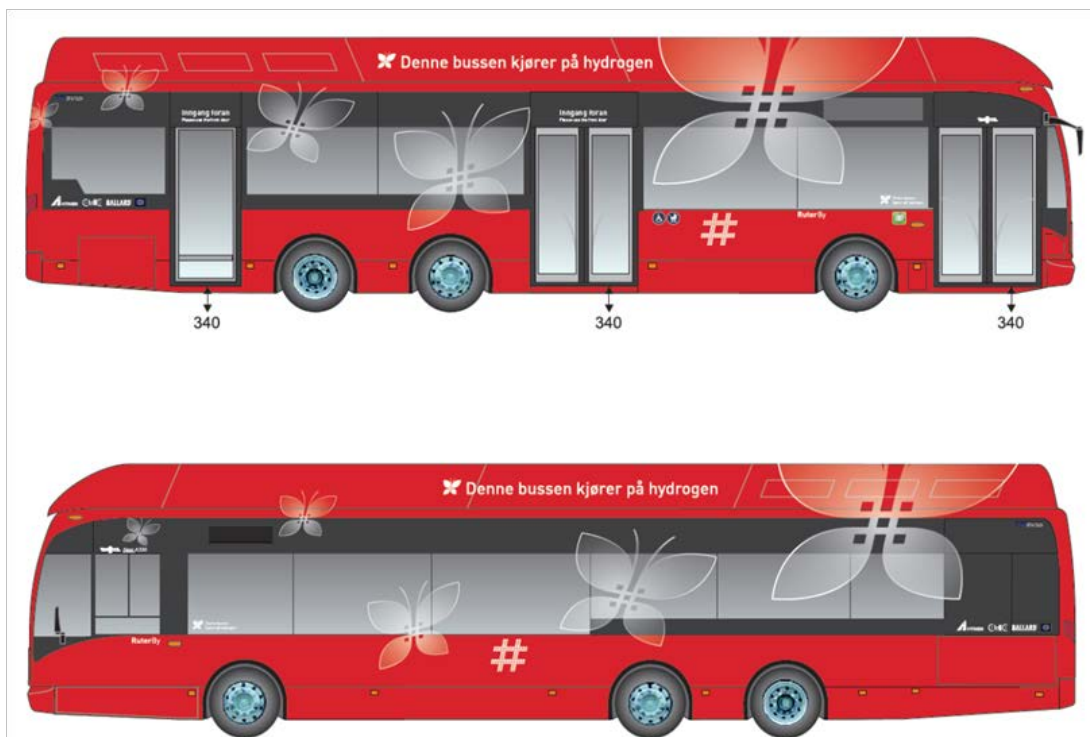
Siden våren 2012 har Ruter hatt fem hydrogenbusser i Oslo og Akershus. Ruter og operatøren Unibuss har et produksjons- og fylleanlegg for de fem hydrogenbussene på Rosenholm bussanlegg i Oppegård kommune.

De tre-akslede hydrogenbussene i den norske delen av CHIC-prosjektet ble etter anbudskonkurranse og prosjektering sammen med Ruter levert av bussprodusenten Van Hool (se figur 4.1). De hadde en pris på ca. 11 mill. kroner per stykk. Akershus fylkeskommune, Oslo kommune, Norges forskningsråd og Transnova bevilget opprinnelig nærmere 100 mill. kroner til prosjektet. I tillegg kom 40 mill. kroner i støtte fra EU.

Hydrogenbussene fra Van Hool var i henhold til Ruters vurderinger tilnærmet prototyper. Planen var 13-17 timers drift i døgnet, men det har ikke alltid vært mulig.

Hydrogenbusser var og er fortsatt busser som ikke er modne nok for ordinær kollektivtransport, og det er ennå mye utvikling som må til før dette er teknologi vi kan bruke i stor skala og implementere i bussflåten, i henhold til Pernille Aga som leder hydrogenbussprosjektet og prosjektet Fossilfri 2020 i Ruter. CHIC-prosjektet ble avsluttet i 2016.

Det har også vært flere hydrogenprosjekter med hydrogenbusser med annen finansiering spesielt i Tyskland (Køln, Hamburg, Berlin) og i Canada, som på 1990-tallet var tidlig ute med PEM (Proton exchange membrane) -brenselcelleteknologi.



Figur 4.1: Hydrogenbuss fra Van Hoel som i Oslo/ Akershus fra 2012 har vært en del av EUs demonstrasjonsprosjekt CHIC (Bilde: Van Hoel).

4.2 Muligheter og begrensninger

4.2.1 Hydrogenkjøretøy

Kjøretøy og brenselceller er den ene delen av "høna og egget" utfordringene med hydrogen. Brenselceller er fortsatt i 2017 umoden og fremfor alt kostbar teknologi. Brenselceller og PEM teknologien har blitt stadig forbedret siden slutten av 1990-tallet. Katalytiske prosesser i brenselceller krever kostbare metaller som blant annet platina. Det er størrelsen på overflaten av belegget med platina som er viktig, ikke selve mengden platina. Mulighetene for ekstremt tynne belegg åpner muligheter for at å reduserer kostnadene for kostbare metaller. Selve brenselcelleteknologien er, i henhold til Ruters erfaringer, driftssikker.

Toyota, Hyundai og Honda har stått bak de første pre-kommersielle hydrogenbilene. Daimler, Renault-Nissan og Ford samarbeider om å introdusere pre-kommersielle hydrogenpersonbiler på markedet i 2017. De store bilprodusentene planlegger produksjon av hydrogenbiler, men dette er i små serier frem mot 2020.

Toyota Mirai (se figur 4.2) er et eksempel på nye pre-kommersielle modeller av hydrogenbiler. Toyota skal produsere ca. 3 000 Mirai per år og selge dem til de markeder hvor bærekraft og klimapåvirkning er prioriterte satsingsområder. Utsalgsprisen på hydrogenbilene er tilpasset hva markedet er villig til å betale, og prisen for hydrogenbiler som Toyota Mirai ligger i Norge på ca. 600 000 kroner.



Figur 4.2: Pre-kommersiell hydrogenbil – Toyota Mirai (Bilde: Toyota)

En til stor grad manuell produksjon gir høye priser for brenselceller og følgelig også høye priser på hydrogenkjøretøy. En brenselcelle er konstruert med relativt få og enkle deler, noe som gjør brenselceller godt egnet for automatisert storskala produksjon. En storskala produksjon av brenselceller er en forutsetning for storskala og økonomisk lønnsom produksjon av hydrogenbiler så vel som hydrogenbusser.

Hirose som er en av de ansvarlige for Toyotas satsing på brenselceller og hydrogen i biler, har ved personlige samtaler forespeilet at Toyota vil produsere brenselcellebiler til lik eller

lavere pris enn konvensjonelle biler rundt 2025. Teknologi for driftsikre brenselceller i biler ser ut å være på plass i 2017, og hvis Hirose og Toyota får rett vil brenselcellebiler kunne bli reelle alternativ til konvensjonelle biler i 2025.

EU prøver å samorde interessen for hydrogenbussar i Europa slik at bussprodusenene kan få anledning til å konkurrere om serier på 300 enheter. En serie på 300 hydrogenbussar vil gi mulighet for rasjonell produksjon, høy kvalitet og langt lavere pris enn hva Ruter betalte for de fem hydrogenbussene i 2012.

4.2.2 Infrastruktur for hydrogenforsyning

Den andre delen av "høne og egg" utfordringene med hydrogen i transportsektoren er tilgang på hydrogen, fyllestasjoner og infrastruktur. I Tyskland er det planer om å bygge 400 hydrogenstasjoner innen 2023. I Japan er det bygget 80 fyllestasjoner. Sør-Korea har planer om 100 stasjoner innen 2020.

Hyop er et selskap som ble stiftet i 2011 og drifter fire hydrogenstasjoner i Norge. En femte stasjon vil åpne i 2017. Uno-X Hydrogen har planer om å bygge 20 hydrogenstasjoner innen 2020. Produksjon og leveranse av hydrogen i stor skala, kan i henhold til Hyop gjøre at hydrogen basert på produksjon med norsk strøm (uten skatter og avgifter) blir prismessig konkurransedyktig med fossil diesel. Foreløpig er all aktivitet knyttet til hydrogen innen transportsektoren sterkt avhengig av offentlig støtte. Så langt i 2017 har Enova tildelt 40 mill. kroner til nye hydrogenprosjekter. Av disse er 20 mill. kroner bevilget til Uno-X Hydrogen sin satsing på hydrogenstasjoner. Enova frykter at en ekspansiv utbygging av hydrogenstasjoner og tilbakeslag kan gjøre at interessen for hydrogen kan få en ny knekk når den igjen er på veg opp. Hydrogenproduksjon og fyllestasjoner er fremdeles dyre ifølge Enova.



Figur 4.3: Hydrogenstasjon utenfor Porsgrunn (bilen er fra et Hynor-prosjekt med bensinmotorer og biler som ble modifisert til å bruke hydrogen som energibærere, bilde: internett)

En forsiktig nystart med flere demonstrasjonsanlegg mener Rune Holmen, programsjef for industri, transport og ny teknologi i Enova er rett veg å gå.

Norges første fyllestasjon for hydrogenbiler ble åpnet i 2006 og markerte den daværende regjeringens sterke intensjoner om å redusere CO₂-utslippene, og arbeidet omfatter aller deler av hydrogenkjeden. Den første hydrogenstasjonen lå utenfor Stavanger og ble bygget i samarbeid mellom Statoil og industriselskapet AGA, som er en del av tyske The Linde Group.

Norges første hydrogenstasjon, som ble etterfulgt av flere lignende testanlegg, ble aldri noen stor suksess. I 2011 la Statoil ned stasjonen på grunn av manglende lønnsomhet. Fyllestasjonen utenfor Stavanger fikk kun to kunder sa Morten Eek, informasjonssjef i Statoil, i november samme år som stasjonen ble nedlagt.

Prisen for hydrogen ved norske hydrogenfyllestasjoner er i 2017 ikke satt for å dekke kostnader og fortjeneste til leverandøren, men tilpasset hva eiere og potensielle hydrogenbileier synes er rimelig. Hydrogenforum (Norsk Hydrogenforum 2017) oppgir at hydrogen solgt fra norske fyllestasjon er priset til omtrent det samme nivå som bensin, regnet etter hvor langt man kan kjøre. Hydrogen blir solgt per kilo, ikke per liter, og en kilo hydrogen koster ca. 90 kroner. Kjøre lengden med 0,1 kg er ca. 10 km for en personbil med brenselcelle og elektrisk drift. Dette gir en kostnad for forbruk av hydrogen på ca. ni kroner,- per mil. Utetemperatur, bruk av elektrisk utstyr i bilen, og kjørestil påvirker deretter om man kjører lenger eller kortere, akkurat som med en vanlig bil.

Utvikling og forbedringer i brenselcellenes energieffektivitet gir i henhold til Norsk Hydrogenforum et potensial for en forbedring av energieffektiviteten (Tank to Wheel) for hydrogenbiler med ca. 20 prosent.

Anlegg for automatisert storskala produksjon av brenselceller krever store investeringer og disse investeringene er usikre så lenge det ikke finnes avsetning til storskala produksjon av hydrogenkjøretøy. Med storskala lønnsom produksjon av hydrogenkjøretøy mener vi serieproduksjon av hydrogenbiler i størrelsen flere hundre tusen biler per år per leverandør.

4.3 Økonomi og fremtid

Med bevilgninger på nærmere 40 nye mill. kroner fra Oslo kommune og Akershus fylkeskommune skal Ruter fortsette å teste de fem brenselcellebussene fra Van Hool i ytterligere tre år regnet fra 2017. Også andre CHIC-byer viderefører og oppskalere sine hydrogenbussprosjekter, blant annet London, Köln og Aberdeen.

Tyskland har en økende del av sin produksjon av elkraft basert på vind- og solenergi. Tyskland, Japan og Sør-Korea har en stor og konkurranseutsatt utvikling og produksjon av biler. Med et forsprang innen utvikling av brenselcelleteknologi vil et gjennombrudd og storproduksjon av kjøretøy med brenselceller og hydrogen som energibærer, innebære store økonomiske muligheter for industrien i disse landene.

Foreløpig skjer ikke produksjon av brenselceller i automatisert storskala. Dette innebærer at brenselceller er kostbare å produsere og at de kjøretøy som blir produsert i småskala serier har en merkostnad i forhold til konvensjonelle biler og elbiler. Produksjonen av kjøretøy med brenselceller er ikke lønnsom og produsentene ønsker støtte fra markedet for å dekke og dele utviklingskostnadene.

Norge har de samme generøse insentivene for hydrogenbiler som for elbiler. ENOVA gir også støtte til etablering av fyllestasjoner for hydrogen. En vurdering er at de eksisterende støtteordningene i Norge er gode nok. Tyskland, Japan, USA og Sør-Korea kan ta de største kostnadene for å drive frem markedet for hydrogenkjøretøy når tiden er moden for det.

Når og hvis kjøretøy med brenselceller blir økonomisk konkurransedyktige vil de uansett finne sin plass i Norge. Med de incentiver som finnes for personbiler vil det norske markedet ta imot brenselsellebiler og de vil få sin plass i konkurranse med og som supplement til elbiler.

Akershus fylkeskommune er positive til hydrogen og prioriterer å videreføre satsingen på hydrogenbusser. Hovedutvalg for samferdsel i Akershus ønsker å gå foran og bidra til å få flere nullutslippskjøretøy på markedet. Når Akershus velger å prioritere hydrogen fremfor å ta teknologinøytrale valg er begrunnelsen at hydrogensatsingen i fylket kombineres med forskning og utvikling og at noen må lede an også for hydrogen.

For tunge kjøretøy og busser på lengre strekninger vil fremdriftssystemer med brenselceller og hydrogen ha store fordeler i forhold til elektrisk fremdrift og elbusser. I Norge går Ruter og ASKO foran og tar store merkostnader selv om bruk av tunge hydrogenkjøretøy og hydrogenbusser gir lite klimanytte for pengene. Når og om klimanytten blir god i forhold til kostnadene for kjøretøy vil markedet i Norge kunne ta av. Sterkt politisk engasjement og bevissthet om global oppvarming og flere andre faktorer vil i Norge kunne gi et stort marked for hydrogenkjøretøy når tiden er moden.

Toyota, Hyundai, Honda og General Motors har ved mange anledninger uttrykt sterk tro på hydrogen og brenselceller i biler. Volvo har på sin side gitt signaler om at dette er teknologi de ikke har spesielt stor tro på.

Under en pressekonferanse i april 2017 sa Mercedessjef Dieter Zetsche at hydrogen og brenselceller ikke lenger er en stor del av Daimlers fremtidsplaner. Uttalelsen kan forstås slik at det fortsatt vil være forsknings- og utviklingsaktivitet på dette feltet, men antakeligvis ikke opptrapping og serieproduksjon av nye generasjoner Mercedes hydrogenbiler de nærmeste årene. At Zetsche poengterer at batterikostnader faller hurtig, mens brenselceller og hydrogenproduksjon forblir svært kostbart indikerer at produksjon av elbiler vil bli prioritert foran hydrogenbiler.

Hydrogen har lenge vært fremtidens drivstoff. Med forutsatt fremgang i pionerland som Tyskland og Japan kan hydrogen og brenselcellekjøretøy gi god klimanytte for pengene rundt 2025. Nye pre-kommersielle modeller av hydrogenkjøretøy samt engasjement internasjonalt og fra EU skaper optimisme.

I Norge har flere forskningsmiljøer, miljøorganisasjoner og noen politiske kretser forhåpninger om at hydrogen vil bli en konkurransedyktig energibærer en gang i løpet av 2020-tallet. Den siste halvdelen av 2020-tallet er etter vår vurdering mer sannsynlig enn den første halvdelen. Hydrogenbusser på lengre strekninger kan gi gode klimagevinster i forhold til investeringene rundt 2025 under forutsetning at fremdriftssystemene med brenselceller da er økonomisk konkurransedyktige med dieselmotorer.

5 Forbrenningsmotorer og busser

5.1 Kort historikk om forbrenningsmotorer

Forbrenningsmotorer er omformere av kjemisk lagret energi til mekanisk bevegelse. Kjøretøy for vegtransport har siden begynnelsen av 1900-tallet hatt fremdrift med forbrenningsmotorer. Hest og vogn ble utkonkurrert og batterier viste seg på 1900-tallet å være upraktiske. Forbrenningsmotorene har vært gjenstand for kontinuerlige forbedringer i over 100 år. Viktige faktorer som har medvirket til at forbrenningsmotorer har vært de foretrukne kraftkildene for kjøretøy og fortsatt er konkurransedyktig, er kostnader, energiforbruk, rask fylling og enkel distribusjon av flytende drivstoffer med høy energitetthet og driftssikkerhet.

Dieselmotorenes ytelse, levetid og driftssikkerhet har stadig blitt bedre. Høyt dreiemoment og lavt energiforbruk gjør at dieselmotoren har vært den foretrukne kraftkilden i tunge kjøretøy og busser. Fra 1990 har dieselmotoren gjennomgått en utvikling som spesielt i Europa har gjort den attraktiv også i personbiler. Ønsker om høyere energieffektivitet og strenge utslippskrav har bidratt til og fortsetter å bidra til videre teknisk utvikling.

Bensinmotorene til lette kjøretøy har blitt mindre, fått bedre ytelse og fikk når innsprøyting av bensin og trevegskatalysatoren avløste forgasserne, radikalt lavere utslipp av lokalt helseskadelige avgasser. Effektiv rensing av avgassene i trevegskatalysatoren er avhengig av støkiometrisk forbrenning (normal forbrenning med passe mye luft og drivstoff). Mager forbrenning (luftoverskudd) med lavere energiforbruk enn med støkiometrisk forbrenning, har gitt store avgassutslipp av NO_x.

Gassmotorer med metan som drivstoff har hatt noen fordeler i forhold til andre motorer. En av fordelene var at det lenge ikke ble vurdert å være behov for kostbare rensesystemer for avgasser. I begynnelsen av 1990 tallet ble naturgass i transportsektoren utredet og drøftet. Blant annet konkluderer sluttrapporten fra det Nordiske GasBuss prosjektet (Ekelund et al, 1993) med at busser og andre tunge kjøretøy med naturgass kan få de laveste utslippene av NO_x og PM av alle tilgjengelige drivstoffer. Potensialet for å bruke bærekraftig biogass ble vurdert som spesielt interessant.

Forbrenningsmotorene til tunge kjøretøy ble med innføringen av Euro VI-avgasskravene i 2014 (krav til hvor store mengder utslipp som maksimalt tillates fra en motor/bil) radikalt forbedret i forhold til utslipp av lokalt helseskadelige avgasser. Utslipp av lokalt helseskadelige avgasskomponenter fra busser og tunge kjøretøy har i og med innføringen av Euro VI-kravene for motorer vist seg og komme ned på meget lave og akseptable nivåer. I tillegg har drivstofforbruket blitt redusert (Hagman 2016).

I den politiske diskusjonen om redusert klimapåvirkning fra vegtransporten har fornybare, bærekraftige biodrivstoffer høsten 2016 og våren 2017 hatt en sentral plass. Å erstatte 20 prosent av de fossile drivstoffene med biodrivstoffer allerede i 2020 er ikke bare et norsk politisk mål men et regjeringsvedtak. Å kunne bruke fornybare og bærekraftige drivstoffer som biodrivstoffer i eksisterende eller lett modifisert forbrenningsmotorer er attraktivt da det ikke blir et akutt behov for å skifte ut relativt nye kjøretøy og tiltaket får umiddelbar virkning også i mange eksisterende kjøretøyer.

"Drop in" biodrivstoffer kan brukes direkte eller blandes med konvensjonelle mineraloljebaserte fossile dieseldrivstoffer. HVO (Hydrogengenerert Vegetabilsk Olje), og dieselmotor-drivstoffer med lav klimapåvirkning er attraktive da de kan ha utmerkede egenskaper for forbrenning i konvensjonelle dieselmotorer, og samtidig gir lav klimapåvirkning i et livsløpsperspektiv. Utfordringene vil være produksjonspotensial, pris og tilstrekkelig lav sertifisert klimapåvirkning.

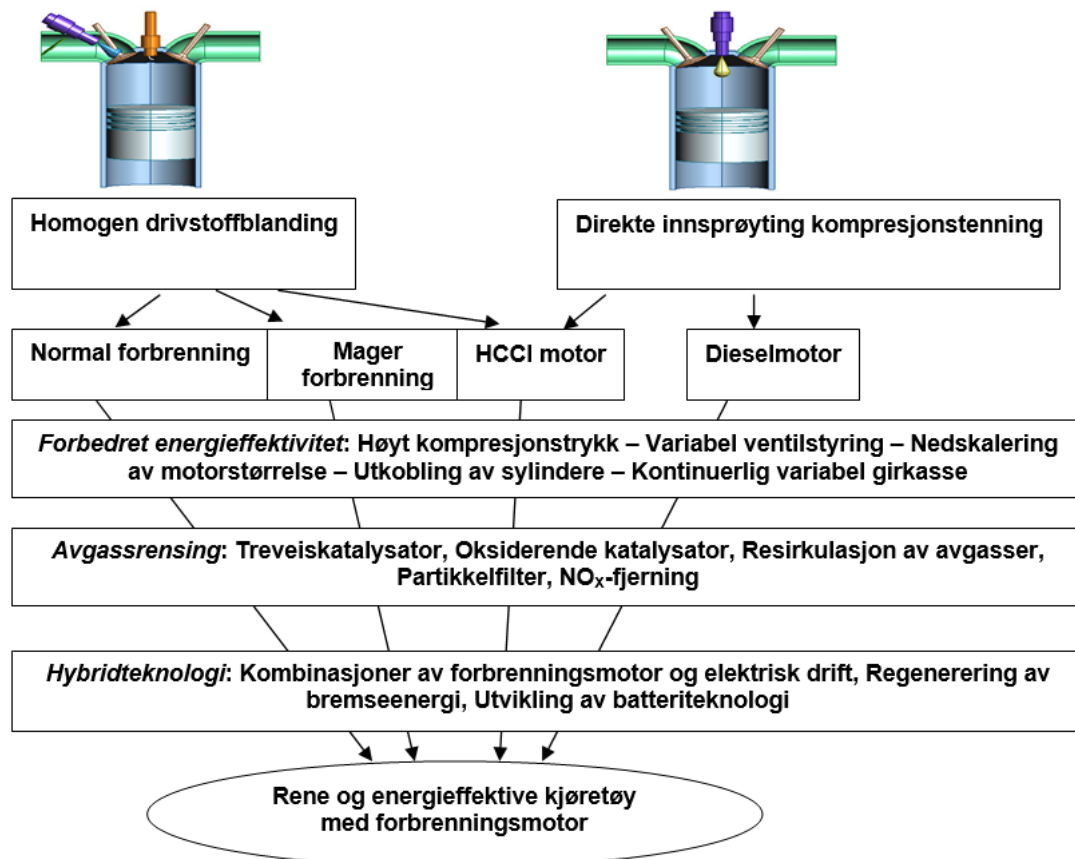
Andre aktuelle biodrivstoffer, med noe mindre attraktive egenskaper er alkoholer som ED95 og estere RME.

Gass i form av biometan (biogass) er godt klimavennlig alternativ for å ta vare på energiressursene i husholdningsavfall, kloakk og annet biologisk avfall. Biometan er et bærekraftig alternativ til naturgass og kan brukes som drivstoff i forbrenningsmotorer. Utfordringene er lav energivirkningsgrad i gassmotorer, bruk av trykktanker og risiko for klimapåvirkning i form av metanlekkasje. Avfall er også en begrenset ressurs.

5.1.1 Energieffektivitet

Forbrenningsmotorer har fortsatt et potensiale for lavere energiforbruk. Avgassutslipp av CO₂ er et uunngåelig resultat av forbrenning av karbonholdige energibærere. Reduksjon av avgassutslipp av CO₂ fra forbrenningsmotorer er direkte avhengig av forbedret energieffektivitet.

Teknologiske grep som vil gi forbedret energieffektivitet i forbrenningsmotorer er kjente. Figur 5.1 viser en oversikt over aktuelle teknologier og som vil gi rene og mer energieffektive kjøretøy med forbrenningsmotorer.



Figur 5.1: Teknologier for forbrenningsmotorer (Hagman).

To typer av forbrenningsmotorer har stått for de dominerende teknologiene for å omdanne kjemisk bundet energi i drivstoffer til mekanisk bevegelse:

- 1) Forbrenningsmotorer med homogen blanding av luft og drivstoff, drivstoff med høyt oktantall, tenning ved hjelp av en tennplugg og rensing av avgassene ved hjelp av trevegskatalysator, er i markedet kjent som bensinmotorer og gassmotorer.
- 2) Forbrenningsmotorer med mager blanding av drivstoff og luft som bruker drivstoff med høyt cetantall er kjent som dieselmotorer.

En kombinasjon av disse to typene er HCCI (Homogenous Combustion Compression Ignition) motoren. HCCI-motoren vurderes å ha potensielle fordeler i forhold til andre forbrenningsmotorer men har foreløpig ikke forlatt forskningsstadiet.

Energieffektivisering og redusert forbruk av drivstoff reduserer avgassutslipp av CO₂, og gir redusert klimapåvirkning fra kjøretøy. Forbruket av drivstoff målt i liter påvirkes av at drivstoffet kan ha noe varierende energiinnhold. Høy brennverdi (MJoul/liter) gir lavere drivstofforbruk målt i liter per mil.

5.2 Dieselmotorer og konvensjonelle dieselbusser

Dieselmotorer til tunge kjøretøy og maskiner har alltid vært robuste, energieffektive, sterke og pålitelige kraftkilder med høyt dreiemoment over hele turtallsregistret. I 2017 er de pålitelige maskiner med lite driftsstans og god driftsøkonomi for operatørene av bussflåter og tungtransport.

Forbrenning av drivstoff i en moderne dieselmotor bygger på selvantennelse ved innsprøyting. Diesel sprøytes inn i forbrenningsrommet med høyt trykk straks før, og fortsetter å sprøytes inn noe etter, stemplets øvre dødpunkt. Moderne dieselinjektorer har flere dyser som samtidig sender inn flere stråler med drivstoff i forbrenningsrommet. Drivstoffet sprøytes inn, blander seg med luften og brenner i grensesjiktet mot luften.



Figur 5.2: Konvensjonell buss med Euro VI-dieselmotor som har lavt drivstofforbruk og meget lave utslipp av lokalt helseskadelige avgasser (Bilde: Volvo).

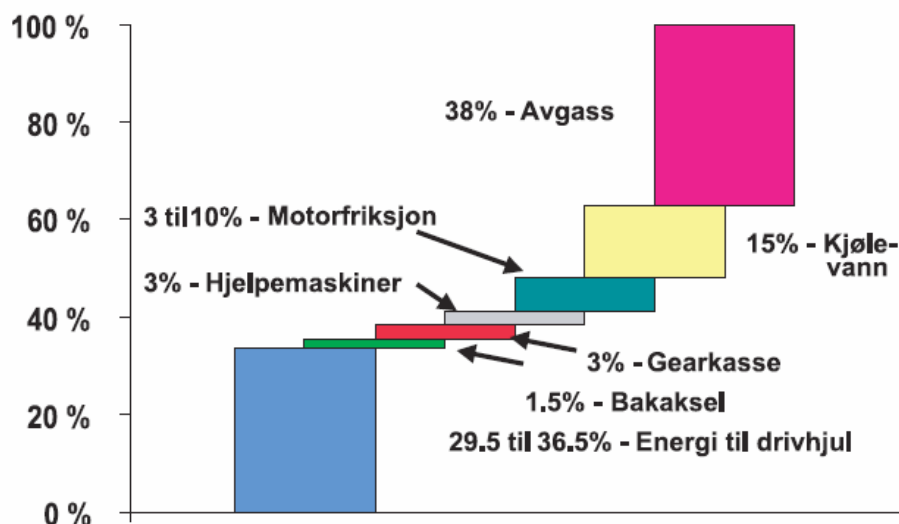
5.2.1 Drivstofforbruk

I et kjøretøy som skal kjøres med varierende hastighet og belastning vil føreren ha stor innvirkning på forbruket. I alle forbrenningsmotorer vil utnyttelsen av drivstoffet variere med motorbelastning og turtall. Generelt kan det sies at det spesifikke forbruket av drivstoff (g/kWh utviklet motoreffekt) er lavere når motoren kjøres med høy belastning og midlere turtall, enn når den kjøres med lav belastning og høyt turtall. Eksempelvis kan en moderne tung dieselmotor ha et spesifikt forbruk ned mot 175 g/kWh når den går med full belastning ved midlere turtall, mens det spesifikke forbruket øker etter hvert som turtallet blir høyere. Høyest er det spesifikke drivstofforbruket når motoren går på høyt turtall med liten belastning. Det spesifikke forbruket kan da komme opp i 400 til 500 g/kWh. I praksis vil det si at kjøring på lavere "gear" enn nødvendig vil øke drivstofforbruket.

Generelt vil hurtig kjøring gi et høyere drivstofforbruk enn kjøring i mer moderate hastigheter. Det skyldes i stor grad at luftmotstanden er en motstand som må overvinnes under kjøring, og at denne motstanden øker betydelig ved økende hastighet. Ved hastigheter opp til ca. 60 km/h har luftmotstanden relativt liten betydning i forhold til rullemotstand og friksjon som må overvinnes. Ved høyere hastigheter har luftmotstanden avgjørende betydning og den får større betydning jo høyere hastigheten blir. Luftmotstanden er en størrelse som øker med kvadratet på hastigheten. Det vil i praksis si at når hastigheten dobles, må kraften som skal til for å overvinne økningen av luftmotstanden firedobles.

Ujevn kjøring med stadige nedbremsinger og påfølgende akselerasjoner gir et høyt drivstofforbruk. Men som tidligere nevnt kan forbruket også bli forskjellig ved jevn kjøring avhengig av hvilket turtall og hvilken belastning motoren kjøres med.

Forutsetningene for et lavt gjennomsnittlig forbruk er jevn kjøring med passe høy topphastighet. Girutveksling skal være tilpasset slik at motoren får arbeide i det turtallsområdet der den har best mulig virkningsgrad. For de fleste tunge kjøretøy betyr det at en bør velge gir slik at motorturtallet mest mulig holdes i det midlere turtallsområdet. Mange nyere kjøretøy har avmerket et område på turtelleren der motorturtallet bør holdes for å ha lavest mulig drivstofforbruk.



Figur 5.3: Fordeling av energi i en moderne dieselmotor for tunge kjøretøy. (Kilde: Hagman 2000)

5.2.2 Avgassrensing i Euro VI-dieselmotorer

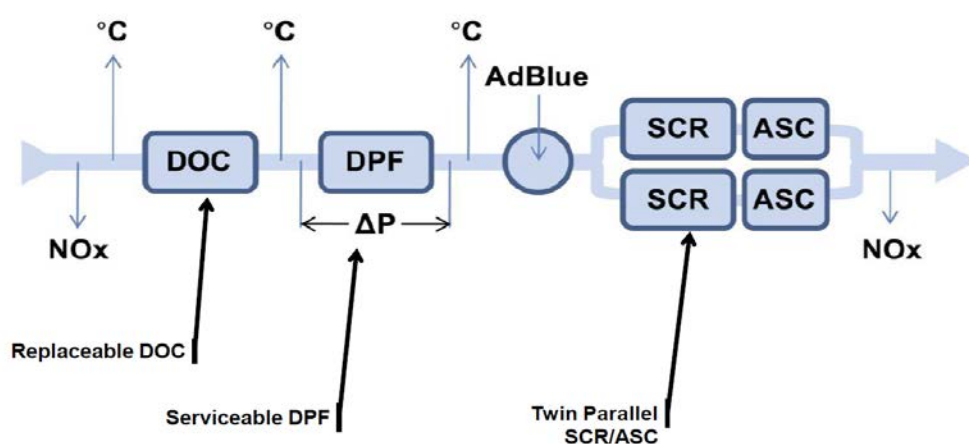
For tunge kjøretøy med Euro VI dieselmotorer er det SCR-teknologien, reduksjonsmidlet urea, samt avanserte styrings- og reguleringsystemer som er grunnen til de lave utslippene av NO_x i virkelig trafikk. SCR-rensingen (med en fjerning av NO_x på over 95 prosent) overskygger helt effekten av å bruke rapsmetylester RME, HVO eller andre diesel-drivstoffer. Figur 5.4 viser et typisk SCR rensesystem for rensing av dieselavgasser med oksidasjonskatalysator "DOC", partikkelfilter "DPF", AdBlue-tilsetning, katalysator for kjemisk reduksjon av NO_x "SCR" og katalysator for fjerning av overflødig ammoniakk "ASC".

AdBlue består av 32,5 prosent urea og 67,5 prosent destillert vann. AdBlue fryser ved -11°C . For at kjemisk reduksjon av NO_x til nitrogen og vann skal være mulig, må AdBlue kunne sprøytes inn i SCR-systemets blandekammer og blandes med avgassene fra dieselmotoren. Videre må avgassene og SCR-katalysatoren være varme nok til at en kjemisk reduksjon av NO_x til ufarlig nitrogengass, ved hjelp av ammoniakk fra urealøsningen, skal være mulig.

For at avgassrensingen skal bli effektiv er det nødvendig med nøyaktig regulering, måling av temperaturer, trykkfall og konsentrasjoner av NO_x i alle ledd. Videre er det nødvendig at de forskjellige katalysatorene har oppnådd sin driftstemperatur. Driftstemperaturen som er nødvendig for å unngå systemfeil i SCR systemene ved innsprøyting av urea (AdBlue), er ca. 200°C . Før denne driftstemperaturen er oppnådd, vil ikke dieselavgassene bli rensset for NO_x .

Vi ser at forskjellige leverandører av tunge kjøretøy har forskjeller i utformingen av sine SCR-systemer. At alle har lave verdier på lokalt helseskadelige avgassutslipp ved normal temperatur betyr ikke nødvendigvis at egenskapene i kulde vil være like gode.

Schematic layout of Euro VI system



Figur 5.4: Rensesystem for rensing av dieselavgasser. Rensesystemet består av oksidasjonskatalysator "DOC", partikkelfilter "DPF", AdBlue-tilsetning, katalysator for kjemisk reduksjon av NO_x "SCR" og katalysator for fjerning av ammoniakk "ASC". (Kilde: Scania).

5.3 Gassmotorer og gassbusser

Frem til og med Euro VI-kravene kom i 2014 fantes det flere strategier for gassmotorer til busser og tyngre kjøretøy. Dual fuel motorer som forbrenner gass sammen med diesel i en dieselmotorprosess og magermotorer er to gassmotorer med bedre energivirkningsgrad enn tradisjonelle gassmotorer og dagens Euro VI-gassmotorer.

De Euro VI-gassmotorer for tunge kjøretøy som finnes på markedet bruker støkiometrisk forbrenning. Støkiometrisk forbrenning innebærer i denne sammenheng at blandingsforholdet mellom luft og drivstoff styres av en λ -sonde (oksygensensor) hvor λ skal styres mot verdien 1. At λ skal ha verdien $\lambda=1$ innebærer at oksygensensoren regulerer luftmengden slik at avgassene hverken inneholder overskudd eller underskudd av oksygen (akkurat nok oksygen til at alt drivstoffet forbrennes).

Gassmotorer til busser er dieselmotorer som har blitt konvertert til gassdrift. Gassmotorer med støkiometrisk forbrenning trenger en gnist fra en tennplugg for å antenne drivstoffblandingen. I disse motorene etterstrebes en homogen blanding av luft og drivstoff før blandingen antennes. For å oppnå en homogen blanding blir luft og drivstoff blandet sammen før blandingen suges, eller ved hjelp av turboladning presses, inn i sylindrene.

Produsentene av busser med Euro VI-gassmotorer har forbedret dreiemomentet og effekten på motorene slik at ytelsen nå i stor grad kan sammenlignes med dieselmotorer.



Figur 5.5: Gassbusser med Euro VI-motorer og meget lave utslipp av lokalt helseskadelige avgasser. (Bilder: Mercedes og Scania)

Metan i form av naturgass og biogass er et utmerket drivstoff for forbrenningsmotorer. Metanmolekylet består av et karbonatom og fire hydrogenatomer. Metan er den enkleste hydrokarbonforbindelsen som finnes. Det lette molekylet har omtrent den samme vekten som andre molekyler i luft og blander seg derfor godt med luften i et forbrenningsrom. En god og homogen blanding med luft er den beste forutsetningen for fullstendig forbrenning. Molekylene i metan inneholder kun et karbonatom hvilket bidrar til at dannelsen av partikler blir minimal ved normal forbrenning. Metan brenner med lav hastighet og med lav flammetemperatur hvilket bidrar til lite termisk NO_x i avgassene.

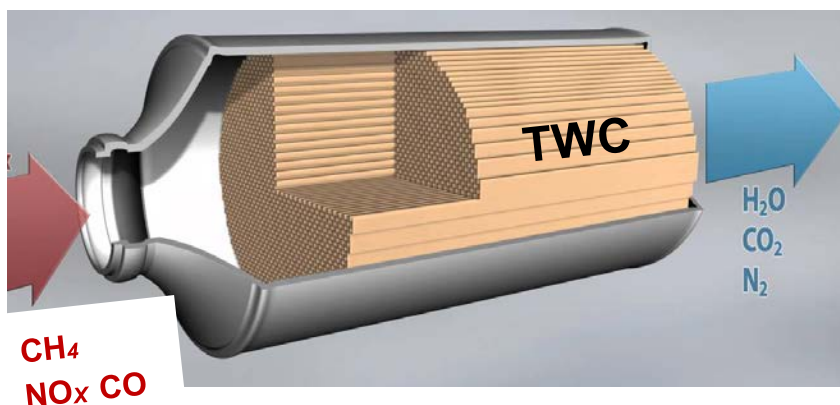
Metan gir ved forbrenning 25 prosent mindre utslipp av klimagassen CO_2 enn tilsvarende mengde energi fra bensin og diesel. Ved bruk av forbrenningsmotorer med lik virkningsgrad vil derfor naturgassmotorer gi ca. 25 prosent mindre utslipp av klimagassen CO_2 enn de tradisjonelle drivstoffene (Hagman 2002). Utslipp av uforbrent metangass er uheldig, da metan på grunn av sin evne til å reflektere varme fra jorden har en klimapåvirkning som er ca. 20 ganger større enn tilsvarende mengde CO_2 .

Ved kjøring i virkelig trafikk, med lave og transiente belastninger, blir forskjellen i energiforbruk mellom gassmotorer og dieselmotoren høyere enn ved stasjonære belastninger. For bybusser med gassmotorer var merforbruket av energi for 15 år siden ca. 30 prosent (Pelkmans m.fl. 2002). I nye gassbusser med Euro VI-motorer er merforbruket av energi ca. 25 prosent sammenlignet med tilsvarende dieselbusser (Hagman 2016).

5.3.1 Avgassrensing i Euro VI-gassmotorer

Avgassrensing i gassmotorer i busser bruker trevegskatalysatorer for å tilfredsstille de strenge Euro VI kravene. For å fungere effektivt er trevegskatalysatorer avhengig av støkiometrisk forbrenning (passe mye luft og oksygen inn til motoren slik at drivstoffblandingen hverken er fet eller mager).

Trevegskatalysatorer har en enklere oppbygning enn SCR-rensesystemer. For bruk av trevegskatalysatorer sammen med gassmotorer er det nødvendig at de katalytiske stoffene er i stand til å oksidere de relativt stabile metan-molekylene samtidig som NO_x blir kjemisk redusert til nitrogengass. Avgassrensing med trevegskatalysator er moden teknologi og etter hvert har det blitt mulig å få trevegskatalysatorer med kort oppvarmingstid til å rense avgassene (tenne). Gassbusser med motorer eldre enn Euro VI utslippsklasse, har i bykjøring hatt høye utslipp av CH_4 (metan) og NO_x . Utslippene har vært betydelig høyere enn hva typegodkjenningen av motorene indikerte. Figur 5.6 viser en trevegskatalysator hvor avgassene CH_4 (metan), CO og NO_x oksideres og reduseres til H_2O , CO_2 og N_2 (Hagman 2016).



Figur 5.6: Trevegskatalysator (TWC) for rensing av avgasser fra en gassmotor. (Bilde. Hagman).

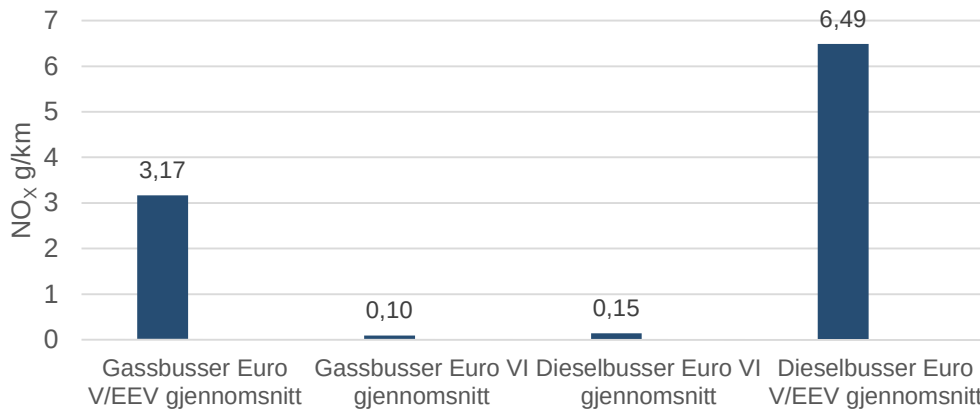
5.4 Sammenligning Euro VI, økonomi og fremtid

Driftssikkerhet, gjennomprøvet teknologi og kontinuerlig utvikling kjennetegner forbrenningsmotorer i 2017. Dieselmotoren er den mest energieffektive forbrenningsmotoren, og i og med Euro VI kravene har den også fått avgassrensesystemer som tilnærmet fjerner alle lokalt helseskadelige avgasser. For tunge kjøretøy er gassmotorer et alternativ til dieselmotorer. Gassmotorer har lavere energieffektivitet, de lager ved forbrenning praktisk talt ikke avgasspartikler og har historisk hatt lave avgassutslipp av lokalt helseskadelige avgasser i forhold til dieselmotorer.

Utslipp av lokalt forurensende avgasser, avgassutslipp av CO_2 og energiforbruk er tre faktorer som har avgjørende betydning for hvor miljøvennlig en buss er i drift. I tillegg til avgassutslippene fra eksosrøret er klimapåvirkningen fra bussdriften avhengig av i hvilken

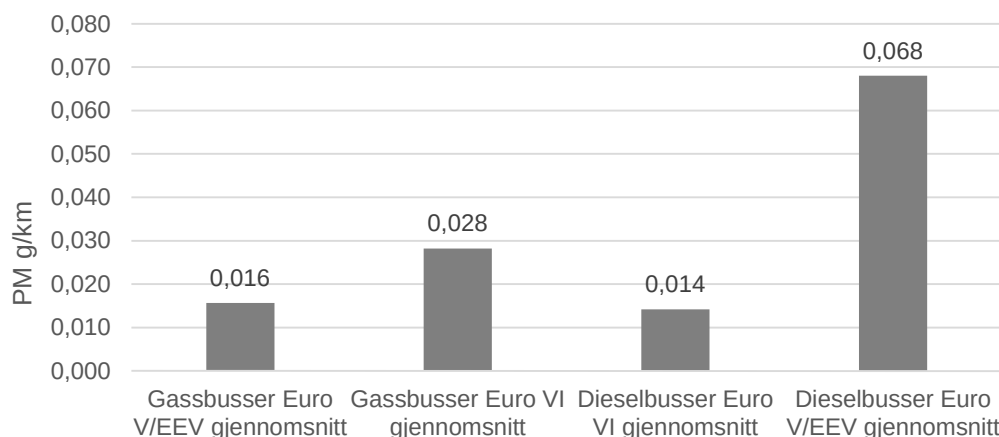
grad drivstoffet er klimanøytralt eller bærekraftig i et livsløpsperspektiv. Både dieselmotorer og gassmotorer kan kjøres med fornybare eller fossile drivstoffer.

Avgassutslipp fra busser med Euro-VI dieselmotorer og Euro-VI gassmotorer målt i virkelig bytrafikk har i 2016 blitt publisert av VTT/TØI (Hagman 2016). Det viser seg at Euro-VI motorer utkonkurrerer Euro-V motorer og at busser med Euro VI-motorer er bedre enn EEV busser¹ på grunn av overlegne egenskaper når det gjelder avgassrensning. Figurene 5.7-5.10 viser og sammenligninger de tre faktorene som har betydning for hvor miljøvennlige nye Euro-VI busser er, sett i forhold til Euro-V busser. NO_x og PM er de to lokalt forurensende utslippsfaktorene.



Figur 5.7: Avgassutslipp av NO_x (g/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart.

Figur 5.7 viser at nye busser med Euro VI-gassmotorer til forskjell fra tilsvarende busser med Euro V/EEV motorer har lave utslipp av NO_x. Diesellbusser med Euro VI-motorer kom på markedet allerede i 2014 og viste seg å ha lave NO_x-avgassutslipp. SCR-rensningssystemene for NO_x-rensing av avgass i Euro-VI dieselmotorer vil i nordisk kulde og temperaturer lavere enn 0 °C kunne få noe redusert NO_x-rensing.



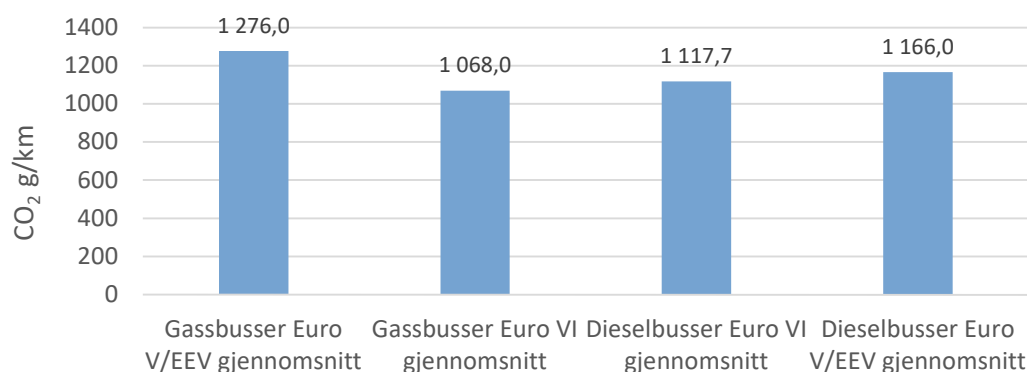
Figur 5.8: Utslipp av avgasspartikler, PM (g/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart (Hagman 2016).

For diesellbusser viser figur 5.8 lave nivåer av avgasspartikler for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og fra EEV-busser med gassmotorer. Bussene med Euro V/EEV-

¹ EEV busser er busser med Euro V-motorer og noe forbedret avgassrensning.

diesel motorer har med 0,068 g/km noe høyere utslipp av avgasspartikler enn de 0,04 g/km som tilsvarer kravet ved typegodkjenning.

Avgassutslippene fra busser med Euro VI-motorer er så lave at det ikke vil være behov for ytterligere reduksjoner frem mot 2025. Driftssikkerhet og kuldeegenskapene hos enkelte av de forskjellige dieselbusmodellenes SCR-rensesystemer kan og vil sannsynlig bli bedre og mer driftssikre frem mot 2025. Ettermontering av Euro-VI avgassrenseutstyr i busser med Euro III, IV og V dieselmotorer vil medføre lengre levetid for eldre busser, samtidig som at de lokalt helseskadelige avgassutslippene blir akseptable. Unibuss har vunnet anbud med ettermonterte Euro-VI rensesystemer i busser med Euro V-motorer og oppgir en kostnad på ca. 200 000 kroner/buss.

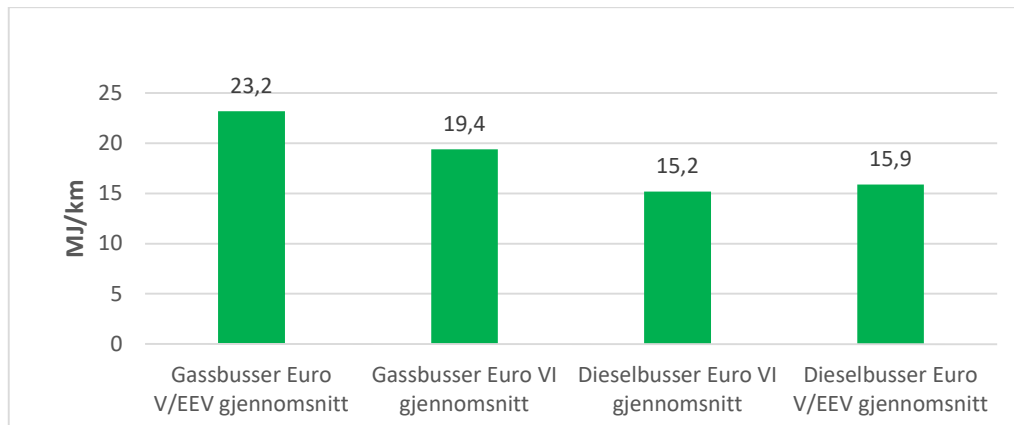


Figur 5.9: Avgassutslipp av CO₂ (g/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart (Hagman 2016).

Figur 5.9 viser at avgassutslippene av CO₂ fra nye gassbusser med Euro VI-motorer nå er på linje med eller marginalt lavere enn fra tilsvarende nye dieseldbusser.

Avgassutslippene av metan fra gassbusser har, frem til at Euro VI-gassmotorer ble introdusert, vært så høye at de har bidratt til en signifikant negativ klimapåvirkning (mer enn 1 g CH₄/km). De nye gassbussene med Euro VI-gassmotorer som er avgasstestet har dog vist seg å ha avgassutslipp av CH₄ som er mindre enn 0,1 g/km (Hagman 2016). Avgassutslipp av 0,1 g metan tilsvarer klimapåvirkningen av 2 g CO₂ og kan vurderes som ubetydelig.

Avgassutslippene av CO₂/km er tilnærmet de samme om dieseldbusser bruker fossil diesel eller forskjellige former for fornybare drivstoffer som passer for dieselmotorer. Avanserte dieseldrivstoffer som syntetisk diesel og HVO (se kap. 7) kan ha noe lavere innhold av karbon i forhold til energi og gir derfor ofte litt lavere avgassutslipp enn normal fossil raffinert dieselolje. Klimapåvirkningen av fornybare drivstoffer er noe helt annet enn avgassutslipp av CO₂. Klimapåvirkningen må, som fremgår i kap. 7, beregnes og analyseres i samsvar med gjeldende EU-regler og livsløpsvurderinger.



Figur 5.10: Energiforbruk (MJ/km) for busser med Euro VI-diesel- og gassmotorer og EEV-busser med Euro V-motorer ved testing i Braunschweig kjøresyklus med varmstart (Hagman 2016).

Figur 5.10 viser at busser med dieselmotorer generelt har lavere energiforbruk enn busser med gassmotorer. Energivirkningsgraden har blitt bedre med nye generasjoner av Euro VI-gassmotorer enn hva den tidligere var. Virkningsgraden er allikevel ved kjøring i virkelig trafikk fortsatt ca. 25 prosent høyere for busser med de nye gassmotorene sammenlignet med motorene i tilsvarende dieselbusser.

Dieselmotorer vurderes frem mot 2025 å kunne bli ca. 5 prosent mer energieffektive enn i dag blant annet takket være mulighetene til høyere forbrenningstemperaturer og mulighetene til effektivt å fjerne de dannede mengdene av NO_x ved hjelp av SCR.

Store dieselmotorer med sylindervolumer på 7-12 liter har blitt utviklet gjennom 100 år og representerer moden teknologi. Teknisk utvikling vil fortsette og forbedringer vil komme i små skritt i form av evolusjon. Effektiv SCR avgassrensing som kom med Euro VI-kravene, medførte merkostnader på rundt 60 000-100 000 kroner for en ny buss, sett i forhold til Euro V busser. For samfunnet er det forutsatt at merkostnaden mer enn godt nok blir kompensert av de lave avgassutslippene som rensesystemet gir. Produksjonen av dieselmotorer skjer i store serier, er rasjonell og kostnadene for forbrenningsmotorer antas frem til 2025 ligge på samme nivå som i 2017.

Euro VI gassmotorer for bruk av naturgass og biogass i busser er store dieselmotorer som er modifisert med ny sylindertopp, tennplugg, støkiometrisk forbrenning og trevegskatalysator. Store marine skipsmotorer med naturgass som drivstoff har i dag minst like god energivirkningsgrad som skipsmotorer med marine dieseloljer. En utvikling mot like energieffektive gassbusser som dieselbusser vil styrke gassbussenes konkurranseevne. Om noen produsenter vil satse på en slik utvikling er usikkert. I Norge er et moment som taler for å bruke gassbusser at de behøves for å få avsetning for biogass fra avfall og etablerte biogassanlegg.

En buss med Euro VI-gassmotor koster i 2017 ca. 10 prosent mer enn en tilsvarende dieselbuss. Det kan forventes at prisen for gassbusser vil fortsette å være minst 10 prosent høyere enn prisen for dieselbusser frem mot 2025.

Hybridbusser og ladbare hybridbusser med de kort omtalte energieffektive HCCI gassmotorene er en mulig men svært usikker fremtidig utvikling.

6 Hybrid fremdrift og hybridbusser

Hybridkjøretøy har hybrid fremdrift som i prinsipp innebærer at kjøretøyet ikke har en ensartet form for fremdrift. Hensikten med hybrid fremdrift er fremfor alt å redusere energiforbruket. Med mulighetene for ny og effektiv rensing av avgasser fra forbrenningsmotorer har formålet med å reduserte utslipp av lokalt forurensende avgasser fått underordnet betydning. Det finnes mange former for hybrid fremdrift. Noen hybridteknologier gir store besparelser av drivstoff mens andre avhengig av kjøremønster gir ubetydelig gevinst. Den vanligste formen for hybridkjøretøy (Hybrid Electric Vehicles, HEV) har fremdriftssystemer som utnytter forbrenningsmotorens beste egenskaper og kombinerer dem med de beste egenskapene ved elektrisk fremdrift.

Selv i de mest moderne forbrenningsmotorer forsvinner mer enn halvparten av energiinnholdet i drivstoffet som varmetap også ved en optimal belastning ved konstant turtall. Drivstofforbruket er størst ved start og når motoren er kald. Ved vekslende belastninger og varierende turtall i virkelig trafikk blir gjerne virkningsgraden i en forbrenningsmotor halvert i forhold til virkningsgraden ved optimal belastning og konstant turtall. De mest energieffektive hybridbilene sparer i blandet kjøring ca. 30 prosent drivstoff i forhold til om de har konvensjonell fremdrift med kun forbrenningsmotorer (Hagman 2012).

Elektrisk fremdrift fremstår i Norge som den mest klima- og miljøvennlige samt energieffektive driftsformen for busser. Utfordringene er at for elbusser som skal trafikkere lange bussruter er det nødvendig med store batteripakker eller hyppige oppladninger. Elektrisk fremdrift og batterier i kombinasjon med forbrenningsmotorer eller brenselceller kan være en alternativ løsning. For dieselbusser med hybrid fremdrift er energibesparelsene sterkt avhengig av kjøremønsteret og også av hvordan produsenten av hybridbussen har designet sitt hybridsystem. I bykjøring med mye start og stopp kan besparelsen av diesel bli opp til 30 prosent men ved landevegskjøring behøver det ikke å bli noen besparelse i det hele tatt.

Utfordringene med hybridbusser er kompliserte og kostbare tekniske løsninger med to motorer.

Ladbare hybridkjøretøy (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs) er kjøretøy som har både en forbrenningsmotor, elektrisk fremdrift og batterier, som kan lades fra strømnettet. Ladbare hybridbiler og ladbare hybridbusser er et trinn videre for hybride kjøretøy.

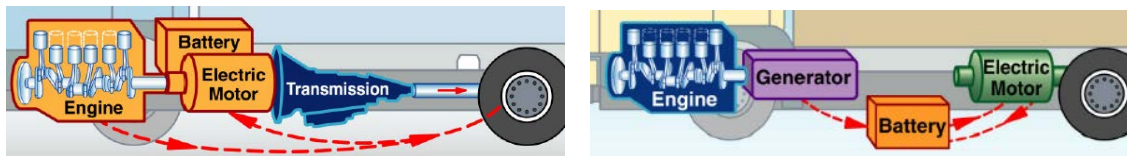
6.1 Kort historikk og teknologiutvikling

Toyota har siden 1997 solgt hybridbilen Prius. Toyota har etter hvert satset på hybrid fremdrift med bensinmotorer og elektriske fremdrift med energi fra batterier i de fleste av sine modeller.

I 2012 ble ladbare hybridbiler tilgjengelige som demonstrasjonsbiler, prototyper, forseriebiler og noen få modeller i kommersiell serieproduksjon. Mange forskjellige utførelser og svært ulike konsepter ble testet.

Ladbare hybridbiler er i 2017 tilgjengelige fra et stort og økende antall bilprodusenter. Ladbare hybridbiler kan brukes til lengre turer uten ladning, noe som betyr at elbilbrukernes "rekkeviddeangst" ikke er et problem. Den samme bilen kan brukes til både korte og lengre turer, spare drivstoff og kjøres helt uten avgassutslipp når den kjøres som en ren elbil. Ladbare hybridbiler er grunnet meget lave typegodkjenningsverdier på CO₂-utslipp og den norske CO₂-beskatningen på nye kjøretøy, meget konkurransedyktige i pris i forhold til litt større konvensjonelle bilmodeller av samme type. Teknologien er i rask utvikling fordi EUs krav til stadig lavere gjennomsnittlig CO₂-utslipp fra nye personbiler er i ferd med å bli så strenge at elektrifisering av en andel av bilene som selges tvinger seg fram.

Busser med hybrid fremdrift kom på markedet i USA og Canada i begynnelsen av 2000-tallet. I midten av 2000-tallet fantes det ca. 1000 hybridbusser fra forskjellige amerikanske produsenter i USA. Serie-hybridbusser ble vurdert som best egnet for bytrafikk og såkalte parallell-hybridbusser ble vurdert som best egnet for regional og kombinert langtransport, se figur 6.1.



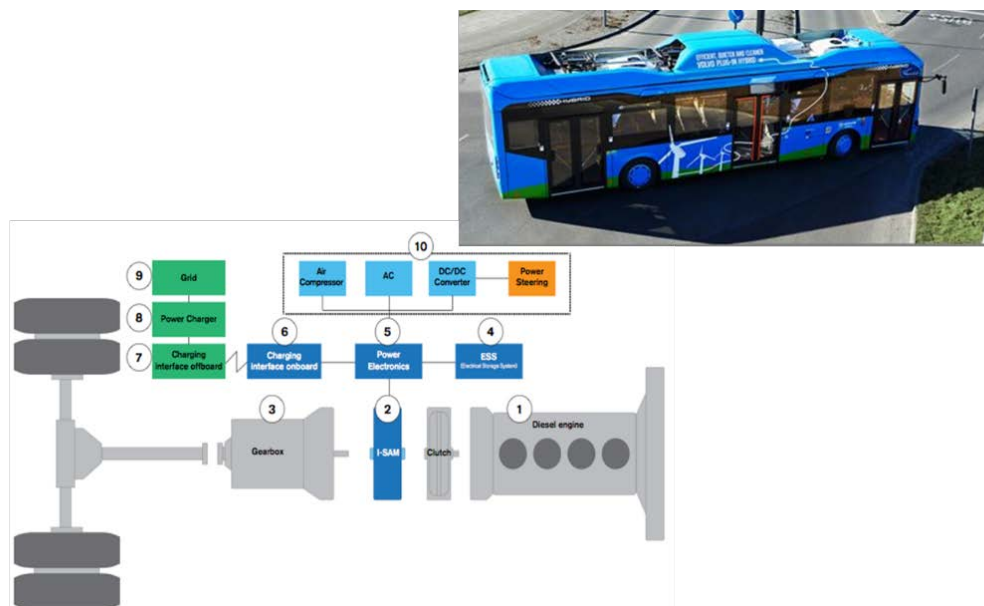
Figur 6.1: Parallell hybrid fremdrift av buss (til venstre) og seriehybrid fremdrift (til høyre). (Bilder: Southwest Research Institute).

Volvo begynte i begynnelsen av 2010-tallet å levere hybridbusser. I Norge kjører hybridbusser blant annet i Trondheim, Oslo og Tromsø. Figur 6.2 viser Volvos design for parallell fremdrift av dieseldbusser.



Figur 6.2: Volvos design for parallell hybrid fremdrift av buss. (Bilde: Volvo).

Ladbare hybridbusser ble en konsekvens av at ytelsen og levetiden blir bedre samt at kostnadene for batterier synker raskere enn hva som ble antatt på 2000-tallet.



Figur 6.3: Volvos design for ladbare hybridbusser. (Bilde: Volvo).

Volvos strategi for bussdrift er fra 2010 erklært å være elektrifisering. Først var det hybridbusser, så kom ladbare hybridbusser og etterhvert også rene elbusser. I en pressemelding 30. januar 2017 oppgir Volvo at de har solgt til sammen 3 000 hybridbusser, ladbare hybridbusser og elbusser i 22 land.

Våren 2017 fikk Volvo sin foreløpige største bestilling på ladbare hybridbusser. Til byene Charleroi og Namur i Belgia ble det i februar 2017 bestilt 90 ladbare el-hybridbusser. El-hybridbussene skal hurtiglades ved endestasjonene hvor det vil bli satt opp 12 hurtigladestasjoner. At flere leverandører av busser og ladeinfrastruktur bruker felles løsninger vil i henhold til operatøren TEC forenkle overgangen til elektrifisert busstrafikk. TEC-gruppen har i den begiske byen Namur 11 Volvo ladebare hybridbusser med tilhørende ladestasjoner. Med ytterligere 35 nye ladebare hybridbusser kommer 90 prosent av byens kollektivtrafikk til å være elektrifisert. Hybridtekniken er i henhold til TEC, det beste kompromisset mellom driftskrav og krav på energieffektivitet for bybusser i 2017 (Volvo 2017).



Figur 6.4: En av Volvos ladbare hybridbusser i Belgia. (Bilde: Volvo).

6.2 Økonomi og fremtid

Hybridbusser har to kraftkilder, en elmotor og en forbrenningsmotor. Siemens Norge og Volvo Norge har i en egen analyse (Siemens 2016) vurdert hvordan Volvos hybridbusser og Siemens hurtigladning ved endestasjonene i Oslo kan konkurrere med dieselbasert bussdrift og med elbusser. I analysen av de økonomiske konsekvensene er det forutsatt 10 års drift inklusive service og vedlikehold, en kalkulasjonsrente på 5 prosent og en strømpris på 1 kr/kWh. Ladehybridbusser med et relativt lite batteri som kan lades på endestasjoner, og en dieselmotor drevet av biodiesel kom i beregningene ut som den mest lønnsomme løsningen.

Løsningene med ladehybridbusser og elbusser krever at det investeres i bygging av rundt 80 ladestasjoner med en pantograf som senkes ned over en takmontert kontakt i bussen og hurtiglader den i løpet av noen få minutter. De finansielle kostnadene til disse ladestasjonene er inkludert i regnestykket.

Grunnen til at Volvos ladbare hybridbusser og elbusser, som er dyrere enn dieselbusser, kommer så godt ut, er at strøm er billig i forhold til dieseldrivstoff og at energivirkningsgraden i et batterielektrisk system er mye bedre enn i en buss med dieselmotor. Kostnaden til elektrisk energi er i regnestykkene under 20 prosent av kostnadene for dieseldrivstoff og dette får stor effekt over 10 år. Kapitalkostnadene for de dyrere ladehybridbussene og elbussene blir også lave når nedskrivningstiden settes til 10 år. Siden 2010 har Volvo jobbet med hybridløsninger, men har nå også levert rene elbusser med hurtigladning til Stockholm, Göteborg og Hamburg.

Volvos elhybridbusser og ABBs hurtigladerer baseres på et felles grensesnitt, OppCharge, som innebærer at ladestasjonene også kan brukes av elektriske busser fra andre produsenter. OppCharge er på veg til å innføres som et felles grensesnitt i mer enn 12 ulike land.

Volvo ladbare hybridbusser er relativt støysvake og blir på en rute på 10 km designet for elektrisk drift på rundt 70 prosent av kjøretiden. Laging av batteriene tar tre til fire minutter ved hjelp av hurtigladning.

Ved kjøring av en bybussrute på 10 km vil Volvos ladbare hybridbusser i henhold til Volvo typisk (Volvo 2017):

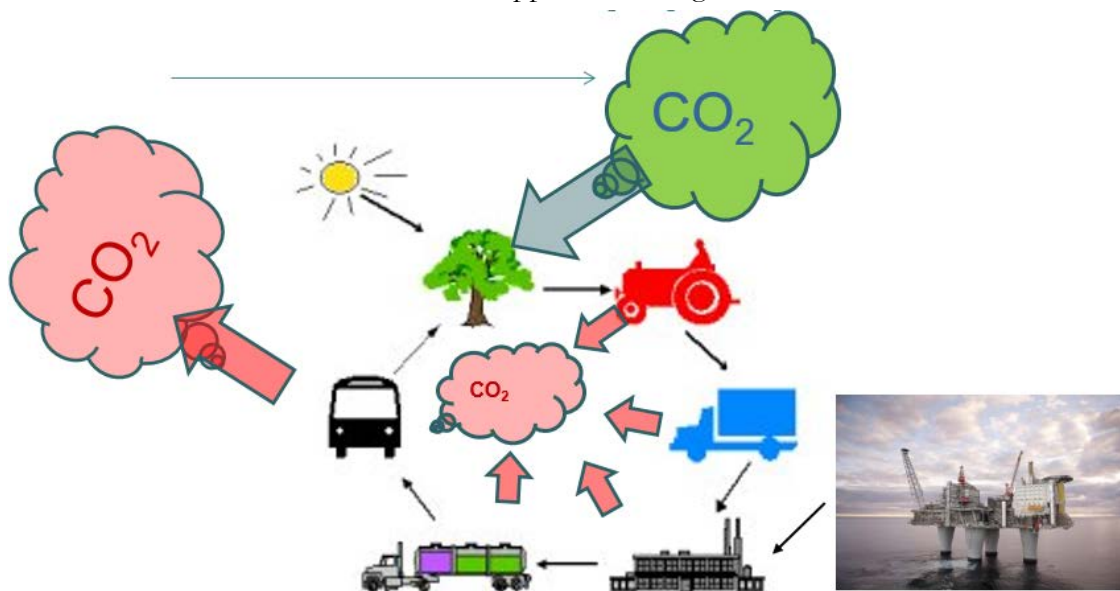
- Være utstyrt med en relativt sett liten mengde batterier og en relativt sett liten dieselmotor.
- Ha batterier som hurtiglades på under tre til fire minutter ved endestasjonene.
- Drives med elektrisk energi på ca. 70 prosent av ruten.
- Bruke 60 prosent mindre energi sammenlignet med tilsvarende konvensjonelle dieselbusser med Euro VI-motorer.
- Ha en klimapåvirkning (CO₂-ekv) som avhengig av type dieseldrivstoff og fornybar elektrisk energi kunne være 75–90 prosent lavere enn for konvensjonelle dieselbusser.

Frem mot 2025 kan det forventes flere former for kreative hybridløsninger for bybusser. Disse hybridbussene vil i større eller mindre grad bidra til klimavennlig transport. Små forbrenningsmotorer som bruker fornybare drivstoffer vil i et fremdriftssystem med ladbar hybriddrift konkurrere med rene elbusser. Driftsikkerhet, modenhet og samlede kostnader vil være faktorer som avgjør hvor konkurransedyktige hybridbusser og ladbare hybridbusser blir.

7 Biodrivstoff

7.1 Biodrivstoffer og klimapåvirkning

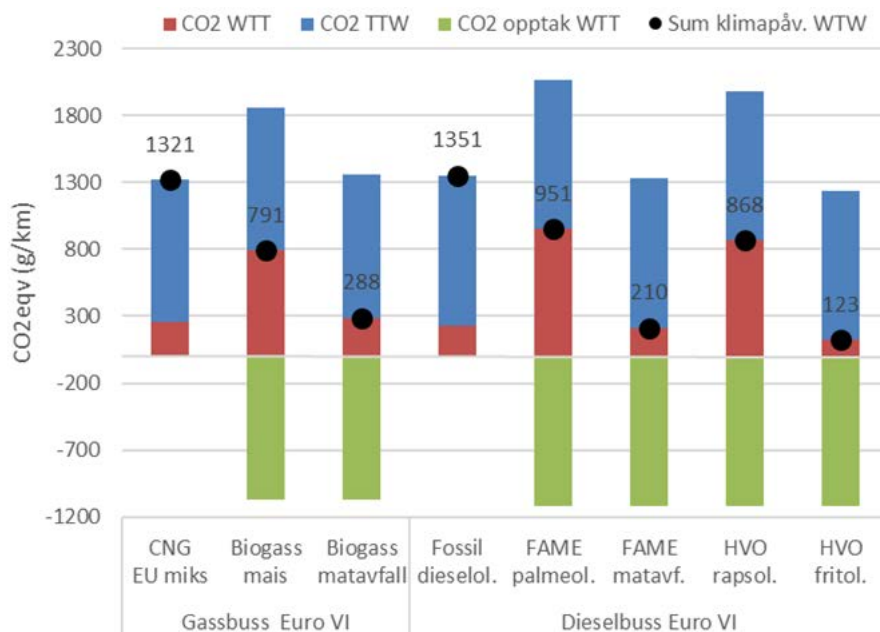
Det er et ønske om å kunne bruke drivstoffer som i et livsløpsperspektiv ikke bidrar eller i mindre grad bidrar til global oppvarming, som alternativ til diesel og bensin fra fossil mineralolje og naturgass fra fossile kilder. Et populært navn på slike drivstoffer er biodrivstoffer. Å bruke definisjonen "Fornybare drivstoffer som oppfyller EUs og Miljødirektoratets til enhver tid gjeldende bærekraftkriterier" gjør det mulig spesifisere hva vi krever når det gjelder klimapåvirkning fra et biodrivstoff. Klimapåvirkningen fra bruk av biodrivstoffer må vurderes i et livsløpsperspektiv. I utgangspunktet er utslippene av CO₂ ved bruk av biodrivstoff like store som opptakene, se figur 7.1.



Figur 7.1: Utslipp og opptak av CO₂ i et livsløpsperspektiv ved bruk av biodrivstoff. Til forskjell vil bruk av fossile drivstoff fra nordsjøolje kun gi utslipp. (Bilde: Hagman).

Fra figuren fremgår at både biodrivstoff og fossile drivstoff i et livsløpsperspektiv bidrar med utslipp knyttet til blant annet transport og produksjon/raffinering av drivstoffet. Utslippene og klimapåvirkningen fra kilden til kjøretøyets tank (WTT, Well to Tank) viser hvor stor klimapåvirkningen er fra forskjellige biodrivstoffer.

Figur 7.2 viser den totale klimapåvirkningen et livsløpsperspektiv (WTW, Well to Wheel) fra gass- og dieselbusser med Euro VI-motorer ved bykjøring og bruk av utvalgte fossile og fornybare drivstoffer. Avgassutslippene av CO₂ (TTW, Tank to Wheel) er hentet fra busser, Euro VI og avgassutslipp (Hagman 2016). Klimapåvirkningen (utslipp av CO₂-ekv. WTT) for de utvalgte drivstoffene er hentet fra JRC-rapporten "Well-To-Tank Report Version 4.a". CO₂-ekv. er summen av alle utslipp som påvirker klimaet, der andre utslippskomponenter enn CO₂ multipliseres med en faktor som tilsvarer hvor mye kraftigere de virker på klimaet enn det CO₂ gjør.



Figur 7.2: Klimapåvirkningen - utslipp og opptak i et livsløpsperspektiv, WTW, Well to Wheel fra gass- og dieselbuss med Euro VI-motorer ved bykjøring og bruk av utvalgte fossile og fornybare drivstoffer. De grønne stolpene trekkes fra summen av de blå og røde når netto klimapåvirkning beregnes (svarte sirkler). (Bilde: Hagman 2016).

Av drivstoffalternativene i figur 7.2 gir HVO fra fityrolje den laveste klimapåvirkningen (WTW) med 123 gram CO₂-ekv.

Drivstoffer basert på blant annet avfall og brukt plast, vil sammen med drivstoffer fra fornybar energi, gi klimagevinster i forhold til bruk av drivstoffer med fossil opprinnelse.

Drivstoffer til forbrenningsmotorer trenger kun grunnstoffene "H" (hydrogen) og "C" (karbon) samt eventuelt energi som innsatsfaktorer. "C" finnes i biomasse, biologisk avfall, plast og kan sammen med "H" og tilført energi raffineres til drivstoffer med minst like gode egenskaper som fossil bensin og diesel. Med gode egenskaper menes her at de egner seg for moderne forbrenningsmotorer. Avfall og naturlig avkastning fra skog har i de nordiske land et potensial (som råstoff) for å erstatte fossile drivstoffer. Utfordringene med biodrivstoff fra nordisk skog ser ut å bli implementering i industriell skala og økonomi.

En utfordring er at mulighetene for høsting og naturlig avkastning fra naturen er begrensede. En konsekvens av begrenset produksjonskapasitet er at kostnadene og prisen for biodrivstoffer med liten eller null klimapåvirkning blir høye.

Biologiske oljer fra frø og frukter er nesten ferdige drivstoffer til forbrenningsmotorer. Dyrkede frukter og oljer fra oljevekster har stor næringsverdi som mat og kan fortrenge matproduksjon. Avskoging som følge av matmangel og nydyrking kan medføre at bruk av tilsynelatende klimanøytrale drivstoffer får en negativ klimaeffekt (Indirekte effekter, ILUC). Avskoging kan bli en følgeårsak av at biodrivstoffenes råvarer blir dyrket på arealer som tidligere ble brukt til matproduksjon, og matproduksjonen blir flyttet til andre tidligere ubrukte arealer som for eksempel skog.

7.1.1 HVO

Biodrivstoffer som er direkte blandbare og kompatible med eksisterende standarder for diesel og bensin er attraktive. Markedet er beredt til å betale en merkostnad for å redusere klimapåvirkningen ved transport, dersom politikken legger til rette for det gjennom avgiftslettelser eller krav til omsetning av visse typer drivstoff.

Drivstoffet HVO (Hydrogenerert Vegetabilsk Olje), er spesielt attraktivt da det kan ha utmerkede egenskaper for forbrenning i konvensjonelle dieselmotorer. HVO kan samtidig ha et potensial for lav klimapåvirkning i en livsløpsperspektiv. Klimapåvirkningen vil være avhengig av hvilke råvare som benyttes i produksjonen (Weber et al. 2016).

Utfordringene ved HVO er å sikre levering, mengde, pris og den sertifiserte klimapåvirkningen. I og med at det er rensesystemet i Euro VI motorer som er avgjørende for utslippene av PM og NO_x, forventes det at utslippet av lokalt forurensende avgasser vil være på samme lave nivå for HVO som ved bruk av fossil diesel i Euro VI-motorer.

Importen av HVO til Norge startet i 2015. Det finske oljeselskapet Neste er den største produsenten av HVO i verden, men HVO produseres i dag også av svenske Preem, UPM i Finland, Total i Frankrike og EMI i Italia.

Neste produserer HVO av avfall og palmeolje (med økt fokus på avfallsoljer på bekostning av tidligere brukt palmeolje). Preem og UPM produserer HVO basert på tallolje (biprodukt fra furutrær).

Bruk av HVO vil føre til redusert klimapåvirkning med 36-91 prosent avhengig av den beregnede WTT-påvirkningen. Diesel med høy andel HVO selges blant annet av Shell og St1.

7.1.2 Syntetisk diesel

Syntetisk diesel er for dieselmotorer et utmerket og lignende produkt som HVO. Syntetisk diesel er helt og fullt blandbart og kompatibelt med fossil raffinert diesel. Syntetisk diesel kan lages av metan og av stoffer som inneholder karbon og hydrogen, blant annet kull og biomasse som forgasses. Fischer-Tropsch er en kjemisk prosess for produksjon av dieseldrivstoff fra syntesegass (fra kull) som har vært kjent siden 1920-tallet. Ved hjelp av katalytiske nyvinninger har prosessen blitt forbedret og effektivisert. Med tilgang på metan i form av "stranded natural gas" (gass som ikke kan eksporteres i rørledninger) blir syntetisk diesel i 2017 produsert til konkurransedyktig pris blant annet i Qatar. Fischer-Tropsch prosessen er energikrevende og med naturgass som innsatsfaktor gir bruk av syntetisk diesel en noe større negativ klimapåvirkning enn fossil diesel fra mineralolje.

Flere initiativ finnes for å produsere syntetisk diesel fra biomasse blant annet fra industriell CO₂ og fra nordiske skogprodukter. Teknologisk har det vist seg at dette fungerer i pilot- og småskala anlegg. Utfordringen er knyttet til de store investeringene som er nødvendige for å realisere en storskala produksjon og særlig til den økonomiske lønnsomheten.

7.1.3 Etanol

Etanol i form av ED95 er et dieseldrivstoff som brukes i Scania's Etanol-dieselmotorer. Etanol lages ved hjelp av fermentering av sukkerkomponentene i plantemateriale. Etanol basert på kornprodukter, mais, sukkerrør eller sukkerbeter karakteriseres som et første generasjons biodrivstoff, og gir relativt liten reduksjon av klimapåvirkningen sammenlignet med fossile drivstoffer.

Etanol er et av verdens mest produserte biodrivstoff og brukes til innblanding i bensin. Etanol basert på lignocellulose er under utvikling og vil kunne bidra til større reduksjon av klimapåvirkningen enn første generasjons etanol.

7.1.4 FAME og RME

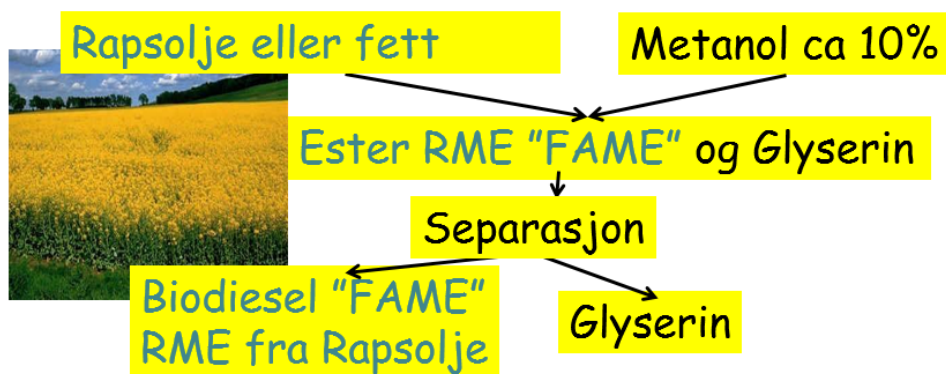
FAME produseres av planteoljer fra oljevekster som raps, solsikke, soya og palmeolje. I tillegg kan den lages basert på animalsk- eller vegetabilsk avfallsoljer. Råvarens egenskaper,

vil til dels gjenspeile seg i sluttproduktet. RME (RapsMetylEster), basert på raps er mest vanlig i Europa.

RME (RapsoljeMetylEster) er et dieseldrivstoff som i lave konsentrasjoner kan blandes med fossil diesel uten justeringer eller endringer i dieselmotorene til lette og tunge kjøretøy. Norsk autodiesel har i 2017 som regel en innblanding på 7 prosent RME (B7).

Bruk av høyinnblanding og i noen tilfeller også 100 prosent RME i motorer til tunge kjøretøy er godkjent av de fleste produsenter av tunge kjøretøy, men høyinnblanding krever spesielt vedlikehold og service. Bruk av RME vil føre til WTW-reduksjoner på mellom 30-85 prosent avhengig av den beregnede WTT-påvirkningen

Produksjon av RME er en enkel prosess og består av å blande rapsolje med metanol. Resultatet blir en metylester og glyserin, se figur 7.3. Svenske Perstorp, som blant annet har produksjon i Fredrikstad er en av produsentene av RME.



Figur 7.3: Biodiesel, RME er et enkelt biodrivstoff som består av rapsolje som er blandet med metanol. (Bilde: Hagman).

7.1.5 Biogass

Gass i form av biometan, som i Norge populært kalles biogass, er godt alternativ for å ta vare på energiressursene i matavfall, kloakk og annet biologisk avfall som egner seg for gjæring. Utfordringene er bruk av trykktanker i bilene, klimapåvirkning i form av metanlekkasje og mindre effektiv motorteknologi enn med dieselmotorprinsippet.

Biogass bestående av CH₄ og CO₂ må oppgraderes for å kunne benyttes i et kjøretøy.

Busser som bruker biogass fra dyrket mais er her beregnet å bidra med 40 prosent lavere klimapåvirkning sammenlignet med busser som bruker naturgass (CNG, komprimert naturgass, EU miks). Busser som bruker biogass (biometan) fra kommunalt matavfall har, i JRCs beregninger, 78 prosent lavere klimapåvirkning sammenlignet med om de bruker naturgass (CNG, EU miks).

7.2 Regelverket for fornybare drivstoff

7.2.1 EUs direktiver

EU direktiv 2009/28/EC om energi fra fornybare kilder (RED direktivet) fremmet kravet om at innen 2020 skal minst 10 prosent av transportsektorens bruk av drivstoff være fornybare biodrivstoff eller andre fornybare drivstofftyper (European Parliament 2009). Elektrifisering av kjøretøy kan medregnes i 10 prosent-målet. Direktivet har ført til økt forskning på og utvikling av eksisterende og nye typer biodrivstoffer.

Det er i direktivet innført kriterier for hvilke typer drivstoff som ansees som fornybare og bærekraftige. Det er satt krav til reduksjon av klimagassutslipp (GHG, Green-House-Gas) og bevaring av biodiversitet som må tilfredsstilles for at drivstoffet skal ansees som fornybart. Dersom kravene ikke tilfredsstilles, kan drivstoffet ikke telles med, når en beregner i hvilken grad de nasjonale energimålene i direktivet er oppfylt.

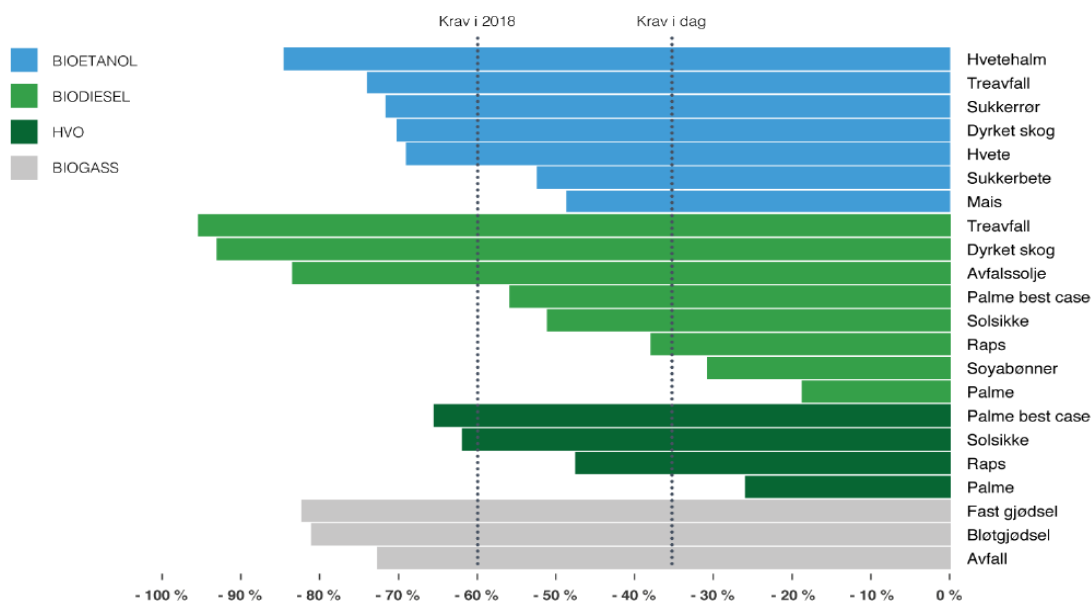
For å ansees som bærekraftig må råmaterialene til biodrivstoffet ikke stamme fra urskog, verneverdige naturområder eller områder med stor biodiversitet. Våtmarksområder og myrområder kan i enkelte tilfeller benyttes, men kun om bestemte kriterier er tilfredsstilt.

Kravet til klimagassutslippsreduksjon er på 35 prosent i forhold til konvensjonelle fossile drivstoff. For biodrivstoff levert fra *eksisterende* produksjonsanlegg er det krav om 50 prosent klimagassutslippsreduksjon fra 1. januar 2018. For *nye produksjonsanlegg* er kravet satt til 60 prosent reduksjon. Kravene tilsier at mange førstegenerasjons drivstoff ikke lenger vil kunne godkjennes som et fornybart drivstoff. Avanserte biodrivstoff er derfor nå under utvikling for å kunne tilfredsstille kravene i direktivet. For definisjon av type biodrivstoff, se begrepsforklaringen i kapittel 1.

Klimagassutslippsreduksjonen skal beregnes med utgangspunkt i følgende punkter (Lendle og Schaus 2010):

1. Utvinning og produksjon/dyrking av råmaterialet
2. Arealbruksendringer
3. Behandling av råmaterialet
4. Transport og distribusjon

Klimavirkningen av et biodrivstoff påvirkes av råvaren og produksjonsprosessen, se figur 7.4.



Figur 7.4: Klimagassreduksjon (GHG prosent) gjennom energikjeden for ulike biodrivstoff (Melby et al. 2017).

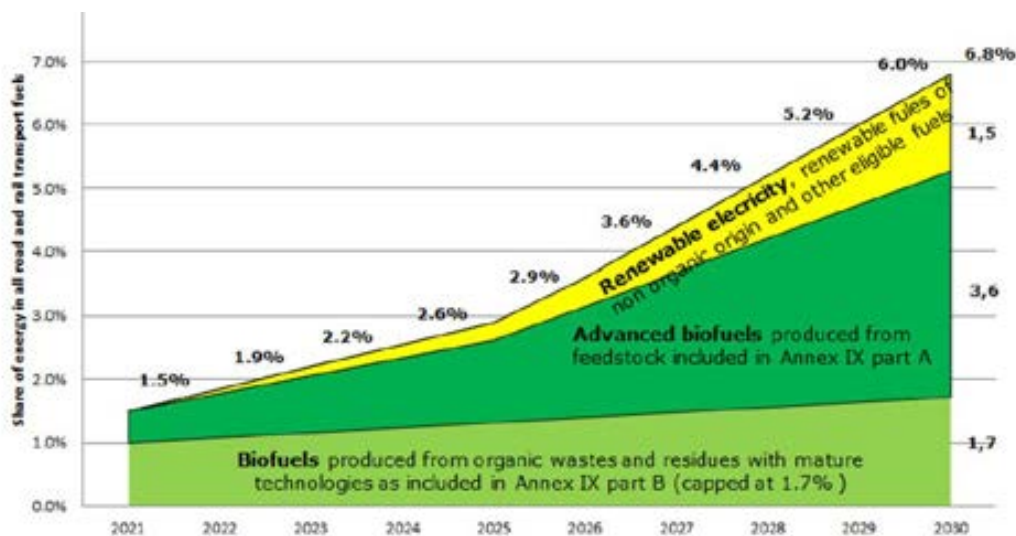
ILUC (Indirect Land Use Change) direktivet (2015/1513/EU), som presiserer EU direktiv 2009/28/EC) blir implementert i september 2017 i EU. Direktivet vil kunne endre den beregnede klimagassutslippsreduksjonen til flere typer biodrivstoff. Biodrivstoff som etter gjeldende beregningsmetodikk tilfredsstiller utslippskravet, vil ikke nødvendigvis gjøre dette når det tas hensyn til potensielle endringer i arealbruken (nye arealer tas i bruk til matproduksjon, fordi eksisterende arealer heller benyttes til dyrking av råvarer til

biodrivstoff) som følge av uttaket av råvaren. Målsettingen med direktivet var blant annet å redusere konkurransen med mat- og forprødukt.

Maksimalt 7 prosentpoeng (av EUs 10 prosent-mål for 2020) av biodrivstoffet skal komme fra biodrivstoff produsert av korn og andre stivelsesrike-, sukker- eller oljerike planter. Det enkelte land har mulighet til å sette taket lavere. Det ble også oppfordret å lage nasjonale mål om at minst 0,5 prosentpoeng av måltallet skulle bestå av avanserte biodrivstoff. EU landene ønsket også å lage en felles liste over hvilke drivstofftyper som skulle godkjennes med hensyn på dobbelttelling (noen typer drivstoff, som for eksempel avanserte biodrivstoff telles dobbelt med hensyn på måltallet på 10 prosent for å stimulere til utvikling av disse).

EU arbeider for tiden med en revisjon (EU COM (2016) 767) av fornybarhetsdirektivet, det nye direktivet (RED II) skal blant annet inneholde måltall for 2030. *Forslagene fremmet* er blant annet:

- Biodrivstoff skal ha minst 70 GHG reduksjon i forhold til konvensjonelle drivstoff.
- Utfasing i bruken av mat- og fôrbaserte biodrivstoff fra maks 7 prosentpoeng i 2021 til maks 3,8 prosentpoeng i 2030.
- Andelen avanserte biodrivstoff skal være på 0,5 prosentpoeng i 2021 og 3,6 prosentpoeng i 2030.
- Maks 1,7 prosentpoeng av målet bør være biodrivstoff basert på matoljer og dyrefett produsert ved hjelp av modne teknologier, inkludert i Annex IX, del B i ILUC direktivet.



Figur 7.5: Forslag til mål for fornybare drivstoff frem mot 2030. Annex IX - henviser til ILUC direktivet. (Kilde: EU).

De avanserte biodrivstoffene som det henvises til i figur 7.5 er blant annet drivstoff basert på alger, biomasse fra skogavfall mm. Det er i EU foreslått begrensninger på bruken av biodrivstoff basert på brukt matolje og dyrefett til maks 1,7 prosentpoeng (dette kan også omfatte HVO, avhengig av råvare brukt i produksjonen). Muligens på grunn av begrensninger i tilgang, og at det har vært eksempler på bedrag (virgin oil – har blitt solgt som brukt matolje kategorisert for dobbelttelling).

I følge forslagene til RED II direktivet, kan andelen fornybare drivstoff i 2030 være som følger:

- A. Biodrivstoff basert på matbaserte råvarer, maks 3,8 prosent
- B. Biodrivstoff basert på brukt matoljer eller dyrefett (Annex IX, del B, I ILUC direktivet), maks 1,7 prosent
- C. Avansert biodrivstoff (Annex IX, del A), min 3,6 prosent
- D. Fornybar elektrisitet, elektrodrivstoff, min 1,5 prosent

B+C+D skal være minimum 6,8 prosent.

Den stadige diskusjonen om biodrivstoffs bærekraftighet, har ført til at bruken og produksjonen av biodrivstoff på det europeiske markedet til dels har stagnert. Først var det store diskusjoner rundt innføringen av ILUC direktivet og nå ytterligere diskusjoner rundt oppdateringen av RED I direktivet. Dette har ført til stor usikkerhet på markedet, noe som medfører at de færreste av biodrivstoffprodusentene ønsker å gjøre store nye investeringer for EU har klart å bestemme seg for noen langsiktige mål.

7.2.2 Nasjonale mål og forpliktelser for bruk av fornybare drivstoff i transportsektoren

Stortingsmelding om Norsk klimapolitikk (2011-2012) informerer om Norges forpliktelser som følge av Fornybarhetsdirektivet. Omsetningskravet for samlet mengde biodrivstoff til vegtrafikken er på 7 prosent fra 1. januar 2017 (minimum 1,5 prosentpoeng avansert biodrivstoff). I 2020 vil omsetningskravet for biodrivstoff i Norge bli satt til 20 prosent, hvorav 8 prosentpoeng skal være avanserte biodrivstoff (Finansdepartementet 2016). I og med at avanserte biodrivstoff fortsatt skal kunne dobbelt-telles, vil det reelle kravet til avanserte biodrivstoff være på 4 prosentpoeng i 2020.

I utkastet til konsekvensutredning for 20 prosent målet kommer Miljødirektoratet (2017c) med forslag om å justere listen over hvilke typer drivstoffer som skal kunne telles som avanserte biodrivstoff. Dette for at definisjonen skal sammenfalle mer med EUs forslag i RED II. Det vil si at avanserte drivstoff vil være drivstoff basert på råvarer inkludert i Annex IX, del A (se figur 7.5). Det vil si at drivstoff basert på avfall fra matolje (UCO) og animalsk fett på sikt muligens ikke vil kunne telle som et avansert biodrivstoff.

I tillegg satses det aktivt på elektriske kjøretøy og uttesting av hydrogenkjøretøy og at Norge skal bidra til utviklingen av 2. generasjons biodrivstoff. I tillegg til kravene til fornybarhet må også internasjonale og nasjonale forpliktelser i forhold til lokal forurensning (partikler og nitrogenoksider) tilfredsstilles.

Etter produktforskriften er de som omsetter drivstoff i Norge i dag pålagt å sørge for at minst 5,5 volumprosent av drivstoffet solgt til vegtrafikken består av biodrivstoff (7 prosent i 2017 og forslag om 20 prosent i 2020). Fra oktober 2015 fikk man fritak for vegbruksavgiften på biodrivstoff som ble solgt utover omsetningskravet (Finansdepartementet 2015). Denne avgiftsreduksjonen ble innført for å gi et insentiv til salg av biodrivstoff utover hva som er pålagt. I Miljødirektoratets (2017c) utkast til konsekvensutredning er det foreslått at denne avgiftsreduksjonen på sikt kun skal gjelde for avansert biodrivstoff.

Som en følge av drivstoffkvalitetskriteriene (EU direktiv 2009/30/EF) og påfølgende endringer i produktforskriften, er forhandlere av drivstoff pålagt en årlig rapportering (31. mars) til nasjonale myndigheter. De som selger biodrivstoff i Norge må dokumentere at drivstoffet oppfyller bærekraftskriteriene. Denne rapporteringen/dokumentasjonen skal blant annet omfatte solgt volum etter type drivstoff, hvor den er kjøpt/opprinnelsessted,

overholdelse av arealbrukskriteriene og samlet klimagassutslipp per energienhet i et livsløpsperspektiv. Forhandlere av drivstoff kan benytte drivstoff som er sertifisert via EUs sertifiseringsordninger. Dokumentasjonen skal gjennomgå en ekstern kvalitetssikring.

Biodrivstoff som er produsert av lignocellulose, cellulose som ikke er næringsmiddel og avfall og rester (fra jordbruk, akvakultur, fiskeri, skogbruk og produksjonsprosesser) kvalifiserer for *dobbelttelling* når det gjelder oppfylling av omsetningskravet (§3-4 i produktforskriften) (Miljødirektoratet 2013). Biodrivstoff og flytende biobrensel produsert av *avfall og rester* trenger bare å oppfylle kravet til reduksjon av klimagassutslipp (§3-5 i produktforskriften), og *ikke* arealbrukskriteriene. Rester fra jordbruk, akvakultur, fiskeri og skogbruk må derimot oppfylle arealkriteriene.

7.3 Bruk og tilgang på biodrivstoff

7.3.1 Dagens bruk og fremtidig behov i Norge

I 2015 ble det solgt 4,17 mrd. liter autodiesel og bensin i Norge (SSB 2016), og det ble tilsatt 190 mill. liter biodrivstoff i bensin/diesel. I 2015 var innblandingen av biodrivstoff totalt sett på rundt 4,6 prosent (SSB 2016), i autodieselen alene var innblandingen på 5,7 prosent.

I Norge økte bruken av biodrivstoffer kraftig fra 2015 til 2016. Foreløpige tall innhentet av Miljødirektoratet (2017c) indikerer at det ble omsatt rundt 400 mill. liter biodiesel og rundt 63 mill. liter bioetanol i 2016. Dette tilsvarer i volum omtrent 10 prosent av omsatt drivstoff i transportsektoren og med dobbelttelling for avansert biodrivstoff inkludert utgjør dette en biodrivstoffandel på rundt 13 prosent i 2016 (Miljødirektoratet 2017c). Figur 7.6 viser forholdene i EU-28 i 2014.

Sverige er det landet i Europa med høyest andel bruk av biodrivstoff innenfor busstransporten. 75 prosent av drivstofforbruket til bussparken var dekket av biodrivstoff (Transportforetøgen 2016), hvorav 54 prosent var flytende biodrivstoff og 21 prosent var biogass.

Rundt 90 prosent av biodrivstoffet brukt i Norge er forskjellige former for "biodiesel", det resterende er hovedsakelig etanol. Kun rundt en prosent av biodrivstoffet brukt i Norge er produsert her, resten er i all hovedsak importert fra EU (Ibenholt og Skjelvik 2016). Norge importerer hovedsakelig fra Tyskland (60 prosent), Frankrike (11 prosent), Ukraina og Litauen. Rundt 85 prosent av biodieselen i Norge (i 2015) er basert på raps og rapskake, resten er i stor grad basert på mais (6 prosent), soya og sukkerroer (Miljødirektoratet 2016). Biodrivstoffet som benyttes i dag er i hovedsak første generasjons biodrivstoff.

I grunnlagsdokumentet til NTP 2018-2029 (Avinor et al. 2016) beregnet transportetatene at 1,7 mrd. liter fossilt drivstoff årlig bør erstattes med biodrivstoff innen 2030. I og med at overgangen til elektrisk fremdrift av kjøretøyene har gått raskere enn forventet, vil behovet for biodrivstoff bli mindre enn forutsatt av transportetatene.

Stortingets (Finansdepartementet 2016) vedtak om et omsetningskrav på 20 prosent biodrivstoff i 2020. Dette vil tilsvarer et behov for rundt 650 mill. liter biodrivstoff i 2020 (Miljødirektoratet 2017a, 2017b). Beregningene fra Miljødirektoratet (2017b, 2017c) tilsier en økning (utover behovet ved et omsetningskrav på 7 prosent) på 390 mill. liter konvensjonelt biodrivstoff, av dette vil behovet for avanserte biodrivstoff være på minimum 130 mill. liter i året, se tabell 7.1.

Tabell 7.1: Miljødirektoratets estimering av behovet for biodrivstoff i 2020, gitt at omsetningskravet økes til 20 prosent. To alternative veger for å nå målet (alt 1 og alt 2). (Miljødirektoratet 2017c).

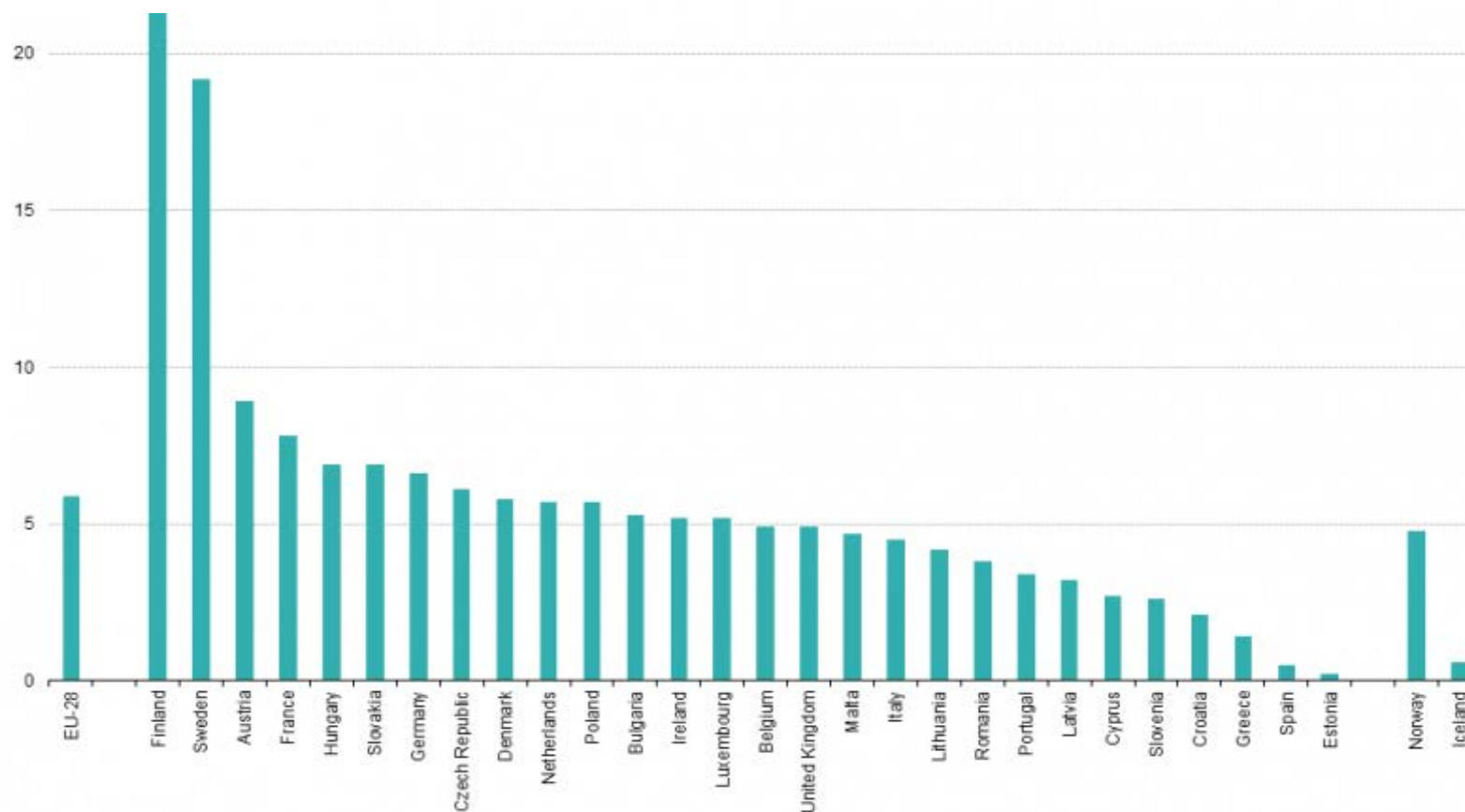
	Konvensjonelt biodrivstoff (mill. liter)	Avansert biodrivstoff (mill. liter)	Totalt (mill. liter)
Referansenivå (7 prosent krav)	220	30	250
Alt. 1 (20 prosent omsetningskrav)	263	130	393
Alt. 2 (20 prosent omsetningskrav)	-	261	261
Totalt behov i 2020			
Alt. 1+ ref	483	160	643
Alt. 2+ ref	220	291	511

Referansenivået omfatter behovet for biodrivstoff i 2020 gitt at 7 prosent omsetningskravet opprettholdes med en andel avansert biodrivstoff på 0,5 prosentpoeng (samt forventet innfasing av el- og hybridteknologi i kjøretøyparken + 300 GWh biogass).

Alternativ 1 er merforbruket i tillegg til referansenivået gitt omsetningskrav på 20 prosent i 2020. Og at 12 prosentpoeng skal bestå av konvensjonelle biodrivstoff, og 4 prosent-prosentpoeng av avansert biodrivstoff.

Alternativ 2 er merforbruket i tillegg til referansenivået gitt omsetningskrav på 20 prosent i 2020. Og en økt innfasing av avanserte biodrivstoffer ut over minstekravet.

Andel
fornybar energi
inkl. dobbelttelling (prosent)



Figur 7.6: Andel fornybar energi (prosent) av transportsektorens drivstofforbruk 2014 (inkl dobbelttelling). (Kilde: Eurostat).

7.3.2 Potensial for norsk produksjon av avansert biodrivstoff basert på avfall fra skog

I forbindelse med økte omsetningskrav for biodrivstoff og økt fokus på bruk av avanserte biodrivstoff, har bruk av skogprodukter som råvarer til biodrivstoff blitt mye diskutert.

Norge har en skogsindustri som til dels sliter økonomisk, og den årlige tilveksten av skogen er større enn uttaket. Dette har fått flere til å vurdere muligheten for å produsere høykvalitets biodrivstoff i Norge. Den potensielle tilgangen på råvarer i form av biomasse fra norsk skog er vurdert blant annet av Miljødirektoratet.

I 2015 brukte transportsektoren rundt 57 TWh (SSB) energi. Rundt 105 GWh av dette var i form av biogass (SSB). I følge Miljødirektoratet (2015) er det et *energipotensial på opp mot 30 TWh* ved bruk av norsk biomasse innen 2030. Biomasse brukt til treprodukter, ved og i dagens papp- og papirproduksjon er da forutsatt videreført som i dag. Alt uttak av "kvalitetsskog" skal fortsatt brukes som i dag. Potensialet er hovedsakelig tenkt basert på:

- Grener og toppler (GROT)
- Massevirke
- Primæravfall fra sagtømmer
- Bark
- Jordbruksavfall
- Annet avfall
- Fettrester

I tillegg er det på sikt potensiale for bruk av noe marin biomasse (avfall fra fiskeindustrien, alger, tare og lignende.).

Selv om det kan være et potensialet på opp mot 30 TWh fra norsk biomasse, er det ikke sikkert at det er hensiktsmessig (økonomisk/klimamessig/andre bruksområder) å bruke hele dette potensialet til produksjon av biodrivstoff. Gitt at det teoretisk sett var aktuelt å benytte hele potensialet til produksjon av drivstoff, vil produksjonsprosessen kreve energi, det vil si at de 30 TWh vil tilsvare rundt *15-20 TWh ferdig biodrivstoff*. I følge en annen utredning (NHO et al. 2016) er det forsvarlig med en årlig *biodrivstoffproduksjon på 6-10 TWh* basert på norske skogprodukter. Dette vil tilsvare en årlig produksjon på 600-1000 mill. liter biodrivstoff (NHO et al. 2016). Det vil si nok til å dekke behovet i Norge.

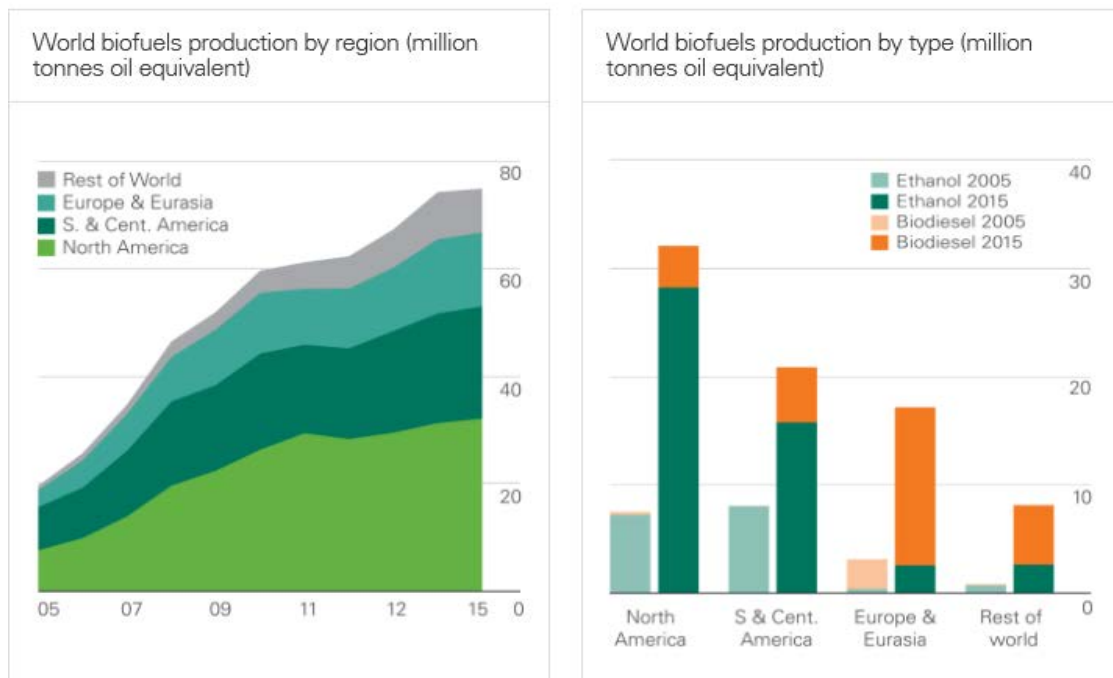
Kritikken mot bruk av jordbruksarealer som kan brukes til matlaging, og press på regnskogen, har ført til økt fokus på bruk av skog til biodrivstoffproduksjon. I Norge, i motsetning til mange andre land, er tilveksten av skog, høyere enn dagens hogst. Den årlige tilveksten av norsk skog er på anslagsvis 25 mill. m³ (NIBIO). Det er allikevel delte meninger om økt hogst er en god ide klimamessig. Økt hogst, vil svekke skogens fangst av CO₂. En økning i hogsten fra dagens 10-12 mill. m³ til det foreslåtte 15 mill. m³, vil kunne gi en årlig produksjon på rundt 600 mill. liter biodiesel (Holtmark 2016). Om dette erstatter bruk av fossil diesel, kan det gi en reduksjon på 1,6 mill. tonn CO₂/år, men samtidig vil den økte hogsten av skog kunne redusere CO₂ opptaket fra skog på kort sikt med opp mot 7 mill. tonn i året (Holtmark 2016). Det vil si at netto utslipp av CO₂ i startfasen vil øke ved den foreslåtte økningen i uttak av skog. Andre igjen mener at klimaregnskapet må sees i et langsiktig perspektiv, og gitt en re-plantning av arealene med tilsvarende vekster vil klimaregnskapet på sikt bli positivt.

De fleste er allikevel enige om at bruk av restavfall fra dagens hogst av skog er klimavennlig, men potensialet er da mindre. Råvarer fra norsk skog har muligens det største potensialet i Norge, men også andre avfallskilder mm kan være aktuelle med hensyn til biodrivstoffproduksjon. I Norge vil typisk den beste halvparten av tømmeret brukes til

sagtømmer og den andre halvparten til massevirke (papirproduksjon). Ved bortfall av papirproduksjon vil det være behov for andre bruksområder for massevirke for at det fortsatt skal være lønnsomt å ta ut norsk tømmer.

7.3.3 Produksjon av biodrivstoff i Europa og globalt

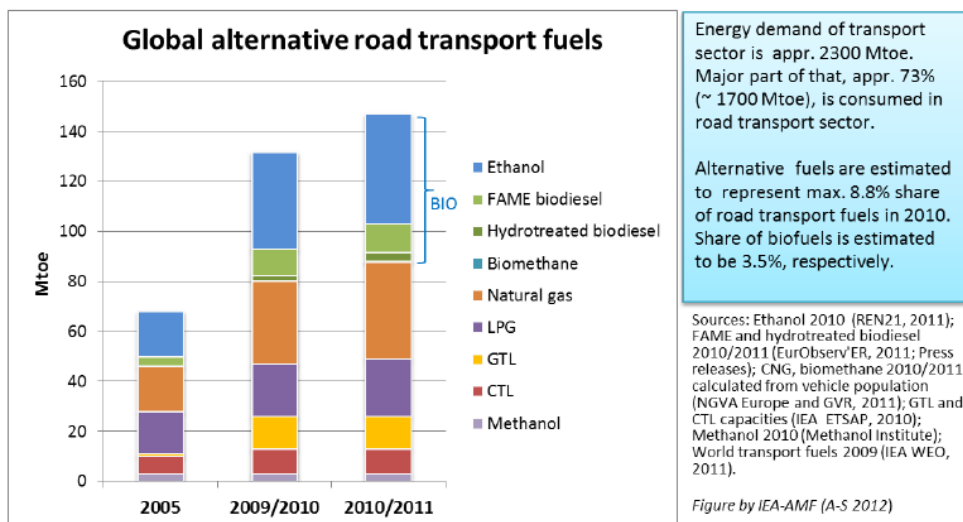
Nord Amerika er den største produsenten av biodrivstoff, fulgt av Sør- og sentral Amerika, se figur 7.7. USA og Brasil skiller seg klart ut som de største produsentene, og i 2015 sto de for nesten 65 prosent av den samlede produksjonen i verden. I Amerika er det i hovedsak etanol som produseres, mens resten av verden i større grad produserer biodiesel. Dette vil ha sammenheng med vekstforhold og råvareproduksjon. Biodrivstoffet som produseres er hovedsakelig førstegenerasjons drivstoff. I følge Ibenholt og Skjelvik (2016) utgjør annengenerasjons biodrivstoff kun rundt en prosent av dagens totale globale produksjonskapasitet. Selv om etterspørselen etter annen generasjons biodrivstoff vil øke, synes det å ta tid før produksjonskapasiteten vil øke i større grad. Høye kostnader og usikkerhet knyttet til fremtidig politikk er med på å bremse overgangen (Ibenholt og Skjelvik 2016).



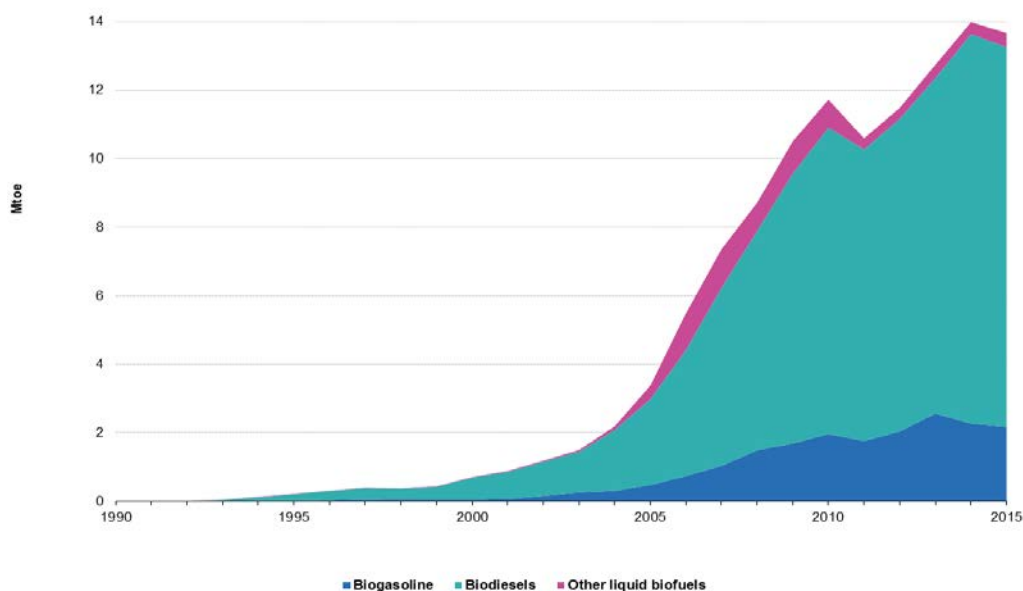
Figur 7.7: Produksjon av biodrivstoff etter verdensdel, utvikling fra 2005-2015. I mill. tonn olje ekv. (Kilde: US Energy Information Administration).

Figur 7.8 viser den globale bruken av ulike typer alternative drivstoffer (inkluderer også de som er basert på fossile energikilder) innenfor vegtransporten.

Figur 7.9 viser utviklingen i produksjon av flytende biodrivstoffer i Europa (EU-28). Produksjonen har økt raskt siden 2005, med hovedvekt på produksjon av biodiesel. Biodieselen i Europa er hovedsakelig rapsbasert, men er til dels også basert på palmeolje, vegetabilsk olje mm.



Figur 7.8: Globalt forbruk av alternative drivstoff i vegtrafikken. I mill. tonn olje ekv. (IEA 2012).

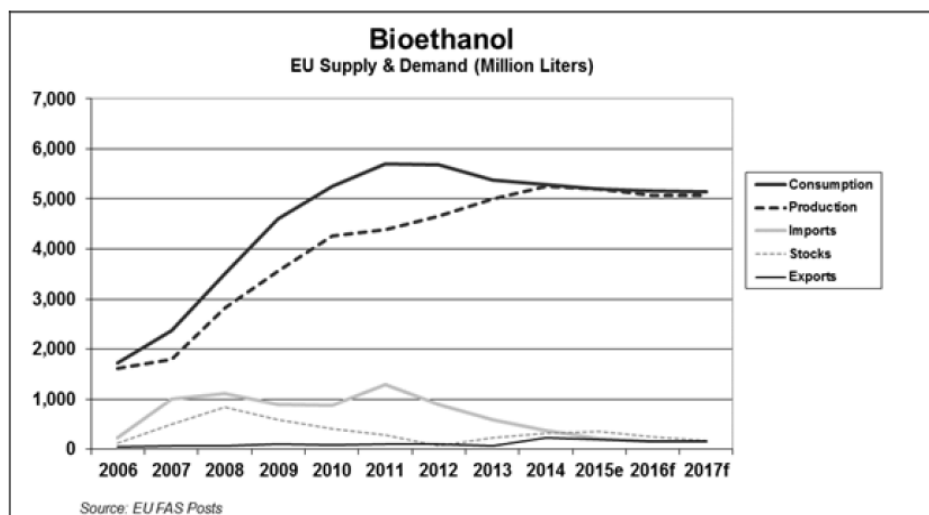


Figur 7.9: Produksjon av flytende fornybare drivstoff i EU-28 i perioden 1990-2015. I mill. tonn olje ekv. (Kilde: Eurostat).

I EU var forbruket av biodrivstoff i 2015 på 14 mill. tonn olje ekvivalenter (EurObserv'ER 2016) fordelt på følgende typer:

- 79,4 prosent biodiesel
- 19,5 prosent bioetanol
- 1,1 prosent biogass

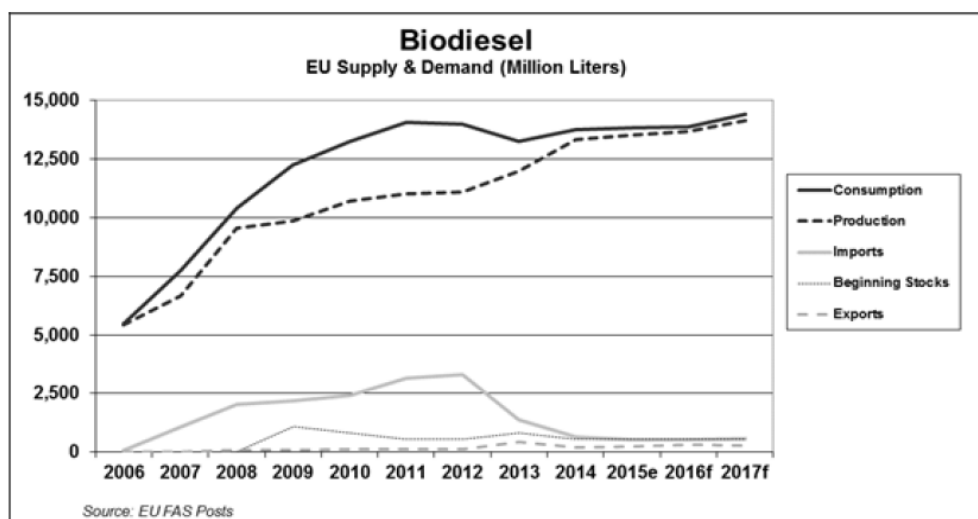
I Europa (EU) produseres og forbrukes det omtrent en lik mengde etanol (første generasjons biodrivstoff), se figur 7.10. Produksjonen tilsvarer rundt 66 prosent av dagens produksjonskapasitet i eksisterende anlegg (GAIN 2016). Rundt 300 mill. liter av etanolen var i 2015 basert på biomasse fra cellulose. Frankrike, Tyskland, Ungarn, Belgia og Nederland er de største produsentene av etanol i EU. Flere av anleggene sliter økonomisk, og uten incentiver fra myndighetene eller endringer i pris, forventes en liten nedgang i produksjonen.



Figur 7.10: Forbruk, produksjon og import av bioetanol i EU28 i perioden 2006-2017. I mill. liter. Estimer for de siste årene. (GAIN 2016).

Figur 7.11 viser produksjon og forbruk av biodiesel i EU. Førstegenerasjons biodiesel utgjør det meste av produksjonen. Raps var råvaren til rundt 49 prosent av biodieselen, mens andregenerasjons biodiesel i form av HVO sto rundt 17 prosent av produksjonen i 2015. Bruk av avfallsolje fra matproduksjon og vegetabilsk olje (brukt særlig i Nederland, UK og Tyskland) utgjør en økende andel av biodieselen, blant annet fordi dette i flere land bidrar dobbelt (avfallsprodukt) mht beregningen av innblandingsprosenten. Bruken av biodiesel basert på palmeolje (brukt særlig i Spania, Nederland, Finland, Italia og Frankrike) har også økt, hovedsakelig fordi dette er en komponent i HVO. Palmeoljen er hovedsakelig importert til Europa.

I 2015 var Frankrike, Tyskland, Italia, UK og Sverige de største forbrukerne av biodiesel i EU (GAIN 2016). Norge var mottaker av 68 prosent av EUs eksport av biodiesel i 2015, men kun en liten andel av produksjonen i EU blir eksportert (se figur 7.11).



Figur 7.11: Forbruk, produksjon og import av biodiesel i EU28 i perioden 2006-2017. I mill. liter. Estimer for de siste årene. (GAIN 2016).

I EU produseres det i størrelsesordenen 2,5-2,7 mrd. liter HVO. Når nye anlegg (i Italia og Frankrike) er på plass, er forventet produksjonskapasitet i 2020 på rundt 4 mrd. liter HVO

(GAIN 2016). HVO kan også benyttes som drivstoff i fly, noe som betyr at andre brukergrupper enn vegtrafikken vil kunne konkurrere om bruken.

Om HVO skal defineres som et konvensjonelt eller et avansert biodrivstoff er blant annet avhengig av hvilke råvarer den produseres fra. Neste som produserer HVO i Finland og Nederland (og Singapore), har gradvis erstattet bruken av palmeolje med avfallsfett/oljer (PFAD + animalsk- og vegetabilsk fett + tallolje (vegetabilsk olje fra furu)) i sin produksjonsprosess. I 2016 var produksjonen av HVO basert på 80 prosent avfallsoljer og 20 prosent palmeoljeprodukter (J. Lunabba, Neste). I Norge ble PFAD (palm fatty acid distillate) omklassifisert fra et avfallsprodukt/rester, til et biprodukt fra januar 2017. Det vil si at *HVO basert på PFAD fra 2017 ikke lenger vil kunne dobbelt-telles* og må tilfredsstille arealkravene (jf. kapittel 7.2.2). På sikt ønsker Neste også å bruke lignocellulose (fra skogsprodukter) og algeoljer i sin produksjon. Teknologien her ansees enda ikke som moden nok til kommersiell produksjon (også et kostnadsspørsmål). Neste hadde i 2016 en produksjon på 2,2 mill. tonn fornybare biodrivstoff. Flere andre europeiske produsenter har også planer om å redusere bruken av palmeolje i sine produkter.

Kommersiell produksjon av cellulosebasert etanol er foreløpig begrenset i Europa, med en årlig produksjon på rundt 85 mill. liter. Nye produksjonsanlegg skal være på veg i Finland (St1) og Frankrike, men produksjon av cellulosebasert etanol forventes å ligge på maks 300 mill. liter i 2020 (GAIN 2016). Produksjonen av cellulosebasert etanol er foreløpig begrenset i Europa, blant annet på grunn av høye produksjonskostnader og usikkerhet knyttet til EU regelverket (og skatte- og avgiftspolitikken i ulike land).

Produksjonen av avansert biodrivstoff er foreløpig svært begrenset. Det knyttes også en del usikkerhet til omfanget av produksjonen, særlig fordi ulike land definerer avansert biodrivstoff ulikt. I følge Miljødirektoratets utredning (2017c) produseres det rundt 1 mrd. liter avansert biodrivstoff globalt, og foreløpige anslag tilsier en produksjon på opp mot 2,8 mrd. liter i 2020. Dette inkluderer produksjon fra anlegg som allerede har produksjon, og anlegg som i dag er under utbygging.

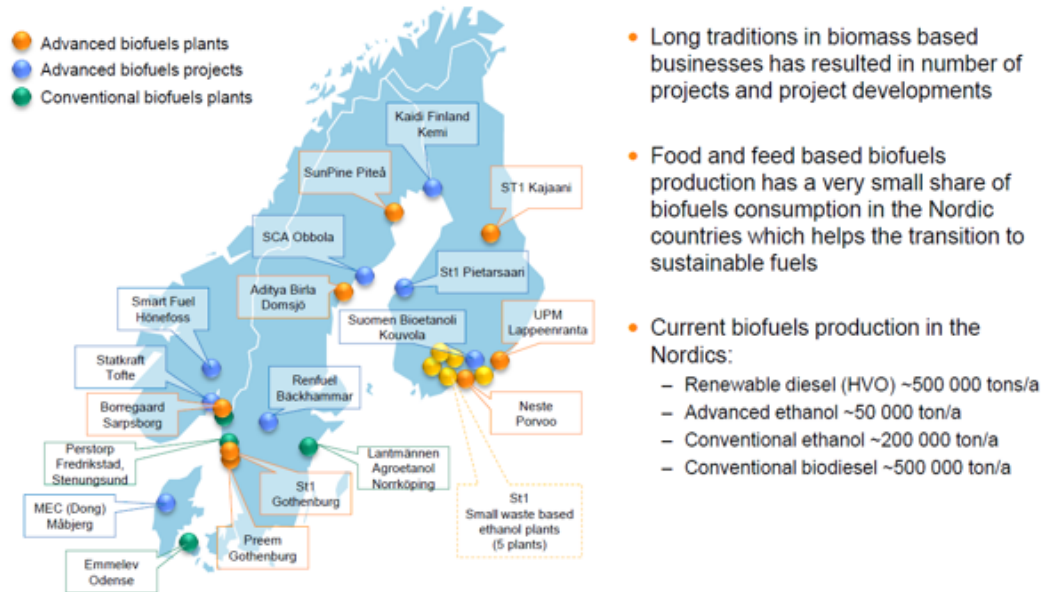
7.3.4 Produksjon/pilotprosjekter i Norden

Anlegg med produksjon

Norge har to produksjonsanlegg for biodrivstoff, se figur 7.12. Borregård produserer rundt 20 mill. liter bioetanol (Landbruks og matdepartementet 2016) basert på skogprodukter (avansert biodrivstoff), mens Perstorp produserer rundt 115 mill. liter rapsbasert (1. generasjons) biodiesel. Borregaards anlegg i Sarpsborg leverer blant annet etanol til tunge kjøretøy og busser i Oslo-regionen. I følge Borregaard er deres etanol rundt 80 prosent klimanøytral i forhold til konvensjonelle drivstoff. Anlegget er støttet av Innovasjon Norge og Forskningsrådet. I tillegg er det flere som vurderer muligheten for å etablere produksjon av avanserte biodrivstoff, og da hovedsakelig basert på avfall fra skogbruk.

Finland har tre produksjonsanlegg for flytende biodrivstoff:

- **Neste:** Produserer rundt 400 000 tonn fornybar HVO, basert på avfallsoljer og fett.
- **UPM:** Produserer rundt 100 000 tonn fornybar HVO basert på tallolje.
- **St1:** Produserer rundt 10 000 tonn etanol basert på avfall.



Figur 7.12: Oversikt over eksisterende og planlagte biodrivstoffanlegg i Norden. (Kilde: Pöyry).

Eksempler på planlagte produksjonsanlegg i Norge

Flere aktører vurderer å starte produksjon av avansert biodrivstoff i Norge, men felles for de fleste initiativene er vanskeligheter med finansiering av anleggene og usikkerhet om markedet er villig til å betale den prisen drivstoffet vil koste ved produksjon i Norge og med norske råvarer. Selv om flere har mål om produksjon fra 2020/21 ansees dette i flere tilfeller som lite realistisk.

Teknologien for produksjon av avansert biodrivstoff basert på avfall fra skogsindustrien er per i dag lite moden. Det vil si at selv når anleggene står klare vil det ta noen år før produksjonen vil nå et kommersiell nivå. Det vil si at norskprodusert biodrivstoff basert på avfall fra skog sannsynligvis ikke vil gi et betydelig bidrag før noen år etter 2020.

Dieseldrivstoff fra skogavfall, Tofte anlegg

Södra og Silvia Green Fuel vurderer produksjon av annen generasjons HVO på Tofte. I utgangspunktet var målet å ha et kommersielt produksjonsanlegg klart innen 2020 i den gamle treforedlingsfabrikken. Planen er å produsere rundt 50-100 mill. liter årlig, hovedsakelig basert på skogprodukter.



Figur 7.13: Produksjonsanlegg. (Södra og Silvia Green Fuel).

LBG, Skogn

Biokraft AS har startet byggingen av sitt anlegg for produksjon av flytende biogass på Skogn. Planer er starte med en produksjonskapasitet på 125 GWt – og øke dette til 250 GWt, i løpet av en to års periode. Dette vil årlig kunne erstatte rundt 25 mill. liter autodiesel.

De største bidragsyterne til anlegget er TrønderEnergi og Scandinavian Biogas. Planen er at den flytende biogassen skal produseres fra organisk avfall fra to kilder:

- Biprodukter fra Norsk Skogs papirfabrikk
- Avfallsprodukter fra oppdrettsnæringen

På sikt er målet et anlegg nummer to med samme produksjonskapasitet som i Skogn, plassert et sted i Sør-Norge.

Muligens vil også alger/tare fra sjøen og skogsvirke tas i bruk som råstoff etter hvert.

Biodrivstoff fra skogavfall, Biozin AS

Firmaet Biozin (datterselskap av den norske trelastkonsernbedriften Bergene Holm AS) vurderer også oppstart av produksjonsanlegg for annen-generasjons biodrivstoff i Norge. De vurderer oppstart av opp mot fem anlegg i Norge, hver med en produksjonskapasitet på rundt 120 mill. liter.

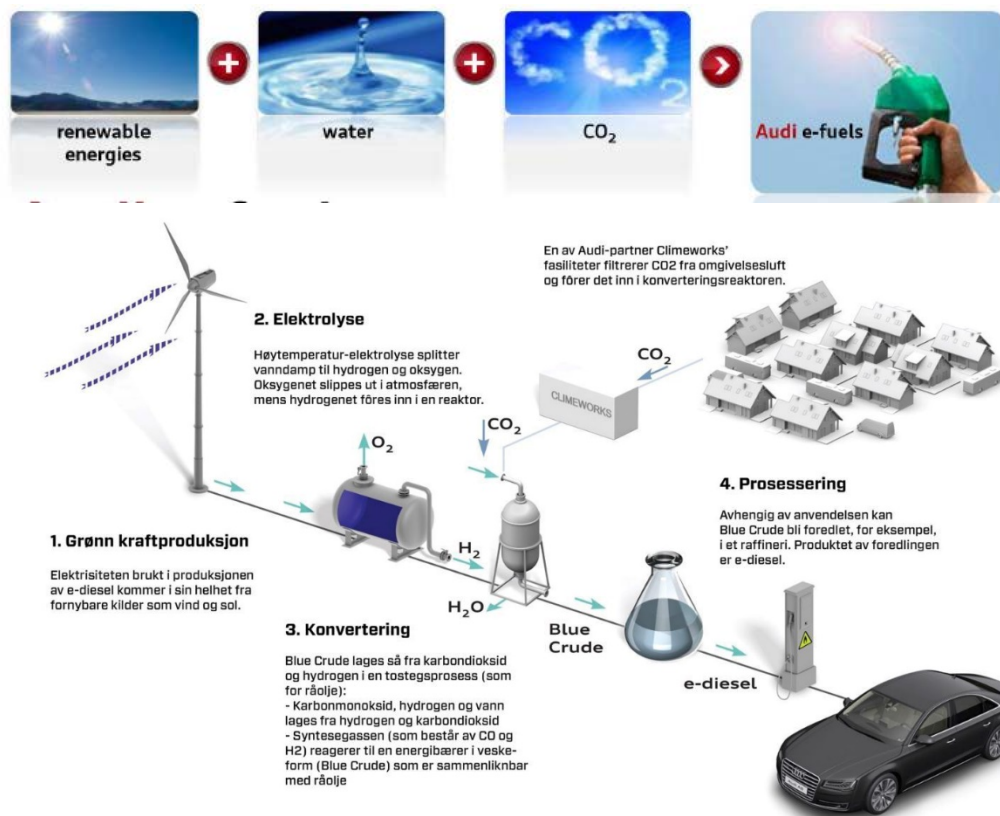
Biogass, Bjerkås

VEAS har startet byggingen av et anlegg for produksjon av biogass basert på avløpsvann. Anlegget skal stå ferdig i 2017/18, og har fått 31 mill. kroner i støtte fra ENOVA. Det skal produsere nok biogass til å drive rundt 140 busser (tilsvarer rundt 7 mill. liter diesel).

Syntetisk diesel, Nordic Blue Crude Herøya

Selskapet Nordic Blue Crude har planer om å etablere et anlegg for produksjon av syntetisk diesel på Herøya. Målet er å få etablert et anlegg i 2019-2022, og en produksjon på opp mot 100 mill. liter i 2022.

Et fungerende pilotanlegg for produksjon av blue crude syntetisk diesel finnes i Tyskland. På grunn av lavere strømpriser i Norge, forventer Nordic Blue Crude at det skal være mulig med lønnsom produksjon på Herøya.



Figur 7.14: Produksjonsprosessen til syntetisk diesel fra Blue Crude. (Kilde: Blue Crude).

Syntetisk diesel, Oslo

Quantafluel har planer om å produsere syntetisk diesel basert på plastsøppel. I utgangspunktet er planen å etablere et anlegg i Oslo, ved Haraldrud gjenbruksstasjon. Målet er å forbruke 6 000 tonn plast årlig, og produsere 5 mill. liter syntetisk diesel.

De vurderer også å etablere et anlegg som benytter avfall fra skogbruk, som kan produsere rundt 10 mill. liter drivstoff.

Etanol fra skogavfall, Follum

Anlegget på Follum i regi av St1 og Viken skog har foreløpig planlagt produksjonsstart i 2021. Målet er å produsere 50 mill. liter bioetanol basert på rester fra skogindustrien.

7.4 Økonomi og fremtid

Politiske signaler tilsier at biodrivstoff vil fungere som en brobygger inntil el-teknologien er moden nok til å omfatte flere transportmidler og transporttyper. Etter dette vil behovet reduseres en del. På sikt vil bruk av biodrivstoff innenfor transportsektoren være mest aktuell innenfor tungtransporten, for mellomlange- og lange reiser med buss, samt sjø- og luftfart. Person- og varebiler, og med tiden også bybusser vil alle ha mulighet til å elektrifiseres. Som nevnt i kapittel 3 er allerede elektrifisering av bybusser inne i en pilotfase i Norge.

Avgassutslippet av NO_x og PM fra biodrivstoffer vil være avhengig av motorteknologi. Hvis kjøretøyet benytter en Euro VI motor, vil utslippet (av NO_x og PM) fra kjøretøy som benytter biodrivstoffer ligge på tilsvarende nivåer som kjøretøy som benytter

konvensjonelle drivstoff. Utslippet av CO₂-ekv vil blant annet være avhengig av type råstoff biodrivstoffet er laget av, og produksjonsmetode. Avanserte biodrivstoff basert på avfall fra skogbruk vil kunne ha en klimagassreduksjon på opp mot 80-90 prosent.

Kostnadene på 1. generasjons biodrivstoff vil i stor grad påvirkes av prisen på råvarene. Prisen på både 1. generasjons biodrivstoff og avansert biodrivstoff påvirkes også av tilgang og etterspørsel. For avansert biodrivstoff vil kostnader i større grad være forbundet med produksjonsprosessen inkludert kapitalkostnadene og energibehovet i prosessene. For å få ned kostnadene må storskala produksjon bygges ut med dertil høyere risiko forbundet med investeringene. Mer om kostnader i kapittel 8.

Vi har i Norge potensial til å produsere avansert biodrivstoff basert på avfall fra skogsindustrien. Men dette vil kreve store investeringer, i en teknologi som enda ikke er helt moden. Biodrivstoffet som produseres vil også koste mer enn dagens drivstoff, og vil være avhengig av et marked som er villige til å betale den ekstra kostnaden, f.eks. gjennom en politikk som tvinger fram bruken (omsetningspåbud) eller gjør bruken lønnsom (avgiftsfordeler). Internasjonalt har flere anlegg for biodrivstoff gått konkurs, på grunn av til dels lave priser på fossilt drivstoff. Økonomisk støtte fra ENOVA, omsetningskrav og skatter- og avgifter kan bidra til å gjøre avanserte biodrivstoff mer konkurransedyktig. En utfordring med biodrivstoff er at bilene også kan bruke fossilt drivstoff. Dersom biodrivstoffet blir dyrere enn fossilt drivstoff kan bileierne når som helst skifte over til det fossile drivstoffet. For busser kan dette imidlertid også reguleres i anbudene.

For Norges del er nasjonal produksjon i kommersiell målestokk av avansert biodrivstoff basert på råstoff fra skog, sannsynligvis ikke tilgjengelig før i 2025-2030. I og med at de fleste produksjonsanleggene i Norge kun er på planleggingsstadiet, vil Norge i flere år fremover være avhengig av å importere biodrivstoff.

Per i dag er kun rundt 1 prosent av biodrivstoffet som produseres globalt, å anse som avansert biodrivstoff. Med økte krav til andel avansert biodrivstoff både i Norge og resten av verden, vil det på kort sikt kunne være vanskelig å få tilgang på nok avansert biodrivstoff til å tilfredsstille kravene. Dette kan bli enda vanskeligere om EU og Norge endrer definisjonen av hva som anses som et avansert biodrivstoff til kun å gjelde drivstoff basert på råstoffene nevnt i Annex XI, del A (vedlegg til ILUC direktivet).

Hvis produksjonsanlegg etableres i Norge, er det en fordel om anleggene er fleksible, slik at de kan produsere andre type produkter om etterspørselen av biodrivstoff til vegtransporten skulle reduseres.

8 Økonomiske vurderinger

Kostnader har stor betydning for valg av fremdriftssystemer og drivstoffer for bussdrift. Vi beregner i dette kapitlet de samlede kostnader for de aktuelle alternativene for klima- og miljøvennlig busstransport i Norge frem mot 2025. Konvensjonelle 12 meter dieselbusser med Euro VI-motorer og standard norsk dieselolje (EN590) med lavinnblanding av biodrivstoff er referansealternativet.

Kostnader og markedspris for konvensjonelle busser med Euro VI-dieselmotorer i 2017 er relativt godt kjent og drøftet med oppdragsgiver. Dieselbusser er produkter i et konkurranseutsatt og fungerende marked. Busser med andre systemer for fremdrift prises i stor grad i forhold til de prisledende dieselbussene. I våre økonomiske beregninger bruker vi nåværende kjente kostnader for busser og egne vurderinger av fremtidige kostnader som bygger på våre diskusjoner i de foregående kapitlene 3-6.

Kostnad og markedspris for drivstoff er mer komplisert. Diesel fra raffinert fossil mineralolje har en pris som bestemmes av tilgang og etterspørsel. Prisen på fossil mineralolje styres av at noen aktører begrenser utvinningen av fossil mineralolje slik at prisen ikke blir lavere enn de ønsker, men kan også bli lav som følge av at økt produksjon igangsettes når prisene øker. Prisen varierer derfor betydelig over år. Kostnaden for utvinning er så lav at de dominerende aktørene får en gevinst uansett om oljeprisen er 30 \$/fat eller 100 \$/fat. Prisen på andre drivstoffer og energibærere til forbrenningsmotorer relateres til diesel fra fossil mineralolje. Muligheten til kostnadsmessig å konkurrere med diesel fra fossil mineralolje begrenses av at produksjonskostnadene for alternative dieseldrivstoffer er minst tre ganger så høye som produksjonskostnadene for fossil diesel. Norsk elektrisk energi fra vannkraft har en produksjonskostnad som er uavhengig av og svært konkurransedyktig med fossil mineralolje.

Prisene på biogass levert til buss i depot er sterkt avhengig av hvordan produksjonsanlegget er finansiert og hvordan avfall og restprodukter betales eller faktureres. Klimagevinsten ved produksjon og bruk av biogass fra avfall er udiskutabel. Bussdrift med biogass kan uten et fungerende marked, og ofte som eneste mulige bruker, trenge økonomisk støtte.

Kostnadene for service og vedlikehold av dieselbusser og gassbusser bygger på erfaringer fra norske operatører. Kostnader for service og vedlikehold av fremtidige busser bygger på våre diskusjoner i kapitlene 3-6.

Kostnadene for ladestasjoner og infrastruktur for ladning av elbusser og ladbare el-hybridbusser er drøftet med leverandører av ladestasjoner. Kapitalkostnader for ladestasjoner blir tatt med som en egen post i de samlede kostnadene for elbusser. Kostnadene for fyllestasjoner er for alle andre drivstoffer innberegnet i kostnaden for drivstoffet.

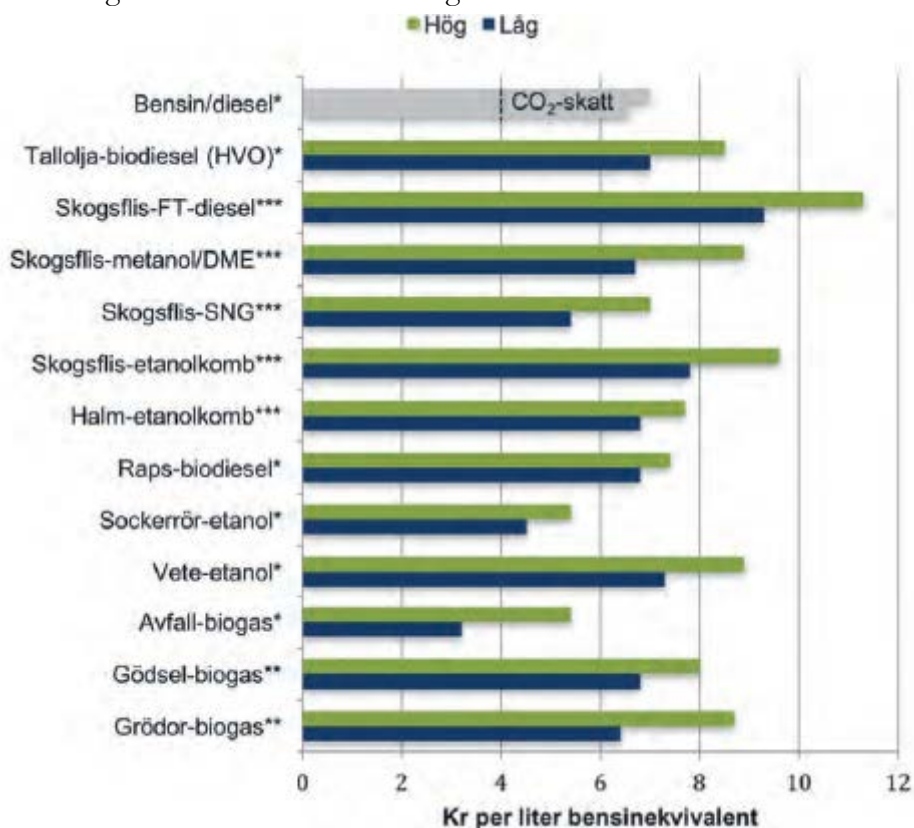
Kostnadene for lokalt helseskadelige avgassutslipp er så små fra busser med Euro VI-forbrenningsmotorer at de ikke er tatt med de samlede kostnadene for bussdrift.

Foruten referansealternativene med dieselbusser og fossil diesel med lavinnblanding av fornybare drivstoffer som følger av omsetningspåbudet for biodrivstoff, er det kun vurdert bussdrift som tilfredsstillende EU og Miljødirektoratets bærekraftskriterier. I referansealternativene med dieselbusser og fossil diesel med lavinnblanding har norsk fossil diesel allerede en CO₂-avgift. Vi har i de samlede kostnadene for diesel busser ikke tilføyet noen ytterligere kostnad for klimapåvirkning grunnet bruk av fossil diesel.

8.1 Kostnader og synspunkter

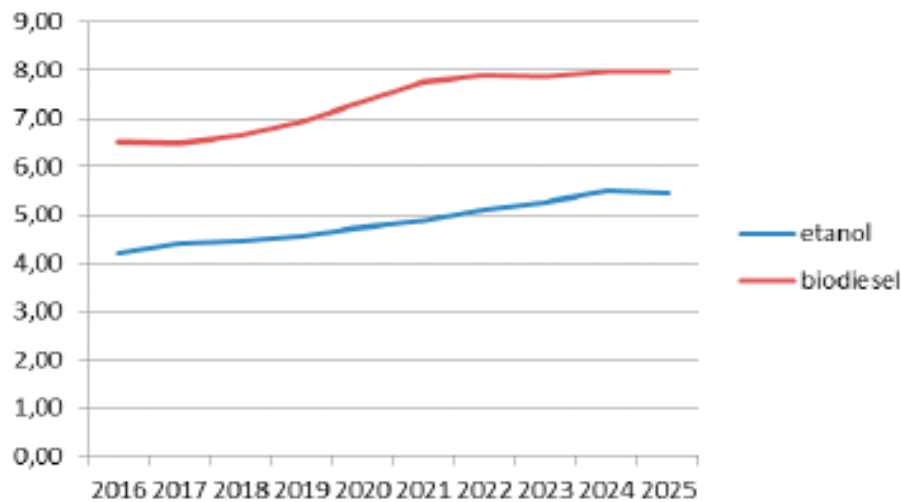
På kjøretøy med nye, alternative fremdriftssystemer og nye drivstoffer kan prisen være satt slik at det skal være mulig å få innpass på markedet, det vil si konkurrere med diesel, eller prisen kan være satt slik at den skal dekke produksjonskostnadene. På kort sikt kan det være forsvarlig med subsidierte priser (ved hjelp av insentiver) for å skifte ut klima- og miljøskadelig teknologi og drivstoffer med bærekraftige alternativer. Hva som er realistisk, riktige tiltak, rette priser og hensiktsmessig er det mange meninger om, blant annet med hensyn til trusselen om global oppvarming. Vi siterer noen synspunkter og viser eksempler på oppgitte kostnader og antatt prisutvikling for fornybare drivstoffer.

- Elbilgründer Elon Musk: Uten olje og gassindustrien hadde vi ikke hatt penger, og folk ville sultet. Det er nødvendig med olje og gass på kort sikt. Fornybare energier er i tidlig fase, og tar tid å skalere opp til store volumer. Det viktige er å prise hydrokarboners klimapåvirkning riktig. Om prisen på olje og gass ikke inkluderer miljøkonsekvensene, er det de facto subsidiering.
- Tømborg, NMBU: Biomasseprisen vil utgjøre rundt 4 kroner/literen, så kommer produksjon og transport i tillegg på skogbasert drivstoff i Norge.
- Bjarte Holtsmark, SSB: Merkostnadene for biodrivstoff i forhold til fossile drivstoffer (uten skatter og avgifter) er på anslagsvis 7 kroner/literen for avansert biodrivstoff og på rundt 4 kroner/literen for første generasjoners biodrivstoffer.
- Figur 8.1 viser anslag på produksjonskostnadene ved ulike typer biodrivstoff. Kostnadene gjelder for storskalaproduksjon, i en startfase vil kostnadene være høyere. Figuren er utarbeidet av det svenske forskningsinstituttet f3. Stjernene (*) indikerer graden av usikkerhet i anslagene.

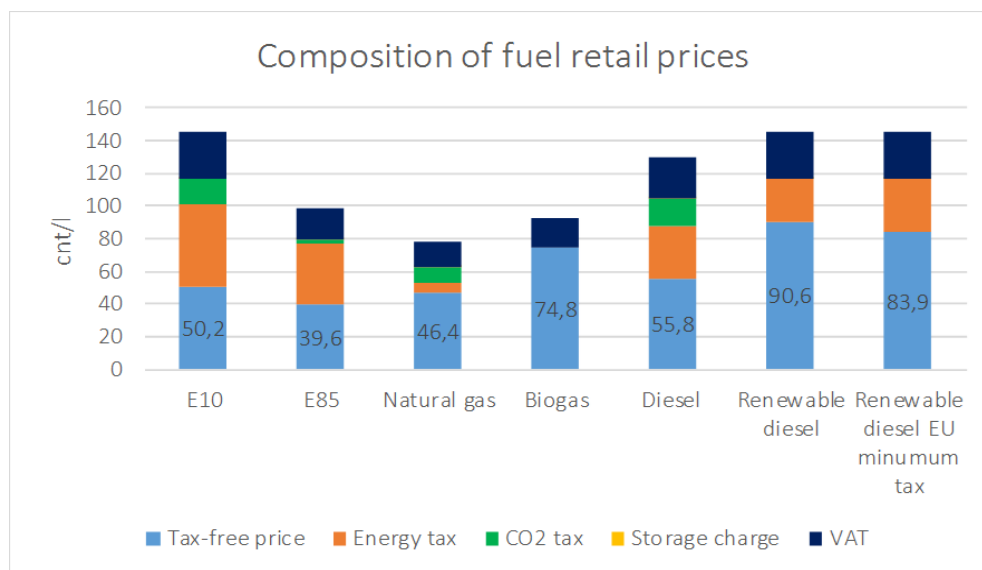


Figur 8.1. Anslag på produksjonskostnader for ulike typer biodrivstoff, sammenlignet med konvensjonelledrivstoff (inkl CO₂ skatt). I svenske kroner. (Börjesson et al. 2016).

- Börjesson et al. (2016) anslår at investeringskostnadene for et biogassanlegg ligger på 60-70 mill. SEK, og på 4-6 mrd. SEK for et storskala forgassingsanlegg for produksjon av flytende biodrivstoff. Distribusjonskostnadene for bensin/diesel i Sverige ligger på 1-1,5 SEK pr liter. Metanol/etanol antas å ha 20-30 prosent høyere distribusjonskostnader.



Figur 8.2: Prognoser for priser på biodrivstoff på det globale markedet. SEK per liter. (Statens energimyndighet 2016).



Figur 8.3: Eksempel fra Finland på priser for ulike typer drivstoff. (VTT 2015).

8.2 Beregning av samlede kostnader 2017, 2020 og 2025

Vi har beregnet de samlede kostnader for aktuelle alternativer med klimavennlig norsk busstransport, status for 2017, antatte kostnader i 2020 og antatte kostnader i 2025. Antakelsene om kostnadsutvikling bygger på forfatterens egne vurderinger.

For dieselbusser med Euro VI-motorer har vi i 2017 satt en pris på 2 mill. kr og at prisen ikke vil forandres frem mot 2025. For gassbusser en pris som er 10 prosent høyere enn for dieselbusser. Busser med forbrenningsmotorer antas å bli litt mer energieffektive frem mot 2025.

Brenselcellebusser antas å bli noe rimeligere i innkjøp frem mot 2025. Vi kjenner ingen pris for disse bussene i 2017 men har ikke regnet med en rimeligere pris enn Ruter betalte i 2012 og har i 2017 antatt en pris på 8 mill. kroner. Prisen frem mot 2025 er svært usikker. Vi regner i våre beregninger ikke med et gjennombrudd for brenselcelleteknologi i transportsektoren i denne tidsperioden men setter en pris på brenselcellebusser på 6 mill. kroner i 2025.

For elbusser med en batterikapasitet på 80 kWh har vi i 2017 en pris på 4 mill. kroner og forventer at prisen vil synke til 3 mill. kroner i 2025. Vi regner også med mer energieffektive og pålitelige elbusser i 2025 enn i 2017.

8.2.1 Beregningsforutsetninger

Forutsetningene for beregningene av de samlede kostnader for de forskjellige typene av bussdrift 2017, 2020 og 2025:

- Bybussrute(r) 10 km pendling mellom to endestasjoner, dvs. 20 km tur og retur
- Gjennomsnittshastighet 18 km/h
- Reguleringsstid seks min. ved hver 10 km dvs. nok for hurtigladning
- Total daglig kjørelengde 280 km, dvs. årlig kjørelengde 80 000 km
- Nedskrivningstid syv år for alle typer busser
- Nedskrivningstid 14 år for hurtigladestasjoner.
- Rente på investert kapital 3 prosent.

Busser og drivstofftype inkludert i beregningene:

- Euro VI dieslbuss, med syv prosent innblanding av biodrivstoff
- Euro VI dieslbuss, med 20 prosent innblanding av biodrivstoff
- Euro VI dieslbuss med 100 prosent avansert biodrivstoff
- Euro VI dieslbuss med etanol (ED95)
- Euro VI gassbuss med biogass
- Euro VI ladbar hybridbuss, som går på avansert biodrivstoff 30 prosent av ruten og på el øvrige 70 prosent av ruten
- Elbuss med 80 kWh batterier
- Brenselcellebuss med hydrogen

Kostnader for drivstoff:

- Pris for norsk autodiesel med lavinnblanding av fornybart dieseldrivstoff på 10 kroner/liter (eks mva) og prisen antas å holde seg på 10 kroner/liter i 2020 og 2025.
- Pris for fornybar diesel som oppfyller EU og Miljødirektoratets bærekraftskriterier er på 12 kroner/liter og prisen antas å holde seg på 12 kroner/liter i 2020 og 2025. En merkostnad på 2 kroner/liter for fornybar diesel i forhold til norsk standard autodiesel er vurdert å representere den øvre økonomiske smertegrensen.
- Kostnad for biogass på 9 kroner/m³(eks mva) Prisen for biogass levert fra fyllestasjon i depot er vanskelig men avgjørende for økonomisk klimavennlig bussdrift med gassbusser.
- Kostnad for ED95 med etanol som oppfyller fornybarhetskriteriene levert ved fyllestasjon 9 kroner/liter
- Kostnad for elektrisk energi levert fra ladestasjon 1 krone/kWh.

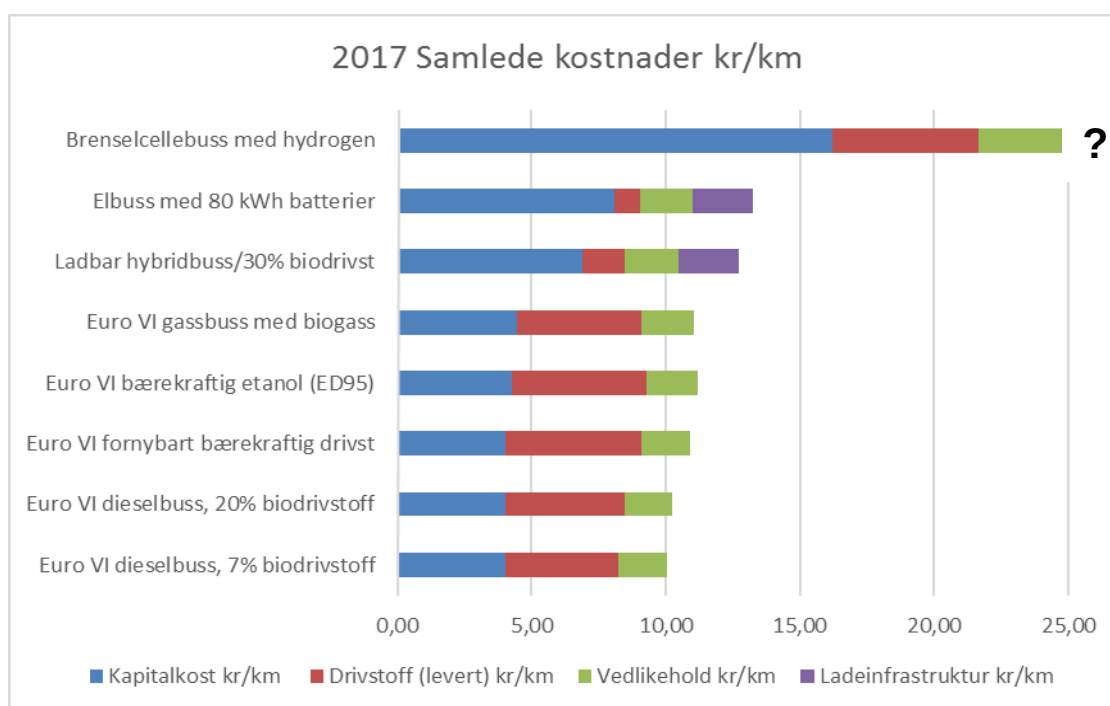
Annet:

- Våre kostnadsestimater for prisen på elbusser er basert på at elbusser i 2017 er i en introduksjonsfase men at de blir kommersielt konkurransedyktige i løpet av få år.
- Kostnadsestimatene for hydrogenbusser er basert på vår antagelse at hydrogenbusser vil være prototyper og forskningsprosjekter frem til 2025.
- Energiforbruk for dieselbusser og elbusser er basert på Braunschweig bykjøresyklus. Merforbruk for oppvarming, kupert terreng og kulde er ikke medregnet.

8.2.2 Samlede kostnader bussdrift – beregnet status 2017

Forutsetninger for beregning:

- Konvensjonell buss med Euro VI-dieselmotor: Kostnad 2,0 mill. kroner
- Buss med ED 95 Euro VI-dieselmotor/etanolmotor: Kostnad 2,1 mill. kroner
- Buss med Euro VI-gassmotor: Kostnad settes til 2,2 mill. kroner
- Elbuss med 80 kWh batterikapasitet: Kostnad 4,0 mill. kroner
- Brenselcellebuss: Kostnad 8,0 mill. kroner
- Ladbar hybridbuss med syv km el drift og tre km med dieselmotor: Kostnad 3,4 mill. kroner
- Brenselcellebuss med hydrogen- kostnad settes til åtte mill. kroner
- Total investeringskostnad fire mill. kroner per hurtigladestasjon
- Kapitalkostnadene for tre hurtigladestasjoner (fire mill./hurtigladestasjon) fordeles i en introduksjonsfase på seks busser
- Forbruk av fossil diesel i konvensjonell buss med dieselmotor 0,42 liter/km
- Forbruk av el energi ved elektrisk drift av elbuss 0,9 kWh/km
- Vedlikehold og service konvensjonell dieselbuss (inklusive AdBlue) 1,80 kroner/km
- Vedlikehold og service elbuss 2,00 kroner/km (høye kostnader grunnet ny teknologi).



Figur 8.4: Sammenligning av kostnader for ulike driftsløsninger for buss i 2017.

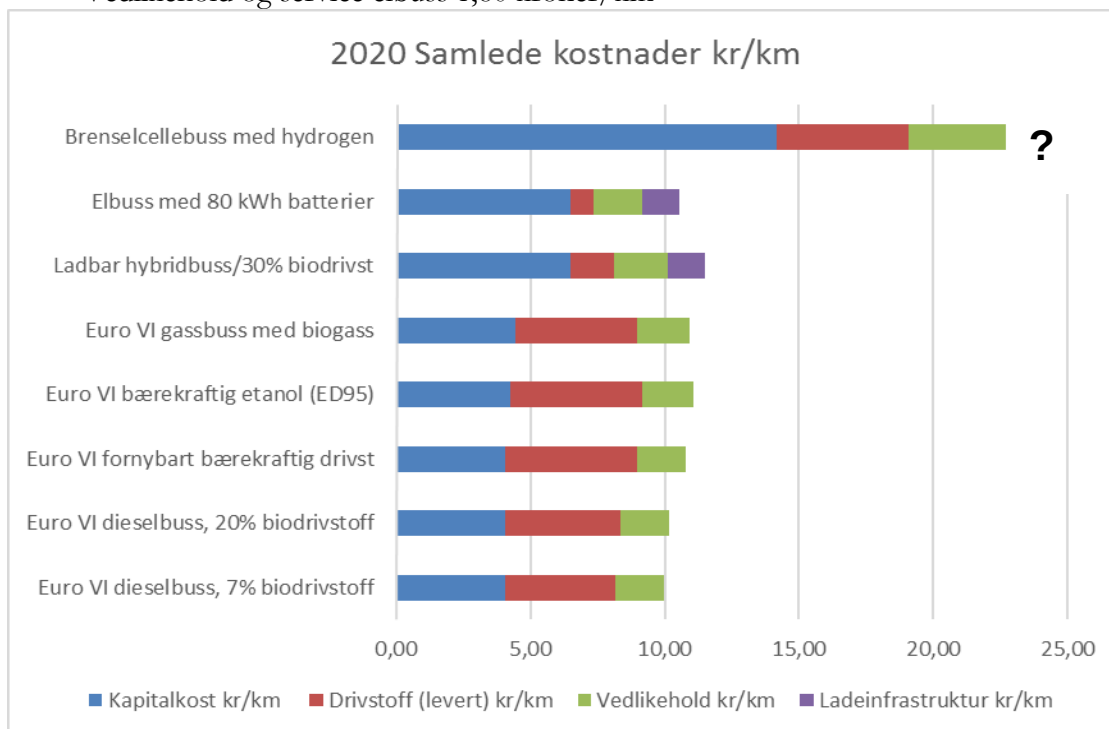
Figur 8.4 sammenfatter resultatene av beregningen: Elbusser er med de gitte forutsetningene i 2017 et litt dyrere alternativ til bussdrift enn andre aktuelle klimavennlige alternativer. For å rettferdiggjøre en satsing på en busslinje med elbusser må man se investeringen i kjøp av elbusser til denne linjen som en investering for å skaffe kunnskap til innkjøp av et større antall elbusser i løpet av noen år. Investeringene i hurtigladestasjoner vil bli lønnsomme med flere busser å fordele kapitalkostnadene på.

Dieselbusser med Euro VI-motorer og fornybart drivstoff er i 2017 det alternativ som oppfyller Miljødirektoratets bærekraftskriterier til lavest kostnad. Alternativene med 7 respektive 20 prosent innblanding av biodrivstoff i fossil diesel har lave kostnader men oppfyller ikke Miljødirektoratets bærekraftskriterier.

8.2.3 Samlede kostnader bussdrift - estimat for 2020

Forutsetninger for beregningene:

- Konvensjonell buss med Euro VI-dieselmotor: Kostnad settes til 2,0 mill. kroner
- Buss med ED 95 Euro VI-dieselmotor/etanolmotor: Kostnad settes til 2,1 mill. kroner
- Buss med Euro VI-gassmotor: Kostnad settes til 2,2 mill. kroner
- Elbuss med 80 kWh batterikapasitet: Kostnad 3,2 mill. kroner
- Ladbar hybridbuss med syv km el drift og tre km med dieselmotor: Kostnad settes til 3,2 mill. kroner
- Brenselcellebuss med hydrogen: Kostnad settes til 7 mill. kroner
- Total investeringskostnad 3,8 mill. kroner per hurtigladestasjon
- Kapitalkostnadene for seks hurtigladestasjoner fordeles på 18 busser
- Forbruk av fossil diesel i konvensjonell buss med dieselmotor 0,41 liter/km
- Forbruk av el energi ved elektrisk drift av elbuss 0,85 kWh/km
- Vedlikehold og service konvensjonell dieselbuss (inklusive AdBlue) 1,80 kroner/km
- Vedlikehold og service elbuss 1,80 kroner/km



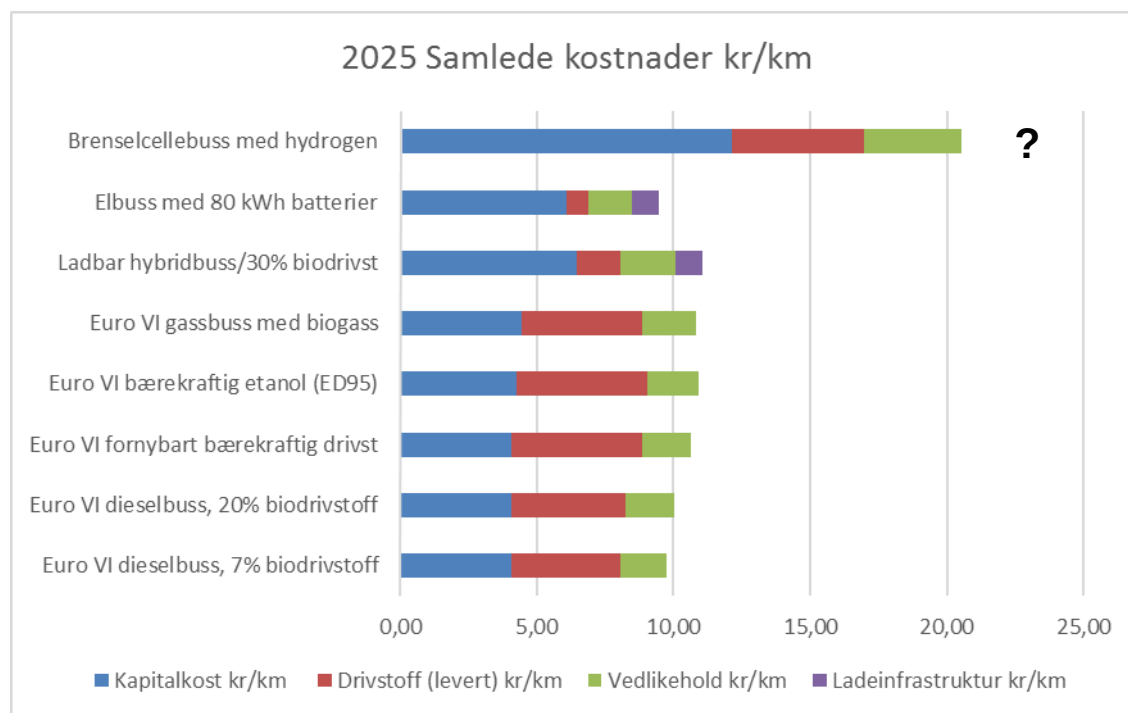
Figur 8.5: Sammenligning av kostnader (kr/km) for ulike driftsløsninger for buss i 2020.

Figur 8.5 sammenfatter resultatene av beregningene: Elbusser kan med de gitte forutsetningene i 2020 være det mest økonomiske av de klimavennlige alternativene for klimavennlig bybusstransport og omtrent like dyrt som dieseldrift. De fremste grunnene for dette er at elektriske fremdriftssystemer er teknologisk enkle og kan med kjent teknikk produseres til lav pris i storserieproduksjon. Batterier blir nå betydelig rimeligere, lettere og mindre for hvert år fremst takket være bilindustriens satsing på elbiler. Behovet for antall hurtigladestasjoner per elbuss minsker når antallet busslinjer blir elektrifisert og antallet elbusser øker. En begrenset reduksjon i kostnadene for hurtigladestasjoner kan forventes i 2020 i forhold til 2017.

8.2.4 Samlede kostnader bussdrift - estimat for 2025

Forutsetninger for beregningene:

- Konvensjonell buss med Euro VI-dieselmotor: Kostnad settes til 2,0 mill. kroner
- Buss med ED 95 Euro VI-dieselmotor/etanolmotor: Kostnad settes til 2,1 mill. kroner
- Buss med Euro VI-gassmotor: Kostnad settes til 2,2 mill. kroner
- Elbuss med 80 kWh batterikapasitet: Kostnad settes til 3,0 mill. kroner
- Ladbar hybridbuss med syv km el drift og tre km med dieselmotor: Kostnad settes til 3,2 mill. kroner
- Brenselcellebuss med hydrogen: Kostnad settes til 6 mill. kroner
- Total investeringskostnad 3,5 mill. kroner per hurtigladestasjon
- Kapitalkostnadene for 10 hurtigladestasjoner fordeles på 40 busser
- Forbruk av fossil diesel i konvensjonell buss med dieselmotor 0,40 liter/km
- Forbruk av el energi ved elektrisk drift av elbuss 0,8 kWh/km
- Vedlikehold og service konvensjonell dieselbuss (inklusive AdBlue) 1,80 kroner/km.
- Vedlikehold og service elbuss 1,60 kroner/km



Figur 8.6: Sammenligning av kostnader for ulike driftsløsninger for buss i 2025.

Figur 8.6 sammenfatter resultatene av beregningene: Elbusser kan med de gitte forutsetningene i 2025 være det mest økonomiske av alle alternativene for bybusstransport. Det forventes at elbusser i 2025 er helt kommersielt moden teknologi med et fungerende marked og at de store europeiske bussprodusentene i 2025 tilbyr konkurransedyktige elbusser.

Elbusser erstatter i 2025 hele bussflåter med konvensjonelle busser og kostnadene for hurtigladerstasjoner per elbuss er små.

For lengre bussruter vil elbusser konkurrere med forskjellige typer av hybridbusser.

Dieselbusser med Euro VI-motorer og fornybart drivstoff er både i 2020 og 2025 et alternativ som i henhold til beregningene har marginalt lavere kostnader enn biogass og etanol (ED95). Markedspriser samt små forandringer av nivåene på skatter og avgifter kan lett medføre at det økonomiske konkurranseforholdet mellom de aktuelle busstypene og disse drivstoffene forskyves.

I beregningene av de samlede kostnadene for busser og drivstoff har vi ikke tatt med at det høyst sannsynlig er en fremtidig høyre markedsverdi for brukte dieselbusser enn for brukte gass- respektive ED95-busser.

Hvorvidt brenselcellebusser med hydrogen som energibærer er kommersielt konkurransedyktige alternativer i 2025 er et stort spørsmålstegn. I våre beregninger har vi antatt at hydrogen i vegtransportsektoren i 2025 ikke har fått et økonomisk gjennomslag.

9 Konklusjon

En vurdering av muligheter og sannsynlighet for kommersialisering av ny teknologi er vanskelig. Utsagn om forventet utvikling kan være influert av forhåpninger. På den andre siden kan ny teknologi som er tilnærmet klar for kommersialisering være holdt hemmelig ut fra markeds- og konkurransehensyn.

Konvensjonelle busser med moderne dieselmotorer er effektive omformere av kjemisk lagret energi til mekanisk bevegelse. Redusert klimapåvirkning med fornybare, bærekraftige biodrivstoffer har en sentral plass for å redusere og stanse global oppvarming. Fornybare og bærekraftige drivstoffer i eksisterende eller lett modifisert forbrenningsmotorer er attraktivt fordi det gir mulighet til fortsatt bruk av moderne dieselbusser. Utfordringen er bærekraftig høsting av biomasse og økonomisk konkurransedyktig produksjon av biodrivstoff.

Gassbusser med biogass som drivstoff er et godt og klimavennlig alternativ for å ta vare på energiressursene i husholdningsavfall, kloakk og annet biologisk avfall. Biogass i form av biometan fra avfall er et bærekraftig drivstoff og kan brukes i forbrenningsmotorer. Utfordringene er lav energivirkningsgrad i gassmotorer og kostnadene for gassbusser og kostnadene for biogass.

Elbusser for bytrafikk forventes å bli økonomisk konkurransedyktige i forhold til alle andre former for bybusser allerede rundt 2020. Kinesiske produsenter er de dominerende produsentene av elbusser. Volvo var først ut av de europeiske bussprodusentene med elektrifisering. Vegen til elbusser har gått via hybridbusser og ladbare hybridbusser. Andre bussprodusenter som Scania, Mercedes og nye aktører går direkte til elbusser for bytrafikk. Grunnen er rask utvikling og lavere kostnader for batterier.

Brenselcellebusser med energibæreren i form av hydrogen som omdannes til strøm i kjøretøyet, er et annet alternativ for elektrisk fremdrift. Brenselcellebusser med hydrogen som energibærer er en løsning som på lengre sikt kan egne seg til å erstatte eller komplettere batteriene i elektriske busser. På lengre strekninger kan brenselcellebusser og hydrogen i fremtiden bli konkurransedyktige med konvensjonelle busser, dieselmotorer og el-hybrid fremdrift.

Konvensjonelle busser med moderne Euro VI dieselmotorer og diesel fra fossil mineralolje gir i 2017 meget lave utslipp av lokalt helseskadelige avgasser. Fossil diesel kan utvinnes og selges til meget konkurransedyktig pris, men er ikke et klimavennlig alternativ.

Elbusser for bytrafikk gir fra 2020 mest klima- og miljø for pengene. Elbusser i Norge er det mest energieffektive alternativet og kan bruke norsk fornybar elektrisk energi fra vannkraft. Ladbare el-hybridbusser og konvensjonelle dieselbusser med fornybar diesel, i form av biodrivstoff som oppfyller fastsatte bærekraftkriterier, vil konkurrere der hvor elbusser har utilstrekkelig rekkevidde.

Brenselcellebusser og hydrogen kan fra 2025 bli en av fremtidens klima- og miljøvennlige teknologier for busser under forutsetning av at fremdriftssystemer med brenselceller blir rimeligere enn fremdriftssystemer med dieselmotorer. Brenselcellebusser kan få et marked på lange ruter og på ekspressbussruter mellom byene, en type bussdrift der de mer energieffektive elbussene er mindre egnet. Konvensjonelle dieselbusser med fossil diesel som drivstoff vil ikke gi klimanøytral bussdrift.

Våre samlede vurderinger av hvor egnede de aktuelle fremdriftsteknologiene og drivstoffene er for bussdrift fremgår av tabell 9.1.

Tabell 9.1: Egnethet for ulike teknologier og drivstoff for busser i perioden frem til 2025, (grønn farge angir velegnet og olivengrønn farge angir egnet).

Fremdrift	Bybuss	Regional- og turbuss
Elektrisk med batterier	Velegnet Moden teknologi fra ca. 2020. Klimavennlig med norsk elektrisitet. Hurtiglading krever noe areal til ladestasjoner. Konkurransedyktig på pris.	Foreløpig lite egnet Dyrt med store nok batterier. Kan bli problematisk med rekkevidde.
Hybrid/ ladbar el-hybrid	Egnet Elektrisk fremdrift i kombinasjon med Euro VI forbrenningsmotor med biodrivstoff eller med brenselcelle og hydrogen kan gi lav klimapåvirkning. Kan bli mer kostbar enn helelektrisk drift med batterier.	Velegnet Elektrisk fremdrift i kombinasjon med Euro VI forbrenningsmotor med biodrivstoff eller med brenselcelle og hydrogen kan gi lav klimapåvirkning. Dyrt med to motorteknologier.
Dieselmotor med biodrivstoff	Egnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Særlig de avanserte biodrivstoffene gir mye lavere klimapåvirkning enn fossilt drivstoff. Begrenset tilgang på avansert biodrivstoff til akseptabel kostnad.	Velegnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Særlig de avanserte biodrivstoffene gir mye lavere klimapåvirkning enn fossilt drivstoff. Begrenset tilgang på avansert biodrivstoff til akseptabel kostnad
Gassmotor og biogass	Egnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Gassmotorer har lav energivirkningsgrad. Krever egnet infrastruktur for lagring og transport.	Lite egnet Avhengig av utstrakt utbygging av infrastruktur. Gassmotorer har lav energivirkningsgrad.
Brenselcelle-buss Hydrogen	Kan bli egnet på sikt Sannsynligvis først etter 2025. Klima- og miljøvennlig med norsk vannkraft. Foreløpig kostbar teknologi. Krever utbygging av fyllstasjoner.	Kan bli velegnet på sikt Sannsynligvis først etter 2025. Klima- og miljøvennlig med norsk vannkraft Foreløpig kostbar teknologi. Krever utbygging av fyllstasjoner.
Dieselmotor med fossil diesel	Egnet Med Euro VI motorer lave utslipp av PM og NOx, men fortsatt høy klimapåvirkning. Potensial for lave samlede kostnader.	Egnet Med Euro VI motorer lave utslipp av PM og NOx, men fortsatt høy klimapåvirkning utslipp. Potensial for lave samlede kostnader.

10 Referanser

- Anon. 2015
European Biofuels Technology Platform. Lastet ned fra nettstedet (www.biofuelstp.eu).
- Avinor, Jernbaneverket, Kystverket og Statens vegvesen 2016
Nasjonal transportplan 2018-2029. Grunnlagsdokument.
- Baguette, S. 2017
Kollektivtrafikkforeningens Anskaffelsesseminar, Tromsø 1. februar 2017.
- Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S. och Nyström, I. 2016
Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag. F3 rapport 2016:03.
- Ekelund, Svensen, Einang, Ekeborg, Blücker og Losciale 1993
Nordiska GasBuss projektet, Projekt II Slutrapport, Eccotrafikk R&D AB, 1993.
- EurObservEr 2016
Biofuels barometer 2016. July 2016.
- Finansdepartementet 2016
Meld. St. 1 (2016-2017). Nasjonalbudsjettet 2017.
- Finansdepartementet 2015
Nye Regler for Avgift På Biodrivstoff Til Vegbruk. Pressemelding Nr. 34. Retrieved (<http://www.regjeringen.no/no/dep/fin/id216/>).
- Global Agricultural Information Network (GAIN) 2016
EU Biofuels Annual 2016. GAIN report NL6021.
- Hagman, R 2016
Busser, Euro VI og avgassutslipp, TØI rapport 1540/2016
- Hagman, R. 2000
Motorolje og drivstofforbruk. TI rapport 43640 for Hydro Texaco A/S, Teknologisk institutt.
- Hagman, R. 2002
Rene og effektive naturgassmotorer for tunge kjøretøy, TØI rapport 613/2002. Transportøkonomisk institutt.
- Hagman, R. et al. 2012
Plug-in Hybrid Vehicles; Exhaust emissions and user barriers for a Plug-in Toyota Prius, TØI rapport 1226/2012. Transportøkonomisk institutt.
- Hagman, R. et al. 2015
Utslipp fra nye kjøretøy – holder de hva de lover? TØI rapport 1407/2015. Transportøkonomisk institutt.
- Hirose, K. 2014
Toyota's Effort Towards Sustainable Mobility. A3PS Conference "Eco Mobility 2014. Vienna, 20 – 21 October, 2014.
(http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2014/papers/04_toyota_hirose.pdf)

- Holtsmark, B. 2016
Biodrivstoff fra trær er ingen god ide. Aftenposten, 16. mars 2016.
- Holtsmark, B. 2017
Kostnader og utslipp av CO₂ som følge av budsjettavtalen for 2017. SSB notat 2017/16.
- Ibenholt, K. og Skjelvik, J. M. 2016
Markedsutsiktene for biodrivstoff. Vista Analyse AS. Rapport 2016/03.
- Landbruks- og matdepartementet 2016
Verdier i vekst. Konkurransedyktig skog- og trenæring. Meld. St. 6 (2016-2017).
- Lendle, A. og Schaus, M 2010
Sustainability Criteria in the EU Renewable Energy Directive: Consistent with WTO Rules? ICTSD information note (September 2010):1–16.
- Melby, A. M., Aasheim, K. og Brenna, K. A. 2017
Bærekraftig biodrivstoff. ZERO rapport 2017.
- Miljødirektoratet 2013
Rapportering på bærekraftskriterier for biodrivstoff og flytende biobrensel. Veileder til produktforskriftens kapittel 3. Versjon 5, januar 2017.
- Miljødirektoratet 2015
Klimatiltak og utslippsbaner mot 2030. Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Oslo, Miljødirektoratet. Rapport M-386/2015.
- Miljødirektoratet 2016
Raps er det mest brukte biodrivstoffet i Norge. Faktaark av 26. mai 2016.
- Miljødirektoratet 2017a
Fakta om biodrivstoff. Faktaark av 23. februar 2017.
- Miljødirektoratet 2017b
Klimaeffekt og kostnader ved mer biodrivstoff. Faktaark av 16. mars 2017.
- Miljødirektoratet 2017c
Utkast til konsekvensutredning – ILUC-direktivet og opptrapping til 20 prosent biodrivstoff i 2020. Miljødirektoratet 16. mars 2017.
- NHO Transport, Norges Skogeierforbund, LO, Zero et al. 2016
Vegkart for næringslivets transporter. Med høy mobilitet mot null utslipp i 2050. September 2016.
- Norsk elbilforening 2017
<https://elbil.no/elbilstatistikk/>.
- Norsk Hydrogenforum 2017
<http://www.hydrogen.no/>.
- Pelkmans, et al. 2002
"New energy saving and environmentally friendly technologies for buses and trucks", Vito Flemish Institute for Technological Research: Paper from NGV Conference 2002
- Pihlatie et al. 2014
"Fully electric city buses – The viable option", IEEE International electric Vehicle Conference, IEVC 2014, 17-19 Dec. Florence, Italy
- Pihlatie et al. 2016
Feasibility of electric buses in Troms fylkeskommune, VTT customer report

- Siemens 2016 Studie av Siemens Norge og Volvo Norge
<https://www.mynewsdesk.com/no/siemens-as/documents/en-ny-studie-elbusser-kan-spare-oslo-for-inntil-en-milliard-kroner-52967>.
- Statens energimyndighet 2016
Marknaderna för biodrivmedel i 2016. ER rapport 2016:29.
- Statistisk Sentralbyrå (SSB) 2016
Sal av petroleumprodukt, 2015, endelige tal. 12. april 2016.
- Steen 2014 Eco-Mobility 2014
Strategies, Technologies and R&D-funding programmes for the Market Introduction of Alternative Propulsion Systems and Fuels
(http://www.a3ps.at/sites/default/files/conferences/2014/papers/02_jrc_steen.pdf)
- Tanaka, T. 2011
Toyota's Strategy for Powertrains including Plug-in Hybrid Vehicles. JSAE/SAE International 2011 Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting. Kyoto, August 30 – September 2, 2011.
- Transportföretagen 2016
Lokal og regional kollektivtrafikk 2015. Statistikk 2016:26. November 2016.
- Volvo 2017
<http://www.volvobuses.se/sv-se/news/2017/feb/volvo-bussar-far-order-pa-90-eldrivna-bussar.html#sthash.edbpXDad.pmey5iyt.dpuf>
- VTI 2015
How to Reach 40% Reduction in Carbon Dioxide Emissions from Road Transport by 2030: Propulsion Options and their Impacts on the Economy. VTI report R-00752-15. (Finsk)
- Weber et al. 2016
Fornybare drivstoffer – Fornybar diesel: HVO, TØI rapport 1475/2016.
- ZeEUS 2016
eBus Report – An overview of electric buses in Europe,
<http://zeeus.eu/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>.

Transportøkonomisk institutt (TØI)

Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningssenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafikkssikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Besøks- og postadresse:
Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no