

Rolf Hagman
Terje Assum
Astrid Helene Amundsen
TØI rapport 1160/2011

tøi Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning



Strøm til biler



Strøm til biler

Rolf Hagman

Terje Assum

Astrid Helene Amundsen

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 978-82-480-1252-8 Papirversjon

ISBN 978-82-480-1251-1 Elektronisk versjon

Oslo, juli 2011

Tittel: Strøm til bil

Title: Electricity for cars

Forfattere: Rolf Hagman
Terje Assum
Astrid Helene Amundsen

Author(s): Rolf Hagman
Terje Assum
Astrid Helene Amundsen

Dato: 07.2011

Date: 07.2011

TØI rapport: 1160/2011

TØI report: 1160/2011

Sider 67

Pages 67

ISBN Papir: 978-82-480-1252-8

ISBN Paper: 978-82-480-1252-8

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1251-1

ISBN Electronic: 978-82-480-1251-1

ISSN 0808-1190

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Norges Forskningsråd

Financed by: The Research Council of Norway

Prosjekt: 3475 - Strøm til biler

Project: 3475 - Strøm til biler

Prosjektleder: Rolf Hagman

Project manager: Rolf Hagman

Kvalitetsansvarlig: Rune Elvik

Quality manager: Rune Elvik

Emneord: Brenselselle
Marked
Personbiler

Key words: Car
Fuel cell
Market

Sammendrag:

Strøm til biler er et brukerstyrt innovasjonsprosjekt (BIP) med DEFA som prosjekteier, og Energi Norge, Statoil, Toyota Norge som øvrige partnere i prosjektet. Rene elbiler vil være best egnet som et nisjeprodukt for små kjøretøyer, på relativt korte reiser. Nye fremtidige gjennombrudd på batterifronten kan være nødvendige for et større marked for elbiler. I perioden 2015-2025 vil sannsynligvis ladbare hybridbiler bli konkurransedyktige og brenselsellebiler kan bli mer aktuelle enn det de nå er.

Summary:

Electric vehicles, EV will probably be most suitable as small vehicles, used on relatively short distances. The problem with battery capacity and cost has to undergo a major breakthrough to reach a large market share. In the period from 2015-2025 plug-in hybrids will probably be competitive, and fuel-cell cars can also be a more relevant alternative than today.

Language of report: Norwegian

Forord

Denne rapporten er en oppsummering av kunnskap om elbiler, ladbare hybrider og brenselcellebiler, og utviklingspotensialet frem mot 2020. Det er også utført en brukerundersøkelse for å finne årsakene til valg av bil, og hvem som i første rekke har kjøpt denne type biler. Målet er å finne hensiktsmessige forretningsstrategier, servicetilbud og produkter som vil bidra til ny og fortsatt verdiskapning for DEFA, Statoil, Toyota Norge og EnergiNorges medlemsbedrifter. Hensikten har blant annet vært å finne frem til effektive tiltak for innfasing og bruk av strøm for å redusere energiforbruk, forurensning og klimapåvirkning fra den norske personbilparken.

Prosjektet er finansiert av Forskningsrådet innenfor programmet Renergi. TØI ved forsker Rolf Hagman har vært prosjektleder for prosjektet. Prosjektet er av typen brukerstyrte innovasjonsprosjekter (BIP). DEFA har vært prosjektansvarlig i forhold til Forskningsrådet. De andre partnerne i konsortiet har vært: StatoilHydro, Toyota Norge og EnergiNorge.

Rapporten er skrevet av forskerne Rolf Hagman, Terje Assum og Astrid H. Amundsen. Assum har utført brukerundersøkelsen, og skrevet kapittel 7 om resultatene fra denne undersøkelsen. Hagman har skrevet de andre kapitlene. Amundsen har blant annet bidratt med redigering og strukturering av innhold i de ulike kapitlene. Avdelingsleder Rune Elvik har vært ansvarlig for kvalitetssikringen av rapporten, mens sekretær Trude Rømming har tilrettelagt rapporten for trykking.

Oslo, juli 2011
Transportøkonomisk institutt

Marika Kolbenstvedt
fungerende instituttssjef

Rune Elvik
forskningsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Elbiler, ladbare hybridbiler og brenselcellebiler	2
1.3 Metode	4
1.4 Rapportens struktur	5
2 Elbiler	6
2.1 Historisk utvikling	6
2.1 Teknologi	7
2.2 Fordeler med elbiler	9
2.3 Utfordringer	12
2.4 Elbiler – modeller	14
2.5 Bruksområder	16
3 Ladbare hybridbiler	17
3.1 Teknologi	17
3.2 Fordeler med ladbare hybridbiler	18
3.3 Utfordringer	21
3.4 Ulike hybridbiler	21
3.4 Bruksområder	24
4 Brenselcellebiler	25
4.1 Historisk utvikling	25
4.1 Teknologi	25
4.2 Brenselcellebiler og utvikling	26
4.3 Fordeler med brenselcellebiler	27
4.4 Utfordringer	31
4.5 Brenselcellebiler og kjøretøy med brenselceller	32
4.6 Bruksområder	33
5 Batterier	35
5.1 Teknologi	35
5.2 Blybatterier	36
5.3 Nikkel-Cadmium batterier	36
5.4 Nikkel-Metall-Hydrid batterier	36
5.5 Nikkel-Natrium-klorid – Zebra batterier	37
5.6 Li-ion batterier	38
5.7 Sammenligning av batterityper	39
5.8 Fremtidsutsikter	41
6 Strømforsyning	42
6.1 Fornybar strøm til biler	42
6.2 Vann, gass eller kullkraft	42
6.3 Lading og hurtiglading	43

7	Hybridbilførere og valg av kjøretøy	44
7.1	Spørreundersøkelser blant hybridbileiere	44
7.2	Hybridbileierne – hvem er de?	45
7.3	Bruk av hybridbil	47
7.4	Motivasjon for valg av hybridbil	49
7.5	Erfaring med hybridbil, problemer og forbedringsmuligheter.....	50
7.6	Neste bilkjøp	53
7.7	Oppsummering og konklusjoner	59
8	Konklusjoner og strategi	60
8.1	Konklusjoner	60
8.2	Strategier for industrien.....	62
8.3	Videre forskning.....	64
9	Referanser.....	65

Sammendrag:**Strøm til biler**

TØI rapport 1160/2011

Forfattere: Rolf Hagman, Terje Assum og Astrid H. Amundsen
Oslo 2011 67 sider

Strøm til biler er et brukerstyrt innovasjonsprosjekt (BIP) med DEFA som prosjekteier, og Energi Norge, Statoil, Toyota Norge som øvrige partnere i prosjektet. Strøm til biler er et fremtidsrettet konsept i Norge. Rene elbiler vil være best egnet som et nisjeprodukt for små kjøretøyer, på relativt korte reiser. Nye fremtidige gjennombrudd på batterifronten kan være nødvendige for et større marked for elbiler. I perioden 2015-2025 vil sannsynligvis ladbare hybridbiler bli konkurransedyktige og brenselcellebiler kan bli mer aktuelle enn de nå er.

Rapportens problemstilling

Norske myndigheter og EU har vedtatt at utslippene av fossil CO₂ fra vegtrafikk skal reduseres. Dette er en utfordring som må møtes med et bredt spekter av virkemidler. I denne rapporten fokuserer vi på muligheter og begrensninger med ”strøm til biler”. Strøm til biler omfatter i vår rapport teknologi til biler som kan lades fra strømmettet samt norsk strømforsyning.

Elbiler er i Norge en beskrivelse på kjøretøy som for sin fremdrift har elektrisk motor og all energi for fremdriften lagret i batterier eller kondensatorer. I Norge finnes salg, import, produksjon og utvikling av elbiler. Norge er det land i verden som har størst antall elbiler per innbygger og også det land som har de sterkeste økonomiske virkemidlene for å stimulere kjøp av elbiler. Internasjonal bilindustri planlegger, men har foreløpig ikke eller kun i begrenset grad begynt med masseproduksjon av elbiler.

Ladbare hybridbiler bruker vi i denne rapporten som en beskrivelse av fremtidige kjøretøy, som i tillegg til energi lagret i batterier og kondensatorer også vil ha andre former for energibærere. Praktiske eksempler på ladbare hybridbiler som vil komme på markedet er biler med en forbrenningsmotor, strømgenerator og elektrisk motor. De ladbare hybridbilene vil ha en større eller mindre batteripakke som gir mulighet til lading direkte fra strømmettet.

Brenselcellebiler bruker hydrogen som energibærer og har, etter at hydrogenet omdannes til elektrisk strøm elektrisk fremdrift. I Norge kan strøm fra nettet bli den foretrukne energikilden for produksjon av hydrogen til brenselcellebiler.

Rapporten ser på spørsmål som:

- Vil elbiler og ladbare hybridbiler bli et konkurransedyktig alternativ til tradisjonelle biler med forbrenningsmotor?
- Vil det være praktisk og økonomisk hensiktsmessig med strøm til biler?
- Vil elbiler, ladbare hybridbiler eller brenselcellebiler være den type kjøretøy som best egner seg for bruk i Norge?

Spørsmålene om biler med elektrisk fremdrift blir i denne rapporten forsøkt besvart ved hjelp av litteraturstudier og analyser sammen med representanter for DEFA, EnergiNorge, Statoil og Toyota. En spørreundersøkelse blant hybridbileiere, samt tekniske og økonomiske analyser ligger til grunn for våre resultater og konklusjoner.

Fordeler og ulemper med elektrisk drift

Det fremste argumentet for elektrisk fremdrift er at virkningsgraden er dobbelt så høy som den virkningsgrad biler med forbrenningsmotorer har på sitt beste arbeidsområde. Elektriske motorer gir bilen en virkningsgrad på ca 85 prosent over hele motorens arbeidsområde, se tabell S.1.

Tabell S.1: Energieffektivitet (tilgjengelig i forhold til opprinnelig energi i prosent).

	"Kilde til tank" "Well to Tank"	"Tank til hjul" "Tank to Wheel"	"Kilde til hjul" "Well to Wheel"
Elbil (strøm fra vannkraft)	90	85	77
Hybridbiler	90	40	36
Ladbare hybridbiler	90	58	52
Brenselcellebiler	70	60	42

Hurtigladdestasjoner for elbiler kan løse problemet med kjørelengde, men er kun mulig i begrenset omfang. Grunnen er at både regional og lokal infrastruktur for strømforsyning ikke er dimensjonert for så store effektuttak som vil bli konsekvensen av omfattende hurtiglading av elbiler. Hurtigladdestasjoner reduserer frykten for strømstans og gir større kjøreradius men hurtiglading kan også redusere batterienes levetid.

Den store utfordringen for elbiler og ladbare hybridbiler er batteriene. Batterier er tunge, dyre og holdbarheten er foreløpig et usikkerhetsmoment. Med 10 mil kjørelengde kommer vekten på batteriene inklusive styringselektronikk opp mot 200 kg og prisen vil ligge på rundt kr. 100 000,-. Batteriene koster i 2011 ofte mer å produsere enn resten av en elbil. Batterier har et utviklings- og forbedringspotensial, men prisen vil i overskuelig tid være en hindring for batteripakker med lang rekkevidde. Elbiler har enkel teknologi og et rimelig fremdriftssystem. Små kjøretøy klarer seg med en mindre, lettere og rimeligere batteripakke enn store kjøretøy. Derfor skal elbiler være så små og lette som mulig.

Det høye dreiemomentet og effektiviteten ved elektrisk fremdrift og de praktiske fordelene med en forbrenningsmotor vil i en ladbar hybridbil gi oss det beste fra to verdener. Opel Ampera er et eksempel på en type ladbar hybridbil som vil komme på markedet i 2011-2012. Opel/GM oppgir at bilen vil få ladbare batterier som rekker til 60 km elektrisk kjøring. En bensinmotor vil lade batteriene når strømmen begynner å ta slutt. Dette er et spennende konsept som vil komme med forskjellige størrelser på motorer og batterier i flere bilmodeller.

Den første hybridbilen, som nå blir solgt i store volumer, var Toyotas Prius. Denne bilen har et hybridsystem med elektrisk motor, separat dynamo og bensinmotor. Ved blandet kjøring blir bensinforbruket med hybrid drift redusert med ca 30 prosent i forhold til en konvensjonell bil. Bykjøring gir større gevinst enn kjøring med jevn høy hastighet. Jo større batteripakke en hybridbil og en ladbar hybridbil har jo mer energi kan vi spare. Kommersiell lansering av den ladbare modellen av Toyota Prius er planlagt i 2012. En testseriene med 10 ladbare Toyota Prius har batterier som gjør at bilen klarer ca 20 km på oppladet elektrisk strøm. Ladbare hybridbiler vil kunne bli meget klimavennlige og gi minimalt med lokal forurensing når de kommer på markedet og kan lades med norsk strøm.

Karbonfri strømforsyning er ikke et problem i Norge. Med 7 TWt (Terawattimer), som kun er 5 prosent av Norges samlede elkraftproduksjon på ca 140 TWt, vil alle personbiler i Norge kunne gå på strøm. Lading av batteriene til en elbil går fint fra et støpsel i garasjen eller fra en enkel ladestolpe. Å lade batteriene til en elbil trekker ikke mer strøm enn å la en elektrisk varmeovn på 1 kW stå på i et døgn.

Motiver for valg av hybrid- og elbil

I dette prosjektet er det gjennomført en spørreundersøkelse blant 991 eiere av hybridbilen Toyota Prius. Spørreundersøkelsen viser at den typiske hybridbileier er en mann over 60 år med minst 6 års utdanning utover grunnskolen, bosatt på Østlandet i en husholdning med en til to personer.

Hybridbileierne er sammenlignet med eiere av elbiler og med eiere av vanlige biler med forbrenningsmotor, så langt data fra andre undersøkelser har gjort dette mulig. Elbileiere er i snitt yngre enn hybridbileierne og bor i større grad i husholdninger med tre eller flere medlemmer. Elbileierne har også i større grad enn hybridbileierne tilgang til en annen bil, og muligheten for bruk av kollektivfelt er avgjørende for elbileieres valg. Hybridbileierne har ikke denne fordelene, noe undersøkelsen viser at de er klar over.

Hybridbileiere er i stor grad fornøyd med hybridbilen og vil kjøpe hybridbil igjen. Den viktigste motivasjonen for kjøp av hybridbil er miljøvennlighet. Interessant teknologi synes ikke å være så viktig som miljøvennlighet, men oppgis likevel av nesten halvparten av hybridbileierne som grunn til å kjøpe en slik bil.

Hva skal til for at flere skal kjøpe biler med hel eller delvis elektrisk framdrift? For helt elektriske biler er bedre rekkevidde på batteriet og fortsatt tilgang til kollektivfeltene viktige betingelser. Elbiler synes i stor grad å være "bil nr 2" i husholdningen, og brukes først og fremst til arbeidsreiser.

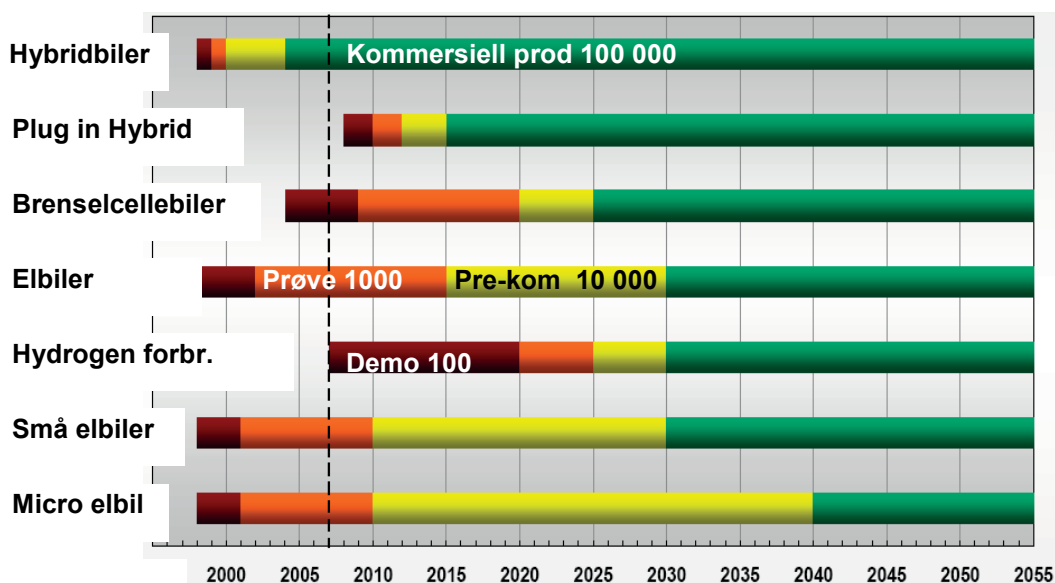
For ladbare hybridbiler synes også rekkevidden for kjøring med elektrisk drift å være viktig, selv om kravet til rekkevidde med elektrisk drift er mindre for ladbare hybridbiler enn for elbiler. Pris og mer utprøving er andre viktige forutsetninger for kjøp av ladbare hybridbiler. Derimot synes ikke selve tilkoblingen til strømmettet å være noen stor hindring for kjøp av en ladbar hybridbil, selv om over 80 prosent av hybridbileierne sier at automatisk lading vil ha betydning for valg av bil. Spørsmålene om ladbare hybridbiler er imidlertid hypotetiske i den forstand at ingen av de spurte har erfaring med denne biltypen.

Både konvensjonelle og ladbare hybridbiler kan i mye større grad enn rene elbiler være den eneste bilen i en husholdning. Dette skyldes at de kan brukes både på korte og lange turer, samtidig som de har et lavere forbruk av bensin enn vanlige bensinbiler. Inntil elbilene eventuelt får mye lenger rekkevidde mellom hver lading og langt hurtigere lading enn de nå har, er elbiler først og fremst egnet til bruk på relativt korte og forutsigbare reiser mellom steder hvor brukerne skal tilbringe forholdsvis lang tid og hvor lademulighet finnes.

Konklusjoner

Hvis vi prioriterer og tar hensyn til klimapåvirkning, økonomi og praktiske bruksegenskaper, vil fremtidens biler sannsynligvis bli:

- Elbiler for små kjøretøy og kort kjørelengde
- Ladbare hybridbiler og relativt små batteripakker til større biler som også skal brukes for langkjøring
- Brenselcellebiler med hydrogen som energibærer, som med ny infrastruktur for hydrogen og med kraftig reduserte priser på brenselceller kan bli et fremtidig alternativ til både elbiler og ladbare hybridbiler



Figur S.1: Antatt utvikling fra demonstrasjon (100 biler/år og brun farge) frem mot kommersiell produksjon (100 000 biler/år og grønn farge) av biler med alternativ teknologi. Kilde: Uavhengig ekspertgruppe nedsatt av California Air Resources Board (CARB ekspertgruppe 2007)

For bedriftspartnerne i prosjektet kan ny teknologi og nye transportformer være en trussel, men fremfor alt gir teknologisk utvikling og forandring nye foretningmessige muligheter. Teknologi for redusert klimapåvirkning har en stor samfunnsinteresse og et stort økonomisk potensial. På den andre siden finnes det muligheter for å tape på en teknologi eller energiform som ikke vil bli økonomisk

bærekraftig. Utfordringen er å forstå hvilke teknologier som kan bli vinnere og til hvilken tid det er økonomisk interessant å bli en aktiv aktør i markedet.

DEFA er verdensledende på motor- og kupèvarmere for biler. Bruk av elektrisk motorvarmer ved kaldstart er alltid en fordel. En varm forbenningsmotor gir lavere utslipp av klimagasser de første 5 minuttene og lavere utslipp av helseskadelige avgasser de første 1-2 minuttene enn en kald motor.

Behovet for elektrisk kupevarmer på vinteren er stort for ladbare biler da elektrisk oppvarming med strøm fra batteriene vil redusere kjørelengden. Alle biler vil også i fremtiden, og spesielt på den kalde årstiden, få redusert negative miljøpåvirkninger ved en elektrisk tilkobling til strømmettet. For DEFA som allerede er i en bransje med elektrisk oppvarming ser vi en utfordring i å tilpasse seg til et marked med bilmodeller som allerede fra produsenten kommer med elektrisk tilkobling.

Toyota utvikler elbiler, hybridbiler, ladbare hybridbiler og brenselcellebiler. *Toyota Norge* markedsfører disse bilene i Norge. Batterier og mangel på bærekraftig og karbonfritt produsert strøm (på verdensbasis) er hovedgrunnene til at ladbare biler foreløpig ikke blir produsert i store volumer for et kommersielt marked. Toyota hevder at alle deres bilmodeller etter hvert vil få hybrid fremdrift. I hvilket omfang elbiler og ladbare biler vil bli solgt i Norge er avhengig av avgiftssystemet i Norge og etterspørselen i verden.

Undersøkelsen blant hybridbileierne viser at disse i snitt er eldre enn førerkortinnehavere generelt og at de er eldre enn elbileiere. Hybridbileierne bor også i større grad i husholdninger med en eller to personer. Et viktig spørsmål fremover blir derfor hva som skal til for å få unge mennesker og barnefamilier til å kjøpe ladbare biler og hybridbiler.

Statoil og Statoil Fuel and Retail forsyner markedet med energibærere til kjøretøy. Tradisjonelt har dette vært bensin og diesel fra mineralolje. Ladestasjoner og hurtiglading av ladbare biler vil de nærmeste 10 årene være et begrenset marked. Ladestasjoner og hurtiglading stiller nye og kostbare krav til arealer for parkering og infrastruktur for strømforsyning. Ladbare hybridbiler vil få større omfang enn elbiler, og dette innebærer at produksjon og salg av mer praktiske energibærere enn strøm vil være av størst betydning for et energiselskap som Statoil.

En hurtigladestasjon for strøm til biler på et antall bensinstasjoner kan være et positivt markedstiltak. Egne ladestasjoner og store arealer for lading er et usikkert tiltak med tanke på at ladbare hybridbiler og små elbiler kan klare seg langt med hjemme-lading. Statoil Fuel and Retail har 4 demonstrasjons- fyllstasjoner for hydrogen i Norge. Direkte avkastning på investert kapital i hydrogenstasjoner kan dog ikke forventes før brenselcellebiler blir kommersielt tilgjengelige.

EnergiNorge arbeider for å legge til rette for ladbare kjøretøy og økt bruk av strøm til biler. Ladestasjoner og hurtiglading er nødvendige forutsetninger for komfortabel bruk av elbiler på lengre avstander. Innfasing av kommende ladbare hybridbiler trenger i utgangspunkt ikke ny infrastruktur for strømforsyning. Intelligent strømforsyning som styres av tilbud og etterspørsel, samt å kunne kjøpe strøm fra micro-leverandører (bileiere med batteripakker i ladbare biler) vil kunne bli et teknologisk morsomt og spennende forretningsområde for fremtiden.

For EnergiNorge og kraftselskapene kan vi se at energisparing og strøm til biler tilbyr en mengde nye muligheter. Samtidig er det klart at utviklingen av nye tjenester vil ta sin tid.

Samfunnsmessige vurderinger nødvendige

Transportøkonomisk institutt legger vekt på at en må ha et bredt samfunnsøkonomisk perspektiv på satsinger i transportsektoren. Dette betyr at en må analysere teknologiske, samfunnsmessige og bedriftsøkonomiske muligheter og begrensninger. En må etablere kunnskap om hvilke prosesser som kan bidra til ny energieffektiv bilteknologi og fornybare energibærere.

I arbeidet med miljøteknologiske løsninger må en definere hva som skal være samfunnets oppgaver og hva som er næringslivets og individets ansvar. Videre er det viktig å se teknologiske og andre virkemidler i sammenheng, slik at gevinstene ved teknologiforbedring ikke blir spist opp av trafikkvekst.

Summary:

Electricity for road vehicles

TØI Report 1160/2011

*Authors: Rolf Hagman, Terje Assum and Astrid H. Amundsen
Oslo 2011, 67 pages Norwegian language*

Electricity for road vehicles is a future-oriented concept in Norway. Electric Vehicles are most likely to continue being small vehicles driven over relatively short distances. Increased battery capacity and costs kept to a minimum will have to be realized if a large market share is to be attained. In the period 2015 to 2025, Plug-in hybrids will become competitive and Fuel-cell vehicles may become a more relevant alternative than they are today.

Main objectives in the report

The Norwegian government and the European Union (EU) have drawn up regulations aimed at reducing fossil CO₂ emissions from road traffic. This is a challenge that has to be met through a spectrum of measures, and in this report the focus is on the possibilities and constraints connected with “Electricity for cars”, i.e. technology by which cars can be charged through power grids and Norwegian hydroelectric power.

In Norway, *EV (Electric Vehicle)* is the term given to vehicles using electric power stored in batteries. Norway is one of the countries in the world with the highest number of *EVs* per inhabitant and with economic policies strongly stimulating purchase, import, production and development of *EVs*. Norway is a frontrunner although the international car industry has not yet started the mass production of *EVs*.

Plug-in hybrid Vehicles (PHEV) will operate on energy stored in batteries and with more conventional energy carrier. *PHEVs* that will soon be available for sale are cars with a combustion engine, a power generator and an electric engine. In addition, they will have a series of batteries that can be charged directly from power grids.

Fuel-cell Vehicles (FCEV) use hydrogen as an energy carrier, and have electric drive (after transformation of the hydrogen to electric power). In Norway, electricity can be the energy source of choice in the production of hydrogen for *FCEVs*.

Some of the main questions in the report are:

- Will *Electricity for road vehicles* become competitive alternatives to the traditional combustion-engine car?
- Will electricity be practicable and economically feasible for cars?
- What kind of electrified vehicles will be best suited for use in Norway?

A literature review, a survey among owners of hybrid cars in Norway, technical and economic analyses, together with information from our partners DEFA, Toyota Norway, Statoil and Energy Norway form the base for our results and conclusions.

Advantages and disadvantages of electric drive

The main argument supporting electric drive is that the energy efficiency is much higher than that of combustion engines. *EVs* may have an efficiency of about 85% “Tank to Wheel” and that is superior to competing alternatives; see table S.1.

Table S.1: Energy efficiency, in percent.

	”Well to Tank”	”Tank to Wheel”	”Well to Wheel”
<i>EV (Hydroelectric power)</i>	90	85	77
<i>HEV (Hybrid Electric Vehicle)</i>	90	40	36
<i>PHEV</i>	90	58	52
<i>FCEV</i>	70	60	42

Fast-charging for *EVs* would solve the problem of range, but the possibilities are limited because neither the regional nor the local infrastructure for the supply of electricity are dimensioned for high amounts of tapping during short periods. Fast-charging will reduce range anxiety (the fear of empty battery) and make the driver use his *EV* for longer driving ranges than without this possibility.

The major challenge with electricity to road vehicles is coping with batteries that are heavy, expensive, and with durability still uncertain. For practical distances of about 100 kilometers, the batteries will weigh about 200 kilograms (including the control electronics) and cost approximately NOK 100 000. In 2011, batteries even for a small car often cost more to produce than the rest of the car put together. The potential for development and improvement is there, but the cost of racks of batteries with long-range capacity remains an obstacle. *EVs* have simple technology and a inexpensive propulsion systems, and since small vehicles can function with a smaller, lighter and less expensive battery rack than larger vehicles, competitive *EVs* should be as small and as light as possible.

The torque and efficiency of electric drive along with the practical advantages of a combustion engine in a *PHEV* car give the best of two possible worlds. The Opel Ampera is one example of a plug-in hybrid that will be on the Norwegian market in 2011–2012. Opel/GM say that the car will have re-chargeable batteries giving 60 km on electric drive, and that the combustion engine will re-charge the batteries when they are about to run out. The concept of Opel Ampere is in the future expected to become available with different engine sizes and different battery capacity from several car manufacturers.

The first hybrid vehicle (*HEV*) sold in high volumes was the Toyota Prius. This car has a hybrid system with both an electric motor, a combustion engine and a separate dynamo. The hybrid system will in differentiated driving conditions, reduce the petrol consumption by approximately 30 percent. With re-chargeable

and bigger battery rack there is more energy to save. Commercial production of the *PHEV* version of the Toyota Prius will begin in 2012.

Carbon neutral electric power supply is not a problem in Norway. Using 7 TWh, which is just 5 percent of Norway's total electric power production, all light vehicles in Norway can be powered by electricity. Connecting to the grid in the owner's own garage is a practical way to charging the batteries for an EV, and requires no more power than would a 1 kW electric heater on for 24 hours.

Motives for choosing HEVs and EVs

A survey of 991 owners of *HEVs* has shown that they are: men over 60 years of age, have at least 6 years of higher education, live in the eastern parts of Norway, and in one or two-person households.

In this study, *HEV* owners are compared with owners of *EVs* and of combustion-engine cars whenever possible. *EV* owners are younger and usually live in a household with three or more persons. To a higher degree than *HEV*, *EV*-owners have access to a second car in the household. The possibility of free use of bus-lanes (thereby avoiding congested traffic) in and out of city areas is a major factor influencing purchase of an *EV*. The *HEV*-owner does not have this advantage – and is aware of it.

HEV-owners like the car they have, and say that they would buy *HEV* the next time around, too. The major motivation for buying *HEVs* is that it is “environmental friendly”, but “interesting technology” is also a reason given by about half of the owners.

What can be done to persuade a higher percentage of drivers to buy an *EV* or partly electrified car? Further improvement of batteries and their range, as well as extended license to use bus-lanes, are mentioned as important factors. In Norway, an *EV* is often car number two in the household, and is used mainly on work-related journeys.

Battery's range is also important, although less so for *PHEVs* than for *EVs*. Price and more testing are also important premises for future purchase of *PHEVs*.

HEVs and *PHEVs* are more likely than *EVs* to be the sole car in the household, because these cars can be used over both short and long distances, and at the same time have lower petrol consumption than conventional cars. Until the distance that *EVs* can travel between each battery charge is much greater, and charging much quicker, these cars are primarily suitable for shorter and predictable journeys between places where the driver spends some time and where there are charging facilities in place.

Conclusions

Determining priority and considering the environment, one's economy and practical use of a car, the private cars of the future will probably be:

- *EV* – a smaller vehicle driven over short driving ranges
- *PHEV* – larger vehicles used over longer distances
- *FCEV* with hydrogen as energy carrier if prices become competitive

For our project partners, new technology and new types of transport can be a threat, but technological development and change will provide new business opportunities. Technology for reduced climatic influence is of major social interest and with great economic potential. However, gambling on technology that does not prove economically sustainable will lead to loss. The challenge is in understanding what technologies that will be competitive, and in determining when it is economically viable to become an active participant in the market.

DEFA are world-leading producers of engine and coupé heating for cars. An electric engine-heater is always an advantage. A warm combustion engine reduce emission of greenhouse gases the first five minutes, and lower emission of gases injurious to health for the first 1-2 minutes. The need for electric heating of the coupé during winter is important in all types of plug-in cars, because heating using power from the batteries will reduce the driving range. For DEFA, one of the challenges for the future will be in adapting to a market where a lot of new cars already at delivery have electric wiring.

Toyota develop *EVs*, *HEVs*, *PHEVs*, *FCEVs* and market these vehicles in Norway. Batteries and lack of carbon neutral produced electric power are the main reason why electrified vehicles not are produced in high volumes world-wide. Toyota state that, at some point, all their cars will have hybrid drive. The extent to which *EVs* and *PHEVs* will be sold in Norway will depend on the Norwegian system of taxation on new vehicles, and on world-wide demand. The HEV-owner survey shows that in HEV-owners are older than EV-owners. The HEV-owner is also more likely to live in a small household (1-2 persons). It is a challenge to get younger people and families with small children to buy PHEVs and HEVs.

Statoil and Statoil Fuel and Retail supplies the market with energy to vehicles – traditionally petrol or diesel from mineral oil. Fast charging of cars at a limited number of petrol stations is likely to become a positive market approach. Large scale charging of *EVs* would however put new and costly constraints on space for parking and the infrastructure for supply of electric power. *PHEVs* are likely to dominate the market for electricity to road vehicles and there will be a demand for more practical carriers in addition to electricity that can be charged at home.

EnergyNorway is preparing for increased use of electricity for road vehicles in Norway. Docking stations and fast-charging stations for vehicles are necessities for comfortable use of EVs. Energy saving and electrification of vehicles offers a number of opportunities for EnergyNorway and power companies, but the development of new services will take time.

There is need for increased knowledge of the processes that can contribute to new energy-efficient car technology and renewable energy carriers. When working towards environmental–technological solutions, the responsibilities of society, the industry and individuals need to be defined. It is also important that technological and other means are seen in connection with one another, so that the gains from technological improvements are not “eaten up” by the growth in traffic.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Målet med prosjektet ”Strøm til biler” er å finne effektive tiltak for innfasing og bruk av elektrisitet for å redusere forbruk av fossil energi, forurensning og utslipp av klimagasser fra norske personbiler. I framtida vil personbiler i større eller mindre grad ha elektrisk drift og elektrisk forvarming av forbrenningsmotorer. Ladbare hybridbiler og elbiler forventes å bli faset inn i det norske personbilmarkedet takket være Litium-ion batterier. Bruk av elektrisitet til personbiler er spesielt gunstig i Norge, fordi det meste av elektrisiteten (over 95 prosent) i Norge er produsert ved vannkraft, dvs. fornybar energi. I land hvor elektrisitet produseres ved bruk av fossile energibærere, vil bruk av elektrisitet til framdrift av personbiler ha negativ eller liten betydning for reduksjon av energiforbruk og utslipp av klimagasser.

I 1990-årene var den store utfordringen for bilindustrien å redusere lokalt forurensende avgassutslipp som nitrogenoksider (NO_x), hydrokarboner (HC) og partikler (PM) til nivåer som ga akseptabel luftkvalitet. På 2000-tallet kom utslipp av klimagasser (hovedsakelig CO_2) i fokus. Mellom 2010 og 2025 vil mangel på høyverdig energi som kan brukes som drivstoff bli en utfordring (Obergh, 2001). Energieffektive kjøretøy vil uansett hvilket fremdriftssystem som brukes, direkte eller indirekte bidra til reduserte utslipp av klimagasser og global oppvarming.

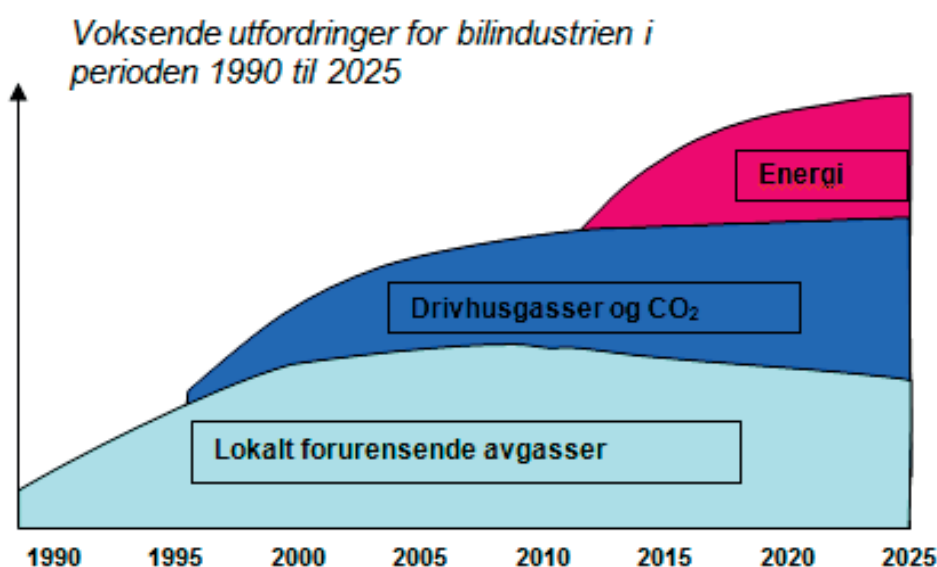


Fig 1.1: Utfordringer for bilindustrien frem mot 2025 (Obergh, 2001) .

Samfunnet og bilindustrien må løse de tre utfordringene med lokal forurensning, klimagasser og lavt energiforbruk samtidig. Strøm til biler og elektrisk fremdrift gir den muligheten i Norge. Utfordringene for samfunnet, bilprodusentene,

energiselskaper og produsenter av bilrelatert utstyr er å satse på rett teknologi til rett tid.

Kjøretøy med elektrisk fremdrift og alternative drivstoffer er ofte så kostbare å utvikle og produsere at de kan trenge støtte for å kunne utvikles til kommersielt konkurransedyktige produkter. På den andre siden er det ikke all bilteknologi som vil kunne utvikles til kommersielle produkter uansett hvor mye støtte den får.

Målet fra myndighetene, om å legge til rette for at 10-20 prosent av de nye bilene som fra 2015-2020 selges per år i Norge skal være biler med elektrisk framdrift, og som kan bruke strøm fra nettet, vil være mulig å oppnå. Hvilke støtteordninger og insentiver som er nødvendige vil være hensiktsmessig å vurdere underveis.

En vurdering er at verden står overfor et paradigmeskifte med hensyn til synet på biler, og at biler med karbonbaserte drivstoffer og forbrenningsmotorer vil bli erstattet med elbiler (Econ Pöyry 2010).

Det er flere vinklinger på om det er hensiktsmessig og økonomisk forsvarlig å fase inn strøm til biler på den måte som blir gjort i Norge. I ”Virkemidler for introduksjon av el- og hybridbiler” utarbeidet for Norsk petroleumsinstitutt, har Econ Pöyry beregnet kostnader for å redusere utslipp av CO₂ ved å fase inn ladbare biler. Beregningen skjer ved å summere tapte inntekter for samfunnet på grunn av de subsidier elbiler har i Norge (Econ Pöyry 2009). En konklusjonen er at myndighetene subsidierer elbiler med 7 000 – 30 000 kr per tonn spart CO₂.

Tallene viser at innfasing av ny teknologi i startfasen kan være kostbart for samfunnet og at man kan forvente reduksjon av støttenivået i takt med at teknologien modnes og markedet vokser, noe som også er hensikten. Teknologien hos elbiler er fremdeles ikke kommersielt konkurransedyktig med bensin- og dieseldrevne biler. Tidlig elektrifisering av transportsektoren i Norge kan gi konkurransefortrinn og bidra til industriell utvikling av teknologi og tjenester for ladbare biler og strøm til biler.

Avgiftsnivået er avgjørende for markedsutviklingen for elbiler, ladbare biler og brenselcellebiler. Avgiftene settes årlig, og potensielle nye avgifter vil kunne ha store konsekvenser for bruken og omsetningen av slike biler i perioden fram til de blir prismessig konkurransedyktige med bensin- og dieslebiler.

1.2 Elbiler, ladbare hybridbiler og brenselcellebiler

Elektrisk drift er den mest energieffektive fremdriftsformen for biler. Elbiler er i denne rapporten og også generelt i det norske samfunnet en betegnelse på biler som har elektrisk drift og all energi til fremdrift lagret i batterier. Elbiler er biler som ikke har utslipp av noen form for avgasser når de kjører på veien. I et livsløpsperspektiv kan energiforbruket i elbiler likevel, avhengig av hvordan strømmen er produsert, bidra til global oppvarming.

I Norge har små elektriske kjøretøy fått anledning til å bruke den positive betegnelsen elbil også om de kun er typegodkjente som motorsykler. De kommer derved inn i en kategori kjøretøy som nyter godt av flere fritak fra skatter og avgifter. På engelsk er forkortelsen for elbiler EV eller BEV (Electric Vehicle eller Battery Electric Vehicle). Elbiler kan på vinteren bidra til utslipp av

klimagasser ved at de ofte har kupévarmere som skaper varme med hjelp av karbonholdige energibærere.

Hybrid fremdrift er elektrisk fremdrift kombinert med en annen form for fremdrift (ofte elektrisk motor og forbrenningsmotor). Hybridbiler er ikke utformet slik at de kan lades fra strømmettet, men produserer selv den strøm de bruker til kombinert (hybrid) fremdrift. På engelsk er forkortelsen for hybridbiler HEV (Hybrid Electric Vehicle). Hybridbiler som kan lades fra nettet kalles ladbare hybridbiler, på engelsk PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Brenselcellebiler er biler som bruker hydrogen som energibærer. I en brenselcelle blir så hydrogen sammen med oksygen fra luften omformet til elektrisk strøm og vann. Den elektriske strømmen fra brenselcellen driver i sin tur den elektriske bilmotoren. På engelsk er forkortelsen for brenselcellebiler FCEV eller FCHEV (Fuel Cell Electric Vehicle eller Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle).

Energibæreren hydrogen kan i Norge produseres ved hjelp av elektrisk strøm og elektrolyse av vann. På den måten kan brenselcellebiler bruke strøm til biler. I andre land, som må bruke fossil energi til produksjon av elektrisk kraft, vil det være mest hensiktsmessig å produsere hydrogen ved splitting av metangass.

Innfasing

Reduksjon av klimapåvirkningen fra veitrafikk utover en referansebane som tar utgangspunkt i vedtatte direktiver vil ikke komme av seg selv. For å få CO₂-utslippene ned mot uttalte ambisjoner trengs ambisiøse handlingsplaner og tiltak for innfasing av ny teknologi. Redusert klimapåvirkning er ikke nok motivasjon for at privatpersoner skal velge strøm til biler. Energieffektivisering i et livsløpsperspektiv vil gi økonomiske gevinster og indirekte redusere utslipp av klimagasser. Redusert forbruk av høyverdig energi vil være attraktivt både for samfunnet og den enkelte bileier.

Utfordringene er at kjøretøy med avansert teknologi er dyrere å produsere enn tradisjonelle kjøretøy. Insentiver for å fremme nye og dyrere kjøretøy kan fungere i en overgangsfase, men på lengre sikt bør kostnadene for produksjon av lavutslippskjøretøy og gevinstene ved å unngå miljøbelastninger, komme ned på et konkurransedyktig nivå. Sunn og rettferdig konkurranse mellom forskjellige teknologier som kan bruke norsk strøm til biler vil gi klimagevinster til lavest og mest bærekraftig pris for samfunnet.

Incentiver for elbiler og brenselcellebiler i Norge

Elbiler og brenselcellebiler har i Norge flere privilegier enn de rent økonomiske i forhold til konvensjonelle biler og hybridbiler,

- Kjøring i kollektivfelt
- Gratis passering i bomstasjoner
- Gratis parkering på offentlige parkeringsplasser (og i praksis på mange private parkeringsplasser)

Det finnes indikasjoner på at elbiler i Norge for en stor del kjøpes for å kunne kjøre i kollektivfelt på veier hvor det er køer i rushtidene.

Det er med hjelp av offentlige støtteordninger og Transnova opprettet ladestasjoner for elbiler over hele Norge.

1.3 Metode

1.3.1 Problemstilling

Den overordnede ideen som ligger til grunn for prosjektet ”Strøm til biler” er å finne hensiktsmessige forretningsstrategier, servicetilbud og produkter som vil bidra til ny og fortsatt verdiskapning for DEFA, Statoil (tidligere StatoilHydro), Toyota Norge og EnergiNorges (tidligere EBLs) medlemsbedrifter.

Målene med prosjektet er:

- *Første delmål:* identifisere hvilke teknologier og biltyper som vil bli tilgjengelige og konkurransedyktige i tiden fram til 2020.
- *Andre delmål:* finne ut hva som skal til for at det norske markedet skal kjøpe mer energieffektive biler og bruke tekniske løsninger som er til nytte for miljøet.
- *Tredje delmål:* analysere resultatene i de to første delene av prosjektet for å finne forretningsmessige strategier for å utvikle nye produkter og tjenester.

I forbindelse med prosjektet ble det utført en spørreundersøkelse blant eiere av hybridbiler. Hensikten med denne undersøkelsen var å belyse hva som får folk til å velge hybridbiler, fordi denne motivasjonen til en viss grad kan antas å gjelde for biler med elektrisk framdrift generelt. I tillegg undersøkte vi hvilken erfaring hybridbileierne har med sine biler, om det har vært problemer og om de ser forbedringsmuligheter. Undersøkelsen skal også vise om eiere av hybridbiler skiller seg fra resten av befolkningen på noen måter.

1.3.2 Fremgangsmåte

Informasjonsinnhenting

Analyser og sammenstilling av informasjon fra partnerne i prosjektet, fra seminarer, forskningsrapporter og annen litteratur blir sammen med prosjektdeltakernes nettverk brukt for å identifisere hvilke teknologier og biltyper som vil kunne bli tilgjengelige i Norge i perioden frem mot 2020. Vi ser at prognoser og fremtidsvisjoner for bilteknologi til dels er preget av de involverte kompetansegruppens utgangspunkt og interesser.

Ved vurdering av hvilke bilteknologier som vil bruke strøm til biler forsøker vi å ta hensyn til hvor uttalelser og informasjonen kommer fra, og hvilke interesser som finnes for en positiv eller skeptisk innstilling. Rapporter og konklusjoner kan når det gjelder ny og potensielt lønnsom teknologi til en viss grad være subjektive og partiske.

En intervjuundersøkelse er gjennomført for å finne ut hva som skal til for at det norske markedet skal kjøpe mer energieffektive biler og bruke miljøeffektive tekniske løsninger.

Spørreundersøkelse blant eiere av hybridbil

Våren 2010 ble det sendt ut spørreskjema til 1680 eiere av hybridbiler. Skjemaene ble bare sendt til privatpersoner, ikke til bedrifter. Selv om bedriftsmarkedet kan være viktig for biler med elektrisk drift, ble det antatt at det ville være vanskeligere å nå fram til rette person i bedriften, dvs. til den som faktisk bruker hybridbilen.

Spørreskjemaene kunne fylles ut på papir og returneres i vedlagt svarkonvolutt. Det var også mulig å fylle ut skjemaet på internett.

Av de 1680 utsendte skjemaene; ble 991 skjemaer returnert og akseptable til bruk i datafilen. Svarprosenten var på 60 prosent. En svarprosent på vel seksti er meget bra, og tyder på interesse for temaet i målgruppen for undersøkelsen.

1.4 Rapportens struktur

Kapittel 2-4 inneholder beskrivelser av utviklingspotensialet, fordeler og utfordringer for henholdsvis elbiler, ladbare hybridbiler og brenselcellebiler. Kapitlene beskriver også hvilke typer biler som vil være tilgjengelige i tiden frem mot 2020 og hvilke bilmodeller av disse typene som finnes eller som vil bli lansert i løpet av de nærmeste årene.

Kapittel 5 beskriver ulike batterityper og deres utviklingspotensial, mens *kapittel 6* tar for seg strømforsyningsproblematikken.

Kapittel 7 inneholder resultatene fra spørreundersøkelsen blant hybridbilførere, der hensikten var å belyse hvem som kjøper denne type biler og hvorfor.

I *kapittel 8* er prosjektets konklusjoner og mulige strategier for videre satsing for de ulike industripartnerne analysert og oppsummert.

2 Elbiler

2.1 Historisk utvikling

Elbiler har vært på markedet fra biler begynte å ta over fra hester som transportmiddel. I utgangspunktet (tidlig 1900-tallet) var tanken at elbiler kunne være egnet for kvinner og for aristokratiet. Bensinbilene måtte på den tiden startes med sveiv, noe som var utenkelig for disse gruppene. Da bensinbiler fikk elektrisk startmotor rundt 1920, mistet elbilene sitt viktigste fortrinn. Elbiler har siden den gang vært forsøkt produsert og markedsført i flere omganger, men aldri tatt ordentlig av. Den mest vellykkede elbilen har vært ”milk delivery vans” i Storbritannia – opp til 30 000 melkebiler på 1950-tallet og seinere. I Storbritannia og i Frankrike har elbiler også senere blitt forsøkt introdusert, men motkrefter har mobilisert mot dette. Det har vært teknologisk oversalg i form av at ny batteriteknologi er like rundt hjørnet, men utviklingen av batterier har ikke svart til forventningene.

Tre betingelser for at elbiler skal bli konkurransedyktige er:

1. At ”Post-carbon” samfunnet med karbonfrie energibærere blir en realitet
2. At store bilprodusenter mobiliserer
3. At energieffektivisering, ikke bare klimaproblemer utgjør en motivasjon for bruk

I ”post-carbon” samfunnet vil gange, sykling og kollektivtransport være de viktigste transportmåtene i byene. Samtidig vil den store bensin- eller dieseldrevne familiebilene være svært vanskelig å konkurrere med. Folk velger ofte det som er enkelt (og billig), og der har bensin- og dieselmotorer hatt et fortrinn.

Norge er et av de land i verden som har flest elbiler per innbygger. Elbiler i Norge anvendes av bedrifter og offentlige etater, samt av privatpersoner. Store deler av et profesjonelt bilmarked, med biler som kun trenger kort kjørelengde, kan dekkes av elbiler. Elbiler kan være et naturlig og rasjonelt andrevalg av bil for husholdninger med flere biler.

Samferdselsdepartementet oppnevnte i desember 2008 en ressursgruppe for å utarbeide en handlingsplan for elektrifisering av veitransporten. Energibedriftenes landsforening (nå EnergiNorge) fikk i oppdrag å lede dette arbeidet. Ressursgruppen foreslår å elektrifisere 10 prosent av den norske bilparken innen 2020 og konkretiserer dette med en rekke tiltak for å få norsk transport over på elektrisitet (EBL og ressursgruppe, 2009). Grønn Bil har siden, etter initiativ fra EnergiNorge, blitt etablert som et prosjekt som skal koordinere og drive fram endringer på nasjonal basis.

Transnova er et statlig organ som senere er nedsatt for å arbeide for mer klimavennlig transport i Norge, og har bevilget betydelige midler til etablering av ladestasjoner for elbiler. Samferdselsministeren og Samferdselsdepartementet

mente i 2009 at Norge og Norden må ta på seg en pådriverrolle for ladbare biler i Europa og internasjonalt for å utvikle et marked for elbiler.

Elbiler er en prioritert politisk miljøsatsing i Norge, og er fritatt fra offentlige skatter og avgifter. Salg og bruk av elbiler blir belønnet med betydelige incentiver som gir økonomiske fordeler og mulighet for betydelige tidsgevinster ved kjøring i sentrum av store byer. Fordeler som bruk av kollektivfelt, gratis parkering og fri passasje av bomringer gjør dem til et attraktivt valg for personer som er avhengig av personbil for reiser til og fra arbeid i store byer.

Elbiler med elektriske batterier er og har tradisjonelt vært belastet med begrensninger i ytelse og kjørelengde i forhold til konvensjonelle biler. Batteriene kan kun lagre en begrenset mengde energi, og lang tid for lading gjør at det ikke er enkelt å fylle ny energi på bilen for å utvide kjørelengden. Utvikling av ny batteriteknologi er dog inne i en spennende fase. Bedre ytelse, lavere pris kombinert med lavere vekt er forventet.

Utfordringer er at elbiler er små og at de store bilprodusentene foreløpig ikke har satset på serieproduksjon i stor skala av elbiler. Elbiler blir i dag produsert av mindre bedrifter eller i små serier. De små seriene gjør at produksjonskostnadene og til noen grad også kostnadene for kjøp av elbiler er relativt høye i forhold til masseproduserte kjøretøy. Driftskostnader for elbiler, inklusive en beregnet leasing eller avskrivningskostnad for batterier på ca kr 1000,- per måned, er på samme nivå eller noe høyere enn for tilsvarende små biler med forbrenningsmotor.

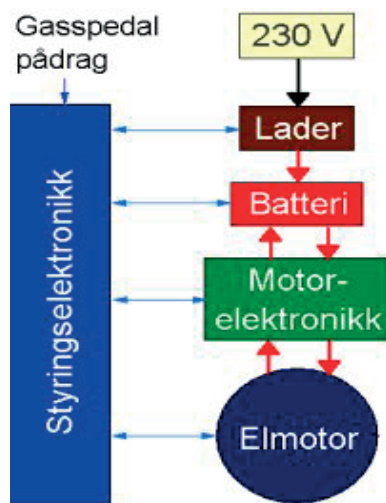
Små biler vurderes som best egnet for elektrisk drift. Think industrier (med flere konkurser – senest juni 2011), Elbil Norge og andre norske interessenter har tilbudt små elbiler til det norske markedet i mange år. Flere investorer, kraftselskapene og spesielt myndighetene i Norge har hatt stor tro på fremtidsutsiktene for elbiler og stilt økonomiske ressurser til rådighet for videre norsk utvikling, produksjon og salg av elbiler. I tillegg til små og utradisjonelle produsenter har flere store tradisjonelle bilprodusenter i 2011 enten begynt produksjon i liten skala eller vurderer introduksjon av små elbiler.

Avgjørende for elbilens fremtid og konkurransedyktighet er ytelse innen sitt markedssegment, vekt, levetid, driftsikkerhet og pris på batterier.

Interesseorganisasjoner for elbiler og miljøorganisasjoner arbeider mot både lokale og nasjonale myndigheter for å få tilrettelagt forholdene best mulig for elbiler. Nye ladeplasser, parkeringsplasser, fritak for moms på batterier, åpning av kollektivfelt er eksempler på tiltak som fremmes for å gjøre elbiler til et attraktivt valg.

2.1 Teknologi

Elbiler har et fremdriftsystem som er vesentlig enklere enn fremdriftsystemene i bensin- og dieslbiler. En batterielektrisk bil drives av en elektromotor som får strøm fra en batteripakke. En annen mulighet for fremdrift er en liten elektrisk motor for hvert drivhjul.



Figur 2.1: Elbilers motorteknologi.

Elbilen består av:

- Et batteri der framdriftsenergien lagres kjemisk, og sendes ut etter behov som elektrisk energi.
- En lader som lader batteriene.
- En (eller flere) elektrisk motor som driver hjulene.
- Motorelektronikk som overvåker systemet og sørger for at energien som ligger lagret i batteriet overføres til elmotoren etter behov.
- Styringselektronikk som styrer og overvåker bilens funksjoner.
- Sensorer som sender styringssignaler fra komponentene til styringselektronikken.

Den energi som skal brukes i elbilen sendes fra elkraftnettet via en stikkontakt inn til bilens lader. Deretter omformes nettets spenning av laderen til en spenning og strøm som lader batteriet på en optimal måte. Energien lagres som kjemisk energi i batteriet. I noen batterier skjer det en endring av elektrodematerialet under opp- og utlading.

Elbiler har som regel to batterisystemer. Utstyrsbatteriet tilsvarer batteriet i en tradisjonell bil med forbrenningsmotor og er på 12 Volt. Utstyrsbatteriet gir strøm til lys og til alt utstyr som er standardisert til å bruke lav spenning.

Fremdriftsbatteriet forsyner bilens elektriske motor med strøm og har en driftsspenning som ligger på mellom 70 og 300 Volt. Høy spenning er å foretrekke da effekttapene i kabler og elektriske komponenter blir lavere med høy spenning og lav strømstyrke, enn med lav spenning og høy strømstyrke. På den andre siden gir høy spenning behov for bedre og mer kostbar isolasjon for sikring mot overslag.

Ferdig ladet koples bilen fra elkraftnettet og er klar til kjøring. Bilens elektronikk vil ved trykk på gasspedalen overføre energi til en elektrisk motor (eller motorer) som driver hjulene via en ofte fast girooverføring. Pådraget på gasspedalen bestemmer energien som tilføres den elektriske motoren og dermed øker hastigheten på bilen. Motorelektronikken sørger for at batteriets spenning omformes til den spenning og strøm som motoren skal ha. Den kjemiske energien i batteriet omformes til elektrisk energi og via motoren til bevegelse.

Under bremsing vil elmotoren styres som en generator og lade batteriene samtidig som den brems bilens hjul. Bilens bevegelsesenergi omformes da til elektrisk energi. Motorelektronikken omformer ved bremsing motorstrøm og spenning til det nivået og den form som passer batteriet.

Styringssignaler og signaler fra sensorer i elmotoren, motorelektronikken, batteriet og laderen samles inn av styringselektronikken som bruker informasjonen til å styre bilen på en optimal måte.

Elbiler krever normalt 6-8 timer for full opplading av batteriene med strøm fra 230 volt / 10-16 A stikkontakter. Det er teknisk mulig å lade batterier opp til 80 prosent kapasitet på ca. 15-30 minutter med hjelp av hurtiglading. Elbilen og batteriene må i slike tilfeller være tilpasset bruk av høyere strømtilførsel og hurtiglader.

Elektriske motorer

Elektriske motorer til elbiler kan være enten likestrømsmotorer eller vekselstrømsmotorer. Elektriske motorer har flere fortrinn i form av få bevegelige deler, høy virkningsgrad og er helt eller delvis vedlikeholdsfrie. Girkasse er ofte ikke nødvendig da en elektrisk motor har tilnærmet fullt dreimoment fra stillstand til høye turtall. Den elektriske motorens effekt oppgis i kilowatt (kW) der 1 kW tilsvarer 1,34 hestekrefter (hk).

De første fremdriftssystemene i elbiler var likespenningssystemer. Likestrømsmotoren kommer i flere forskjellige utførelser. Likestrømsmotorer var opprinnelig utstyrt med ”børster” for overføring av strøm til bevegelige deler i motoren. I mindre elektriske kjøretøy brukes ofte børsteløse permanentmagnetiserte motorer. I fremtidens elbiler vil det trolig også bli benyttet likestrømsmotorer, men da i mer sofistikerte utgaver.

Flere av produsentene satser på asynkron- og synkronmotor med vekselspenningssystemer. Disse er både energieffektive, driftsikre og kompakte. Vekselstrømsmotorer tåler høye turtall og foretrekkes av mange elbilkonstruktører da de er tilnærmet vedlikeholdsfrie, har lang levetid og er robuste konstruksjoner. Både likestrømsmotorer og vekselstrømsmotorer kan kjøres som generatorer og kan regenerere bevegelsesenergi tilbake til strøm til batteriene. Regenerering av bremseenergi reduserer slitasje på mekaniske bremses og gjør at elbilens kjørelengde øker.

Elbilers størrelse

Beroende på problemene med å lagre store mengder elektrisk energi er elbiler i praksis små og lette biler. Jo tyngre en elbil er jo mer batterikapasitet vil den trenge, og tyngden av batteriene i seg selv vil medføre behov for ytterligere batterikapasitet.

Lette og relativt enkle elbiler for to, tre eller fire personer, med en kjørelengde på 40 til 200 km, er foreløpig (på grunn av vanskelighetene med å lagre elektrisk energi) det mest hensiktsmessige konseptet for elbiler. Små elbiler finnes tilgjengelige på flere markeder. De produseres dels som demonstrasjonsbiler eller finnes i prøveproduksjon med volumer fra noen hundre og opp til flere titusen eksemplarer per år.

2.2 Fordeler med elbiler

Lading og infrastruktur

Den største fordelen med elbiler er at de er energieffektive ”Tank(batteri) to Wheel”. Lading kan med fordel foregå i eierens garasje i løpet av natten. Hvis det ikke finnes en utbygget infrastruktur for lading og hurtiglading kan elbiler brukes for klart spesifiserte oppgaver. Med en utbygget infrastruktur for lading fra

støpsler med normal 220 V strømforsyning, utvides bruksområdet til lengre pendling til og fra for eksempel arbeidsplassen. Med spesielle hurtigladestasjoner økes elbilenes bruksområder til å omfatte arealer med en radius tilsvarende elbilens rekkevidde.

Bytting av batterier er et alternativ til personlig ladning av faste batterier i biler. "Better Place" var et prosjekt, og er nå et Californisk firma som markedsfører et konsept med bytting av batterier og fremtidige elbiler fra Renault og Nissan. Better Place har inngått avtaler i Israel og med DONG i Danmark.

Komfort for brukeren

Elbiler har forutsetninger for å tilby den samme komfort som tilsvarende store konvensjonelle biler. Motorstøyen er normalt lavere enn i biler med forbrenningsmotor og ikke noe problem for elbiler.

Miljøpåvirkning

Elbiler med batterier for energilagring og elektrisk fremdrift er nullutslippsbiler og selve kjøringen bidrar normalt verken til lokal forurensing eller global oppvarming. Hvis man ser bort fra eventuelle kjøle- og varmesystemer med karbonbaserte energibærere er elbiler ekte nullutslippsbiler "Tank to Wheel" når de kjører i trafikken. Elbiler oppfyller tre viktige kriterier for miljøbiler:

- De har null utslipp av lokalt forurensende avgasser
- De har null utslipp av klimagasser
- De har lavt forbruk av energi.

I vinterlandet Norge er det et problem at batteriene ikke er godt egnet for å drive et varmeapparat, og følgelig utstyres de miljøvennlige bilene ofte med brennere, som med fossile eller biologisk baserte drivstoffer skaffer varme og slipper ut fossil eller eventuelt klimanøytral CO₂.

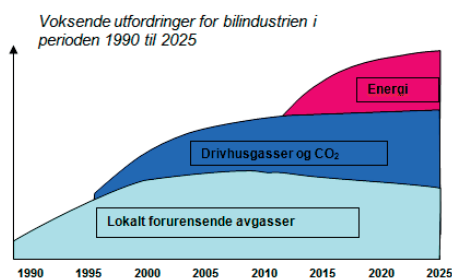
I et livsløpsperspektiv kan den elektriske energien som brukes i elbilene enten komme fra fornybare og rene energikilder som vannkraft eller fra produksjon av elektrisk kraft som både gir lokale forurensninger og utslipp av klimagasser. I et livsløpsperspektiv kan en elbil derfor være bedre, men også dårligere enn biler som bruker fossil bensin eller diesel.

Ved vurdering av redusert utslipp av klimagassen CO₂ som resultat av å velge en ny elektrisk bil i stedet for å velge en ny diesel- eller en bensinbil regner vi i Norge med at all elektrisk energi til de elektriske bilene er produsert fra fornybar energi. Dette har kun betydning i et livsløpsperspektiv, men karbonbasert strøm er en motforestilling mot bruk av elektriske biler. Hvis den elektriske energien til elbilene blir produsert av fossil energi uten gjenvinning av CO₂, kan overgang til elbiler være et tvilsomt klimatiltak. Elbilene gjør at lokal miljøbelastning reduseres. Dette gjelder både helseskadelige avgassutslipp og støy som er alvorlige problemer i store byer.

Ved en årlig kjørelengde på 10 000 km vil det med en liten elbil være mulig å redusere utslippene av CO₂ med rundt 1 til 1,5 tonn årlig i forhold til en tilsvarende liten bensin- eller dieselbil. Forutsetningen er da at vi kun betrakter utslipp fra selve bilen og ikke tar stilling til hvordan eller hvor den elektriske

energien er produsert. Den relative størrelsen på reduksjonen av helseskadelige avgassutslipp er avhengig av om man sammenligner elbiler med små bensinbiler eller små dieslbiler.

Energieffektivitet

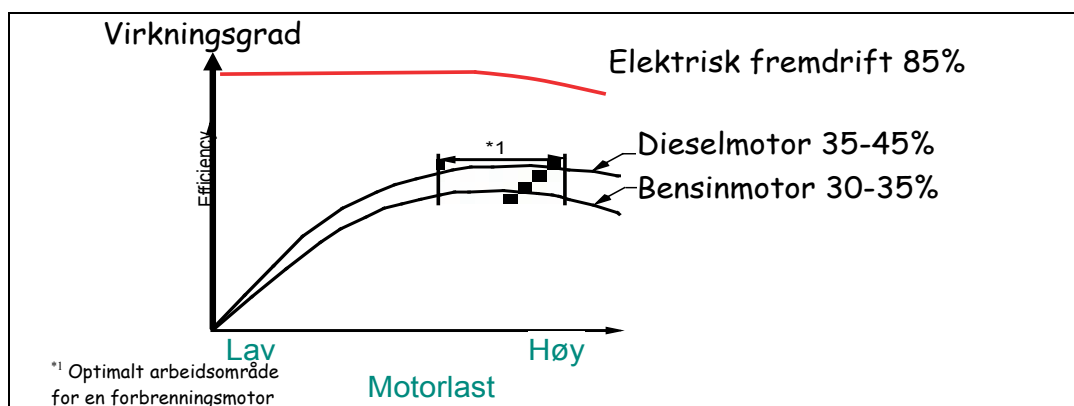


Energieffektivitet for drivstoff i et livsløpsperspektiv gir en indikasjon på hvor konkurransedyktig en kombinasjon av drivstoff og teknologi vil være i forhold til andre alternativer.

Elektrisk fremdrift gir lavt energiforbruk da elbiler, i liten grad mister energi i form av varmetap fra

fremdriftssystemet. Hvordan energien til elbiler blir produsert er avgjørende for om elbiler i et livsløpsperspektiv bidrar til lokal forurensing eller global oppvarming.

Elbilens styrke er at motoren har høy virkningsgrad og at bilen således utnytter tilgjengelig energi på en effektiv måte. Fremdriftssystemet kan ha en virkningsgrad fra batterier til nyttig bevegelse på ca. 85 prosent. Elbiler har denne høye virkningsgraden innen det meste av sitt arbeidsområde. Elbilens virkningsgrad kan sammenlignes med forbrenningsmotorer i personbiler, som på sitt beste har en virkningsgrad 30-35 prosent for bensinmotorer og 35-45 prosent for dieselmotorer.



Figur 2.2: Virkningsgraden til ulike motortyper

I en sammenligning mellom effektive små dieslbiler og små elbiler blir besparelsen i forbruk av energi drøyt 2 000 kWt (kilowattimer) per år. Reduksjon i utslipp av CO₂ blir til sammenligning drøyt 1 000 kg per år, hvis vi forutsetter at elektrisiteten blir produsert av vannkraft. I regneeksempelet (se tabell 2.1) har vi forutsatt at bilene kjører 10 000 km/år. For alternativet med små dieslbiler er det antatt et forbruk på 0,40 liter/mil. Vi har også anslått at de små elbilene bruker 1,5 kWt per kilometer hvilket tilsvarer et bensinforbruk på 0,165 liter per mil.

Tabell 2.1: Regneeksempel - sammenligning av liten dieselbil og liten elbil med hensyn til energiforbruk og CO₂ utslipp.

Kjøretøy	Energiforbruk kWt/år	CO ₂ utslipp i kg/år
Liten dieselbil - forbruk 0,40 l fossil diesel per mil- (tetthet diesel: 0,83kg/l og brennverdi 42,5MJ/kg) gir 0,39 kWt/km	3 900	1040
Liten elektrisk bil - forbruk på 1,5 kWt per mil tilsvarende 0,165 l bensin per mil er anslått av energiforbruk med en liten elbil	1 500	0
Reduksjon med en elbil i forhold til en liten dieselbil	2 200	1 040

Tabell 2.2: Energieffektivitet for elbiler (tilgjengelig i forhold til opprinnelig energi) - norske forhold

Norsk elbil/norsk strøm		
Energieffektivitet (%)		
"Well to Tank" (%)	"Tank to Wheel" (%)	"Well to Wheel" (%)
(Energikilde → lagring i kjøretøy)	(Lagret energi → hjul)	Total energieffektivitet
90	85	77

Pris

Små elbiler er i Norge fritatt fra alle skatter og avgifter, og koster mellom 140 000,- og 280 000,-. Den laveste prisen gjelder små enkle elbiler som er typegodkjente som motorsykkel og har blybatterier med lav rekkevidde. Den høyere prisen gjelder nye moderne små elbiler med avansert batteriteknologi og en batterikapasitet på 24 kWt. Prisen gjelder hva en kjøper i Norge må betale i 2011. Samfunnet i Norge har kostnader til veier og inntekter fra fiskale avgifter på biler.

I "Virkemidler for introduksjon av el- og hybridbiler" utarbeidet for Norsk petroleumsinstitutt har Econ Pöyry beregnet kostnader for å redusere utslipp av CO₂ ved å fase inn ladbare biler (Econ Pöyry 2009). Konklusjonen er at myndighetene subsidierer elbiler med 25 000 – 30 000,- per tonn spart CO₂ sammenliknet med henholdsvis bensin- og dieselbiler. Med hensyn til samlede utslipp fra produksjon og distribusjon av henholdsvis bensin, diesel og elkraft blir subsidieringen for ladbare biler enda større dersom de forsynes med gass- eller kullkraft.

2.3 utfordringer

Elbiler med elektriske batterier har begrensninger i form av ytelse i forhold konvensjonelle biler. Batteriene kan bare lade en viss mengde energi, og den lange ladetiden gjør at man ikke uten videre kan fylle ny energi på bilen for å utvide kjøreradiusen. Ladning av batteriene tar normalt 6-8 timer fra en vanlig

230 V stikkontakt. Enkelte batterityper kan hurtiglades opp til 80 prosent kapasitet på 15-60 minutter avhengig av batteritype og lader.

Med en typisk rekkevidde på 40 til 200 km og med 200 til 400 kg batterier er elbiler et nisjeprodukt. Uten hjelpemotor eller en brenselcelle for kontinuerlig ladning av batteriene er elbiler ikke egnet som transportmiddel for lange avstander.

Siden midten av 1990 tallet har kommuner, energiselskaper, posten og bedrifter kjøpt inn eller leiet elbiler med varierende tilfredshet. Motivasjonen har vært å støtte norsk elbilproduksjon, reduksjon av lokale og globale utslipp samt å styrke sin miljøprofil.

Det er ikke helt enkelt og ufarlig å ha aktive materialer i et batteri når de kun er atskilt av tynne membraner eller en elektrolytt i form av gele. Ved direkte kontakt mellom elektrodene i et Litium-ion batteri kan en lavineartet prosess på kort tid frigjøre hele batteriets energimengde (16-24 kWt) med dramatiske konsekvenser i form av brann eller eksplosjon. Det har forekommet at fabrikker og biler har brent opp på grunn av feil i batterier. Batteriteknologien har dog etter hvert blitt mer moden med hensyn til risiko, og hvordan man skal kontrollere konsekvensene av de potensielle feil som kan oppstå.

Lav støy fra elbiler er en fordel men kan også være en utfordring. Elektriske biler kan i 2011 lages og produsere slik at støyen fra den elektriske motoren er lav uansett hastighet. Støy fra dekk og veibane dominerer og overskygger motorstøy ved hastigheter over 50-60 km/h. Redusert støy fra elektriske biler er derfor fremfor alt en fordel i byer og tettbebygde strøk. Men ut fra et ulykkesperspektiv kan det være et problem at elektriske biler støyer mindre enn andre biler. I og med at bilene støyer mindre enn andre kjøretøyer, vil myke trafikanter i mindre grad en for konvensjonelle personbiler høre når bilene nærmer seg. Undersøkelser blant annet i USA (NHTSA 2009) viser at elektriske kjøretøyer har en noe høyere ulykkesandel blant fotgjengere og syklister. Særlig pekes det på at dette kan være et problem i forhold til blinde trafikanter. Ulempen med stillegående motorer kan fjernes med intelligent generering av varslingslyder.

Kostnadene for kjøp og bruk av små elbiler blir for brukere i Norge noe lavere eller på samme nivå som for små biler med forbrenningsmotor. For det norske samfunnet medfører salg av elbiler mindre inntekter i form av uteblitte bilavgifter og merverdiavgift.

I et regneeksempel (se tabell 2.3) sammenligner vi bileiers kostnader for små elbiler med små energigierrige dieslbiler som også er tilgjengelige på det norske markedet. Anskaffelseskostnaden for en elbil (typisk Mitsubishi MIEV) vil eksklusive batterier i Norge være ca. 120 000,- hvis vi forutsetter at vi ønsker komfort som kan sammenlignes med små biler med forbrenningsmotor. Inklusive batterier koster den samme elbilen 240 000,-. Attraktive små biler med dieselmotor har anskaffelseskostnader (inklusive skatter og avgifter) på ca 180 000,- og ca. 60 000,- større enn en liten elbil uten batterier.

Energikostnad til en liten diesebil vil være 4 000 kroner/år (dieselpriis 12,- kr/liter) ved en gjennomsnittlig kjørelengde på 10 000 km/år. Energikostnad til den lille elbilen med et forbruk på 1 500 kWt og en strømpris på 0,60,-/kWt vil være ca. 900,-/år. Dette gir en driftsinnsparing på 3 100,-/år. I tillegg kommer

fritak fra årsavgift (ca. 2 000,-/år), gratis kommunal parkering og billig forsikring (ca. 1 700,-/år) og bompenger (ca 2 000,-/år).

Kostnaden for batterier kan synliggjøres som en leasing- eller leieavtale og kan beregnes å være i størrelsen 1 000,- per måned, eller 12 000,- per år. Service for en elbil beregnes å koste ca 2 000,- per år og er ca 30 % lavere enn for en dieselbil som må skifte olje.

Den økonomiske utfordringen er at små elbiler ikke vil være konkurransedyktige uten insentiver og fritak fra skatter og avgifter og at samfunnet betaler dyrt for elbilers bidrag til reduserte utslipp av CO₂ fra veitrafikk.

Tabell 2.3: Regneksempel med sammenligning av kostnader for små elbilene og små dieselbiler:

Kjøretøy	Anskaffelse ny bil (kr)	Drivstoff kostnad per år (kr)	Diverse (kr)	Batteri-kostnad og service per år (kr)
Liten dieselbil - forbruk 0,40 l fossil diesel per mil - (tetthet diesel: 0,83kg/l og brennverdi 42,5MJ/kg) gir 3,9 kWt per mil	180 000	4 800	5 700	3 000
Liten elektrisk bil - forbruk på 1,5 kWt/mil (tilsvarende 0,165 l bensin per mil)	120 000 (240 000 Inkl batterier)	900		14 000
Reduksjon med en elbil i forhold til en liten dieselbil	60 000	3 100	5 700	11 000 (økt kostnad)

2.4 Elbiler – modeller

Flere selskaper selger elbiler i Norge. I dette avsnittet viser vi noen eksempler på typiske elbiler.

Buddy

ElBil Norge markedsfører, utvikler og produserer elektriske kjøretøy. Selskapet startet med salg og service av modellen Kewet som i sin tid ble produsert i Danmark. Senere har ElBil Norge overtatt Kewet-konseptet og i 2005 ble en ny modell "Kewet Buddy" ferdig utviklet og EU-godkjent. Buddy er i produksjon på Økern i Oslo. Buddy er en teknisk enkel elbil for bybruk. Buddy oppgis å kreve lite vedlikehold og å være rimelig i drift. Buddy er EU-godkjent som 3-seters firehjuling motorsykkel. Den elektriske likestrømsmotoren har en effekt på 13 kW og den kraftigste blybatteripakke gir en kjørelengde 40-80 km, avhengig av



Figur 2.3: Elbilen Buddy

temperatur og topografi. Tophastgheten er 80 km/h. En Buddy, med nødvendig varmeapparat for norske forhold, koster med en batteripakke på 14 kWt fra kr 124 000,-. Batterienes levetid er estimert til 2-5 år eller ca 20.000 km. Hvor lang denne faktisk blir er avhengig av kjøre- og lademønster. Nye blybatterier koster ca 19 000,- + mva.

Think City

Think Technology startet som Pivco og utviklet bybilen City Bee i midten av 1990-årene. Flere eiere har siden da arbeidet med å utvikle elbiler med navnet Think City. I 2011 var prisen på Think City 224 000,- inklusive en 24 kWt batteripakke. Think City ble en tid solgt uten batterier, prisen var da ca. 199.000,- NOK. I tillegg kom da driftskostnader på ca kr 1 000,-/måned for en batteriavtale. Batteriene var "Zebra" batterier (NaNiCl) med en oppgitt rekkevidde på 180 km



eller Litium-Ion batterier med en noe kortere kjørelengde. Servicekostnader relatert til batteriene var dekket i batteriavtalen og inkluderte bytte av batteripakken hvis det skulle være nødvendig. Med en konkurs i juni 2011 er det stor usikkerhet knyttet til Think, fremtidig drift og mulighetene for å kjøpe Think City.

Figur 2.4: Elbilen Think City

Mitsubishi MIEV

Mitsubishi har utviklet og selger i 2011 elbilen MIEV i Norge. Bilen koster fra



240 000,- og har en 16 kWt batteripakke. Mitsubishi MIEV er en attraktiv liten elbil og var våren 2011 den mest solgte småbilen i Norge. Den samme bilmodellen med litt annen design selges også av bilprodusentene Peugeot og Citroen.

Figur 2.5: Elbilen MIEV fra Mitsubishi.

Nissan Leaf

Nissan har utviklet elbilen Leaf. Nissan Leaf er til salgs på noen markeder og vil bli introdusert i Norge i 2011 eller i 2012. Den vil koste i Norge koste 255 000,- .



Batteripakken er på 24 kWt. Nissan og Renault satser stort og målbevisst på elbiler. Nissan Leaf fremstår som en bil med noe mer plass enn de helt små elbilene som har dominert elbilmarkedet

Figur 2.6: Nissan Leaf

Tesla modell S elbil

Tesla er en liten amerikansk produsent av elbiler og er kjent for en attraktiv elektrisk sportsmodell som er til salgs i Norge. Tesla S er en elbil som om noen år er planlagt å komme i serieproduksjon og som foreløpig blir forserieprodusert i mindre antall for demonstrasjonsformål. Tesla S er en sedanmodell med størrelse som en familiebil. Informasjon om ytelse og tekniske spesifikasjoner er foreløpig ikke tilgjengelig.



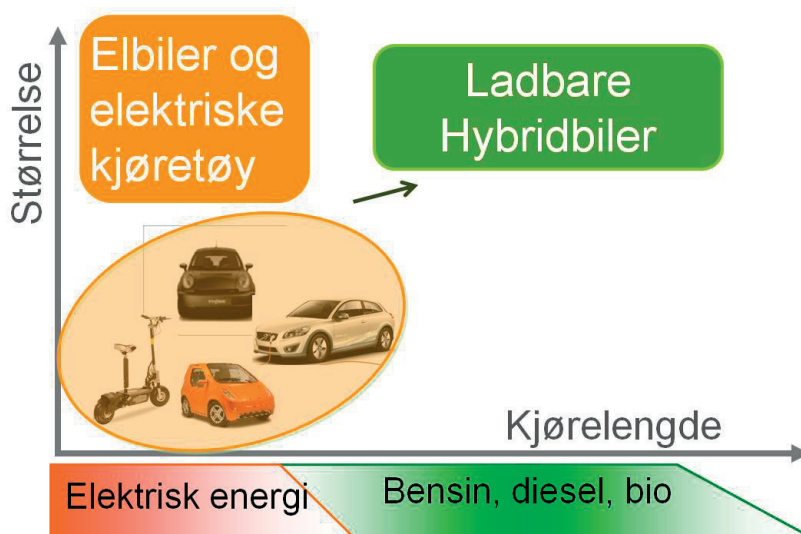
Figur 2.7: Tesla modell S elbil (forserieproduksjon). Foto: Tesla

2.5 Bruksområder

Små elektriske kjøretøy med spesifiserte bruksområder vil med enkel teknologi, begrenset batterikapasitet og lav kostnad kunne bli konkurransedyktige og foretrukket innen spesielle nisjemarkeder. Posttjenester, varedistribusjon og hjemmetjenester er eksempler på transportfunksjoner som med fordel kan utføres med elbiler. For privatpersoner vil elbiler bli et miljøvennlig alternativ som andrebil for korte transportavstander.

Elbiler og elektriske sykler er og vil i økende grad også med normalt rimelige skatter og avgifter kunne bli attraktive transportmidler. I store byer kan elektriske kjøretøy bli et komplement til kollektivtransport. Spesielt elektriske sykler tar liten plass og kan hjelpe på kø og plassproblemer. Elektriske sykler og helt lette kjøretøy har den fordelen at de trenger liten batterikapasitet og vil fort, også uten subsidier, bli økonomisk konkurransedyktige med andre former for transport.

I land hvor strøm utelukkende produseres ved varmekraftverk er det ut fra et energisynspunkt lite hensiktsmessig å bruke strøm til fremdrift av biler som veier opp mot 1 000 kg. Fossil diesel og biodrivstoffer kan brukes mer effektivt i en hybridbil enn i en kjede fra varmekraftverk til elbil ("Well to Wheel").



Figur 2.8: Mulige bruksområder for elbiler og elektriske kjøretøy

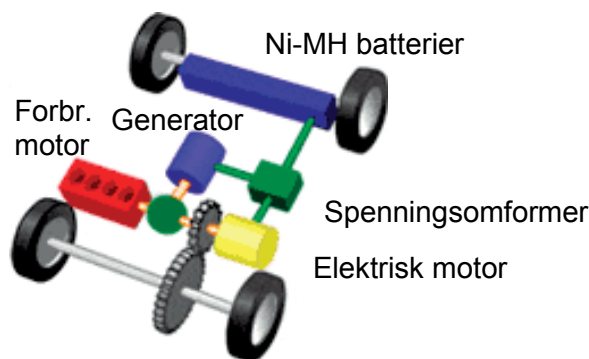
3 Ladbare hybridbiler

Det finnes to konsepter for biler som skal lades fra nettet og kjøres med elektrisk fremdrift. Elbiler er det første, mest energieffektive alternativet, og som med norsk vannkraft som energikilde i et livsløpsperspektiv ikke gir utslipp av klimagasser. Et annet alternativ er biler som kjøres på elektrisk energi, men som også har en forbrenningsmotor og i tillegg til strøm bruker et mer praktisk drivstoff som energibærer.

Ladbare hybridbiler blir i flere rapporter og analyser internasjonalt vurdert som en konkurransedyktig og fleksibel form for elektrisk fremdrift i biler (Kendell, G 2008). For USA blir gradvis innføring av ladbare hybridbiler vurdert som det hensiktsmessige for reduksjon av energiforbruk og reduksjon av klimapåvirkning (University of Indiana 2011).

3.1 Teknologi

Hybride kjøretøyer kombinerer bruk av forbrenningsmotor og elektrisk motor i et og samme kjøretøy. Ideen bak denne kombinasjonen er å kunne utnytte de beste egenskapene fra begge motorteknologiene. Framdriften av en hybridbil skjer helt eller delvis med en elektrisk motor. Den elektriske motoren henter energien fra batterier eller fra en strømproduserende generator. Generatoren drives av en forbrenningsmotor. Forbrenningsmotoren kan også i flere hybridkonsept drive hjulene direkte. Batteriene i en hybridbil kan i tillegg til strøm fra en generator, lades av strøm fra elektrisk bremsing.



Figur 3.1: Fremdriftssystemet i hybridbilen Toyota Prius (Bilde Toyota)

Forbrenningsmotoren i en hybridbil kan være av en hvilken som helst type og den kan bruke en rekke forskjellige drivstoff. Filosofien bak hybridløsninger er at forbrenningsmotoren normalt opererer i driftsområder der utslippene er lave og virkningsgraden er høy. Forbrenningsmotoren kan gå på tilnærmet optimalt konstant turtall under de beste driftsbetingelser.

Det finnes flere tekniske muligheter for hybridbiler og hybrid fremdrift. Det kan være enkle og rimelige løsninger ("stop and go") som sparer 5-10 prosent av

energiforbruket eller omfattende teknologiske løsninger som kan redusere energiforbruket med 50 prosent i bykjøring.

Ladbare hybridbiler

Ladbare hybridbiler er ennå ikke kommet på markedet, men prøves nå ut under norske og nordiske forhold. Utprøvingen skal vise hvilket potensial for reduksjon av CO₂-utslipp ladbare hybridbiler vil ha i praksis, hvilke barrierer som finnes for å ta dem i bruk og hvilke løsninger som kan tenkes på disse barrierene.

Hybridbiler som skal utnytte muligheten til redusert klimapåvirkning ved å kjøre på ”karbonfri” norsk strøm må kunne lades direkte fra strømmettet. Slike biler kalles i Norge for ladbare hybridbiler. På engelsk kalles de Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV).

Ladbare hybridbiler kan konstrueres på forskjellige måter. En forutsetning for at det skal være meningsfullt å lade hybridbilens batterier via strømmettet er en batterikapasitet som gjør det mulig å kjøre minst et par mil på oppladet strøm. Toyota, Opel (GM) og Volvo har tre helt forskjellige tilnæringsmåter på de prøveserier av ladbare Prius, Opel Ampera og Volvo V60 hybrid som er presentert. En av modellene er i utgangspunkt en hybridbil, en er i hovedsak en elbil med bensingenerator og en er både en elbil og en dieselbil.

3.2 Fordeler med ladbare hybridbiler

En større eller mindre batteripakke er nødvendig for å lagre og gjenbruke elektrisk energi i en ladbar hybridbil. Batterier er både tunge og kostbare. Fordelen med ladbare hybridbiler er at de ikke er helt avhengig av så stor batterikapasitet som elbiler.

En konsekvens av at ladbare hybridbiler trenger en mindre batteripakke i forhold til sin størrelse, er at bilen blir mer romslig og at vekten blir lavere.

Sammenlignet med vanlige biler som bruker fossilt drivstoff har ladbare hybridbiler et sparepotensial på cirka 2/3 av disse kjøretøyenes forbruk, avhengig av batteristørrelse. De har et forventet utslipp på under 60g CO₂ per km. Samtidig har ikke ladbare hybridbiler de ulempene som vanlige elbiler har, i form av begrenset kjørelengde mellom hver lading.

Lading og infrastruktur

Den største fordelen med ladbare hybridbiler er at de er uavhengig av en ny infrastruktur for lading av batterier. Lading kan med fordel foregå i eierens garasje i løpet av natten. Hvis det ikke finnes en utbygget infrastruktur går bilen likevel som en bra og relativt energieffektiv hybridbil til neste gang det er praktisk mulig å koble den til strømmettet.

Komfort for brukeren

Ladbare hybridbiler har lavt støynivå, dels på grunn av elektrisk fremdrift og dels fordi forbrenningsmotorene kan kjøres med optimal arbeidsbelastning.

Batteriprodusenter utvikler egne batterityper for hybridbiler som gir muligheter for god funksjon kombinert med høy ytelse. Ladbare hybridbiler vil normalt være litt tyngre enn hybridbiler og tyngre enn tilsvarende bensin- og dieslbiler.

Lastevolumet er normalt noe mindre enn for hybridbiler da det må skapes større plass for batterier. Øvrige bruksegenskaper er som for tilsvarende bensin- og dieslbiler.

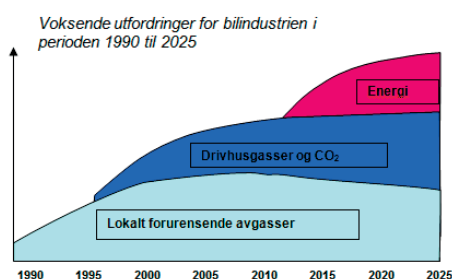
Nok varme i kupéen er en utfordring for biler der all energi er lagret i batteriene. I ladbare hybridbiler kan kupéen varmes opp enten via en elektrisk kupévarmer eller ved at forbrenningsmotoren starter og varmer opp kupéen. Når bilen er tilkoblet nettet, vil elektrisk oppvarming være det enkleste og mest miljøvennlige alternativet. Hvis kupéen ved noen anledninger er kald og ikke tilkoblet strømmettet kan kupéen raskt varmes opp, uten å bruke batterikapasitet, ved hjelp av overskuddsvarme fra forbrenningsmotoren.

Et klimaanlegg for kjøling av kupéen med varmepumpe, bruker mindre energi og er mer miljøvennlig med elektrisk energi, enn med energi fra en forbrenningsmotor.

Miljøpåvirkning

Avgassutslippene fra hybridbiler har de beste forutseneringer for å være lave. Lokalt forurensende avgassutslipp kan minimeres ved at forbrenningsmotorene kan gå på tilnærmet optimal belastning og turtall. Utslippene av klimagasser blir, hvis en bensinbil eller en diesebil får hybrid fremdrift, redusert med 30 respektive 20 prosent i blandet trafikk. Med en ladbar hybridbil vil de lokalt forurensende avgasskomponentene kunne bli redusert til et minimum. Reduksjonen i utslipp av klimagasser er avhengig av kjøremønster, men vil også hvis bilen ikke er tilkoblet strømmettet, bli lavere enn for en vanlig hybridbil.

Energieffektivitet



Energieffektivitet for drivstoff i et livsløpsperspektiv gir en indikasjon på hvor konkurransedyktig en kombinasjon av drivstoff og teknologi vil være i forhold til andre alternativer.

Hybrid teknologi i biler kan med dieselmotorer som energiomformer og norsk fossil diesel fra norsk olje gi en total energieffektivitet ”Well to

Wheel” på ca 36 prosent. Med en ladbar hybridbil som går 60 prosent på norsk vannkraft og 40 prosent på norsk fossil diesel vil energieffektiviteten komme opp i ca 52 prosent. Til sammenligning har vi i kapittel 2 kalkulert energieffektiviteten for en elbil med norsk strøm til ca 77 prosent.

Energieffektiviteten for ladbare hybridbiler er på samme måte som for elbiler sterkt avhengig av bruksmønster og hvordan strøm til lading av batteriene er produsert.

Tabell 3.1: Energieffektivitet for hybridbiler (tilgjengelig i forhold til opprinnelig energi) - norske forhold

Hybridbil med norsk bensin/		
Energieffektivitet (%)		
"Well to Tank" (%)	"Tank to Wheel" (%)	"Well to Wheel" (%)
(Energikilde → lagring i kjøretøy)	(Lagret energi → hjul)	Total energieffektivitet
90	40	36

Tabell 3.2: Energieffektivitet for ladbare hybridbiler (tilgjengelig i forhold til opprinnelig energi) - norske forhold

Ladbar Hybridbil/norsk bensin / 60% elektrisk fremdrift / 40% bensinmotor		
Energieffektivitet (%)		
"Well to Tank" (%)	"Tank to Wheel" (%)	"Well to Wheel" (%)
(Energikilde → lagring i kjøretøy)	(Lagret energi → hjul)	Total energieffektivitet
90	58	52

Pris

I hybridbiler kalkulerer man med at kostnadene for fremdriftssystemet blir ca. 3 ganger så høye (avansert hybrid fremdrift med energisparing på ca 30 prosent) som for konvensjonelle biler. Ved å gjøre hybridbiler ladbare vil den ekstra kostnaden øke med ca 4 000,-/kWt per ekstra batterikapasitet. Det innebærer at for hver ekstra 10 km rekkevidde med elektrisk fremdrift, vil kostnaden øke med i underkant av ca 8 000 kr. I tillegg til selve batterikostnadene, vil teknisk utstyr for omforming av vekselstrøm til likestrøm koste noen tusen kroner ekstra (International Energi Agency 2009).

Hvis kostnaden for batterikapasitet reduseres til ca 2 500 kr/kWt kan merkostnadene for ladbare hybridbiler dekkes inn av reduserte kostnader for drivstoff (International Energi Agency 2009).

De økonomiske vurderingene her gjelder for et fritt marked uten subsidier og insitamenter fra myndighetene. I Storbritannia og USA blir elbiler og ladbare hybridbiler i en introduksjonsfase ved kjøp subsidiert med ca 50 000,-. I Norge er avgiftsfritakene og insentivene store for elbiler, men ladbare hybridbiler ser foreløpig i mindre grad ut til å ville bli premiert i forhold til miljøgevinst. Et avgiftssystem som på en rasjonell og rettferdig måte premierer ladbare hybridbiler kan være vanskelig å oppnå kun ved hjelp av avgifter ved nybilsalg. Det er hvordan den ladbar hybridbil brukes som avgjør hvor stor miljøbelastningen blir.

I "Virkemidler for introduksjon av el- og hybridbiler" utarbeidet for Norsk petroleumsinstitutt har Econ Pöyry beregnet kostnader for å redusere utslipp av CO₂ ved å gi støtte til å fase inn ladbare biler (Econ Pöyry 2009). For ladbare hybridbiler er kostnaden beregnet til å bli rundt 6 500 – 7 000 kr/tonn CO₂. Med

hensyn til samlede utslipp fra produksjon og distribusjon blir den skisserte klimakostnaden for ladbare hybridbiler enda større dersom de forsynes med strøm fra gass- eller kullkraft.

3.3 utfordringer

Ladbare hybridbiler beholder alle komponenter i et fremdriftssystem for hybridbiler, men i tillegg må de ha utvidet batterikapasitet. Den utvidede batterikapasiteten vil være på 5-16 kWt og gir ladbare hybridbiler en merkostnad på 20 000,- til 60 000,- kroner i forhold til hybridbiler. Hybridbilen Toyota Prius er i 2011 konkurransedyktig på mange markeder. For at merkostnadene for ladbare hybridbiler skal bli kompensert av lavere kostnader for drivstoff må merkostnadene for batterier reduseres med ca 30 prosent (International Energy Agency, 2009).

Elbiler og ladbare hybridbiler har i 2011 en noe umoden og kostbar batteriteknologi.

I Norge kan myndighetene takket være et regime med høye skatter på biler styre hvilken fremdriftsteknologi og hvilke drivstoffer konsumentene skal velge. Elbiler har i 2011 fordeler som gjør dem økonomisk attraktive i store byer. En ladbar hybridbil kan i mange tilfeller gi de samme miljøfordelene som elbiler, og i tillegg fylle de krav som stilles til biler ved langkjøring og ferieturer. Engangsavgiftens utforming, fritak fra merverdiavgift med mer, kan føre til at en liten elbil, kombinert med en stor familiebil blir foretrukket fremfor en ladbar hybridbil.

Ladbare hybridbiler er foreløpig ikke kommersielt tilgjengelige men produseres i prøveserier og de første modellene Opel Ampera og en ladbar Toyota Prius vil i Norge bli tilbudt for kommersielt salg i 2011 og henholdsvis 2012.

En mulig hindring for å utnytte potensialet med ladbare hybridbiler er å ikke lade batteriene regelmessig, slik at sparepotensialet for CO₂-utslipp reduseres. Andre barrierer for kjøp av ladbare hybridbiler kan være tilgang til elektrisitet der bilen parkeres over lengre tid, som ved bolig og arbeidsplass, lav privat lønnsomhet ved kjøring på oppladde batterier i forhold til kjøring på bensin, og høy innkjøpspris sammenlignet med tradisjonelle biler.

3.4 Ulike hybridbiler

Ladbare hybridmodeller

Toyota var i 1997 først med hybridbilen Prius. Toyota Prius ble gjennombruddet for hybrid fremdrift og blir nå masseprodusert i kommersielt omfang. Toyota Prius har en bensinmotoren og nikkkel-metal hydrid (Ni-MH) batterier. Den elektriske motoren og bensinmotoren kontrolleres og styres av et energistyringssystem (dataprogram) som sørger for optimalt forbruk og lave avgassutslipp.

Honda Insight og Civic Hybrid var to biler med en noe enklere og mindre kostbar hybrid fremdrift. Enklere former for hybrid fremdrift, som kan spare 5-20 prosent

drivstoff tilbys etter hvert som et alternativ av flere store bilprodusentene som Peugeot, Mercedes, BMW med flere.

Hybrid fremdrift er energiøkonomisk og hensiktsmessig ved bykjøring. Kommersielt konkurransedyktig og miljøvennlig hybridteknologi vil ta markedsdeler i et fritt marked. Energiøkonomiske hybridbiler forventes å få et større salg med økt fokus på global oppvarming og med stigende priser på energi og drivstoff. Toyota sier at alle deres biler uansett teknologi og drivstoff vil få hybrid drift (Hirose 2011).

Bybusser er kjøretøy som vil ha store miljøfordeler med hybrid teknologi og eventuelt også med ladbare batterier.

Med ladbare hybridbiler og fornybar strøm blir energigevinstene større enn med hybridbiler hvor strømmen kun genereres av en forbrenningsmotor og av bremsenergi. På samme måte som for hybridbiler er gevinstene størst i bytrafikk.

Ladbar Prius

En ladbar Prius er hovedsakelig en Prius hybridbil med utvidet batterikapasitet og en innbygget omformer (for omforming av vekselspenning og strøm fra elnettet til likestrøm i batteriene). Batteripakken i prøveserien med ladbare Prius gir en elektrisk kjørelengde på ca 20 km. Med en batteripakke som utvider batterikapasitet med ca 4 kWt og en noe redusert engangsavgift og vil det være



mulig med
utsalgsprisen i
størrelsen
320 000,-.
Den ladbare
modellen av
Toyota Prius
er planlagt å
komme i salg i
Norge i løpet
av 2012.

Figur 3.2: Ladbar Toyota Prius

Opel Ampera

Opel Ampera er hovedsakelig en elbil med en bensindrevet generator som vil kunne gi bilen en ubegrenset rekkevidde når batterikapasiteten tar slutt. De ladbare batteriene oppgis å kunne gi en kjørelengde på 60 km. Kraften og effektiviteten med elektrisk fremdrift og de praktiske fordelene med en forbrenningsmotor vil gi oss fordelene fra to verdener. Opel oppgir at Ampera ved høy hastighet, via et planetgir, vil hente kraft direkte fra forbrenningsmotoren for på den måten å utnytte effekten fra forbrenningsmotoren på en optimal måte. Hvordan den elektriske fremdriften og en forbrenningsmotor samvirker ved forskjellige kjøreforhold kan styres med dataprogram, og er et spørsmål om strategi for det hybridkonsept av den type hybridbiler som representeres av Opel Ampera.

Opel Norge oppgir at Opel Ampera kommer i salg i Norge fra slutten av 2011. Opel Ampera vil bli klassifisert som en hybridbil og ser ut å få en engangsavgift som gjør at utsalgsprisen vil bli i størrelsen 380 000,-.

Ladbare (serie)hybridbiler av samme type som Opel Ampera er et spennende konsept som vi kan forvente vil komme med forskjellige størrelser på motorer og batterier fra forskjellige bilprodusenter. Hva som vil være de mest konkurransedyktige størrelsene på motorer og batterier vil i stor grad være avhengig av prisutviklingen på drivstoff og prisutviklingen på batterier.



Figur 3.3: Opel Ampera har batterier som lades via nettet eller med bensinmotor

Volvo V60 ladbar hybrid

Volvo V60 ladbar hybrid er et annet interessant hybridkonsept. Bilen er i utgangspunktet en effektiv dieselbil med drivverk og motor på fremakselen. I tillegg er bilen en elbil med drift på bakakselen. Bilen oppgis å kunne kjøre 60 km med elektrisk drift ved hjelp av de ladbare batteriene. Dette vil være tilstrekkelig for daglig bykjøring. Ved langkjøring med jevn hastighet er dieselmotorer meget energieffektive og kan konkurrere med hybrid fremdrift.

Volvo V60 ladbar hybrid kan kombinere de to fremdriftssystemene og på den måten få firehjulsdraft. Regenerering av bremseenergi på bakakselen oppgis å kunne gi lading av batteriene. Batteriene oppgis kun å kunne lades via nettet, men ikke ved hjelp av dieselmotoren.

Det er mulig å velge når og hvor man vil utnytte bilen som elbil, som hybridbil med kombinert elektrisk drift og dieselmotor, eller som konvensjonell dieselbil. Å bruke den som elbil er meget fordelaktig i bytrafikk, og å bruke den som konvensjonell dieselbil er hensiktsmessig ved kjøring på landevei og motorvei.



Kombinert hybriddrift kan være fordelaktig under spesielle kjøreforhold.

At Volvo V60 ladbar hybrid ikke kan lades av dieselmotoren under kjøring har relativt små ulemper, og gjør at konstruksjonen og drivlinen blir enklere og mindre kostbar.

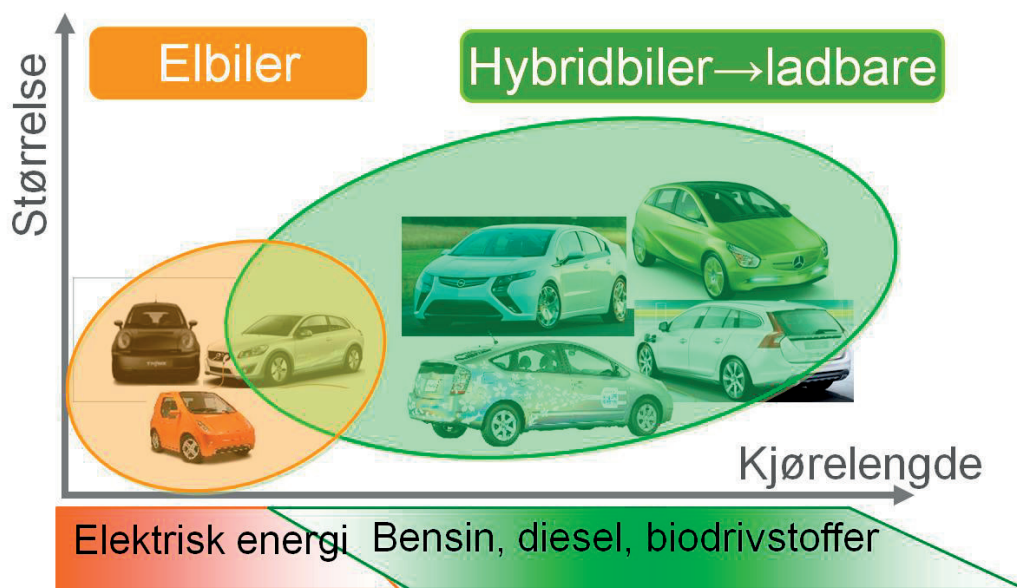
Figur 3.4: VolvoV60 ladbar hybrid er en dieselbil frem og en elbil bak

3.4 Bruksområder

Ladbare hybridbiler vil når det er behov for en større bil, og når det er behov for kjørelengder over 100 km, sannsynlig bli foretrukket fremfor elbiler (University of Indiana, 2011). Små elektriske kjøretøy med spesifiserte bruksområder vil bli konkurransedyktige innen spesielle nisjemarkeder. Disse vurderingene gjelder under forutsetning at strømforsyningen til relativt stor del er fornybar og at kostnadene for bruk av elektrisk strøm som drivstoff kan konkurrere med olje og biodrivstoff.

I land hvor strøm utelukkende produseres ved varmekraftverk er det ut fra et energisynspunkt lite hensiktsmessig å bruke strøm til fremdrift av biler. Fossil diesel og biodrivstoffer kan brukes mer effektivt i en hybridbil enn i en kjede fra varmekraftverk til elbiler.

For familiebler, større biler og på langkjøring vil ladbare hybridbiler være et økonomisk og miljøvennlig valg. Hvis de ladbare hybridbilene i tillegg til strøm bruker drivstoffer som til stor del er klimanøytrale, vil man kunne ytterligere kunne begrense klimapåvirkningen. Det vil bli en utfordring å utforme det fremtidige avgiftssystemet for biler i Norge på en slik måte at elbiler og ladbare hybridbiler beskattes på en slik måte at man oppnår optimale klimagevinster i forhold til fritak fra avgifter og samfunnets kostnader.



Figur 3.5: Mulige bruksområder for elbiler og ladbare hybridbiler

4 Brenselcellebiler

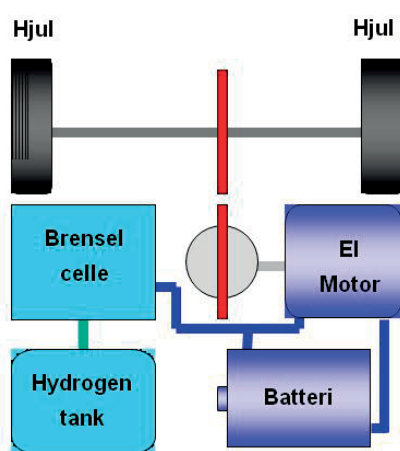
4.1 Historisk utvikling

Visjonen om hydrogenbiler og hydrogensamfunnet tok fart når Daimler-Chrysler, Ford og Ballard på slutten av 1990-tallet inngikk et nært samarbeid med hensikt å utvikle konkurransedyktige brenselcellesystemer. Daimler-Chrysler lovet 40 000 brenselcellebiler i 2004 og siden en dobling hvert år. Realiteten ble en annen.

Det viste seg at de høye kostnadene for brenselceller ikke sank så raskt som man håpet. Masseproduksjon av brenselcellebiler lot vente på seg. Tidspunkt for et eventuelt kommersielt gjennombrudd for brenselcelleteknologi i transportsektoren har vært og er fortsatt usikkert. Representanter for Daimler/Mercedes og General Motors har under 2000-tallet uttalt at enkelte kjøretøymodeller med brenselceller ville bli kommersielt tilgjengelige rundt 2010. Andre mer kritiske røster mente at man i 2010 ville være i stand til å si om brenselceller i biler i det hele tatt hadde mulighet til å bli et konkurransedyktig alternativ i forhold til forbrenningsmotorer.

En sammenstilling av intervjuer med ledende bilprodusenter og flere energiselskaper i 2010 gir den godt begrunnede vurderingen at brenselcellebiler og tunge kjøretøy med brenselceller kan bli konkurransedyktige og klare seg uten subsidier i 2025 (Car manufacturers et al 2010). Sammenstillingen er utført av McKinzie&Company og vurderingene omfatter i tillegg til brenselcellebiler og hydrogen også ladbare biler med elektrisk fremdrift. Rapporten forutsetter at utslipp av CO₂ fra veitransport i Europa i samsvar med EUs mål må reduseres med 95 prosent frem mot 2050.

4.1 Teknologi



I brenselcellebiler lagres hydrogen i form av gass i trykktanker i kjøretøyet. Hydrogen ledes derfra til brenselceller og der omformes hydrogen og oksygen fra luften via et membran direkte til strøm og vann. Strømmen fra brenselcellene driver en elektrisk motor og hjulene på samme måte som i en elbil.

Brenselcellebiler kan regenerere bremseenergi, ha hybrid fremdrift og lagre elektrisk energi i batterier på samme måte som hybridbiler med forbrenningsmotor. Til forskjell fra i elbiler produseres strøm til fremdrift når det er behov for den.

Figur 4.1: Fremdriftssystem i en brenselcellebil med hybrid fremdrift

Hydrogen er det ideelle drivstoffet for å produsere strøm i brenselceller. På lignende måte som i hybridbiler med forbrenningsmotorer, vil brenselcellebiler bli mer effektive med batterier som kan lagre energi ved elektrisk bremsing. Brenselcellebiler vil også ha nytte av hybrid fremdrift ved at brenselcellenes størrelse kan reduseres og kompletteres med effekt fra et batteri. Den energibesparende effekten av hybridløsninger blir lavere i brenselcellebiler enn i biler med forbrenningsmotor. Grunnen er at brenselceller og batterier i mindre grad kompletterer hverandre.

Hydrogen fra elektrolyse av vann med norsk vannkraft er en måte å kunne bruke strøm til fremdrift av biler. Hydrogen blir energibærer for strøm til biler. I brenselceller omformes siden hydrogenet tilbake til strøm, som i sin tur kan sørge for elektrisk fremdrift. Elektrolyse av vann for å produsere hydrogen er aktuelt i land med mulig overskudd på vannkraft eller annen fornybar elektrisk energi. Island og Norge er to land hvor forholdene ligger godt til rette for produksjon av hydrogen ved elektrolyse av vann og bruk av hydrogen som energibærer i biler.

I land som må produsere elektrisk kraft ved hjelp av varmekraftverk, for eksempel med naturgass (metan) som energikilde, er det mer energiøkonomisk å produsere hydrogen direkte fra naturgass. Partiell oksidasjon eller annen splitting av naturgass er mer energiøkonomisk enn å gå veien via gasskraftverk, strøm, elektrolyse av vann og hydrogen.

Økt utbygging av vindkraft kan gjøre hydrogen interessant som lagringsmedium fordi vindkraften er variabel og elektrisk energi er vanskelig å lagre. Utvikling av systemer for direkte kobling av en vindturbin til en elektrolysør er en interessant mulighet. En slik elektrolysør må ha høy dynamikk med høy virkningsgrad over ett bredt effektnivå for effektiv produksjon av hydrogen.

Utvikling av teknologi for brenselcellebiler og et fremtidig hydrogensamfunn vil i land som Japan og USA kunne skje parallelt med en satsing på naturgass og metan som energikilder. Fornybar energi er en forutsetning for bærekraftig produksjon av hydrogen, men naturgass vil i mange land kunne spille en betydelig rolle som energikilde for hydrogen. Uten naturgass som energikilde vil mange bilprodusenter få vanskeligheter med å motivere investeringer i utvikling av brenselcellebiler som trenger hydrogen.

Farene med lekkasje av hydrogen og risiko for eksplosjon ved kollisjoner blir vurdert som lave, se mer om dette i kapittel 4.4.

4.2 Brenselcellebiler og utvikling

Hva som er teknisk mulig er ofte ikke det samme som hva som er sannsynlig på kort sikt. Brenselcellenes kostnader, levetid og toleranse for kulde er de store utfordringene for brenselcellebiler.

Toyota (Hirose 2011) spesifiserte i 2005 at tre krav til tilbrenselceller måtte oppfylles for at en satsing på brenselcellebiler skulle bli aktuell:

- Produksjonskostnadene må reduseres med minst 95 prosent
- Levetid må forbedres med over 90 prosent
- Brenselcellesystemene må tåle kuldegrader ned til -20 °C uten å fryse i stykker

Brenselceller og hydrogen er en teknologi som av mange har blitt vurdert som svært lovende for fremtidens kjøretøyer. Brenselcellenes energivirkningsgrad skiller seg fra forbrenningsmotorens ved at den er høyest ved lav belastning. Moderne brenselceller kan med hydrogen som drivstoff oppnå opp til 60 prosent virkningsgrad. Til sammenlikning vil en dieselmotor innen sitt beste arbeidsområde kun komme opp i en virkningsgrad på 40-45 prosent.

Det er utviklet og utvikles fortsatt ulike typer brenselceller. Driftstemperaturen kan være fra 70 °C til 100 °C. Polymer-brenselcellene som ofte kalles PEM-brenselceller er stort sett enerådende når det gjelder framdrift av kjøretøy.

I 2010 viser en rapport med synspunkter fra de store bilprodusentene (Car manufacturers et al, 2010) at det har blitt en ny optimisme når det gjelder brenselcellekjøretøy og hydrogen. Rapporten hevder at brenselcellebiler vil kunne introduseres på markedet fra 2015 og at de vil bli økonomisk konkurransedyktige med andre biler i 2020.

I 2011 hevder Toyota at de tekniske utfordringene fra 2005 er løst, og at brenselcellebiler vil kunne komme i begrenset produksjon for et åpent verdensmarked i 2015. De fire årene frem til 2015 vil Toyota bruke til produktutvikling og for å kunne tilby driftsikre og kommersielt attraktive biler ved kommersiell markedsintroduksjon. Mercedes Benz ser nå ut å ha den samme tidsplanen og det samme synet på brenselcellebilers markedsmuligheter som Toyota.

Brenselcellebiler er i 2011 kun tilgjengelige som prøvebiler og kan ikke kjøpes på kommersielle betingelser.

Toyota viser med hjelp av konkrete løsninger og forklaringer at det er mulig å løse de tekniske, økonomiske og praktiske utfordringene (Hirose 2011). Frysing ved start kan ved streng kulde for eksempel unngås gjennom raskt å frigjøre stor mengde varme i brenselcellen. I 2020 mener Toyota at det vil være mulig å produsere brenselcellebiler til den samme eller lavere pris som biler med forbrenningsmotor.

En forutsetning for den skisserte utviklingen er at myndighetene legger til rette for at modeller av brenselcellekjøretøy kan selges i økende volumer, med stigning opp til serier på 100 000 biler per år i 2020. I tillegg til å legge til rette for salg av hydrogenbiler i 2020 forutsetter bilprodusentene for et kommersielt gjennombrudd at myndighetene sørger for en parallell og nødvendig oppbygging av infrastruktur for forsyning av hydrogen.

4.3 Fordeler med brenselcellebiler

Usikkerhet når det gjelder verdens fremtidige forsyning av energi og global oppvarming grunnet utslipp av CO₂, gjør hydrogen attraktiv som en fremtidig energibærer. Hydrogen er en energibærer som kan produseres av eller ved hjelp av andre energikilder. Bruk av hydrogen og brenselcellebiler kan med andre ord bli et energinøytralt alternativ for transport.

Brenselceller gir mulighet til elektrisk fremdrift av kjøretøy uten utslipp av annet enn vann fra selve kjøretøyet, ”Tank to Wheel”. Med hydrogen som energibærer er det ikke nødvendig med store og kostbare batteripakker i bilen. Verdens bilprodusenter kan, hvis brenselcelleteknologien virkelig holder hva den lover,

utvikle kjøretøy som tilbyr alt det dagens biler med forbrenningsmotorer kan tilby. Brenselceller vil kunne gi de samme mulighetene for reisemønstre som bensinbiler og dieslbiler.

Statoil og Helge Lund fokuserte ved Statoils høstkonferanse 2010 på naturgass og metan som viktige energikilder. Store forekomster av naturgass sammen med nye muligheter for å utvinne metan fra skiferformasjoner og fra biogass, indikerer at metangass vil bli en viktig energikilde. Ved partiell oksidasjon eller splitting av metan finnes muligheten til karbonfangst ved produksjon av hydrogen fra en energikilde som enten kan være fossil eller fornybar. Brenselcellebiler og hydrogen åpner muligheter for verdens store energi- og oljeselskaper til å bli helt eller delvis klimanøytrale.

Brenselcellebiler og hydrogen gir mulighet for et paradigmeskifte når det gjelder teknologi og drivstoff. Brenselceller og hydrogen gir utfordringer for ny forskning og muligheter for industriell utvikling. Brenselceller har ingen bevegelige deler og vil derfor kunne produseres på en enkel måte og vil ikke utsettes for mekanisk slitasje.

Infrastruktur og tanking

En klar fordel med hydrogen som energibærer for elektrisk fremdrift er at tanking av hydrogen ikke vil ta lengre tid enn tanking av de tradisjonelle drivstoffene bensin eller diesel. I og med at hydrogen kan produseres og distribueres på mange forskjellige måter, vil lokale forhold og lokalt tilgjengelige energikilder kunne brukes for produksjon og fyllestasjoner.

Oppbevaring og lekkasje av hydrogen er en utfordring da hydrogen, uansett hvordan det oppbevares, har en tendens til lekkasje når det lagres over tid, se mer om dette i kapittel 4.4. Myndighetene forlanger omfattende sikkerhetstiltak for å sikre at fyllestasjoner og distribusjonsanlegg får den nødvendige sikkerheten. Kompetansen om oppbevaring av hydrogen og hvordan man kan hindre eksplosjonsrisiko er etter hvert blitt så stor, at fyllestasjoner og distribusjonsanlegg for hydrogen kan bygges med tilfredsstillende grad av sikkerhet.

Komfort for brukeren

Brenselcellebiler har på grunn av den elektriske fremdriften lavt støynivå. Eventuelle batterier for hybrid drift i brenselcellebiler kan være relativt små og derved rimelige. Brenselcellebiler vil med dagens teknologinivå være tyngre enn tilsvarende bensin- og dieslbiler men det er usikkert hvor store og tunge de vil være i en fremtidig serieproduksjon. Øvrige bruksegenskaper kan bli godt tilpasset kundens ønsker og bilens bruksegenskaper da det er mulig med en relativt fri plassering av de viktige komponentene i en brenselcellebil med elektrisk fremdrift.

Komfortabel temperatur i brenselcellebiler kan oppnås ved at 40 prosent av den kjemiske bundne energien i hydrogen ved produksjon av strøm, omformes til varme. Nok varme i kupéen er ikke på samme måte som i en elbil en utfordring i og med at all energien ikke er lagret i batteriene. Det er ikke i brenselcellebiler så

kritisk at all lagret energi i størst mulig grad skal brukes til fremdrift og ikke til oppvarming.

Et klimaanlegg for kjøling av kupéen med varmepumpe, bruker mindre energi og er mer miljøvennlig med elektrisk energi fra brenselceller, enn med energi fra en forbrenningsmotor.

Miljøpåvirkning

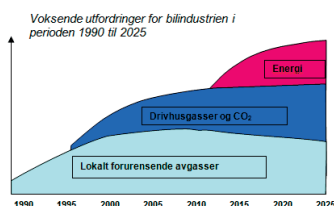
En brenselcellebil (”Tank to Wheel”) nesten en nullutslippsbil. Vanndamp eller vann er et utslippsprodukt fra brenselcellebiler men blir ikke vurdert som et miljøproblem. Størrelsen på energiforbruket ”Well to Wheel” vil ha en indirekte miljøpåvirkning ved at et stort energiforbruk ved produksjon av hydrogen vil være en miljøbelastning.

Det vil kunne være store forskjeller på hvordan hydrogen blir produsert og dette vil for brenselcellebiler gi store forskjeller i miljøregnskapet ”Well to Tank”. De mest klimavennlige måtene som nå er tilgjengelige for å produsere hydrogen er partiell oksidasjon eller splitting av metan samt elektrolyse av vann.

Med naturgass som utgangspunkt vil energieffektiviteten for produksjon av hydrogen kunne komme opp i ca 70 prosent. I tillegg til hydrogen gir den partielle oksidasjonen restproduktet CO₂. CO₂ er en klimagass og hvis den skal fanges og lagres vil dette ytterligere belaste energiregnskapet. Hvis restproduktet CO₂ slippes ut i atmosfæren vil det bidra til global oppvarming og være en miljøbelastning.

I Norge vil produksjon av hydrogen ved elektrolyse av vann med vannkraft som innsatsfaktor i et ”Well to Tank”-perspektiv ha en energieffektivitet på ca 70 prosent. Med hydrogen fra norsk vannkraft bidrar ikke brenselceller til global oppvarming.

Energieffektivitet



Energieffektivitet for drivstoff i et livsløpsperspektiv gir en indikasjon på hvor konkurransedyktig en kombinasjon av drivstoff og teknologi vil være i forhold til andre alternativer. Hydrogen er ikke en energikilde i seg selv, men må fremstilles fra en annen energi som

for eksempel naturgass eller med elektrisk energi og elektrolyse av vann. I begge tilfeller vil man typisk tape 30 prosent av den opprinnelige energien (OECD 2004).

General Motor/OPEL testet brenselcelleprototypen OPEL Zafira HydroGen3 i Tyskland og energivirkningsgraden ”Tank to Wheel” ble i 2004 oppgitt til 36 prosent med standard europeisk kjøresyklus, EDC. Til sammenlikning ble den samme bilen med en dieselmotor oppgitt å ha en virkningsgrad på ca 22 prosent. Tilsvarende virkningsgrad for en Toyota FCHV (Fuel Cell Hybrid Vehicle) har blitt oppgitt til 50 prosent. For de brenselcellebiler som vil komme i produksjon i

2015 og 2020 synes bilprodusentenes målsetting om en virkningsgrad for brenselcellebiler FCHV på 60 prosent fra "Tank to Wheel" å være realistisk.

Tabell 4.1: Energieffektivitet for brenselcellebiler (tilgjengelig i forhold til opprinnelig energi) - strøm norske forhold

Brenselcellebil / norsk strøm / elektrolyse / hydrogen / brenselcelle hybrid		
Energieffektivitet (%)		
"Well to Tank" (%)	"Tank to Wheel" (%)	"Well to Wheel" (%)
(Energikilde → lagring i kjøretøy)	(Lagret energi → hjul)	Total energieffektivitet
70	60	42

Tabell 4.2: Energieffektivitet for brenselcellebiler (tilgjengelig i forhold til opprinnelig energi) – naturgass norske forhold

Brenselcellebil / naturgass / paritell oksidasjon / hydrogen / brenselcelle hybrid		
Energieffektivitet (%)		
"Well to Tank" (%)	"Tank to Wheel" (%)	"Well to Wheel" (%)
(Energikilde → lagring i kjøretøy)	(Lagret energi → hjul)	Total energieffektivitet
70	60	42

Vi ser av tabellene 4.1 og 4.2 at energieffektiviteten for brenselcellebiler "Well to Wheel" vil kunne bli rundt 42 prosent om hydrogen blir produsert med norsk vannkraft eller ved splitting av metan.

I Norge kan vi anta at det vil være mest hensiktsmessig å produsere hydrogen til brenselcellebiler med strøm og elektrolyse av vann da dette ikke direkte gir noen bidrag til global oppvarming. Til sammenlikning vil vi anta at hybridbiler i 2015 vil kunne oppnå en total energieffektivitet på 36 prosent og at ladbare hybridbiler (med et kjøremønster som skissert i kapittel 3) vil kunne få en energieffektivitet på 57 prosent. I kapittel 2 kalkulerte vi energieffektiviteten for en elbil til ca 77 prosent.

Brenselcellebiler vil i et "Well to Wheel"-perspektiv kunne bli omtrent dobbelt så energieffektive som tradisjonelle biler med bensin eller dieselmotor, men ikke så energieffektive som elbiler og ladbare hybridbiler i Norge.

Pris

I år 2000 oppga både SIEMENS og Ballard Power Systems at materialkostnadene for PEM brenselceller lå på omkring 2000 USD/kW eller ca NOK 12 000,-/kW. General Motors oppga i 2005 en kostnad på i størrelsesorden 100 000 USD eller ca NOK 600 000,- for en "stack" med brenselceller til en bil. Dette tilsvarer ca. 1 000 USD/kW og kan sammenlignes med kostnadene for forbrenningsmotor som er på ca 30-50 USD/kW eller ca NOK 240,-/kW.

Når Toyota (Hirose. K 2011) hevder at det har vært mulig å finne metoder for å redusere kostnadene med 95 prosent i forhold til 2005 innebærer dette at

brenselceller til biler i 2015 vil kunne koste ca NOK 600,-/per kWt. Med en forespeilet reduksjon med 99 prosent vil brenselceller i 2020 kunne koste ca NOK 120,-/kWt.

Med de skisserte kostnader for brenselceller, vil brenselcellebiler i 2020 kunne koste mindre enn tilsvarende biler med konkurrerende teknologier. I Norge kan konkurransedyktige priser på brenselcellebiler sammen med lave priser på vannkraft gjøre at tradisjonelle biler med bensin og diesel vil kunne fremstå som dyre alternativer i 2020-2025.

4.4 utfordringer

Oppbygging av infrastruktur og muligheter for tanking av hydrogen er i henhold til Toyota og bilindustrien den største utfordringen for å innfase brenselcellebiler i perioden 2015-2025.

Brenselcellenes kostnader, levetid, toleranse for ekstrem kulde og varme var store utfordringer, men oppgis nå å kunne løses.

- Produksjonskostnadene oppgis å kunne reduseres med 95 prosent
- Mengden platina i brenselceller oppgis å kunne reduseres til et kostnadmessig akseptabelt nivå
- Levetid oppgis å ha blitt forbedret med en faktor 10-20 i forhold til år 2000
- Brenselcellesystemene oppgis å tåle utfordringene med kulde og vann ned til minus 20-30 °C.

Nødvendige kostnadsreduksjoner kan ikke oppnås ved masseproduksjon alene. Mengden platina som er et nødvendig, men meget kostbart katalytisk materiale, kan reduseres takket være teknikk som tillater meget tynne overflater.

Garantert levetid for brenselceller oppgitt av de ledende produsentene var på begynnelsen av 2000-tallet mindre enn ett år. I 2011 kalkulerer man med at brenselceller kan ha den samme levetid som personbiler eller at brenselcellene for eksempel må skiftes en gang i løpet av levetiden til en bybuss. Målsettingen er at brenselcellene skal få samme levetid som forbrenningsmotorer, som har en forventet levetid på opp til 15 år.

Polymerbrenselceller som dominerer i transportsektoren baserer seg på membraner med høyt vanninnhold. Dette skaper problemer ved sterk kulde og løsningen kan være så sterk produksjon av varme ved start at det ikke rekker å dannes is før brenselcellen oppnår driftstemperatur (Hirose, 2011). Ved parkering og avstengning må hele brenselcellen tørkes eller holdes så varm at det ikke dannes is.

Hydrogen, det letteste og enkleste grunnstoffet i det periodiske systemet, er vanskelig å oppbevare uten lekkasje. Lagring kan skje i trykktanker (700 bar) og det forskes også på lagring i faste stoffer (hydridler). Lagringstanker for hydrogen kan plasseres og utformes slik at risiko for eksplosjon ved kollisjoner blir meget lav. Ved lekkasje er hydrogen letter enn luft og forsvinner i atmosfæren. Det verst tenkelige scenariet vurderes å være hydrogenlekkasje i et dårlig ventilert parkeringshus med gnist og eksplosjon som følge.

Produksjon og lagring av hydrogen er relativt enkle utfordringer. Etter eksperimenter med hydrogenproduksjon fra flytende energibærere (for eksempel metanol) ombord i kjøretøy er nå ren hydrogen det foretrukne drivstoffet for brenselcellekjøretøyer. Lagring av hydrogen i kjøretøy kan skje i beholdere med trykk opp til 700 bar eller eventuelt i fremtiden i faste stoffer.

En fremgangsrik utvikling og utprøving av bilmodeller vil medføre at mindre serier av "pre-kommersielle" brenselcellebiler vil bli tilgjengelige rundt 2015. Behovet for oppbygging av infrastruktur og opptrapping av produksjonsvolumer medfører at en kommersialisering i stor skala kan begynne rundt 2020.

Den avgjørende utfordringen er å skape en forretningsmodell og utvikling slik at brenselcellekjøretøy og forsyning av hydrogen blir interessant og lønnsomt for kunder, bilprodusenter, energiselskaper og samfunnet. Markedene må overbevises med garantier om fortsatte fritak fra skatter og avgifter og reduserte kostnader under en introduksjonsfase frem til 2020-2025.

4.5 Brenselcellebiler og kjøretøy med brenselceller

Brenselcellebiler

Prototyper og moderne demonstrasjonsbiler med brenselceller har vært vist på bilutstillinger siden midten av 1990-tallet. DaimlerChrysler AG har fra tidlig på 1990-tallet demonstrert prototyper av brenselcellebiler. Nekar-serien, basert på Mercedes A-klasse, kom i flere generasjoner. Nekar 3 ble drevet på metanol, Nekar 4 kom først med flytende hydrogen og siden med komprimert hydrogen i trykktank.

Toyota var sammen med Honda selskaper som lanserte prototyper av



brenselcellebiler for spesielle brukere. Det ble inngått leasingavtaler med universiteter og med brukere i spesielle regioner, som for eksempel Toyota City, for å få praktiske erfaringer med brenselcellebiler på veiene.

Figur 4.2: Mercedes B-klasse brenselcelle demonstrasjonsbil.

Busser med brenselceller

Siden begynnelsen av 2000-tallet er det utført i flere demonstrasjonsprosjekter med bybusser med brenselceller og hydrogen som drivstoff. Bruk av brenselceller i busser har flere fordeler sammenlignet med personbiler. Med større lagringsplass for hydrogen kunne busser tidlig få en akseptabel rekkevidde selv med hydrogen lagret i gassform. I tillegg har flåtekjøretøyer en mer forutsigbar

driftsprofil, og færre problemer knyttet til tilgang på hydrogen. Infrastrukturen kan bestå av et enkelt sentralt lager med fyllestasjon.

Busser tilbakelegger ofte opptil 100 000 km pr. år. Det er derfor lettere å forsvare de høye investeringskostnadene (10-20 mill NOK) i dette markedssegmentet. Konkurrerende alternativer til busser med brenselceller i store byer, er tunnelbane eller sporvogn. Vogner til tunnelbane eller sporvei er koster ca 20 mill. NOK og i tillegg trenger slike vogner en egen infrastruktur. Hvis kravet er helt ren eller nesten helt forurensningsfri transport i en stor by vil busser med brenselceller relativt raskt kunne bli konkurrenter til skinnegående transportsystemer.

Mercedes-Benz ligger lengst frem når det gjelder brenselcellebusser. Innenfor rammene for EU's CUTE-prosjekt ble brenselcellebusser satt i prøvedrift i 9 Europeiske byer allerede i 2004. Brenselcellebusser er foreløpig kun i begrenset grad tilgjengelige for kjøp, men produseres for spesielle prosjekter som i Europa ofte er støttet av EU.

Bussene er ofte basert på Mercedes-Benz' modell Citaro. Hensikten med disse prosjektene er både å teste ut selve teknologien, krav til infrastruktur, og foreta



brukerundersøkelser. I Stockholm ble det spesielt fokusert på brenselcelledrevne busser i kaldt klima. Frost er et problem når bussen står parkert ute, men ikke i drift ettersom brenselcellen genererer varme ved produksjon av elektrisk strøm.

Figur 4.3: Mercedes-Benz Citaro brenselcelle-buss. Foto: Mercedes

4.6 Bruksområder

Brenselcellebiler kan hvis kostnader, driftsikkerhet og kuldeegenskapene i fremtiden holder hva bilprodusentene lover, erstatte de fleste kjøretøy med annen teknologi.

Små enkle kjøretøy hvor det aldri er behov for kjørelengder lengre enn opp mot 50 km vil sannsynlig være rimeligere som elbiler enn som brenselcellebiler. I Norge, med et potensielt overskudd på rimelig vannkraft, viser våre beregninger at ladbare hybridbiler er et mer energiøkonomisk alternativ enn brenselcellebiler. Ladbare hybridbiler trenger ingen ny infrastruktur for energiforsyning og vil bli kommersielt tilgjengelige før brenselcellebiler blir kommersielt interessante.

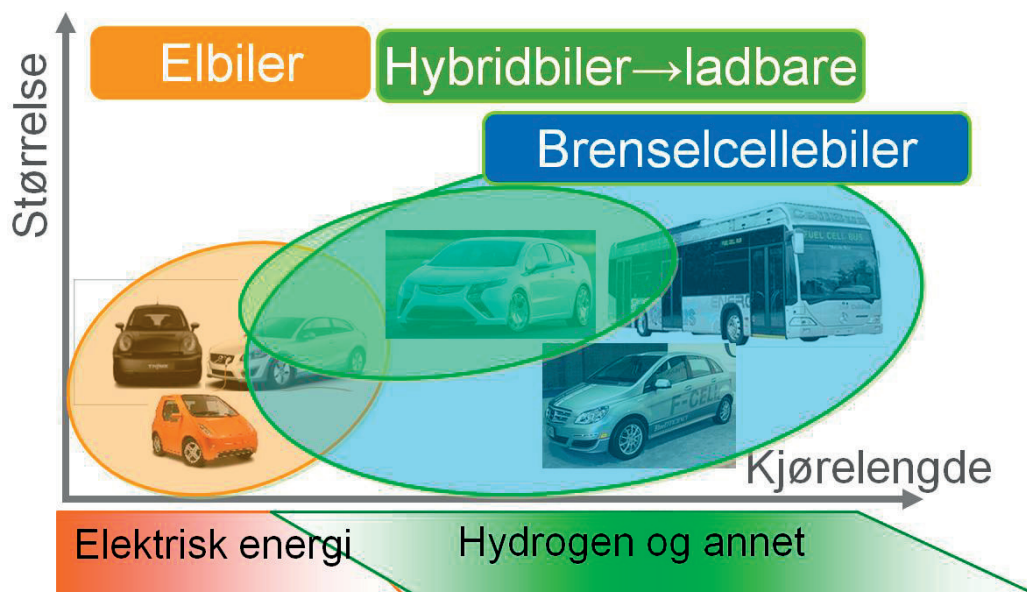
I en verden hvor metan og naturgass er dominerende energikilder og hydrogen en foretrukket energibærer er det sannsynlig at brenselcellebiler vil bli så mye rimeligere enn ladbare hybridbiler at dette kan kompensere for dårligere energivirkningsgrad og behovet for ny infrastruktur.

Til tunge kjøretøy for langtransport har det vært vanskelig å finne praktisk akseptable alternativer til dieselmotorer og karbonbaserte drivstoffer som slipper ut CO₂ ved forbrenning.

Strøm fra nettet til tunge kjøretøy forutsetter etter hva vi kan se, en mer hensiktsmessig energibærer enn batterier. For tunge kjøretøy vil vekt, volum og kostnader for batterier medføre at konkurransedyktige brenselceller og hydrogen vil bli en foretrukket teknologi, fremfor fremdriftssystemer som trenger stor batterikapasitet.

Hydrogen lagret som gass med et trykk på 300-700 bar gir en mulighet for langtransport uten direkte utslipp av CO₂ men er et alternativ som krever relativt stor plass for trykktanker. For bybusser og distribusjonsbiler, samt for personbiler, er hydrogen i trykktanker helt akseptabelt. For tungtransport og lange avstander vil teknologier for lagring av hydrogen i faste stoffer, som nå er på forskningsstadiet, medføre at hydrogenbåret strøm til tunge kjøretøy kan bli mer konkurransedyktig i forhold til mer praktiske karbonbaserte drivstoffer. Lagring av hydrogen i faste stoffer vil øke konkurransemuligheten for brenselceller og være mindre plasskrevende enn trykktanker i personbiler.

Hvis vi får de forespeilede gjennombruddene med lave priser på brenselceller vil, som fig 4.4 viser, en stor del av nye tunge kjøretøy og personbiler fra 2020 kunne være brenselcellekjøretøy.



Figur 4.4: Brenselcellebiler og tunge kjøretøy med brenselceller kan frem mot 2020 bli konkurransedyktige på en stor del av markedet for kjøretøy

5 Batterier

5.1 Teknologi

I masseproduksjon vil det la seg gjøre å bygge selve elbilen eksklusive batterier like rimelig eller rimeligere enn en tradisjonell bil. Batteriene er og blir en utfordring for at elbiler skal bli et attraktivt tilbud. I tillegg til at de tradisjonelt veier mye og tar stor plass, er de dyre og gjør at elbiler blir kostbare i forhold til små masseproduserte diesel- og bensinbiler. Det finnes utsikter til løsninger på utfordringene med batterier (Car manufacturers et al 2010). Noen nye batteriteknologier er relativt godt utprøvd, mens andre er på eksperimentstadiet. Pris, service, miljøegenskaper og levetid på batteriene bør samlet være konkurransedyktig med drivstoffutgifter og vedlikeholdskostnader for tradisjonelle biler med forbrenningsmotor for at elbiler skal bli økonomisk konkurransedyktige i et åpent marked.

Ingen fremdriftssystemer har bedre virkningsgrad enn elektriske biler med energien lagret i batterier. I grunn er det den samme basisprosessen som foregår i alle batterier – de omdanner kjemisk energi til elektrisitet. Utfordringen består i å finne hvilke materialer og kjemiske prosesser som er best egnet for å lagre mest mulig energi til en lavest mulig pris. Forskning på energilagring og metallhydrid er vil i fremtiden kunne gi overraskelser og nye batteriløsninger.

Et gjennombrudd for lagring av elektrisk energi er en forutsetning for at elbiler skal kunne bli fremtidens personbiler og kunne bli et alternativ til ladbare hybridbiler og i et senere stadium til brenselcellebiler. Hvis nye effektive, og rimelige batterier med høy elektrisk lagringskapasitet sammen med rimelig fornybar strøm blir tilgjengelige er det mulig at de vil bli et alternativ til ladbare hybridbiler og på lengre sikt til brenselcellebiler. Ladbare hybridbiler og brenselcellebiler vil trenge batterier med litt andre egenskaper enn elbiler, men behovet for kostbar batterikapasitet er betydelig mindre for disse typene biler. Små lette kjøretøy med lav rekkevidde og elektriske sykler gir mulighet for utvikling og gradvis innføring av ny og konkurransedyktig batteriteknologi.

Det er ikke uproblematisk å utvikle nye batterier. Selv batterier som virker meget lovende, kan i løpet av utviklings- og utprøvningsprosessen vise seg å være ubrukelige i en bil på grunn av ukontrollerbare prosesser som settes i gang dersom det oppstår indre skader i batteriet. To materialer med passende kjemiske egenskaper vil sammen med en elektrolytt fungere som elektroder og danne et batteri. Med en forskjell i elektrisk potensial kan polene i batteriet drive en strøm gjennom en motor. Prøver under virkelige driftsforhold og analyser av hva som skjer vil avgjøre om nye batteriteknologier er egnet for ladbare biler. Spørsmål som hva er sannsynlig levetid, hva som er energitapene og hvordan reagerer materialene er avgjørende for nye batteriteknologier. Andre spørsmål er om sjeldne metaller kan fremskaffes i tilstrekkelig omfang og om man ved hjelp av nanoteknologi kan dekke store flater med små mengder dyre metaller?

5.2 Blybatterier

Blybatterier er den tradisjonelle formen for batterier og brukes av elbilprodusenten ElBil Norge, som vurderer at de foreløpig er det beste valget i forhold til pris og ytelse. Blybatterier har en levetid som er estimert til 2-5 år eller ca 20.000 km. Hvor lang denne faktisk blir, er igjen avhengig av kjøre- og lademønster og hvordan batteriene blir behandlet. Full utskiftning av alle driftsbatteriene koster ca 19.000 kr + mva. for en typisk liten elbil som ElBil Norges Buddy. Buddy er konstruert slik at ny batteriteknologi kan tas i bruk, når denne teknologien får en markedsmessig akseptabel pris.

Blybatterier som anvendes i elbiler er ikke identiske med startbatterier. De fleste blybatterier er delvis tette (en sikkerhetsventil slipper ut gasser dersom trykket blir for høyt). I mange av batteriene er elektrolytten bundet opp i en slags "gele". Batterier kan plasseres liggende dersom det er ønskelig.

Det finnes et utall varianter av blybatterier til elbiler på markedet. De som har høyest kvalitet kan gi kjørelengder på opptil 100 km, men normalt sett har disse bilene kjørelengder på 50-70 km. Topp hastigheten er helt avhengig av batterikonstruksjonen og hvilken effekt som kan tas ut av batteriene. Blybatterienes store problem er at de ikke tåler hard bruk, og at de kan sulfatere (et sjikt bygges opp på batterienes elektroder som medfører at batteriene fungerer dårligere) dersom de ikke lades helt opp hver gang. Blybatterier er relativt rimelige og vil i elbiler som bare skal anvendes til korte turer, gi en økonomisk gunstig batteriløsning. Blybatterier er problematiske i kaldt klima. Blybatteriene i ElBil Norges modell Buddy kan lades uten negative konsekvenser uavhengig av hvor stor ladning som gjenstår. Tomme batterier tar 6-8 timer å lade.

5.3 Nikkel-Cadmium batterier

En tidligere populær batteritype var Nikkel-Cadmium batterier (Ni-Cd). Norske Think City hadde en tid Nikkel-Cadmium batterier som standard energilagring. Nikkel-Cadmium batterier klarer seg med lite vedlikehold og har bedre teknisk ytelse enn blybatterier. Elbilen Think City hadde Ni-Cd batterier som ga en kjørelengde på 70-130 km og en topphastighet på 90-130 km/h. Ni-Cd batterier tåler hard bruk og varierende lademønstre. Batteriene tåler kaldt klima relativt godt, men fungerer mindre godt i varme.

En ulempe med Ni-Cd batterier er at de har en høy såkalt hukommelseeffekt. Hukommelseeffekten innebærer at batteriene må lades godt ut for å kunne lades opp til et høyt energinivå. Da Cadmium er et svært giftig metall er Ni-Cd batterier ikke lengre vurdert som aktuelle som bilbatterier.

5.4 Nikkel-Metall-Hydrid batterier

Nikkel-Metall-Hydrid (NiMH) batterier bygger på samme prinsippet som Ni-Cd batterier og har en kaustisk elektrolytt. I stedet for Cadmium anvendes en Metallhydrid-legering med evne til å absorbere hydrogen som negativ elektrode. Nikkel-Metall-Hydrid batterier har mulighet for å levere høy effekt, men

kapasiteten for lagring av energi er lavere enn for andre nyere batteriteknologier som er under utprøving. I praksis innebærer dette at batteriene egner seg for applikasjoner med behov for relativt høy effekt og relativt liten lagringskapasitet. NiMH batterier er et godt utprøvd og driftsikkert lagringsmedium i hybridbiler med kombinert elektrisk drift. Den fremgangsrrike hybridmodellen Toyota Prius har siden 1997 og har fortsatt NiMH batterier for lagring av elektrisk energi. I henhold til Toyota Norge fungerer batteriene uten problemer og ser ut til å ha den samme levetid som resten av bilen.

Elbiler med NiMH batterier kan ha kjørelengder opp til 160 km og en topphastighet på inntil 130 km/h. Ulempen er at vekten av batteriene blir 500-600 kg og at de derved vil utgjøre ca 40 prosent av vekten for hele kjøretøyet. Kostnaden for batteriene vil bli i størrelse langt over kr 100 000,-. NiMH batterier har vært brukt i mange små elbiler som har vært produsert for demonstrasjon av elektrisk drift og batteriene finnes i tusenvis av små elektriske biler som har vært produsert for det Californiske marked.

Panasonic EV Energy startet serieproduksjon av NiMH batterier for bruk hovedsakelig i hybridbiler men også delvis i elbiler fra høsten 1997. Blant andre produsenter som behersker teknologien er Ovonic i USA, Varta i Tyskland, SAFT i Frankrike og flere japanske produsenter.

5.5 Nikkel-Natrium-klorid – Zebra batterier

Nikkel-Natrium-klorid batterier kalles også Zebra batterier og har sin opprinnelse fra Afrika. Zebra står for Zeolite Battery Research Africa Project. Zebra batterier ble utviklet ved et sørafrikansk forskningsinstitutt og bruker høytemperaturteknologi med natrium som elektrolytt. Natrium er ikke giftig, det er lett og i form av salt NaCl svært rimelig. Fra Sør-Afrika har zebra-teknologien vandret mellom bedrifter og bruksområder til den ble kjøpt av et sveitsisk selskap i 1999.

Nikkel-Natrium-klorid batteriet er et "varme-batteri" som må ha en høy temperatur og flytende natrium for å kunne fungere. Nikkel-Natrium-klorid batteriteknologien er basert på at det produseres strøm fra en kjemiske reaksjoner i batteriet som inkluderer dannelse av NaCl (koksalt).

Høytemperaturbatteriet har fordeler i forhold til uønskede kjemiske reaksjoner, men på grunn av aldringeffekter også ulemper. Driftstemperaturen må være minimum 270 °C. Blir temperaturen lavere begynner flytende natrium i batteriet å størkne og batteriet vil ikke fungere uten å varmes opp på ny. Batteriet må bruke av sin egen oppladde energi for å opprettholde temperaturen. Derfor bør batteriet ikke stå mange dager uten å være koblet til strømmettet. Hvis batteriet skulle bli kaldt og saltet størkner, tar det likevel ikke skade fordi det ikke skjer noen volumendring. Batterier med flytende metall og arbeidstemperatur på 270-350 °C brukes i hybridbusser, små serier av elbiler og i ubåter.

For å minimalisere varmetap settes cellene i batteriet inn i en beholder som er isolert som en termosflaske. Energitalpet fra batteriet ligger et sted mellom 50 og 100 watt. Det vil si at batteriet vil miste ca 2 kWt i løpet av et døgn. Man kan alternativt si at det trenger 50 til 100 watt fra nettet for å opprettholde sin energistatus. En bil med Zebra batteri bør ikke stå mange døgn uten lading. Think

City har blitt levert med et Zebra batteri med batterikapasitet på 24,5 kWh. Med et slikt batteri tåler bilen å stå ca 10 døgn før den er tømt for strøm. At elbiler må være tilkoblet et strømuttak er en ulempe, men på den andre siden viser undersøkelser at nesten alle elektriske biler står tilkoblet til nettet når de er parkert.

Et Zebra batteri klarer å lagre en elektrisk ladning på mellom 100 og 120 Wh per kg batteri. Produsenten tror en videre utvikling av teknologien vil øke energitettheten til 150 Wh/kg i løpet av en tiårs periode. I henhold til produsenten vil Zebra batterier på grunn av lave materialkostnader kunne utvikles til å bli rundt 20 prosent rimeligere enn NiMH-batteriene. Effektuttaket til og fra et Zebra batteri er begrenset til maksimalt ca 180 W/kg, som er lavere enn andre batterialternativer, og begrenser mulighetene til raske akselerasjoner.

I følge Think er Zebra batteriteknologien driftssikker og har lang levetid. Think Technology har vurdert Zebra batterier som et optimalt valg når man tar i betraktning pris, ytelse og brukervennlighet. En Think elbil med Zebra batterier oppgis av Think Technology å få en kjørelengde på 150 -190 km per lading.

5.6 Li-ion batterier

Litium er det metallet som har lavest spesifikk vekt og som også har høyest elektrokjemisk potensial av alle kjente metaller. Disse to egenskapene gjør litium til et meget attraktivt og lovende materiale for batterier. Litium-ion (Li-ion) og Litium Polymer batterier finnes i PC, elektro og elektronikkprodukter. Da kunnskap om de nyeste og mest interessante løsningene for sikre og konkurransedyktige Litium-ion batterier har stor økonomisk verdi, er den seneste kunnskapen ofte i stor grad bedriftshemmeligheter.

Litium-ion og Litium-Polymer batterier blir stadig videreutviklet og forbedret av mange firmaer rundt om i verden og de fleste elbiler og ladbare hybridbiler har denne type batteriteknologi. Kjørelengder på 250 til 400 km er mulige med Lithium baserte batterier. Li-ion batteriet ble først utviklet av Sony. Vanlige familiebiler antas med Li-ion batterier å kunne få tilfredsstillende kjørelengde (over 200 km) og topphastigheter på over 130 km/h.

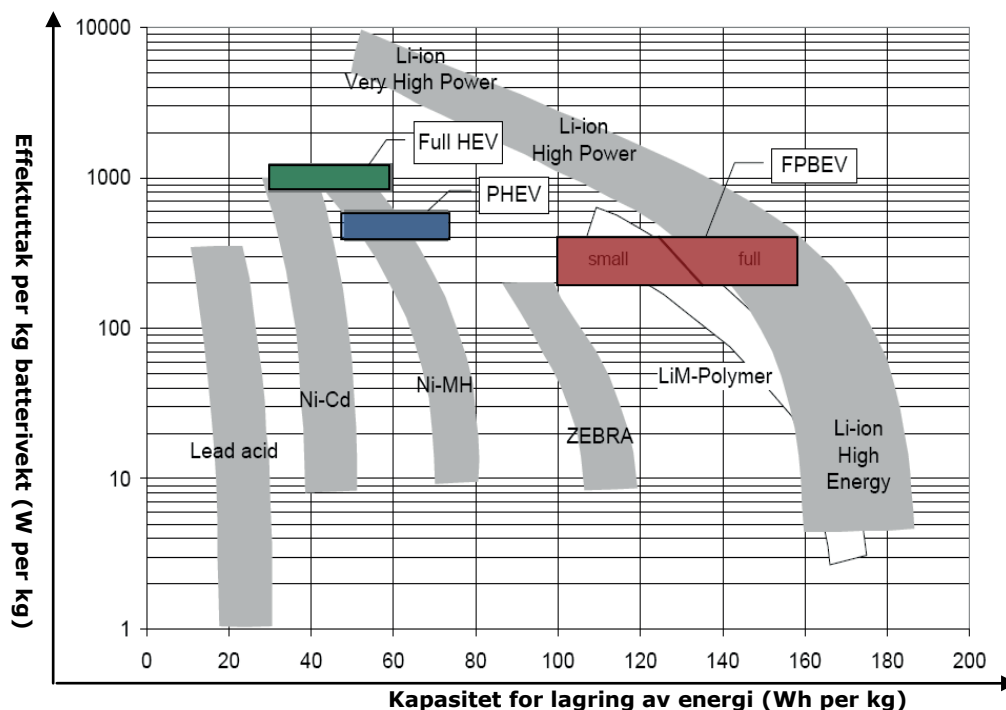
Alvorlige utfordringer er at et så reaktivt materiale som litium, uten gode systemer for å ivareta konsekvensene av feil, kan være en sikkerhetsrisiko i biler. Ved direkte kontakt med motsatt elektrode i et batteri kan raskt hele batteriets energimengde frigjøres og skape eksplosjon eller en brann som ikke er mulig å slukke. Elektrodene i et Litium-ion batteri holdes fra hverandre ved hjelp av et tynt membran. En svikt i membranmaterialet kan utløse en "lavineeffekt", som medfører at all energien blir sluppet fri inne i bilen. Det har historisk forekommet at fabrikker og biler har brent opp på grunn av litiumbaserte batterier. Teknologien er nå i en fase hvor man i stor grad forstår risikomomentene og hvordan man skal kunne kontrollere de potensielle feilene som kan oppstå.

Elbiler og ladbare hybridbiler er spennende konsepter for fremtidig bærekraftig mobilitet med bil og har stor industriell interesse. Li-ion batterier har muligheter for å bli et konkurransedyktig alternativ når det gjelder lagring av energi i kjøretøy. Li-ion batteriene har de seneste årene hatt en positiv utvikling når det gjelder sikkerhet, levetid og kostnad. Denne utviklingen er kjent av verdens store

bilprodusenter og ser ut til å resultere i ny interesse for batteriløsninger i biler. Foreløpig arbeides det med å utvikle effektive og konkurransedyktige produksjonsprosesser for batterier til ladbare biler og elbiler blir produsert som demonstrasjonsbiler eller i små serier.

5.7 Sammenligning av batterityper

Batterier bør kunne avgi høy effekt samtidig som de må ha høy kapasitet for lagring av energi. Effekten er nødvendig for rask start og for rask akselerasjon, og lagringskapasiteten er nødvendig for at kjørelengden per ladning skal bli tilfredsstillende. Figur 5.1 viser dagens vurdering av mulig effektuttak og lagringskapasitet for forskjellige batterityper. Blybatterier (Lead acid) ned til venstre i figuren har gode muligheter for effektuttak men meget lav lagringskapasitet i forhold til sin vekt. På den andre siden av figuren finner vi "Litium-ion" batterier som både kan gi høy effekt og lagre stor mengde energi i forhold til sin vekt.



Figur 5.1 : Mulig effektuttak og lagringskapasitet for forskjellige batteriteknologier til hybrid- og elbiler. Kilde: Uavhengig ekspertgruppe nedsatt av California Air Resources Board (CARB ekspertgruppe 2007)

I figur 5.1 er også United States Advanced Battery Consortium, USABCs tekniske mål for batterier for hybridbiler (Full HEV), "Plug-in hybridbiler" (PHEV) og elbiler (FPBEV) tegnet inn med grønn, blå respektive rød farge. Av figuren fremgår at Li-ion batterier har potensial til å oppfylle alle krav til både effektuttak og lagringskapasitet.

I figuren ser vi at NiMH batterier, som også finnes i Toyota Prius, oppfyller de ønskede tekniske kravene når det gjelder effekt og lagring av energi både for hybridbiler og ladbare hybridbiler. De mulige ytelsene fra Li-ion batterier vil være

mer enn tilstrekkelige for så vel hybridbiler (HEV-grønn farge), ladbare hybridbiler (PHEV-blå farge) og elbiler (EV med liten eller høy rekkevidde og ytelse – rød farge).

Med en elektrisk rekkevidde på 50 km vil NiMH batterier til en ladbar hybridbil, som fremgår av våre utregninger i tabell 5.1, veie over 200 kg. Med Li-ion batterier kommer vekten både for batterier til ladbare hybridbiler og batterier til elbiler med begrenset rekkevidde ned på en akseptabel nivå.

Tabell 5.1: Bil, batterityper og vekt for å oppfylle tenkte krav til rekkevidde

Bil/Type batteri	Rekkevidde	Antatt energiforbruk	Batteri-kapasitet	Energi-kapasitet	Batteriets vekt
	km	kWt/km	kWt	kWt/kg	Kg
Ladbar hybridbil/NiMH	50	0,2	10+2=12	0,05	240
Ladbar hybridbil/Li-ion	50	0,2	10+2 =12	0,15	80
Elbil/Li-ion	120	0,2	24	0,15	160

Status og potensial for effektuttak og lagringskapasitet for energi per kg for aktuelle batteriteknologier i figur 5.1 er hentet fra Status and Prospects for Zero Emission Vehicle Technology (CARB expert group, 2007).

Foruten Li-ion batteriene synes ingen kjente batterityper helt og fullt å kunne klare de langsiktige tekniske målene for batterier som er satt opp av United States Advanced Battery Consortium, USABC. Zebra batteriene har begrenset mulighet til effektuttak i forhold til USABCs mål.

Tabell 5.2: Tekniske mål for batterier - United States Advanced Battery Consortium, USABC

Mål	Effektetthet (W/kg)	Energitetthet (Wh/kg)	Levetid (år)
Kort sikt	150-200	80-100	5
I en elbil vil det bety	0-80 på 12 sekunder	Rekkevidde inntil 20 mil	Batteriprisen avskrives over fem år
Lang sikt	400	200	10
I en elbil vil det bety	0-100 på 10 sekunder	Rekkevidde inntil 32 mil	Batteriet avskrives over 10 år

I tillegg til tekniske krav er produksjonskostnader for batterier avgjørende for at elbiler skal kunne konkurrere med biler som har andre fremdriftssystemer. De fleste bilprodusentene mener det elektriske fremdriftssystemet med tilhørende komponenter selv i serieproduksjon vil koste omtrent det som en forbrenningsmotor koster i dag, muligens litt mindre. Av tabell 5.3 fremgår at kostnadene for Li-ion batterier må reduseres med 50 prosent fra dagens nivå, for å komme ned i en kostnad på ca 5 000 \$ per batteri for en liten elbil, som er det ønskede målet for batterikostnader. Selv om de tekniske og økonomiske målene blir nådd, vil batteripakken for en liten elbil koste rundt 30 000,- som kommer i tillegg til bilprisen.

Batteriprisen vil kunne være en hindring for salg av elbiler i store volumer. For at elbiler og ladbare hybridbiler skal bli økonomisk likverdige med andre biler må avskrivningskostnadene for batteriene inklusive kostnad for strøm, være på samme nivå som kostnadene for drivstoff til en tilsvarende konvensjonell bil.

Tabell 5.3: Kostnader og mål for kostnader for batterier med aktuelle batterityper ved en årsproduksjon av ca 20 000 batterier (CARB ekspertgruppe 2007)

	NiMh batterier	Zebra	Li-ion	Mål – USABC
Liten elbil med 25 kWt energilager	430 \$ per kWh	350 \$ per kWh	350 \$ per kWh	150 \$ per kWh
Kostnad for komplett batteri	13 000 \$ per batteri	10 000 \$ per batteri	10 000 \$ per batteri	5 000 \$ per batteri

5.8 Fremtidsutsikter

I forskningsrapporter og ny litteratur fremstår Litium-ion batterier som en lovende løsning på utfordringen med å lagre elektrisk energi i biler. Litium-batterier representerer moden batteriteknologi i elektronisk utstyr som mobiltelefoner og bærbare datamaskiner. I biler trengs tilpasninger til de spesielle utladningsmønstre som de ladbare bilene har, og stor lagringskapasitet for store batteripakker. Li-ion finnes foreløpig i demonstrasjonskjøretøy og i forserier av elbiler (10 000/år) og vurderes å ha fremtidig potensial til å bli konkurransedyktige i pris for kommersiell produksjon av ladbare hybridbiler og små elbiler.

6 Strømforsyning

6.1 Fornybar strøm til biler

Elektrisk fremdrift gir lavt energiforbruk da elektriske motorer i liten grad taper energi i form av tapsvarme fra fremdriftssystemet. Hvordan energien til elektrisk fremdrift blir produsert er avgjørende for i hvilken grad elbiler og strøm til biler i et livsløpsperspektiv bidrar til lokal forurensing og global oppvarming.

Norge har per år en produksjon av ca 140 TWt (Terawattimer) elektrisk energi basert på vannkraft. I Norge er det normalt tilnærmet balanse mellom produksjon og forbruk av elektrisk strøm. Økende etterspørsel og økte muligheter til eksport av elektrisk energi vil sannsynlig medføre at prisen på elektrisk energi øker i Norge. Med økte muligheter for å overføre elektrisk kraft til og fra Danmark, Tyskland og Nederland kan det forventes at etterspørsel etter fornybar elkraft vil øke og at etterspørselen av fornybar energi blir større enn produksjonskapasiteten.

Elektrisk energi til transportsektoren kan i Norge frigjøres ved blant annet økte strømpriser, økt produksjonskapasitet og slutt på direkte elektrisk oppvarming av boliger. Nye boliger kan i stedet for direkte el varmes opp med varmpumper og fornybar energi. Å frigjøre elektrisk energi for bruk i transportsektoren vil kunne redusere transportsektorens energiforbruk og redusere utslippene av klimagasser i Norge. Batterier i biler kan i fremtiden ved avansert energistyring brukes for å utjevne strømforbruk og kappe topper i overføringssystemene.

6.2 Vann, gass eller kullkraft

I Norge trenger vi kun 5 prosent av vår elkraftproduksjon for å kjøre alle personbiler på strøm. Hvis vi regner om brennverdien i bensin og diesel til energi i form av TWt er energiforbruket for personbilene i Norge ca 27,5 TWt. Med en energivirkningsgrad på 90 prosent fra oljekilde til bensintank "Well to Tank" blir det samlede energiforbruket "Well to Wheel" på 30,3 TWh. Tilsvarende hadde det hypotetiske forbruket av elektrisk energi for drift av alle norske personbiler blitt ca 7 TWh med ladbare biler og en virkningsgrad på 0,77 "Well to Wheel".

I Norge blir det totale energiforbruket med *vannkraft* til ladbare biler lavt og utslippene av CO₂ blir i et livsløpsperspektiv tilnærmet null. I land med gasskraft og kullkraft blir energiregnskapet og utslippene av CO₂ ikke like gunstige som i Norge. "Med norsk vannkraft kan vi regne med energivirkningsgrad på 90 prosent fra vannkraft til batteri ("Well to Tank").

Med 55 prosent som virkningsgrad for et *gasskraftverk* og 90 prosent som energivirkningsgrad i det elektriske overføringssystemet ville det totale energibehovet for å forsyne alle personbiler i Norge med elektrisk strøm fra gasskraft ("Well to Wheel") være 14,4 TWh.

Med 30 prosent som virkningsgrad for *kullkraft* og 90 prosent som energivirkningsgrad i det elektriske overføringssystemet blir det totale energibehovet for å forsyne alle personbiler i Norge med elektrisk strøm fra kullkraft ("Well to Wheel") være 24,9 TWh. I land med kun kullkraft vil hybridbiler ha et mer gunstig energiregnskap enn elbiler og ladbare hybridbiler.

6.3 Lading og hurtiglading

Lading av ladbare hybridbiler og elbiler kan gjøres fra husholdningenes strømuttak i løpet av natten, når el-nettet har lav belastning.

Karbonfri strøm og lading av ladbare hybridbiler behøver ikke å være et problem i Norge. Lading av batteriene går fint fra et støpsel i garasjen eller fra en ladestolpe. Å lade batteriene til en elbil trekker ikke mer strøm enn en elektrisk varmeovn på 1 000 W som står på i et døgn.

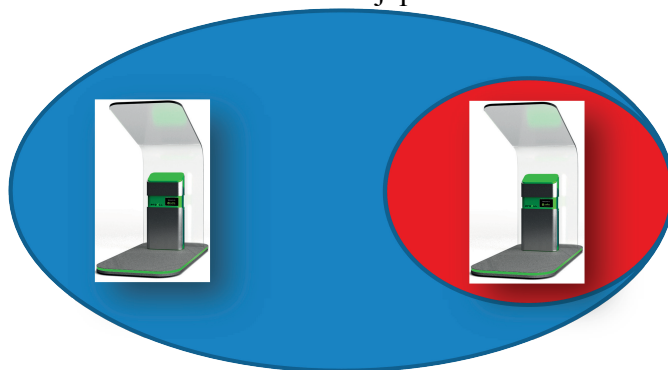
Elbiler krever normalt 6-8 timer for full opplading av batteriene med strøm fra 230 volt / 10-16 A stikkontakter. For en ladbar hybridbil er ladetiden avhengig av batterikapasiteten og vil normalt bli kortere enn for en elbil.

Det er teknisk mulig å lade opp batterier til 80 prosent kapasitet på ca. 15-30 minutter med hjelp av hurtiglading. Elbilen og batteriene må i slike tilfeller være tilpasset bruk av høy strømtilførsel og hurtiglader.

Ladestasjoner for lading av batterier i biler er gunstig og utvider bruksmønstret for eiere av biler med ladbare batterier. Elbiler, er for å kunne brukes til langkjøring, avhengige av hurtiglading. Hurtiglading kan, avhengig av tilgjengelig spenning og strømstyrke, gjøres på 15 minutter. Et tett nettverk av hurtigladestasjoner vil medføre at elbiler kan brukes på samme måte som biler med mer praktiske drivstoffer som gasser eller brennbare væsker.

Hurtiglading av et større antall biler vil kreve stor overføringskapasitet, ny elektrisk infrastruktur og kraftig dimensjonerte strømkabler. Lading av batterier til små personbiler vil i stor utstrekning kunne skje via det eksisterende nettet for strømforsyning til husholdninger. Hurtigladestasjoner for biler kan de nærmeste 10 årene være et servicetilbud med betydning for profilering av "bensinstasjoner".

For brukere av elbiler har en japansk studie "TEPCO EV study" vist at muligheten



for hurtiglading er av stor betydning for å utvide kjøreradius og redusere angst for at batterikapasiteten skal ta slutt i løpet av en kjøretur. Studien viste at med to hurtigladestasjoner i stedet for en ble kjøringen med elbil utvidet fra rødt areal til blått areal som fremgår av figur 6.1.

Figur 6.1 : Hurtigladestasjoner reduserer angst for at batteriene skal ta slutt og kjøremønstret for elbiler utvides betydelig (fra rødt areal med en ladestasjon til blått areal med to hurtigladestasjoner) (Bilde inspirert av TEPCO og pressemelding fra Salto og Proxll 2011)

7 Hybridbilførere og valg av kjøretøy

7.1 Spørreundersøkelser blant hybridbileiere

For å undersøke hva som skal til for at norske bilbrukere i større grad skal kjøpe biler med hel eller delvis elektrisk drift har vi gjennomført en spørreundersøkelse blant 991 eiere av hybridbiler. Denne kategorien bileiere er valgt fordi det er antatt at dette er mennesker som er godt orientert om biler med elektrisk drift. Eiere av hybridbiler kan også antas å være blant de første som vil ta i bruk biler med ny teknologi. Denne eiergruppens kunnskaper, holdninger og atferd vil derfor ha stor betydning for hvordan nye biltyper blir akseptert i det norske markedet. Eiere av tradisjonelle biler som bruker fossil energi, utgjør den vesentligste delen av det norske bilmarkedet. Det kan imidlertid være grunn til å anta at de fleste slike bileiere er såpass lite orientert om biler med elektrisk drift, at det vil være vanskelig å stille detaljerte spørsmål om kunnskap om, holdninger til og erfaringer med elektriske biler til denne kategorien av bileiere.

En annen relevant kategori er eiere eller brukere av rent elektriske biler. Deres erfaringer, holdninger og kunnskap er imidlertid kartlagt i en annen undersøkelse (Rødseth 2009). Resultatene fra denne undersøkelsen vil bli brukt til sammenligning med resultatene fra undersøkelsen blant eiere av hybridbiler.

Undersøkelsen er primært en kartlegging, og det er derfor ikke utarbeidet klare, testbare hypoteser. Undersøkelsen bygger imidlertid på antakelser om at miljøvennlighet og lavt drivstofforbruk er viktige grunner til å velge hybridbil, og at praktiske hensyn som plass til personer og bagasje inne i biler og manglende mulighet for tilhengerfeste kan være viktige ulemper. Et viktig spørsmål blir dermed om eiere av hybridbiler er så fornøyd at de vil kjøpe en slik bil igjen, eventuelt en ladbar hybridbil eller en ren elbil.

Det var også ønskelig å undersøke om folk tror at de fordeler som gjelder for elbil, også gjelder for hybridbil. I løpet av prosjektet har det kommet fram synspunkter om at det først og fremst er teknisk interesserte middelaldrende og eldre menn som velger hybridbil. Hvis det er slik, kan det kanskje være vanskelig å få andre grupper av bilkjøpere til å vurdere kjøp av hybridbil.

Nedenfor presenteres resultatene fra spørreskjemaundersøkelsen. Så langt det har latt seg gjøre, er hybridbileierne sammenlignet med eiere av vanlige biler og av elbiler.

7.2 Hybridbileierne – hvem er de?

Er hybridbileierne en helt spesiell gruppe, eller er de som andre bileiere? Folk som kjøper de nyeste produktene på markedet kan antas å skille seg fra gjennomsnittsbefolkningen ved å være yngre, ha bedre utdanning og bo i sentrale strøk av landet. Men det hevdes også at kjøpere av hybridbiler i stor grad er middelaldrende eller eldre menn.

Tabell 7.1. Hybridbileiere etter kjønn og alder. Prosent

Kjønn	Alder – år						Alle
	29 og yngre	30-39	40-49	50-59	60-69	70 og eldre	
Menn	-	60	57	63	70	87	70
Kvinner	-	40	43	37	30	13	30
I alt	-	100	100	100	100	100	100
Antall	11	65	136	240	305	227	987
Prosent	1	7	14	24	31	23	100

Tabell 7.1 viser at 70 prosent av hybridbileierne er menn, og 54 prosent er 60 år eller eldre. Dette stemmer ikke med at det først og fremst er yngre mennesker som tar i bruk de nyeste produktene, men med påstandene om middelaldrende og eldre menn. Det er større andel kvinner blant eiere under 60 år enn over 60 år. Blant elbileiere er 16 prosent over 60 år (Rødseth 2009; s. 8), og i Rødseths utvalg av førerkortinnehavere i Oslo, Bergen og Trondheim er 28 prosent over 60 år. Hybridbileierne er altså vesentlig eldre enn elbil-eierne og førerkortinnehavere generelt.

Tabell 7.2 viser at 54 prosent av hybridbileierne har 6 – 9 år utdanning i tillegg til grunnskolen. Rødseth (2009, s. 9) har brukt en annen inndeling av utdanning, og finner at 84 prosent av elbileierne har utdanning fra høyskole/universitet, mens 65 prosent av førerkortinnehaverne har slik utdanning. Av de tre gruppene ser altså hybridbileierne ut til å være den gruppa som i snitt har lavest utdanning. Dette kan skyldes at hybridbileierne er eldre enn de andre to gruppene.

Tabell 7.2. Hybridbileiere etter utdanning. Prosent

Høyeste utdanning	Andel
Grunnskole	6
1-2 år i tillegg til grunnskole	7
2-3 år i tillegg	11
3-5 år i tillegg	21
6- 9 år i tillegg	29
10 år eller mer i tillegg	25
I alt	99
Antall	991

Tabell 7.3 viser at 59 prosent av hybridbileierne bor på Østlandet, mot 49 prosent av befolkningen. Halvorsen (2009; s. 18) hevder at "Elbil i Norge er et storbyfenomen, særlig knyttet til vestlige deler av Osloregionen", og hun viser at antall elbiler per 1000 innbyggere er 0,6 i Norge, 1,2 i Oslo, 3,1 i Bærum og 8,2 i Asker, mot 0,7 i kommuner sør, øst og nord for Oslo.

Tabell 7.3. Hybridbileiere og Norges befolkning etter landsdel. Prosent

Landsdel	Hybridbileiere	Befolkningen*
Østlandet	59	49
Sørlandet	5	4
Vestlandet	14	29
Trøndelag	7	9
Nord-Norge	4	10
Uoppgitt	12	-
I alt	101	100
Antall	991	4 858 199

* Statistisk sentralbyrå (2010a)

Tabell 7.4 viser at 75 prosent av hybridbileierne bor i husholdninger med én eller to personer mot 40 prosent av befolkningen. Rødseth (2009; s. 10) finner at 28 prosent av elbileierne bor i husholdninger med 1-2 personer, mens 72 prosent bor i husholdninger med 3 eller flere personer.

Tabell 7.4. Hybridbileiere og Norges befolkning etter husholdningens størrelse. Prosent

Husholdningens størrelse	Hybridbileiere	Befolkningen i 2010
1 person	18	16
2 personer	57	24
3 personer	11	18
4 personer eller flere	14	42
I alt	100	100
Antall		4 507 192

Den typiske hybridbileier er altså en mann over 60 år med minst 6 års utdanning utover grunnskolen, bosatt på Østlandet i en husholdning med en til to personer. Det kan virke forbausende at hybridbileierne i stor grad er over 60 år, men gjennomsnittsalderen for kjøpere av nye biler i Norge er 55,2 år (Vi over 60, 2010). Hybridbileierne i denne undersøkelsen er hentet fra Toyotas kunderegister, dvs. folk som har kjøpt nye biler.

Sammenlignet med elbileierne er hybridbileierne eldre, har lavere andel med lang utdanning, og bor i husholdninger med færre personer.

7.3 Bruk av hybridbil

En viktig side ved bruk av bil er hvor langt bilen kjører. I 2008 kjørte personbiler i Norge i gjennomsnitt 13 653 km/år (Statistisk sentralbyrå 2010b).

Gjennomsnittlig kjørelengde for hybridbilene i tabell 7.5 er omtrent 14 245 km, dvs. litt over gjennomsnittet for personbiler generelt. Nyere biler kjører i snitt lenger enn gamle biler (Statistisk sentralbyrå 2010c). Hybridbilene er antakelig nyere enn bilbestanden generelt. Derfor stemmer det bra at de i snitt kjører noe lenger. Tabell 7.5 tyder dermed på at årlig kjørelengde for hybridbiler er omtrent den samme som for vanlige biler. Vi har ikke funnet informasjon om årlig kjørelengde for elbiler.

Tabell 7.5. Hybridbileiere etter hvor langt hybridbilen kjører i året. Prosent.

Årlig kjørelengde. km	
Under 5 000	2
5 000 – 8000	11
8 000 – 12 000	28
12 000 – 18 000	33
18 000 – 24 000	17
Mer enn 24 000	8
Husker ikke	1
I alt	100
Antall	991

Tabell 7.6 viser at 62 prosent av eierne sier at de selv bruker hybridbilen mest og 21 prosent sier ”jeg og andre like mye”. Dette er ikke uventet, men viser at de aller fleste eiere av hybridbiler har mye erfaring med bruk av bilen.

Tabell 7.6. Hybridbileiere etter hvem som bruker hybridbilen mest. Prosent. (Bare stilt til eiere med to eller flere personer med førerkort i husholdningen)

Brukere av hybridbilen	
Jeg selv	62
Ektefelle/samboer	17
Barn over 18 år	0
Andre	-
Jeg og andre like mye	21
I alt	100
Antall	802

Tabell 7.7 viser at hybridbileierne i snitt har gitt 1,8 svar, selv om spørsmålet var hva bilen brukes *mest* til. 59 prosent oppgir helge- og ferieturer, og 49 prosent sier reiser til og fra arbeid.

Tabell 7.7. Hybridbileiere etter hvilken type reise hybridbilen brukes mest til. Prosent.

Reisetyp	
Til og fra arbeid	49
I arbeid	11
Hente og bringe barn	10
Fritidsaktiviteter i nærmiljøet	40
Helge- og ferieturer	59
Innkjøp	1
Annet	9
I alt	179
Antall	802

Vågane (2006; s. 21) viser at ifølge den norske reisevaneundersøkelsen 2005 er 33 prosent av norske bilreiser arbeid/skole/tjenestereiser, handel/service 20 prosent, besøk 16 prosent, fritid 14 prosent og følge/omsorg 11 prosent. Disse tallene er ikke direkte sammenlignbare med tallene fra undersøkelsen om hybridbiler.

Tallene i tabell 7.7 må deles med 1,79 (gjennomsnittlig antall svar per respondent) for å sammenlignes med reisevaneundersøkelsen. Da finner vi at reiser "til og fra arbeid" og "i arbeid" utgjør 34 prosent ($(49 + 11)/1,79$), dvs. det samme som i reisevaneundersøkelsen. Innkjøp utgjør bare litt over en halv prosent av de oppgitte hybridbilreisene, mot 20 prosent av bilreisene i reisevaneundersøkelsen.

"Helge- og ferieturer" og "fritidsaktiviteter i nærmiljøet" utgjør 55 prosent av oppgitte reiser med hybridbil. Dette kan sammenlignes med "fritid" og "besøk" til sammen 30 prosent i reisevaneundersøkelsen. Det kan altså se ut til at hybridbilene i større grad brukes til helge- og ferieturer samt fritidsaktiviteter i nærmiljøet og i mindre grad til innkjøp. Det er vanskelig å avgjøre om disse forskjellene er reelle eller skyldes metodiske forskjeller mellom undersøkelsene.

Vi har ikke funnet sammenlignbare tall for bruk av elbil til ulike reisetypen. Helge- og ferieturer er lange og lite egnet for rene elbiler, mens reiser til og fra arbeid kan være egnet for elbiler. 67 prosent av elbil-eierne brukte elbilen ved siste reise til arbeid eller skole (Rødseth 2009; s. 13).

49 prosent av hybridbileierne har "alltid" eller "av og til" tilgang til en eller flere andre biler. 94 prosent av dem som har en eller flere andre biler i husholdningen, har bil med forbrenningsmotor og 8 prosent har en annen hybridbil i tillegg, mens under 1 prosent har elbil. Dermed går det ikke an å analysere bruken av den andre bilen etter biltype. Blant elbil-eiere har 93 prosent tilgang til bensin/dieselbil i tillegg til elbilen (Rødseth 2009; s. 51). Hybridbilene er altså i mye større grad enn elbiler "hovedbilen" i husholdningen.

Tabell 7.8 viser bruken av den eller de andre bilene i husholdningen uansett biltype. For den/de andre bilene er reise til og fra arbeid nevnt hyppigst, mens helge- og ferieturer bare er nevnt av 26 prosent. Bruken av den/de andre bilen(e) i husholdningen er temmelig lik bruken av hybridbilen, men bil nr 2 og 3 brukes i litt større grad "i arbeid" og i mindre grad til helg- og ferieturer. Rødseths (2009)

undersøkelse om elbiler sier ikke noe om hvilke reisetyper den/de andre bilen(e) i husholdningene brukes til.

Tabell 7.8. Hybridbileiere som har tilgang til en eller flere andre biler etter hvilken type reiser den andre bilen brukes mest til. Prosent.

Reisetype	
Til og fra arbeid	47
I arbeid	20
Hente og bringe barn	10
Fritidsaktiviteter i nærmiljøet	34
Helge- og ferieturer	26
Annet	14
I alt	151
Antall	486

7.4 Motivasjon for valg av hybridbil

Motivasjon for å kjøpe hybridbil kan antas å ligne på motivasjon for å velge ren elbil, samtidig som hybridbiler ikke har de praktiske begrensningene som elbiler har i form av begrenset kjørelengde før lading og liten plass til personer og bagasje.

Tabell 7.9 viser at miljøvennlighet og lavt drivstofforbruk er de to viktigste grunnene til å velge hybridbil. Dette er to sider av samme sak, fordi det er det lave drivstofforbruket som gjør hybridbiler mer miljøvennlige enn vanlige bensindrevne biler. "Lave driftsutgifter" er i stor grad også en følge av lavt drivstofforbruk, men under en tredjedel velger dette svaret. Økonomien ser dermed ikke ut til å være avgjørende for de fleste, ifølge tabell 7.9. Det tredje hyppigst nevnte svaret er "interessant teknologi" som nevnes av nesten halvparten av hybridbileierne.

Tabell 7.9. Hybridbileiere etter grunner til å kjøpe hybridbil. Prosent*.

Grunner	
Miljøvennlig	76
Lavt drivstofforbruk	60
Lave driftsutgifter	28
Lett å kjøre	29
Interessant teknologi	46
Erfaring med hybridbil	2
Andre grunner	5
I alt	246
Antall	991

*Flere svar kunne gis. Prosentsummen er derfor større enn 100.

Dette støtter hypotesen om at teknisk interesse kan være en grunn til å skaffe seg hybridbil. For øvrig viser prosentsummen at hybridbileierne i gjennomsnitt har gitt nesten 2,5 svar, noe som tyder på at det er en kombinasjon av to til tre motiver som fører til valg av hybridbil.

Blant elbil-eiere er bilens sikkerhet nevnt av 88 prosent som viktig eller svært viktig egenskap ved bilkjøp. Dernest kommer miljøprofil 76 prosent, driftskostnader ved bruk 72 prosent og pris på anskaffelse 66 prosent. Spørsmålene om motivasjon ved bilkjøp er stilt forskjellig i undersøkelsen om elbiler og i undersøkelsen om hybridbiler. Bilens sikkerhet ble f.eks ikke spesifisert som svaralternativ på spørsmålet om ”Hvorfor kjøpte du hybridbil?” til hybridbileierne. Resultatene fra de to undersøkelsene er derfor ikke direkte sammenlignbare, men begge undersøkelsene viser at miljø og driftskostnader/drivstofforbruk er viktige motivasjonsfaktorer.

Er det lenge siden man har tatt en avgjørelse, kan det være vanskelig å huske motivasjonen for avgjørelsen, fordi oppfatningen om avgjørelsen kan være påvirket av det som har hendt etterpå. Tabell 7.10 viser hvor lenge hybridbileierne har hatt hybridbil.

Tabell 7.10 viser at nesten halvparten har hatt hybridbilen i 2-3 år, mens 38 prosent har hatt hybridbil i 2 år eller mindre. Dersom erfaringene med hybridbilen har vært annerledes enn motivasjonen før valget av denne biltypen, har det altså vært nok tid for de fleste til å endre oppfatningen av valget.

Tabell 7.10. Hybridbileiere etter antall år de har hatt bilen. Prosent.

Antall år	
Ett år eller mindre	5
1-2 år	33
2-3 år	49
3-5 år	11
5 år eller mer	2
I alt	100
Antall	991

7.5 Erfaring med hybridbil, problemer og forbedringsmuligheter

Siden 95 prosent av hybridbileierne har hatt hybridbil i mer enn ett år ifølge tabell 7.10, har de hatt god tid til å gjøre erfaringer med denne biltypen. Det er stilt tre spørsmål om erfaringer med hybridbil. Svarene på disse spørsmålene er vist i tabellene 7.11-13 nedenfor.

De tre første svaralternativene i tabell 7.11 er de samme som i spørsmålet om motivasjon for valg av hybridbil vist i tabell 7.9. De tre neste svaralternativene er riktige for rene elbiler, men gjelder ikke for hybridbiler. Disse svarene ble tatt med for å undersøke om det var noen sammenblanding av de fordelene som

gjelder for elbiler og hva som gjelder for hybridbiler. Disse svaralternativene skapte imidlertid en del forvirring. En del hybridbileiere som hadde fått spørreskjemaet, ringte og spurte om dette virkelig gjelder for hybridbiler også eller kommenterte at dette ikke gjelder hybridbiler. Både disse henvendelsene og svarene i tabell 7.11 viser at hybridbileiere er godt kjent med at disse fordelene ikke gjelder hybridbiler. Ingen oppgav ”lov å kjøre i kollektivfelt, gratis parkering eller gratis passering i bomringer” som viktigste fordel ved hybridbil.

I snitt er det gitt 1,9 svar per person angående fordeler ved bil. Dette tyder på at de fleste er godt fornøyd med hybridbilen. Miljøvennlighet og lavt drivstofforbruk er de hyppigst nevnte fordelene, dvs. de samme som ble nevnt som motivasjon for å kjøpe hybridbil. Dette tyder på at det er god overensstemmelse mellom motivasjon for kjøp og erfaring bortsett fra en faktor, interessant teknologi.

Ifølge tabell 7.9 oppga 46 prosent dette som en viktig grunn til å kjøpe hybridbil, mens bare 8 prosent ser på interessant teknologi som den viktigste fordel ved hybridbilen ifølge tabell 7.11.

Også for elbileiere er miljøvennlighet hyppigst nevnte fordel, 58 prosent, mens bruk av kollektivfelt nevnes av 48 prosent og billig i bruk nevnes av 33 prosent. Begge typer bileiere legger vekt på miljøvennlighet, mens en viktig fordel for elbileierne er bruk av kollektivfelt, en fordel hybridbilene altså ikke gir, noe hybridbileierne er klar over.

Tabell 7.11. Hybridbileiere etter mening om viktigste fordel ved hybridbilen. Prosent*.

Viktigste fordel	
Lavt drivstofforbruk	49
Miljøvennlighet	59
Lave driftsutgifter	19
Lov å kjøre i kollektivfelt	0
Gratis parkering	0
Gratis passering i bomringer	0
Tar liten plass	0
God/behagelig å kjøre	37
Interessant teknologi	8
Annet	16
I alt	186
Antall	991

* Flere svar kunne gis. Prosentsummen er derfor større enn 100.

Tabell 7.12 viser svarene på spørsmålet om egenskaper ved hybridbilen som eierne kunne ha ønsket annerledes. Bileierne har i snitt gitt 1,3 svar hver, noe som tyder på at det er mange ønsker om alternative egenskaper for hybridbiler. Bare 14 prosent har ingen ønsker om andre egenskaper. Tilhengerfeste er klart den egenskapen flest, 61 prosent, ønsker. Dernest kommer enda lavere utslipp med 28 prosent. Spørsmålet ga mulighet for å skrive inn andre svar. 31 personer har gjort dette, og noen av disse har skrevet inn to eller flere egenskaper. Åtte svar gjelder bedre batterikapasitet. Åtte andre gjelder mulighet for å lade fra nettet eller plugg-inn, og seks ønsker seg lavere forbruk.

Tabell 7.12. Hybridbileiere etter egenskaper ved hybridbiler som de kunne ha ønsket annerledes. Prosent*.

Ønskede egenskaper	
Nei, ingen andre egenskaper	14
Tilhengerfeste	61
Større plass til personer	2
Større plass til bagasje	17
Enda lavere utslipp	28
Annet	8
I alt	130
Antall	991

* Flere svar kunne gis. Prosentsummen er derfor større enn 100.

Eierne ble også spurt om viktigste ulempe med hybridbilen. Dette spørsmålet overlapper med spørsmålet om egenskaper som kunne ønskes annerledes. Spørsmålet ble likevel stilt for å få fram erfaringer med bilen. Vel totredjedeler av hybridbileierne sier at det ikke er noen ulemper ved hybridbilen ifølge tabell 7.13. Dette må sies å være en stor andel fornøyde. Den hyppigst nevnte ulempen bortsett fra "Annet" er liten plass til bagasje.

Tabell 7.13. Hybridbileiere etter mening om viktigste ulempe ved bilen. Prosent*.

Viktigste ulempe	
Ingen ulemper	68
Kort kjøredistanse per lading	4
Liten plass til personer	1
Liten plass til bagasje	9
Svak akselerasjon	2
Lav toppfart	0
Kan ikke trilles i gang ved utladet batteri	6
Vanskelig å få ladet opp batteriet	3
Annet	16
I alt	109
Antall	991

* Flere svar kunne gis. Prosentsummen er derfor større enn 100.

Blant elbileiere (Rødseth 2009, s. 32) oppgis bilens rekkevidde som viktigste ulempe av 75 prosent. Dernest kommer ladetid med 13 prosent. Kort kjøredistanse per lading er viktigste ulempe for bare fire prosent av hybridbileierne, men ladetid ikke er aktuelt for hybridbiler. Spørsmålet om viktigste ulempe viser klart forskjellen mellom hybridbiler og elbiler.

7.6 Neste bilkjøp

En viktig indikasjon på god eller dårlig erfaring er om bileierne vil kjøpe samme type bil om igjen. Det er derfor spurt hva slags bil de tror de vil kjøpe neste gang.

Over en tredjedel av hybridbileierne vil kjøpe ladbar hybridbil og 25 prosent vil kjøpe vanlig hybridbil, til sammen 60 prosent vil kjøpe en form for hybridbil neste gang i følge tabell 7.14. Tar man vekk de 25 prosentene som ikke vil kjøpe ny bil eller som ikke har tenkt på det, er det hele 80 prosent som vil kjøpe hybridbil på nytt. Dette viser at eierne har god erfaring med hybridbilene. Bare fire prosent av de spurte vil kjøpe vanlig bil med forbrenningsmotor, og bare én prosent vil kjøpe ren elbil.

Tabell 7.14. Hybridbileiere etter hva slags bil de tror de vil kjøpe neste gang. Prosent.

Biltype ved neste kjøp	
Vil ikke kjøpe ny bil	3
Ren elbil	1
Vanlig hybridbil	25
Ladbar hybridbil	35
Ladbar eller vanlig hybridbil	3
Vanlig bil med forbrenningsmotor	4
Ikke aktuelt/har ikke tenkt på det	22
Annen biltype	6
I alt	99
Antall	991

Av elbileierne oppgir 69 prosent at det er sannsynlig eller svært sannsynlig at de vil kjøpe elbil ved neste bilkjøp (Rødseth 2009; s. 34). Dette tyder på at også elbileierne i stor grad er fornøyd.

Hva er grunnen til at hybridbileierne i så stor grad vil kjøpe hybridbil på nytt? Tabell 7.15 viser at 81 prosent av dem som vil kjøpe vanlig hybridbil på nytt, oppgir ”god erfaring” som grunn, mens ”mer miljøvennlig” oppgis av 35 prosent. Av dem som vil kjøpe ladbar hybridbil neste gang, oppgir halvparten ”mer miljøvennlig” og 35 prosent ”lavere drivstoff-forbruk”. Blant dem som vil kjøpe bil med forbrenningsmotor oppgir 33 prosent ”mer praktisk i bruk” og 30 prosent ”andre grunner”. Både de som vil kjøpe vanlig hybridbil og de som vil kjøpe ladbar hybridbil, oppgir i snitt mer enn to svar per respondent, mens de som vil kjøpe bil med forbrenningsmotor oppgir 1,5 svar i snitt per respondent. Hybridbileiere som vil kjøpe hybridbiler på nytt, ser altså ut til å ha sterkere motivasjon enn hybridbileiere som vil kjøpe bil med forbrenningsmotor.

Tilsvarende spørsmål er ikke stilt i elbilundersøkelsen, men 63 prosent av elbileierne sier at bruk av kollektivfeltene i byene var en avgjørende forutsetning for å anskaffe elbil (Rødseth 2009; s. 35). Dermed kan det antas at dette også vil være en viktig grunn til å kjøpe elbil neste gang.

Tabell 7.15. Hybridbileiere etter hva slags bil de tror de vil kjøpe neste gang og grunn til dette valget. Prosent.

Biltype ved neste bilkjøp*				
Grunn	Hybrid-bil	Ladbar hybridbil	Forbrennings-motor	Alle
God erfaring med denne biltypen	81	28	18	39
Gir bedre inntrykk	4	2	-	2
Interessant teknologi	19	22	3	18
Prøve noe nytt	4	4	5	6
Lavere drivstoff-forbruk	26	35	13	28
Lavere kostnader	15	13	5	13
Mer miljøvennlig	35	50	8	39
Lavere utslipp av klimagass	18	22	5	18
Lengre kjørelengde uten lading / fylling av drivstoff	6	19	-	11
Bedre plass til personer	2	1	5	1
Bedre plass til bagasje	0	-	20	1
Bedre akselerasjon	1	1	3	2
Høyere toppfart	0	-	-	0
Mer praktisk i bruk	2	1	33	3
Andre grunner	2	3	30	6
I alt	215	201	148	122
Antall	247	349	39	991

*Antall som oppga at de ville kjøpe elbil eller annen biltype var så lite at det ikke kunne deles inn videre.

Ladbar hybridbil

Tabell 7.14 viser som nevnt at 35 prosent sier de vil velge ladbar hybridbil ved neste bilkjøp. Dette er et høyt tall, gitt at ladbare hybridbiler ikke var kommet på markedet da undersøkelsen ble gjennomført. En forutsetning for å kjøpe ladbar hybridbil er kjennskap til at slike biler finnes, eller er i ferd med å utvikles.

Tabell 7.16 viser at 37 prosent av hybridbileierne sier at det kjenner ”godt” og 40 prosent ”litt” til at det utvikles ladbare hybridbiler. Dette stemmer godt med at mer enn en tredjedel av dem oppgir at de ville kjøpe en ladbar hybridbil neste gang.

Tabell 7.16. Kjennskap til ladbare hybridbiler. Prosent.

"Kjenner du til at det utvikles såkalt ladbare hybridbiler eller plugg-inn hybridbiler?"	
Ja, kjenner godt	37
Ja, kjenner litt	40
Nei, kjenner ikke	11
Ubesvart	12
I alt	
Antall	991

Ifølge tabell 7.17 er den viktigste betingelsen for å kjøpe ladbar hybridbil lengre kjørelengde per opplading, 31 prosent svarer dette. I spørreskjemaet var det oppgitt at "... ladbare hybridbiler (kan) kjøre omtrent 20 km på strøm før bilen begynner å bruke bensin." For nesten en tredjedel av de spurte hybridbileierne synes altså 20 km kjørt per opplading å være for lite. Andre betingelser er lavere pris, 22 prosent, og mer utprøving, 20 prosent.

Tabell 7.17. Betingelser for å kjøpe ladbar hybridbil. Prosent.

"Hva skal til for at du skulle kjøpe en ladbar (plugg-inn) hybridbil?"	
Lavere pris	22
Mer utprøving	20
Måtte være sikker på at strømmen kom fra fornybar energikilde	5
Automatisk tilkobling til strøm	10
Lengre kjørelengde pr opplading	31
Andre svar	11
I alt	99
Antall	991

Spørsmålet om nødvendig kjørelengde for å kjøpe ladbar hybridbil ble bare stilt til dem som hadde svart annet enn "lavere pris" på spørsmålet i tabell 7.17. Tabell 7.18 viser at disse hybridbileierne stiller ganske strenge krav til kjørelengde per opplading. Bare 17 prosent aksepterer 30 km eller mindre som minste nødvendige kjørelengde på oppladet elektrisitet, mens 29 prosent ønsker 90 km eller mer.

Tabell 7.18. Nødvendig kjørelengde på oppladet elektrisitet for å kjøpe ladbar hybridbil. Prosent.

”For at du skulle velge en ladbare (plugg-inn) hybridbil, hvor langt må en slik bil kunne kjøre på oppladet elektrisitet?”	
Minst 30 km	17
Minst 30 – 60 km	19
Minst 60 – 90 km	9
Minst 90 – 210 km	10
Over 120 km	18
Ikke noe spesielt krav til kjørelengde	13
Andre svar og ”vet ikke”	13
I alt	99
Antall	827

Ladbare hybridbiler vil antakelig bli dyrere enn vanlige hybridbiler og vanlige biler med forbrenningsmotor. Det ble derfor spurt om hvor mye mer hybridbileierne ville være villige til å betale for en ladbar hybridbil. Tabell 7.19 viser at nesten halvparten av hybridbileierne ikke er villige til å betale mer for en ladbar hybridbil enn for en vanlig bil med forbrenningsmotor. Kombinasjonen av krav om å kunne kjøre 60 km eller mer på oppladet elektrisitet og ikke betale mer enn for en vanlig bil, kan bli vanskelig å oppfylle for bilprodusentene.

Tabell 7.19. Hybridbileiere etter villighet til å betale mer for en ladbar hybridbil. Prosent.

”Hvor mye mer er du villig til å betale for en ladbare (plugg-inn) hybridbil enn for en vanlig bil med forbrenningsmotor?”	
Ikke noe mer	48
Inntil kr 10 000 mer	9
Inntil kr 20 000 mer	11
Inntil kr 30 000 mer	7
Inntil kr 40 000 mer	2
Inntil kr 50 000 mer	9
Inntil kr 75 000 – 150 000 mer	2
Mer enn kr 150 000 mer	0
I alt	99
Antall	902

Tabell 7.20 viser at 60 prosent sier at de vanligvis ville lade opp en ladbar hybridbil, og ytterligere 20 prosent ville lade opp bilen av og til. Tabell 7.21 viser at hybridbileierne har noe mindre tro på at familiemedlemmer ville lade opp bilen enn at de selv ville gjøre det.

Tabell 7.20. Hybridbileiere etter villighet til å lade opp en ladbar hybridbil. Prosent.

"Tror du at du selv ville ta bryet med å lade opp bilen regelmessig, eller tror du at du ville bruke en ladbar hybridbil som en vanlig hybridbil, dvs. ikke koble til strømmettet for lading?"	
Tror jeg vanligvis ville lade opp bilen	60
Tror jeg av og til ville lade opp bilen	20
Tror jeg sjelden ville lade opp bilen	6
Tror jeg aldri ville lade opp bilen	4
Vet ikke hva jeg ville gjøre	10
I alt	100
Antall	920

Tabell 7.21. Hybridbileiere etter om de tror andre i familien ville å lade opp en ladbar hybridbil. Prosent.

".... Og andre i familien?"	
Tror andre i familien vanligvis ville lade opp bilen	47
Tror andre i familien av og til ville lade opp bilen	19
Tror andre i familien sjelden ville lade opp bilen	10
Tror andre i familien aldri ville lade opp bilen	6
Ulike familiemedlemmer ville lade ulikt	2
Vet ikke hva andre i familien ville gjøre	17
I alt	101
Antall	747

Selv om 80 prosent av hybridbileierne tror at de ville lade opp en ladbar hybridbil, viser tabell 7.22 at 82 prosent mener at automatisk lading ville ha svært stor, stor eller en viss betydning for valg av bil. Hvis det kan utvikles en enkel og billig måte for automatisk tilkobling av ladbar bil på fast parkeringsplass, vil dette antakelig gjøre ladbare biler mer akseptable og bidra til mer lading.

Tabell 7.22. Hybridbileiere etter vurdering av automatisk lading av batteriet Prosent.

Hvilken betydning for ditt valg av bil ville slik automatisk lading av batteriet ha, dvs. du slapp å koble bilen til strømmettet når den skal lades?	
Svært stor betydning	30
Stor betydning	27
En viss betydning	25
Ingen betydning	9
Vet ikke	10
I alt	101
Antall	961

Ren elbil

Tabell 7.14 viser at bare én prosent av de spurte hybridbileierne svarer at de vil kjøpe en ren elbil neste gang de skal kjøpe bil. Hva skal så til for at hybridbileierne skulle kjøpe rene elbiler? Tabell 7.23 viser at kjørelengden for rene elbiler må opp i 120 km eller mer for at halvparten av hybridbileierne kunne tenke seg å kjøpe ren elbil. 17 prosent ville ikke kjøpe ren elbil uansett kjørelengde. Som vist i tabell 7.18 vil vel halvparten av hybridbileierne være fornøyd med 90 – 120 km kjørelengde på oppladet elektrisitet for ladbare hybridbiler. Dette er rimelig fordi ladbare hybridbiler vil gå over til bensindrift når batteriet er tomt for elektrisitet, men en ren elbil blir stående fast når batteriet er tomt.

Av førerkortinnehavere i Oslo, Bergen og Trondheim svarer 38 prosent bedre rekkevidde på batteriet som en viktig forutsetning for å kjøpe elbil (Rødseth 2009: s. 33), mens 8 prosent svarer ”ikke aktuelt uansett”. Gitt at undersøkelsene er sammenlignbare, er det altså dobbelt så mange hybridbileiere som vanlige førerkortinnehavere som ikke kan tenke seg å kjøpe elbil uansett. Dette skyldes kanskje at hybridbileierne i større grad enn førerkortinnehavere generelt kjenner til den begrensede rekkevidden som elbiler har.

Tabell 7.23. Hybridbileiere etter nødvendig kjørelengde for elbil. Prosent.

”For at du skulle kjøpe en ren elbil, omtrent hvor langt må en slik bil kunne kjøre mellom hver lading?”	
Minst 30 km	2
Minst 30 – 60 km	7
Minst 60 – 90 km	11
Minst 90 – 120 km	13
Over 120 km	40
Ikke noe minstekrav til kjørelengde	2
Vil ikke kjøpe elbil uansett kjørelengde	17
Vet ikke	7
Andre svar	1
I alt	100
Antall	961

7.7 Oppsummering og konklusjoner

Den typiske hybridbileier er en mann over 60 år med minst 6 års utdanning utover grunnskolen, bosatt på Østlandet i en husholdning med en til to personer.

Elbileiere er i snitt yngre enn hybridbileierne og bor i større grad i husholdninger med tre eller flere medlemmer. Elbileierne har også i større grad enn hybridbileierne tilgang til en annen bil, og bruk av kollektivfelt er avgjørende for elbileiere. Hybridbileierne har ikke denne fordel.

Hybridbileiere er i stor grad fornøyd med hybridbilen og vil kjøpe hybridbil igjen. Den viktigste motivasjon for kjøp av hybridbil er miljøvennlighet. Interessant teknologi synes ikke å være så viktig som miljøvennlighet, men oppgis likevel av nesten halvparten av hybridbileierne som grunn til å kjøpe slik bil.

Hva skal til for at flere skal kjøpe biler med hel eller delvis elektrisk framdrift? For fullt elektriske biler er bedre rekkevidde på batteriet og fortsatt tilgang til kollektivfeltene viktige betingelser. Elbiler synes i stor grad å være "bil nr 2" i husholdningen, og brukes i stor grad til arbeidsreiser.

For ladbare hybridbiler synes også rekkevidden for kjøring med elektrisk drift å være viktig, selv om kravet til rekkevidde med elektrisk drift er mindre for ladbare hybridbiler enn for elbiler. Pris og mer utprøving synes også å være viktige forutsetninger for kjøp av ladbare hybridbiler. Derimot synes ikke selve tilkoblingen til strømmettet å være noen stor hindring for kjøp av ladbar hybridbil, selv om over 80 prosent av hybridbileierne sier at automatisk lading vil ha betydning for valg av bil. Spørsmålene om ladbare hybridbiler er imidlertid hypotetiske i den forstand at ingen av de spurte har erfaring med denne biltypen.

Både konvensjonelle og ladbare hybridbiler kan i mye større grad enn rene elbiler være den eneste bilen i en husholdning, fordi de kan brukes både på korte og lange turer, samtidig som de har et lavere forbruk av bensin enn vanlige bensinbiler. Inntil elbilene eventuelt får mye lenger rekkevidde mellom hver lading og langt hurtigere lading enn de nå har, er elbiler først og fremst egnet til bruk på relativt korte og forutsigbare reiser mellom steder hvor brukerne skal tilbringe så lang tid at batteriet kan lades opp, og hvor lademulighet finnes.

8 Konklusjoner og strategi

8.1 Konklusjoner

Strøm til biler vil i Norge gi store reduksjoner av energiforbruk og utslipp av klimagasser. Fornybar strøm til biler kan frigjøres ved effektivisering av andre sektorer i det norske samfunn. Slutt på direkte elektrisk oppvarming og mer energieffektive boliger er eksempler hvor reduksjon av elektrisk forbruk er mulig.

Strøm til biler kan skje ved bruk av elbiler, ladbare hybridbiler og ved å bruke norsk strøm for å produsere hydrogen til brenselcellebiler.

En rasjonell utvikling av teknologi er tjent med teknologinøytrale insentiver og vil kunne skades av forutbestemte valg av spesifiserte tekniske løsninger.

Elbiler

Små elbiler er takket være insentiver og avgiftsfordeler konkurransedyktige i Norge. Med større produksjonsvolumer, kostnadsreduksjoner og utvikling av batterier kan vi forvente at små elbiler med kort rekkevidde vil bli så konkurransedyktige at det er rimelig at elbiler i løpet av 5-10 år også bidrar med merverdiavgift og dekning av samfunnskostnader for veier. Hvor raskt utviklingen og kostnadsreduksjonene for batterier vil skje er vanskelig å si. Internasjonal bilindustri trenger normalt produksjonsvolumer for masseproduserte bilmodeller på 100 000 enheter per år. Hvis batterier i løpet av 2015-2020 ikke oppnår en moden teknologinivå og en bærekraftig pris vil elektrisk fremdrift ikke bli en økonomisk konkurransedyktig teknologi for annet enn små kjøretøy i land med rik tilgang på klimavennlig og rimelig elektrisk energi.

Ladbare hybridbiler

Ladbare hybridbiler vil raskt kunne gjøre den samme nytten som elbiler og dessuten kunne brukes for langkjøring. For ladbare hybridbiler foreligger ikke på samme måte som for elbiler et behov for ny infrastruktur for lading av batterier. Ladbare hybridbiler vil komme på markedet i løpet av 2012-2015. En utfordring er at ladbare hybridbiler vil koste mer å produsere enn hybridbiler og konvensjonelle biler med forbrenningsmotor. I hvilken grad ladbare hybridbiler på grunn av høyere skatter og avgifter i Norge vil få en mindre attraktiv pris enn elbiler, er et vanskelig politisk spørsmål. Et ofte brukt prinsipp i bærekraftig sammenheng er at biler beskattes i forhold til den nytte eller skade de gjør.

Brenselcellebiler

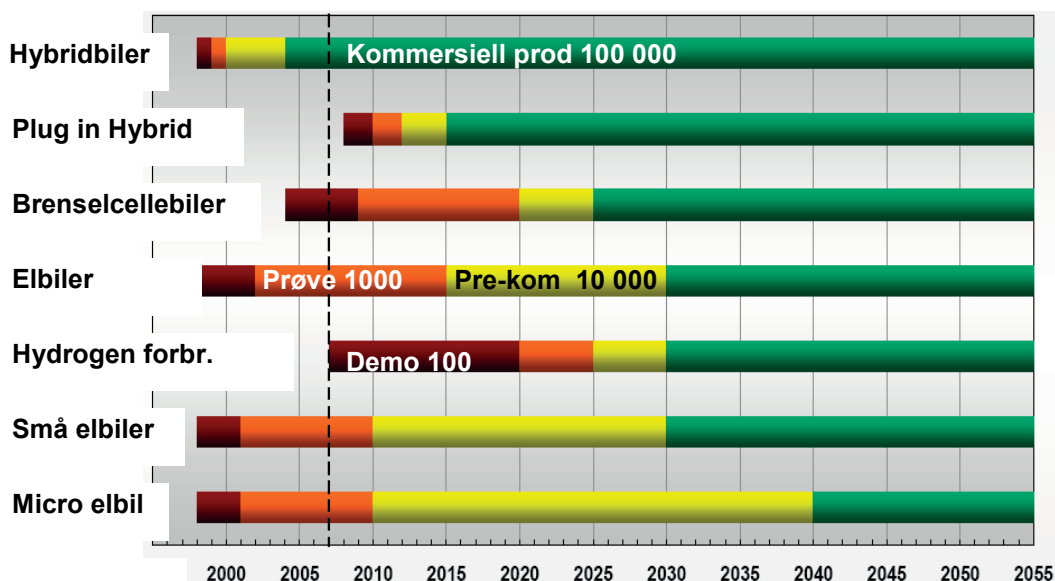
Med norsk strøm og elektrolyse av vann ser det nå ut til at brenselcellebiler kan bli konkurransedyktige med annen bilteknologi frem mot 2020. Frem mot 2020 er utviklingskostnadene for brenselcellebiler store, samtidig som det er behov for å bygge opp ny infrastruktur for forsyning av hydrogen. Et paradigmeskifte til hydrogen vil derfor kreve støtte fra samfunnet det nærmeste tiåret. I 2020 bør brenselcellebiler og tunge kjøretøy med brenselceller ha blitt så konkurransedyktige at de økonomisk kan konkurrere med andre former for fremdrift og transport og også bidra med merverdiavgift og dekning av veieavgifter.

Prognose

Utsikter for utvikling, introduksjon og kommersiell produksjon av de i denne rapporten diskuterte teknologiene for strøm til biler fremgår av figur 8.1. Prognosen er utarbeidet av en ekspertgruppe oppnevnt av California Air Resources Board (CARB) og hentet fra Status and Prospects for Zero Emission Vehicle Technology 2007 (CARB ekspertgruppe 2007). For at en bilmodell skal bli økonomisk lønnsom i kommersiell produksjon (masseproduksjon) kreves som regel en produksjonsvolum på 100 000 enheter per år. Figur 8.1 viser:

- *Brun farge*, en fase med produksjon av demonstrasjonsbiler i serier opp til 100 biler per år.
- *Mellomliggende farger*, viser prøveserier og pre-kommersiell produksjon.
- *Grønn farge*, viser at produksjonen har kommet opp i en kommersiell og økonomisk lønnsom fase med minst 100 000 biler per år.

Figur 8.1 viser nå i 2011 at ekspertgruppen i 2007 hadde et realistisk bilde av utviklingen for de biler og fremdriftssystemer som er aktuelle for strøm til biler. Utvikling og introduksjon av blant annet ladbare hybridbiler går så raskt som ekspertgruppen forutså.



Figur 8.1: Antatt utvikling for årlige produksjonsvolumer av biler med alternativ teknologi. Kilde: Uavhengig ekspertgruppe nedsatt av California Air Resources Board (CARB ekspertgruppe 2007)

Veien frem til kommersiell produksjon for forskjellige størrelser av elbiler vil i henhold til figur 8.1 bli lang. En så lang tid for å nå moden teknologi for elbiler står i kontrast til norske antakelser og stimuleringsiltak.

Eventuelt kan utviklingen for batterier og elbiler gå raskere enn hva ekspertgruppen antok. På den andre siden er det få land som har så store mengder fornybar elektrisk kraft som Norge og det er mulig at elbiler er best som et nisjeprodukt for korte transporter og små, lette kjøretøy.

Kjøretøy med brenselceller og hydrogen som drivstoff synes å ha forutsetninger for gjennombrudd og kommersiell produksjon i 2020 eller 2025. Med tanke på oppbygging av nye produksjonsfasiliteter og infrastruktur for hydrogen vurderer vi at det fortsatt er en relativt stor grad av usikkerhet knyttet til brenselcellebiler. Brenselcellebiler og hydrogen vil innebære et paradigmeskifte med de utfordringer men også muligheter dette vil tilby for forskningsmiljøer og høyteknologisk industri.

8.2 Strategier for industrien

Tredje delmål i prosjektet var sammen med forretningspartnerne å vurdere resultatene i de to første delene av prosjektet for å finne forretningsmessige strategier som gir grunnlag for å utvikle nye produkter og tjenester. Vi har lært og fått innsikt i partnernes behov.

Fremtidens biler blir sannsynligvis, hvis vi tar hensyn til miljøegenskaper, klimapåvirkning, økonomi og praktiske bruksegenskaper:

- Elbiler for små kjøretøy og kort kjørelengde
- Hybridbiler og ladbare hybridbiler med relativt små batteripakker til større biler som også skal brukes for langkjøring
- Brenselcellebiler med hydrogen som energibærer - et alternativ til elbiler og ladbare hybridbiler.

DEFA

DEFA er verdensledende på motor- og kupévarmere for biler. En varm forbrenningsmotor gir lavere utslipp av klimagasser de første 5 minuttene og lavere utslipp av helseskadelige avgasser de første 1-2 minuttene etter en kaldstart. Utslippene blir spesielt store i nordisk klima med temperaturer godt under 0° C. Alle biler med forbrenningsmotor, inklusive ladbare hybridbiler, har nytte av en elektrisk motorvarmer som reduserer miljøpåvirkningen og utslipp av klimagasser ved kaldstart. Reduksjonen i utslipp av klimagasser med elektrisk motorvarmer vurderes å være ca 0,5 kg CO₂ ved start i kaldt klima (-7 °C). For moderne dieselbiler er imidlertid bytrafikk og kjøremønstre som er typiske for bykjøring en større miljøbelastning enn kaldstart.

Behovet for elektrisk kupévarmer er stort for ladbare biler. Med elektrisk kupévarmer og varm kupé vil en ladbar hybridbil raskt kunne gå over på elektrisk drift og trenger ikke forbrenningsmotoren for å varme opp kupéen. Elbiler vil få kraftig (halvert) redusert kjørelengde hvis energi fra batteriet må brukes til oppvarming.

I hvilken grad brenselcellebiler vil få behov for elektrisk oppvarming eller nedkjøling er foreløpig ikke kjent.

Toyota Norge

Toyota utvikler elbiler, hybridbiler og ladbare hybridbiler. Batterier og mangel på bærekraftig og karbonfritt produsert strøm er hovedgrunnene til at ladbare biler foreløpig ikke blir produsert i store volumer for et kommersielt marked. Toyota hevder at alle deres bilmodeller etter hvert vil få hybrid fremdrift. En ladbar modell av hybridbilen Prius er varslet å komme på markedet i for-serieproduksjon fra 2012. Tidspunkt for kommersiell produksjon er avhengig av markedet og etterspørselen i verden.

Toyota varsler at man vil kunne tilby forserieproduserte brenselcellebiler i 2015 og at kommersiell produksjon kan bli en realitet i 2020.

Undersøkelsen blant hybridbileierne gir grunnlag for å identifisere potensielle kunder og marked for ladbare hybridbiler, elbiler og strøm til biler. Kundeundersøkelsen viser at eiere av hybridbiler i snitt er eldre enn førerkortinnehavere generelt og eldre enn elbileiere. Hybridbileierne bor også i større grad i husholdninger med en eller to personer. For å utvide markedet blir det dermed et spørsmål om hva som skal til for å få unge mennesker og barnefamilier til å kjøpe ladbare biler og hybridbiler. Hybridbileierne er i stor grad fornøyd med disse bilene, noe som er lovende for økt utbredelse av hybridbiler. At teknisk interesse og miljøhensyn er viktige momenter ved kjøp, kan tyde på at det trengs bedre markedsføring av disse bilene.

Statoil

Statoil ASA og Statoil Fuel and Retail ASA forsyner markedet med energibærere til kjøretøy. Tradisjonelt har dette vært bensin og diesel fra mineralolje. Ladestasjoner og hurtiglading av ladbare biler vil de nærmeste 10 årene være et begrenset marked. En hurtigladestasjon på de tradisjonelle bensinstasjonene vil ha en markedsverdi, redusere rekkeviddeangst og skape et miljøvennlig inntrykk. Flere hurtigladestasjoner stiller nye og kostbare krav til arealer for parkering og krav til ny og økt infrastruktur for strømforsyning.

Ladbare hybridbiler vil trolig få større omfang enn elbiler fremover. Kompletterende og mer praktiske drivstoffer til ladbare hybride bensin- og dieslbiler vil sannsynlig kunne få større betydning for Statoil enn strøm til biler.

Statoil har i dag 4 demonstrasjons fyllestasjoner for hydrogen til brenselcellebiler. Stasjonene er satt opp med støtte fra NFR. Hydrogen vil i en verden, hvor rimelig fornybar strøm ikke er tilgjengelig, til overveiende grad fremstilles fra naturgass. I Norge kan hydrogen framstilles ved hjelp av elektrolyse av vann og hydrogen og brenselcellebiler kan spille en rolle for innfasing av fornybar elektrisk energi.

Hydrogen kan i Norge med fordel produseres av norsk strøm, men internasjonalt vil energikilden for hydrogen med stor grad av sannsynlighet bli metangass. Med store interesser og ressurser i form av naturgass vil splitting eller oksidasjon av

metan og produksjon av hydrogen til brenselcellebiler i løpet av 10 år kunne bli et strategisk og interessant forretningsområde for Statoil.

EnergiNorge

EnergiNorge arbeider for å legge til rette for ladestasjoner, elbiler, ladbare kjøretøy og økt bruk av strøm til biler. EnergiNorge er prosjekteier for Grønn Bil, som gjør en god innsats for å fremme elbiler, ladbare hybridbiler og ladestasjoner. Grønn Bil og andre interesseorganisasjoner påvirker fremgangsrikt myndighetene for å gi insentiver og skattemessige fordeler til elbiler.

Ladestasjoner og hurtiglading er nødvendige forutsetninger for komfortabel bruk av elbiler på lengre avstander. Innfasing av kommende ladbare hybridbiler trenger i utgangspunkt i liten grad ny infrastruktur for strømforsyning. Intelligent strømforsyning som styres av tilbud og etterspørsel er viktig. En forventet økt etterspørsel etter fornybar strøm vil gi interessante markedsmuligheter for EnergiNorges medlemsbedrifter. Å kunne optimere tilbud og etterspørsel ved å midlertidig kjøpe strøm fra micro-leverandører (bileiere med batteripakker i ladbare biler) vil kunne bli et teknologisk morsomt og spennende forretningsområde.

EnergiNorge og elektrisitetsbedriftene satser på strøm til biler og bruken av elektrisk kraft til transport. Fokus på ladbare biler vil øke etterspørselen etter elektrisk kraft, gi positive miljøeffekter og blir vurdert som en god strategi.

8.3 Videre forskning

Transportøkonomisk institutt

Transportøkonomisk institutt legger vekt på at en må ha et bredt samfunnsøkonomisk perspektiv på satsinger i transportsektoren. Dette betyr at en må analysere teknologiske, samfunnsmessige og bedriftsøkonomiske muligheter og begrensninger ved ulike alternativer. En må etablere kunnskap om hvilke prosesser som kan bidra til ny energieffektiv bilteknologi og fornybare energibærere.

I arbeidet med miljøteknologiske løsninger og ny forskning bør en definere hva som skal være samfunnets oppgaver og hva som er næringslivets og individets ansvar. Videre er det viktig å se teknologiske og andre virkemidler i sammenheng, slik at gevinstene ved teknologiforbedring ikke blir spist opp av trafikkvekst.

Konkrete spørsmål om ladbare hybridbiler blir undersøkt og tatt opp i et pågående prosjekt for Toyota Norge AS med støtte fra Transnova og rekkevidde for elbiler blir analysert i et prosjekt støttet av NER (Nordic Energy Research).

Spørsmål om hva som vil skje med brenselcellebiler og hydrogen i Norge frem mot 2020 er meget interessant. Den teknologiske utviklingen går videre og det er viktig å analysere hva som skjer og hva som er ønskelig i et samfunnsmessig perspektiv.

9 Referanser

Axsen, J. and Kurani, K. S. 2011

Interpersonal influence within car buyers social networks: Developing pro-societal values through sustainable mobility policy. International Transport Forum, annual summit 2011.

BERR and Department for Transport 2008

Investigation into the scope for the transport sector to switch to electric vehicles and plug-in hybrid vehicles. Department for Transport and Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform (BERR). October 2008.

CARB expert group, 2007

Independent expert group for California Air Resource Board, Status and Prospects for Zero Emission Vehicle Technology,
http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev_panel_report.pdf

Car manufacturers et al 2010

A portfolio of power-trains for Europe: a fact-base analysis. The role of battery electric vehicles, plug-in hybrids and fuel cell electric vehicles.

Concawe-EU, 2007 and 2008

Well-to Wheels Analyses of Future Automotive powertrains in a European context. <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

Eberhard, M. and Tarpenning, M. 2006.

The 21st century car. Tesla Motors inc. 19 July 2006.

EBL og ressursgruppe, 2009

Handlingsplan for elektrifisering av veitransport.
http://www.regjeringen.no/upload/SD/Vedlegg/rapporter_og_planer/handlingsplan_elektrifisering_veittransport-12052009.pdf

Econ Pöyry 2009

Virkemidler for introduksjon av el- og hybridbiler - Utarbeidet for Norsk petroleumsinstitutt. Rapport 2009-096.

Econ Pöyry 2010

Et nytt transport paradigme i emningen. Econ Pöyry. Rapport R-2010-095.

EU 2009

How to avoid an electric shock. Electric cars – From Hype to Reality. Brussels, DG Transport and Environment.

FIA Foundation, International Energy Agency, International Transport Forum and United Nations Environment Programme 2008

Making cars more fuel efficient by 2050 worldwide. 50by50. Global fuel economy initiative. www.50by50campaign.org

- Hagman, R. and Selvig, 2007
Environmentally-friendly vehicles - Experiences and Definitions. The Nordic Council of Ministries, Theme Group for Sustainable Mobility
<http://www.norden.org/pub/sk/showpub.asp?pubnr=2007:531>
- Hagman, R. og Figenbaum, E. 2005
Reduksjon av miljøbelastning fra kjøretøy og drivstoffer i Norge. Oslo: Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 808/2005.
- Hirose K. 2011
Presentasjon Hydrogen Fuel Cell Car for Today and Tomorrow. Oslo Universitetets jubileum 12 mai 2011 i litteraturhuset
- Halvorsen, B. 2009
Trafikk i kollektivfelt. Kapasitet og avvikling. Elbilens rolle Asplan Viak as, Trondheim. Prosam-rapport 176.
- International Energy Agency 2009
Technology Roadmap. Electric and plug-in hybrid electric vehicles. International Energy Agency, Directorate of Sustainable Policy and Technology.
- Jackobsson, H-E. 2009
Sammanställning av kör- och lastcykler för PHEV och EV fordon. Göteborg. Test Site Sweden.
- Kalhammer, F. R., Kopf, B. M., Swan, D. H., Roan, V. P. and Walsh, M. P. 2007.
Status and prospects for zero emissions vehicle technology. Report of the ARB Independent Expert Panel 2007.
- Kendall, G. 2008
Plugged in. The end of the oil age. World Wildlife Foundation.
- Kromer, M. A. and Heywood, J. B. 2007
Electric powertrains: opportunities and challenges in the U. S. light-duty vehicle fleet. Cambridge, Sloan Automotive laboratory, Massachusetts Institute of Technology. Publication no. LFEE 2007-03 RP.
- Langezaal, M. and Bouman, C. 2010
Towards winning business models for the EV-charging industry. Delft, Epyon power.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) 2009
Incidence of pedestrian and bicyclist crashes by hybrid electric passenger vehicles Technical report. Washington, U. S. Department of Transport. DOT HS 811 204.
- Nikkei business publication, 2008
http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20080902/157344/
- Nylund, N. O. and Erkkilä, K., 2005
Bus emission evaluation 2002-2004. Summary Report. VTT, PRO3/P3015/05
- Nylund, N.O, Erkkilä, K., Hartikka, T & Laurikko, J., 2007
Heavy-Duty Vehicles: Safety,. Environmental impacts and new technology, RASTU Annual report 2006. VTT-R-04803-077 25.05.2007

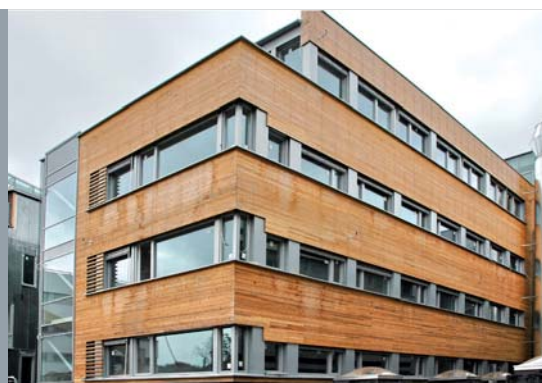
- Nylund, N.O, Aakko-Saks P & Sipilä, K., 2008
Status and outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles.
Helsinki; VTT Research notes 2426
- Oberg, Volkswagen AG, 2001
Future Fuels and Powertrains. Nordic Workshop on New, Sustainable
Technology in the Transport Sector Oslo, September 2001
- OECD, 2004
Can Cars come clean?
- Rasmussen, I. (red) 2008
Klima og transport. Oslo, Vista analyse AS.
- Rødseth, J. 2009
Spørreundersøkelse om bruk av og holdninger til elbiler i norske storbyer.
Asplan Viak. Trondheim.
- SAFER m fl 2010
Safe, efficient vehicle solutions. SAFER, Vehicle and Traffic Safety Centre at
Chalmers. Brochure of June 2010.
- Skedsmo, A. og Hagman, R. 2006
Reduksjon av miljøbelastning fra kjøretøy og drivstoffer i Norge. Oslo,
Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 848/2006.
- Statistisk sentralbyrå 2010a
Folkemengde, etter alder og fylke. Absolutte tal. 1. januar 2010.
<http://www.ssb.no/folkemengde/tab-2010-03-11-01.html>. (Hentet 11.
november 2010)
- Statistisk sentralbyrå 2010b
Kjørelengder, etter kjøretøytype. Gjennomsnitt per kjøretøy. 2005-2008.
Kilometer. <http://www.ssb.no/klreg/arkiv/tab-2009-06-29-02.html> (Hentet
4.nov 2010)
- Statistisk sentralbyrå 2010c.
Kjørelengder, registerstatistikk, 2008. Nye biler dominerer på veiene.
<http://www.ssb.no/klreg/arkiv/art-2009-06-29-01.html>. (Hentet 11. november
2010).
- University of Indiana 2011
Plug-in electric vehicles: A practical plan for progress. The report of an Expert
Panel. Indiana, School of Public and Environmental Affairs, University of
Indiana.
- Vi over 60. 2010.
[http://viover60.no/images/stories/grafikk/annonsering
/hvem_har_rad_til_din_drommebil.pdf](http://viover60.no/images/stories/grafikk/annonsering/hvem_har_rad_til_din_drommebil.pdf). Hentet 12.november 2010
- Vågane, L. 2006
Bilhold og bilbruk i Norge. Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2005. Oslo,
Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 856/2006.
- Wriess, M. et al MIT, 2000
On the Road in 2020, Massachusetts Institute of Technology – Energy
Laboratory

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00
Telefaks: 22 60 92 00
E-post: toi@toi.no

www.toi.no

**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 Forskningscenter 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 trafikk sikkerhet, 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.