ALT OM ELBILEN

Af Ivan Loncarevic

Zero Emission

København 2011

Indhold side

Forord 3
Elbilens historie 4
Den gyldne tid i begyndelsen af det 20. århundrede 4
Elbilens tilbagekomst (1960-2000) 8
Moderne elbiler (2000-2011) 17
Quadricycles 17
Ombyggede biler 19
Masseproducerede elbiler 21
Fremtidens Mikro elbil 29
Hvordan er en elbil opbygget 32
Elbilens elektriske system og konstruktion 33
Elmotoren 36
Motorcontroler/inverter 38
Oplader 39
Elbilens batteri 41
Litium batteri 45
Batteriets kapacitet, opladning og holdbarhed 47
Elbilens litiumbatteripakke og kørerækkevidde 49
Forbliver litium batterier dyre? 53
Sikkerhed og forsyningssikerhed 55
Fremtidige batterier 56
Miljøgevinst 61
Energikilden 62
Forbrændingsteknologiens infrastruktur 66
Global afhængighed 66
Sundhedskonsekvensvurdering 68
Vindmølleenergi 69
Er litium giftig? 70
Derfor litiumbaseret elbilteknologi 71
Opladningsinfrastruktur 72
Intelligent opladningsinfrastruktur 73
Modellen for hurtig batteriudskiftning 76
Modellen for hurtig opladning 78
Hvordan ser vores opladningsstruktur I fremtiden 82
Energistyrelsens forsøgsordning 84
Elbilmarkedet i dag og i morgen 97
Gode råd når du køber elbilen 101
Abstract, dansk 103
Abstract, english 105
Kildeliste 107

Forord

Formålet med denne bog er på en overskuelig og vedkommende måde at give den danske befolkning med interesse for elbiler et indblik i elbilens teknologi og tilvejebringe forståelse for, hvorfor vi i fremtiden kommer til at erstatte de benzin- og dieseldrevne køretøjer med elbiler.

Der er skrevet mange bøger om biler med forbrændingsmotorer, men endnu ikke en eneste om elbiler til trods for, at de første masseproducerede elbiler allerede er på markedet. Den del af befolkningen, som overvejer at anskaffe en elbil, har dermed ikke muligheden for på et oplyst grundlag at træffe et kvalificeret valg. Det vil denne bog søge at råde bod på.

Den danske befolkning har igennem medierne opfattet budskabet om, at elbiler er fremtiden, at elbiler kan medføre en god udvikling af og for Danmark, at vi kan bruge vindmølleenergi til opladning af elbiler, og at elbilerne skal være med til at mindske CO2-udslippet. Men medierne har ikke prioriteret at formidle baggrundsviden og mere detaljerede forklaringer om, hvordan alle disse udmeldinger hænger sammen, og hvilke fakta som underbygger udmeldingerne. Denne bog er dermed også et forsøg på at indføre danskere, som ikke nødvendigvis har tekniske eller videnskabelige forudsætninger her for, i debatten om klimaforandringer, og i overvejelserne om den vigtige rolle, som elbilen spiller i bestræbelserne på at reducere det menneskeskabte CO2-udslip. Bogen vil i bund og grund anskueliggøre, at elbilen er en god løsning for Danmark.

For læsere med særlig faglig interesse i emnet og/eller med tekniske forudsætninger findes der yderligere et indeks med henvisninger til rapporter og fagbaserede præsentationer samt til en række forfattere, forskere og andre, som beskæftiger sig med elbil-problematikker professionelt.

Bogen er blevet til med økonomisk støtte fra Energistyrelsen. En særlig tak til Per Jørgensen Møller, formand for Dansk Elbil Komite, som har givet gode råd og vejledning undervejs.

Elbilens historie

‘Den gyldne tid’ i begyndelsen af det 20. århundrede

En hestevogn, som den skotske opfinder Robert Anderson ombyggede til et primitivt elektrisk køretøj i 1832, betragtes som den første elektriske bil i verdenshistorien. Man kender ikke til mange tekniske detaljer omkring køretøjet, men man ved, at det var forsynet med blybatterier, der ikke kunne genoplades.

Verdens første elbil (1832)

I 1859 opfinder den franske fysiker Gaston Planté det genopladelige blybatteri og muliggør dermed videreudviklingen af den elektriske bil. Der går imidlertid yderligere 40 år, før de første brugbare elbiler ser dagens lys. Det sker i USA, hvor Pope Manufacturing Comp. i Connecticut og Electric Carriage & Waggon Factory i Philadeplia i 1895 indleder en masseproduktion af elbiler, som bl.a. skulle bruges til taxakørsel i New York.

El-taxa i New Yorks gader (1897)

Fast overbevist om, at alle biler ville blive elektriske med tiden, påbegynder den kendte amerikanske opfinder Thomas Alva Edison i 1899 udviklingen af mere holdbare, genopladelige blybatterier. Det lykkedes også for Edison at forbedre blybatteriernes levetid og kvalitet, men ikke at forbedre batteriernes kapacitet.

Thomas Alva Edison med Detroit Electric (1916)

Blybatterier vedblev at være alt for store, tunge og dyre at producere, og elbilens kørerækkevidde forblev meget begrænset på de omkring 40 km pr. opladning. Den manglende funktionalitet, d.v.s. den manglende evne til at transportere gods og mennesker over større afstande, skulle senere vise sig at være udslagsgivende i det historiske kapløb mellem elbiler og benzindrevne biler, som de benzindrevne biler vandt. Benzinbilen blev det foretrukne transportkøretøj i det 20. århundrede.

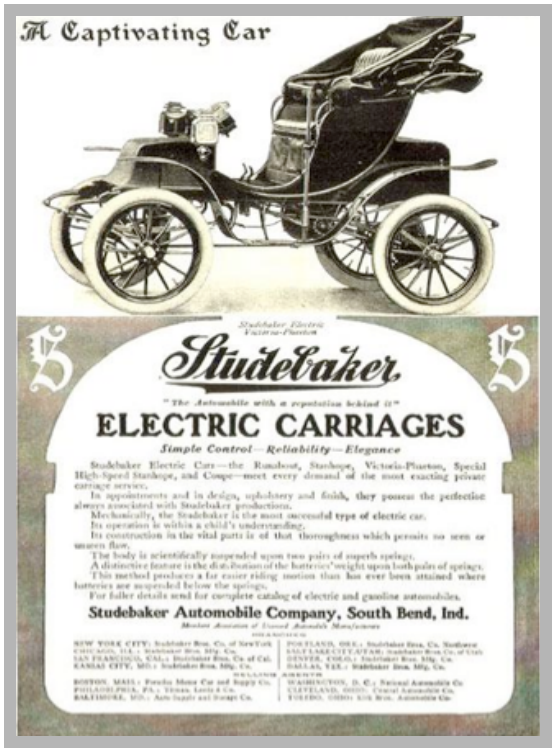
I starten af det 20. århundrede besad elbilerne dog stadig mange umiddelbare fordele frem for andre af datidens benzindrevne og dampdrevne køretøjer. Elbilerne var rene og næsten lydløse, og skulle ikke varmes op flere timer inden brug, som f.eks. dampkøretøjerne skulle det. De havde ingen gearkasser, intet farligt brændstof, og de var i øvrigt en hel del hurtigere end både de benzin- og dampdrevne køretøjer.

Allerede i 1899 opnåede, for eksempel, Cammille Jenatzy verdenshastighedsrekord i en elbil, som kørte 105 km/t, en hastighed der var uopnåelig for både benzin- og dampdrevne biler.

Jenatzys elbil "Jamaise Contente" havde en elmotor i hver baghjul og kunne køre 105 km/t (1898)

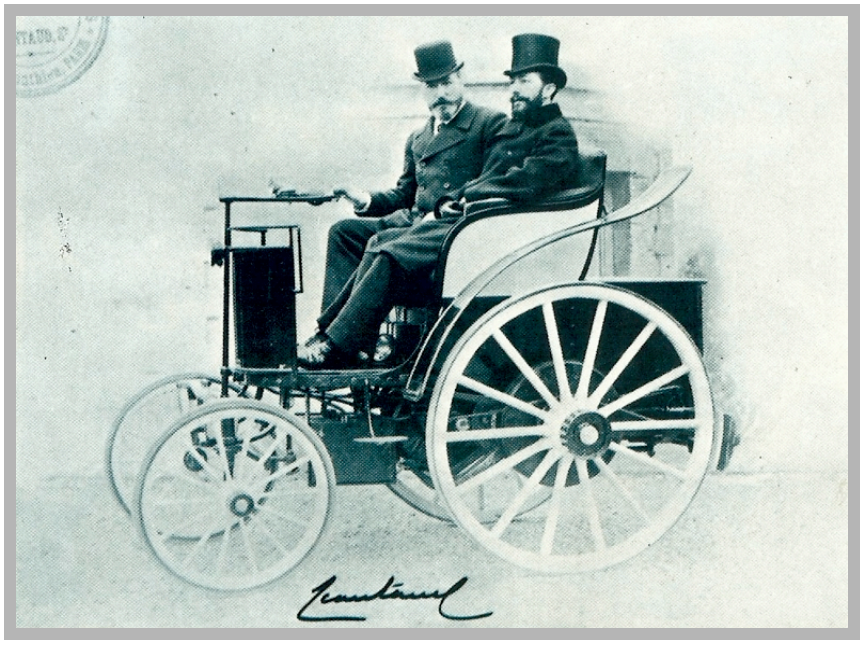
I starten af det 20. århundrede så det altså ud til, at elbilerne ville indtage verden. En tredjedel af alle biler i de større amerikanske byer var elektriske, kun omkring tyve procent af bilerne var benzindrevne, og den resterende del udgjordes af forskellige slags dampkøretøjer. Pope Manufacturing producerede 6.000 el-taxaer i perioden 1895-1920. I 1904 indledte den senere meget berømte amerikansk producent af benzinbiler, Studebaker, en produktion af elbiler, som man mente især var velegnede for kvinder.

I Detroit som senere skulle blive USAs bilmekka, producerede hele to firmaer, nemlig General Electric og Milburn Electric, tusindvis af elbiler i perioden 1906-16, og Detroit Electric producerede omkring 40.000 elektriske personbiler i perioden 1914-1926.



Annonce fra 1904 for den elektriske Studebaker "især velegnet for kvinder".

I Europa var det som i dag, franksmandene der satsede på udviklingen af elbiler. Det skete allerede i 1894. Det franske elbileventyr varede imidlertid kun til 1906, hvor den sidste europæiske elbil blev produceret.



Petit Due med en 4 kW elmotor, Frankrig (1894)

"Petit Due" hed den franske topersoners elbil udviklet af den franske ingeniør og fabrikant Charles Jeantaud. Bilen var dyr, da den kostede 8.000 franc. Den vejede 500 kilo, havde genopladelige blybatterier og en kørerækkevidde på 60 km pr. opladning med en maksimal hastighed på 25 km/t. Jeantaud begik selvmord i 1906, og med hans død sluttede også det franske elbileventyr.

Produktionen af elbiler i USA toppede omkring år 1912, og faldt derefter stødt indtil, Detroit Electric i 1926 ophørte som den største og sidste producent af elbiler i verden. Den primære årsag til, at masseproduktionen af elbiler ophørte, var Henry Fords berømte og succesfulde T-Model med benzinforbrændingsmotor.

T-Modellen var en meget billig, masseproduceret bil med en benzinmotor, der funktionalitetsmæssigt var elbilen overlegen. I samme periode, hvor den billigste elbil kostede op mod 3.000 dollar, kunne man erhverve en T-model for blot 600 dollar. Kun velhavende borgere havde råd til en elbil, som i øvrigt i bedste fald havde en kørerækkevide på kun 40 km pr. opladning, og som var forsynet med tunge bly batterier, der skulle genoplades hele natten.

Enhver lønarbejder havde imidlertid råd til at købe en Fort T-model til en femtedel af elbilens pris, og erhvervede dermed oven i købet et køretøj, med en rækkevidde på hele 200 km på en tank, som kunne genfyldes på blot ti minutter.

Elbilproducenterne var klar over elbilernes begrænsninger, og forsøgte bl.a. i 1910 i samarbejde med andre af datidens højteknologiske firmaer at løse rækkeviddeproblemet efter en model, som til forveksling ligner den, nutidens elbilproducenter som eks. DONG/Better Place/Renault benytter. Således kunne ejeren af en elbil købt hos General Electric eller Milburn Electric købe bilen uden batterier af de to producenter, og bagefter leje batterierne fra energiselskabet Hartford Electric fra Chicago. Batterierne kunne relativt hurtigt udskiftes, og inkluderet i omkostningerne var også vedligeholdelse af køretøjet.

Men benzinbilen kunne fortsat køre meget længere på en benzinpåfyldning, end elbilen kunne på en elopladning. Den bedre funktionalitet gjorde, at forretningsdrivende i højere grad benyttede benzinbiler, når der skulle transporteres gods mellem byerne, en transportopgave der hidtil havde været forbeholdt togene. Det var en attraktiv løsning for erhvervslivet, fordi der nu kunne transportere gods fra dør til dør. I kølvandet på Første Verdenskrig skete der på samme tid en eksponentiel udvikling af benzinmotoren, som skulle anvendes af militæret til lastbiler, fly og tankvogne. Der blev i krigsperioden foretaget meget store investeringer i forbrændingsmotorteknologi, og i den sammenhæng var elbilen kørt ud på et sidespor. Elbilen forsvandt midlertidigt fra det amerikanske marked fra og med 1926, og dermed også fra det globale marked. Der skulle gå næsten 100 år, før verdensmarkedet igen begyndte at fatte interesse for elbiler.

Elbilens tilbagekomst (1960-2000)

Elbilen holdt ikke fuldstændigt op med at eksistere efter 1926. Bilen tabte så at sige blot første halvleg i kampen om at blive det masseproducerede transportmiddel, som kunne benyttes verden over af flest mulige mennesker til daglige gøremål, og til erhvervs- og øvrige formål. Elbilens største svaghed forblev dog i en 100 år lang periode de tunge blybatterier, som betød begrænset kørerækkevidde og lasteevne og meget lange opladningstider.

Imidlertid blev forudsætningerne for at udvikle en støj- og forureningsfri bil i samme periode grundlagt. Det skete ikke i form af direkte udvikling af elbilteknologien, men på grund af den teknologiske udvikling af elmotorer og den efterfølgende udvikling af for eksempel elektriske tog, sporvogne, startmotorer til diesellokomotiver og til en lang række elektriske, industrielle applikationer. Elmotorer var både mere energieffektive end de bedste benzin- og dieselmotorer, og de var nemmere at producere og servicere. Teknologien er desuden relativ simpel, og ikke mindst meget mere miljøvenlig. Udover at have en bedre energieffektivitet i forhold til forbrændingsmotorer, var elmotoren i realiteten alt i alt mere velegnet til brug i biler, end forbrændingsmotoren var det.

Udviklingen af den elmotorteknologi, som f.eks. blev benyttet i elektriske toge, overhalede fra og med 1960'erne fuldstændigt udviklingen af damp- og dieselteknologien i de højteknologiske lande. Men på bilområdet manglede elbilen stadig den vigtigste komponent for at vinde frem, nemlig en tilstrækkelig stabil energitilførsel. Til forskel fra togene, som får energitilførsel i form af elektricitet fra kabler, som følger skinnerne, er elbilen afhængig af et ikke stationært batteri, som kan forsyne elmotoren med strøm.

Det overordnede mål for alle, der er beskæftiget med produktion af elbiler, er at skabe et køretøj med en rækkevidde på minimum 150 km pr. opladning, og med et batteri der er genopladeligt på ti minutter og har en levetid på godt ti år. Eksperter var allerede i 60-erne enige om, at en bil med disse egenskaber, som desuden kunne transportere en hel familie, vil kunne udgøre et seriøst alternativ til biler med forbrændingsmotorer, ihvertifald når det gælder by- og regional kørsel.

På trods af, at de fleste elbilentusiaster og professionelle elbildesignere godt vidste, at den eneste kendte batteriteknologi, nemlig blybatteriet, ikke ville kunne tilvejebringe elbilen den ovennævnte funktionalitet, blev der arbejdet videre med udviklingen af elbilen i både 60-erne, 70-erne og 80-erne. Af de mange og forskelligartede projekter, som forblev på forsøgstadiet, kan man fra perioden finde følgende eksempler:

Ombyget Renault Dauphine (1961, Frankrig)

Bilen havde blybatterier og blev udviklet af en ingeniør fra Renults R&D-afdelingen. Den kom aldrig i produktion.

Bautronic varevogn (1971, England)

Der blev kun produceret omkring 50 stk. af denne type "milk-wagon" til distribution af mælk i de britiske byer.

Vanguard-Sebrick City Car (1972,USA)

Forsøgselbil finansieret af USAs miljøagentur. Bilen kom aldrig i produktion.

Ellerten (1985, Danmark)

Bilen, der i vikeligheden er en trehjulet el-scooter, var forsynet med et 36 volt blybatteribaseret el-system.

Køretøjet produceres i dag i Tyskland med litium-batterier.

EV 1, General Motors (1988, USA)

GM producerede i 1988 1000 enheder af EV1 elbilen med nikkel-cadmium batteri og et 96 volt elsystem. GM lejede EV1'erne ud til 1000 familier i Californien. Efter to års testkørsel ønskede næsten samtlige familier at købe bilen, men GM nægtede at sælge elbilen til brugerne. Istedet indsamlede man bilerne og kørte dem til en losseplads i Nevadaørkenen for at destruere dem. Historien gengives i den berømte dokumentarfilm "Who killed the electric car" (1992), hvor bl.a tidligere ansatte i GM beskriver, hvor bange GM var for, at elbilerne ville vinde markedsandele fra benzinbilerne.

Ford Ecostar (1990, USA/England)

Produktionen af den populære Ford Escort som elbil nåede kun op på 100 stk. Bilen var forsynet med et 110 volt blybatteribaseret elsystem.

Kewet (1991, Danmark)

Bilen producers i dag i Norge af Elbil Norge A/S. Køretøjet er forsynet med et 72 volt blybatteribaseret elsystem, men kan i dag også fås med litiumbatterier.

Reva (1994, Indien)

Med over 6000 solgte eksemplarer i løbet af de seneste 15 år er Reva den mest solgte elbil i nyere tid. Der sælges flest Reva'er i England. Køretøjet er forsynet med et 48 volt blybatteribaseret elsystem.

Citroen Berlingo (1996, Frankrig)

Bilen, som ikke længere er i produktion, var forsynet med et 120 volt nikkel-kadmium batterisystem og blev produceret i et par tusinde eksemplarer I perioden 1996-1999. Modellen blev solgt til det fanske postvæsen og blev brugt til post- og pakkeomdeling.

Toyota RAV4, (1997, Japan)

Toyota producerede i 1997 1.484 eksemplarer af den elektriske RAV4 model, som blev en meget vellykket og eftertragtet miniudgave af SUV, der også kunne fås som benzinbil. Næsten alle biler blev solgt i USA, og over halvdelen af dem kører endnu på vejene. Bilen er forsynet med en 70 KW motor og et nikkel-metal-hybrid batteri med en kørerækkevidde på omkring 120 km pr. opladning. Toyota samarbejder i øjeblikket med Tesla omkring udviklingen af en ny elektrisk udgave af RAV4, som forventes at blive lanceret i løbet af 2012.

El-Pick Up Truck (1999, USA)

Konverteret Ssang Yong Pick Up produceret af Phoenix Cars, USA. Der er i alt blevet produceret omkring 500 eksemplarer.

Elica, forsøgselbil (Japan, 2000)

Elbilen blev bygget af en gruppe forskere fra Tokyos Tekniske Universitet. Bilen havde et 50 KWh stort litiumbatteri og kunne opnå en hastighed på 300 km i timen.

Fælles for næsten alle elbilprojekter i perioden 1960 – 2000 (hvis man ser bort fra Toyota RAV4 og Phoenix Pick Up) var, at elbilerne var forholdsvis små på trods af, at brugen af blybatteriteknologien var pladskrævende. Størrelsen afspejlede forestillingen om, hvad en elbil primært skulle benyttes til, nemlig daglige småture i byerne. Resultatet af størrelsesforholdet var, at de små elbiler var ukomfortable, med meget lav kørerækkevide og meget dårlig lasteevne på maksimalt en til to personer uden bagage! Elbilerne blev desuden produceret i små serier, hvilket gjorde dem meget dyre at erhverve. De blybatterier, som altovervejende blev benyttet frem til 1990'erne, havde oven i dette en relativ kort levetid svarende til omkring 3-500 opladninger. Det betød, at man skulle udskifte batterierne hvert andet år, hvilket var en dyr affære. Alt i alt var der i denne periode kun nogle få elbilentusiaster, som havde mod på at købe elbiler.

Indførelsen af nikkel-cadmiumbatterier i elbiler i 90-erne medførte, at bilerne havde adgang til en batteriteknologi, som var mere robust og stabil, og som betød en bedre levetid på helt op til 2000 opladninger, mange flere end dem blybatterier kunne byde på. Det var et vigtigt skridt i den rigtige retning, når det gjaldt elbilens gennemslagskraft, men batterierne var stadigvæk alt for store og tunge, og kørerækkevidden var stadig under 100 km pr. opladning.

For dårlig batteriteknologi forblev elbilens største problem helt op til årtusindeskiftet. Først da litiumbatteriteknologien blev tilstrækkeligt udviklet i løbet af 90-erne, takket være behovet for udvikling af mindre og mere håndterbare mobiltelefoner, fik elbilen for første gang adgang til en funktionel energikilde, hvilket gav elbilen mulighed for forbedret funktionalitet i det hele taget.

Moderne elbiler (2000-2011)

De fleste elbiler, der er blevet lanceret i perioden fra årtusindeskiftet og op til i dag, kan inddeles i tre kategorier: Små topersoners elbiler hovedsagelig udstyret med blybatterier, ombyggede, bezinmotordrevne personbiler med litiumbatterier og endelig masseproducerede biler, oprindeligt designet som elbiler og udstyret med litiumbatterier.

Den første kategori af elbiler omfatter små topersoners elkøretøjer, der betegnes som elbiler, selvom de teknisk set er elektriske scootere med kabine. De bliver registreret i Danmark med hjemmel i EU lovgivningen som "quadricycles" eller på dansk, som "scootere med fire hjul". De er normalt forsynet med et 48-72 volt elektrisk system, en elmotor der kan udvikle mellem 4 og 16 hestekræfter (3-12 kW) og en hastighed på mellem 45 og 80 km/t. Eksempler på elektriske scooter med kabine er "Reva", "Kewet" og "Ellerten". De inddeles i henhold til EU lovgivningen i to kategorier, nemlig i kategorien "light quadricycle" med en maksimal vægt på 350 kg uden batterier og i kategorien "heavy quadricycle" med en maksimal vægt på 450 kg uden batterier og en maksimal motorydelse på 16 kW. EU lovgivningen regulerer ikke maksimalhastigheden for disse køretøjer, det gør i stedet medlemslandenes egne lovgivninger. I Danmark må "light quadricycles" således maksimalt køre 45 km/t, imens "heavy quadricycles" hastigheder ikke reguleres via regler, fordi den maksimalt tilladte elmotorkraft på 13kW svarende til 17 hestekræfter i disse køretøjer gør, at hastigheden ikke kan nå over 80 km/t. Lovgivningen kræver heller ikke crashtests på disse køretøjer, men der er et krav om indhentelse af et certifikat, som blandt andre Teknologisk Institut udsteder, om at køretøjet overholder alle gældende regler på området.

Som eksempler på første kategori af elbiler findes herunder et udpluk af de "quadricycles", som sælges i Danmark i dag:

Aixam-Mega e-City

Mega e-City fra franske Aixam-Mega er en eldreven to- eller firepersoners bil, beregnet, som navnet indikerer, til kørsel i byerne og i nærområderne. Motoren yder 4KW (ca. 5.5 hk), og tophastigheden er 65 km/t. Producenten opgiver en aktionsradius på op til 80 km, men dette skal opfattes som en absolut maksimal radius under ideelle forhold. Bilen er forsynet med blybatterier.

Kewet Buddy

Den oprindeligt danske Kewet produceres i dag som sjette generation af norske Buddy i Oslo. Bilen har en kørerækkevidde pr. opladning på op til 80 km med blybatterier og op til 150 km med litiumbatterier. Elbilen har en tophastighed på 80 km/t og har plads til to personer og et barn. Elbilen er populær blandt de mere velhavende borgere i den nordlige del af Oslo, men salgstallene er gået drastisk ned og Elbil Norge A/S er gået konkurs efter lanceringen af Citroen Zero i starten af 2011, som er en elbil, der overgår Buddy i teknisk henseende. Eksemplet viser, at elbilens funktionalitet er den vigtigste faktor, når en elbilmodels fremtid skal afgøres, og at kunder er villige til at betale lidt mere end normalt for en elbil, hvis funktionaliteten er tilstrækkelig tilfredsstillende.

Reva

Reva er en indisk produceret light quadricycle topersoners elbil med en maksimal hastighed på 60 km/t. Bilen er udstyret med en 4 KW motor og blybatterier. Reva er den billigste udgave af de elscootere med fire hjul, som findes på markedet i dag, og kvaliteten er også derefter.

Af de tre ekspempler på quadricycles må den norske Buddy fremhæves som en højkvalitets elbil med gode køreegenskaber samtidig med, at den er pålidelig, robust og rimelig komfortabel. Man skal sammenlignet hermed være en virkelig elbilsentusiast for med sindsro at købe en Reva eller en Mega. Disse biler er dårligt affjedrede, sikkerheden er i bund, og der er eksempelvis ingen ordentlig varme i køretøjerne. Prisen er alt i alt lav på bekostning af køreegenkaber og komfort.

Den anden kategori af elbiler på markedet i dag omfatter biler med forbrændingsmotorer, som professionelt ombygges til biler med elmotorer. Der findes en del firmaer i Europa og USA, som har specialiseret sig i at ombygge benzindrevne biler til elbiler.

Herunder er præsenteret eksempler på ombyggede biler, som blev solgt på det danske marked i perioden 2009-2011.

Citroën C1 EV´ie

Citroën C1 er konverteret til eldrift af Electric Car Coperation Plc i England. Bilen har siddepladser til fire voksne, og har opnået fire stjerner i Euro NCAP crashtest. Kørerækkevidden i dansk klima ligger på omkring 60 km, så der er tale om en elbil til brug for daglig nærtransport. Køretøjet er forsynet med et 96 volt elsystem. Batteripakken består af billige, kinesiske litiumbatterier, og har en kapacitet på begrænsede 13 KW. Tophastigheden er ca. 80 km/t. Bilen er blevet testet af en række danske familier i 2010, og dommen var ikke særlig god. Familierne oplevede C1'en som upålidelig, og som det største minus nævnes den totale mangel på opvarmning i bilen.

Microwett Fiat Fiorino E

Micowett er en ombygget Fiat-bil udstyret med koreanske litiumbatterier af høj kvalitet med en kapacitet på mellem 24 og 30 KW. Bilen har en reel kørerækkevidde på mellem 100 og 150 km pr. opladning og en maksimal hastighed på 110 km/t. Elbilen bruges af blandt andre Københavns Kommune. Tilbagemeldinger fra kunder er generelt positive, dog fremhæves på den negative side et besværligt opladerstik. Bilen sælges ikke længere i Danmark, da forhandleren Elbil Danmark ophørte i sommeren 2011.

Ombyggede, benzindrevne biler har repræsenteret de første elbiler på markedet. De har, når man ser bort fra småskavanker som manglende eller dårlig varme, klaret sig godt, og er på grund af bilernes høje prisleje hovedsageligt blevet indkøbt af de offentlige myndigheder. Den største ulempe ved at købe og køre en ombygget elbil er i følge flere kunder en dårlig service, fordi det overvejende er små firmaer med begrænsede midler, der står for produktionen og salget af elbilerne.

Den tredje kategori af elbiler, der findes på markedet i dag, omfatter biler, der oprindeligt er produceret som elbiler, og som er i masseproduktion.

Herunder beskrives et udvalg af denne type elbiler på det danske marked:

Tesla Roadster

Tesla Roadster er en fantastisk amerikanske elbil, som har været med til at bevise, at elbilen kan det samme og i nogle tilfælde mere, end biler med forbrændingsmotorer kan. Tesla Roadster er en højkvalitets elbil til to personer. Den er udviklet af Lotus i England og videreudviklet af Tesla i USA, som finansieres af bl.a. Google Fonden.

Bilen har en maksimal hastighed på 200 km/t og accelerer fra 0-100 km/t på lidt under fire sekunder. Bilen er forsynet med en 153 kW tre-fase elmotor, som kan udvikle over 300 hestekræfter under acceleration. Batteriformationen består af i alt omkring 7000 mindre litium laptop batterier, og har en kapacitet på 53 kWh. Den maksimale kørerækkevidde ved en gennemsnitlig hastighed på 80 km/t er omkring 300 km. Den eneste mindre mangel hos bilen er, at den ikke er udstyret med servostyring.

Tesla kommer i øvrigt på markedet med deres 'S model' i efteråret 2012. Modellen vil kunne fås med forskellige batteristørrelser tilpasset kundens kørselsbehov. Den billigste version med et 40 kWh batteri og en 250 km kørselsrækkevidde pr. opladning kommer til at koste omkring 385.000 kr. Den dyreste med et 80 kWh batteri og en køreræk kevidde på 480 km pr. opladning koster omkring 700.000 kr.

Tesla S model der forventes på det danske marked i efteråret 2012

Th!nk City

Think City er en topersoners elbil, der har været under udvikling i over ti år med finansiel støtte fra blandt andre Ford. Bilen er forsynet med en 30 kW elmotor og et Zebra sodium nikkel klorid batteri på 28 kW. Tophastigheden er på 100 km/t og den reelle kørerækkevidde pr. opladning er mellem 80 og 100 km. Bilen har gode køreegenskaber.

Et minus ved bilen er dog anvendelsen af Zebra-batterierne (natrium-nikkel kemi), idet de skal bruge ca. 20% af egenkapaciteten på at holde sig varme, hvilket er problematisk, fordi batterier kun er funktionsdygtige, når de er opvarmet til omkring 300 grader. Det betyder også, at et helt afladet batteri skal opvarmes i op til 72 timer, før man kan bruge bilen. Zebra-batterier er højkvalitets batterier, men deres størrelse og vægt svarer til blybatteriers, og derfor er Think's ladeevne ringe. Bilen er alt i alt for tung i forhold til sin størrelse. Think er flere gange gået konkurs og firmates fremtid er usikker især nu, hvor producenter som Renault og Mitsubishi kommer på markedet med højkvalitetselbiler, der både teknisk set og prismæssigt er mere attraktive end Think's elbiler. Bilen sælges ikke længere på det danske marked.

Citroen Zero/Mitsubishi MiEV

Citroën C-Zero,Peugeot ION og Mitsubishi MiEV er tre næsten identiske biler produceret af Mitsubishis underleverandør i Japan. Bilerne er baghjulstrukne og udstyret med en elmotor, som yder 47 kW svarende til 64 hk og et batteri på 16kWh. Det er nemt at oplade batterierne I bilerne, idet man bare skal slutte ladekablet til et 230 V stik. En fuld opladning tager seks timer. Alle 3 modeller har servostyring, ESP og ABS, seks airbags, eldrevne ruder og aircondition.

Bilerne har en maksimalhastighed på 130 km/t, og kan accelerere fra 0-100 km/t på 15 sekunder med en mellemacceleration fra 60 - 90km/t på seks sekunder. Kørerækkevidden er på op til 130 km. Til sammenligning består 70 % af al privat daglig bilkørslen i Danmark af ture på op til 60 km. Alt i alt repræsenterer modellerne måske ikke ligefrem en æstetisk nydelse, men til gengæld er der tale om højkvalitetselbiler, som vil kunne bruges af mange danskere til hverdagskørsel. Alle tre modeller forbruger ca. 13 kWh pr. 100 km, svarende til ca. 26 kr. i strøm. Til sammenligning forbruger en tilsvarende benzindreven bil for ca. 70 kr. benzin pr. 100 km. Bilernes stor minus er det høje købsprisleje på omkring 274.000 kr., som gør, at bilerne koster næsten det tredobbelte af tilsvarende biler med forbrændingsmotorer.

Hverken Mitsubishi, Peugeot eller Citroen har nemlig fundet det nødvendigt at adskille batteriets pris fra bilens, og i stedet udleje eller lease batterierne for på den måde at gøre bilerne mere prisattraktive.

Renault Fluence

Den franske Renault Fluence er en fempersoners familiebil forsynet med et 22 KWh litium-ion batteri, som giver en maksimal kørerækkevidde på omkring 160 km pr. opladning og en maksimal hastighed på 135 km/t. Bilen har usædvanligt gode køreegenskaber og er nok den bedste masseproducerede elbilmodel i dag.

Renault Fluence er et meget attraktivt tilbud på det danske bilmarked, ikke kun på grund af elbilens fremragende kvalitet og et meget fint design, men også fordi Renault har forstået at adskille bilens pris fra batteriets. Renault Fluence lanceres til en pris på omkring 210.000 kr for selve bilen, og en leje/leasing af batteriet igennem Better Place Danmark. Det gør bilen meget prisattraktiv. Brugeren kan købe bilen på almindelige vilkår og efterfølgende indgå en leje/leasing kontrakt med Better Place, om en månedlig ydelse for batteri- og strømforbrug. Inkluderet i lejeaftalen er gratis installation af ladestik i elbilejerens garage/carport. Bilen er udstyret med et udskifteligt litium-ion batteri, der på fem minutter kan udskiftes på Better Place's servicestationer. Better Place forventer at have 12 servicestationer til brug for batteriomskiftning klar i løbet af 2012, og vil dermed kunne dække det meste af Danmarks kørelandskab.

Ud over Fluence er Renault igang med forberedelsen af en produktion af eludgaven af Renault Kengoo, som allerede findes på markedet som ombygget elbil. Lancering forventes i løbet af 2012.

Nissan Leaf

Japanske Nissan Leaf er en 5 personers bil forsynet med en forhjulstrukken 80 KW AC motor og et 24 KWh litium-ion batteri. Bilen har en maksimal kørerækkevidde på omkring 130 km pr. opladning. Prisen inkl. batteriet er ca. 35.000 euro eller 290.690 kr. I USA skal Nissan Leaf lanceres som taxi-køretøj. Nissan Leaf blev i 2010 udnævnt til Årets Bil i både Europa og USA.

I USA er der allerede 4.300 hybrid taxa-biler ud af en samlet flade på 13.000. I byer som San Francisco er allerede 50% af alle taxa-biler kørende som hybrider. Elektriske Nissan Leaf vil i første omgang blive lanceret som taxi-køretøj i New York med en kørerækkevidde på 117 km pr. opladning. Ladesystem kan oplade 80% af batterikapaciteten på 30 minutter, hvilket er nødvendigt, da bilen ikke er forsynet med et udskifteligt batteri.

Det er værd at bemærke, at det amerikanske US Environmental Protection Agency, som fastsætter brændstofforbruget i USA, har sat opgivet rækkevidden for Leaf til kun 117 kilometer - til forskel for de 175 km som opgives af producenten når bilen sælges i Europa.

Opel Ampera – elbil med range-extender

Ampera gør Opel til den første bilproducent, som kan tilbyde en elbil med en kørerækkevidde på hele 500 km. Når batterikapaciteten er ved at være opbrugt, starter en lille benzinmotor generator, kaldet Range Extender, som genererer den strøm, som bilen har brug for.

Opel Amperas litium-ion batteri, der kan oplades via en almindelig 230 V stikkontakt, giver en kørerækkevidde på 40-80 km med batteriet alene. Denne kørerækkevidde dækker mere end det gennemsnitlige daglige transportbehov hos tre fjerdedele af de europæiske bilister. For eksempel pendler næsten 80% af tyske og omkring 60% af de danske bilister 60 kilometer og derunder dagligt. Hvis man kører længere end de 40-80 km, starter en forbrændingsmotor, som producerer strøm og muliggør, at bilen kan opnå en kørerækkevidde på op til 500 km uden opladning. Den næsten lydløse elmotor sparer ikke på krudtet med sine 111 kW el-kraft svarende til ca. 165 hestekræfter og en acceleration fra 0 til 100 km/t på ca. 9 sekunder. Bilens tophastighed er på 160 km/t. Accelerationen med Opel Amperas 165 hk elmotor kan sammenlignes med den en 6-cylindret, 250 hk turbodiesel bilmotors kapacitet kan yde.

På den negative side kan man nævne dårlige pladsforhold på bagsæderne og bilens høje pris på omkring 576.000 kr. I Danmark betragtes bilen som en hybrid, og den er derfor ikke fritaget for afgifter. Opel kan ikke stille meget op overfor afgiftsniveauet, men hvorfor firmaet har valgt Ampera modellen, som kendetegnes af dårlig plads på bagsæderne, kan undre. Bilen opfylder ikke en families pladsbehov, og er af samme grund heller ikke 100% egnet til taxakørsel. Spørgsmålet er, hvilken målgruppe bilen egentlig har.

Modec 5½ tons el-lastbil

Modec er en britisk udviklet og masseproduceret el-lastbil. I forhold til sin størrelse har bilen en meget god ladeevne på 3,5 tons. Lastbilen er forsynet med en 76 KW motor og et Zebra sodium-natrium batteri på omkring 50 KWh. Maksimalhastigheden er 80 km/t og kørerækkevidden på mellem 80 og 100 km pr. opladning.

Modec køretøjerne benytter et større, udskifteligt batteri-kassette-system, som har fremtidssikret modellen, fordi forbrugeren med tiden kan benytte andre og nyere batterityper, efterhånden som den teknologiske udvikling på batterisiden sker. Lastbilen kan fås i forskellige udgaver som lastvogn med lukket eller åbent lad, eller som renovationsbil. Frederiksberg Kommune har med stor succes benyttet en renovationsmodel af mærket Modec siden 2010 med daglig kørsel uden tekniske problemer. Modec gik i betalingsstandsning i april 2011, og blev efterfølgende overtaget af det amerikanske firma Navistar.

Paciffico/Enerblu elektrisk bybus

Paciffico er en italiensk udviklet el-bybus med plads til 25 passagerer. Kørerækkevidden er på 140 km. Køretøjet er forsynet med en 50 KW motor og en KOKAM litium-ion batteripakke svarende til 120 KWh kapacitet.

Københavns Kommune indkøbte i maj måned 2009 ni af disse elbusser, som dagligt kører en rute på ni km i indre by. Elbussserne har nu aflagt 70.000 km hver, uden at batterierne har vist tegn på forældelse.

Fremtidens mikro-elbil

Fremtidens mest brugte elbil vil sandsynligvis være en heavy quadricycle, eller på dansk en scooter med fire hjul, d.v.s. en bil der har en maksimalvægt på 500 kg. Det er både Fiat, Audi, Opel og Volkswagen enige om, hvis man skal dømme efter de prototyper, de hver især har præsenteret på de seneste to års Frankfurtbilmesser. At de europæiske bilproducenter primært satser på at udvikle prototyper i denne størrelseskategori viser, at de forventer, at der vil opstå et marked for de helt små elkøretøjer.

Volkswagens seneste koncept hedder Nils og er en egoistbil på 460 kg, der kun har plads til føreren. Med en motor på 20 KW og et litiumbatteri på kun 5,3 KWh påstår producenten, at bilen har en kørerækkevidde på op til 65 km. Bilens tophastighed er på 130 km/t, og ifølge VW er Nils tilpasset hovedparten af alle Tysklands pendleres behov.

Audi har holdt sig til et mere simpelt koncept og har kaldt deres version af en heavy quadricycle for ”urban concept”. Den adskiller sig fra VW's bil ved bl.a. at have plads til to personer. Medpassageren sidder skråt til venstre for chaufføren. Bilen vejer 480 kg, har to elmotorer på hver 7,5 KW og et litiutumbatteri på kun 7,3 KWh. Kørerækkevidden er opgivet til 72 km, og tophastigheden til at ligge lige omkring 100 km/t.

Opels bud på en mikroelbil hedder RAK, og er ligesom Audis et topersoners køretøj. RAK vejer 380 kg, og har en kørerækkevidde på 72 km og tophastighed på 120 km/t.

Renault viste allerede i 2009 deres bud på en mikroelbil, kaldet Twizy, på Frankfurtbilmessen. Twizy er ligeledes en topersoners bil med en vægt på 450 kg, og føres hhv. som 45 km/t eller 80 km/t modeller med kørerækkevidder på 100 km.

Personligt har jeg svært ved at tro, at mikroelbiler nogensinde bliver den succes, de store bilproducenter tilsyneladende forventer, især når udgangspunktet er de modeller, som er blevet vist på Frankfurtbilmessen. Der er mere tale om konceptmodeller til brug i PR øjemed, end der reelt er tale om elbiler, som skal i masseproduktion. Mikrobiler som eks. benzindrevne Smart, har kun vist sig at være virkelig succesfulde i lande som f.eks. Italien, hvor det er meget vanskeligt at finde parkeringsplads i de mange gamle byer med smalle gader. De relativt mange Smart biler i Italien er nok ikke så meget et udtryk for folks ønske om at skåne miljøet ved at spare på energien og reducere CO2-udledningen, som det er et udtryk for nødvendighed på grund af en lokalt betinget mangel på parkeringspladser.

Mikroelbilen har yderligere en svaghed forbundet med størrelsen, idet den ikke tillader store batterier, og derfor kun kan opnå en maksimal køreræk kevidde på 60-80 km.

Min egen erfaring med elbiler er, at et koncept som primært er baseret på pendler- eller by-elbiler med køreræk kevidder på under 100 km ikke er holdbart. Det skyldes, at ingen i længden kan leve med et transportmiddel, som man er nødsaget til at tjekke energiviseren på hvert øjeblik, og hvor man konstant er i tvivl om, hvorvidt man kan nå en planlagt destination, før man kører tør for el. Elbilsspecialister kalder dette fænomen for "range-anxiety".

Endvidere er en mikrobil heller ikke en bil, som kan opfylde den type transportbehov som en almindelig familie har, og familier ser derfor ingen grund til at spendere de 150-200.000 kr., som en mikroelbil typisk koster. Det er på den baggrund ikke overraskende, at producenter som Nissan, Renault og Opel i det små begynder at introducere komfortable store familie-elbiler på markedet, alle sammen med en køreræk kevidde på minimum 150-500 km pr. opladning.

Hvis bilfabrikanter reelt ønskede at udbyde en velfungerende mindre el-bybil, kan det undre, hvorfor man ikke i stedet for at lancere ultra smarte heavy quadricycle, lancerer i forvejen populære bilmodeller, som for eksempel Fiats geniale model-500 som el-bybil. Rygter siger, at i tilfældet med Fiat 500, så ønsker man ikke at gøre indhug i et forrygende salg af den benzindrevne model til fordel for en eldreven model.

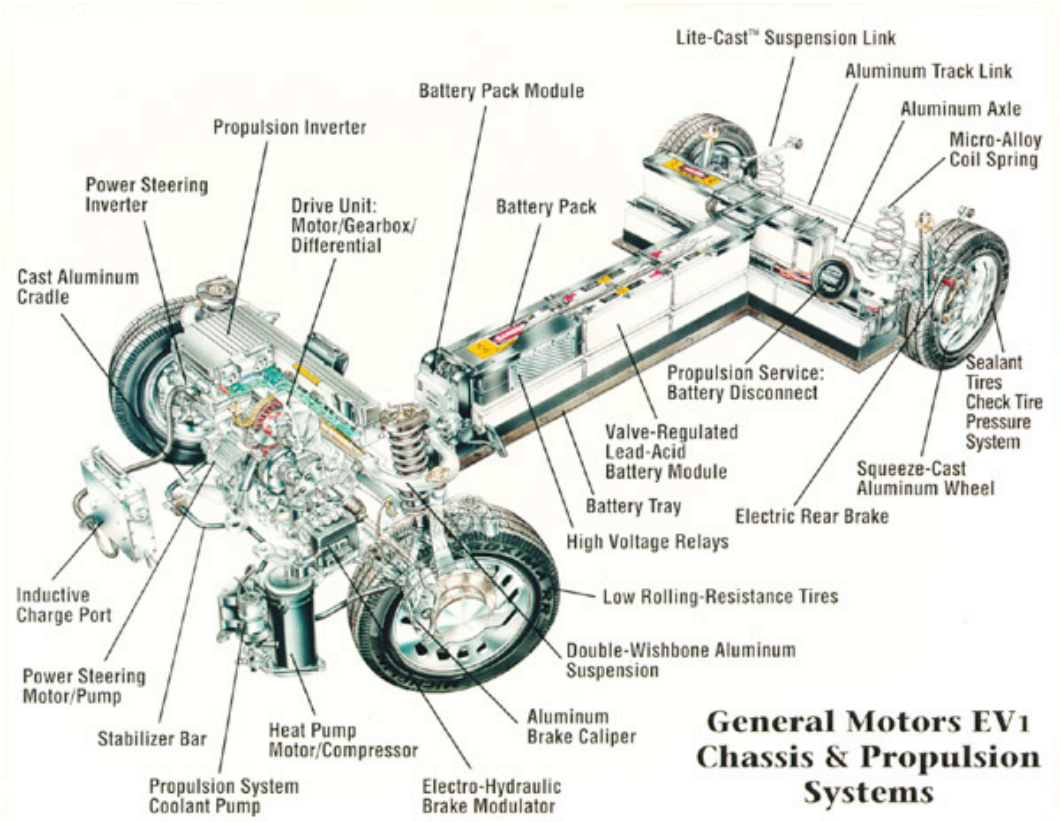
Man kan også undre sig over, hvorfor en bilfabrikant som Citroen lancerer C-Zero, i virkeligheden en lettere modificeret Mitsubishi MiEv, som deres egen elbilmodel, når de i forvejen er i besiddelse af mange meget flottere modeller (eks. C1,C2,C3), som de kunne producere eldrevne udgaver af.

Konklusionen må være, at bilfabrikanterne enten ikke ønsker at investere i udviklingen af en rigtig god bybil, fordi de ikke tror på, at det er muligt at tjene penge på konceptet, eller fordi de frygter, at en sådan bil vil stjæle andele fra det lukrative marked for små benzindrevne biler.

Hvordan er en elbil opbygget?

De fleste ved, at en elbil kører på elektricitet ved hjælp af en motor og et batteri. Men hvad de færreste ved er, at elbilen er bygget op som en ikke særligt kompliceret konstruktion med omkring 50% færre bevægelige dele end i almindelige benzinbiler.

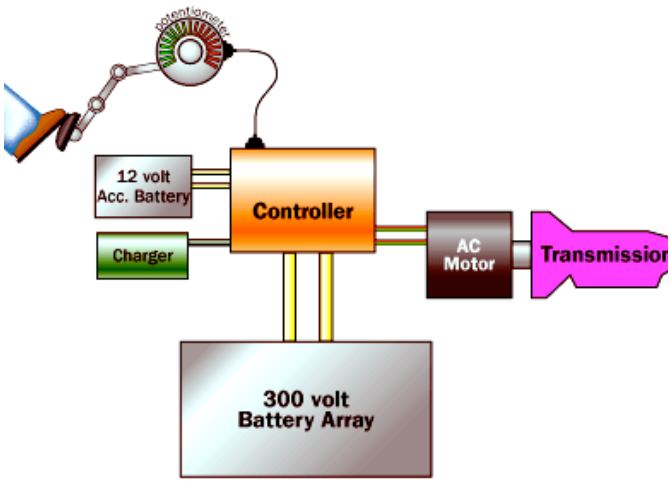
Hvis man ser på hovedelementerne i elbilens konstruktion, så består bilen af en eller flere elmotorer, en motorcontroler eller inverter, et batteri og en oplader.



EV1-elbilens bestanddele, USA, 1991

Elbilens elektriske system og konstruktion

De forskellige komponenter i en elbil, elmotoren, motorcontroleren, opladeren og batteriet er forbundet i et system, som er beskrevet i dette afsnit. Som det kan aflæses af nedenstående billede, er elbilens gaspedal forbundet med motorcontroleren/inverteren, hvorfra det bestemmes, hvor meget strøm, der skal sendes fra batterierne til elmotoren.

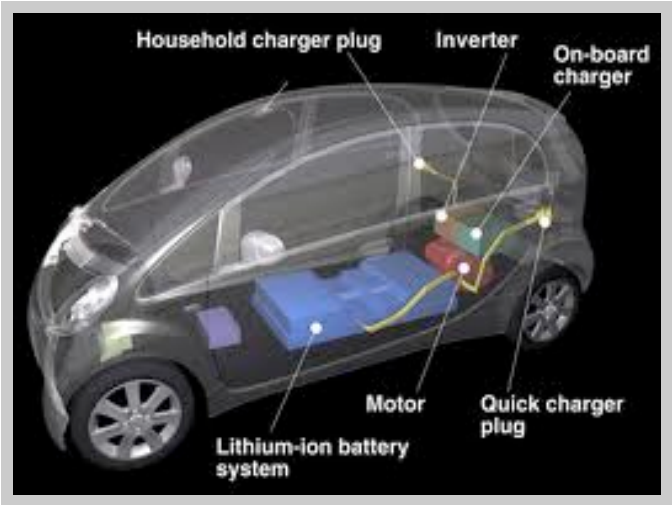


Elbilens eletroniske bestandele og deres indbyrdes forbindelse

Elbilen har yderligere brug for et almindeligt 12 V batteri, til elforsyning til bilens lys og andre elbaserede funktioner. Endelig findes en lader til opladning af batterierne, som ligesom gaspedalen er koblet til bilens motorcontroler. Elbilerne har i øvrigt et inbygget sikkerhedssystem (VMS), som f.eks. forhindrer, at bilen kan køre, hvis laderen stadig er koblet til et opladerstik.

For at kunne leve op til EU's bestemmelser om elbiler, skal det sammenkoblede system have en række indbyggede sikerhedsforanstaltninger.

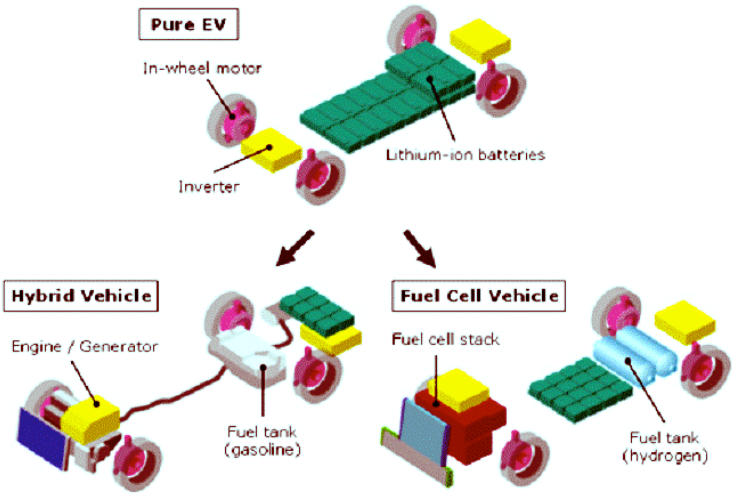
Brugeren må aldrig miste kontrollen over bilen på grund af fejl ved f.eks. motorcontroleren, som kan medføre, at ABS og andre systemer, der påvirker bremseeffekten, forstyrres. Sikkerhedsforanstaltningerne skal også sikre, at batteriet ikke overoplades eller overaflades, at man, som allerede nævnt, ikke kan køre, imens man oplader, at man får et varslingssignal, hvis man forlader bilen uden at slukke for den (dette er nødvendigt, da elbilen jo er helt lydløs, når den står stille), og at motoren automatisk kobles til og fra i kortere tid, hvis hjulene skrider ved glatføre m.m.



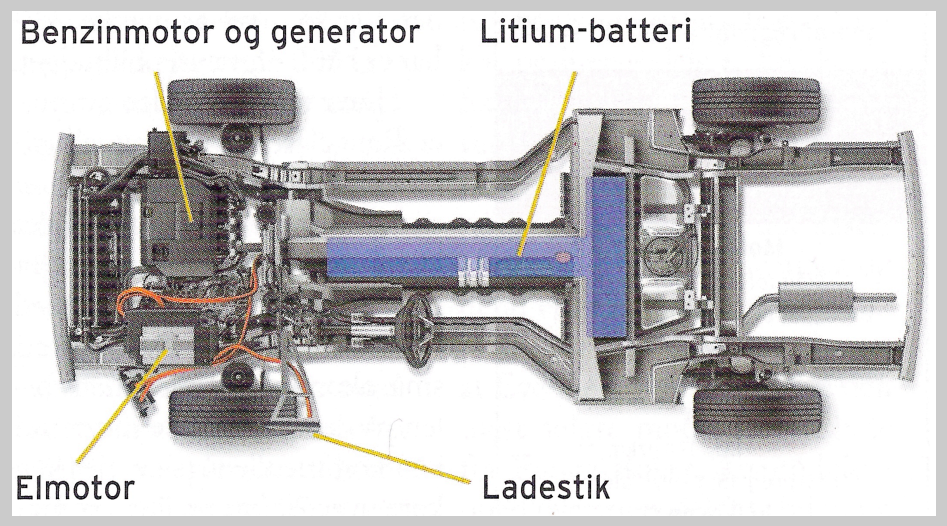
Typisk placering af de vigtigste komponenter i en elbil

Når man betragter elbilens konstruktion, kan man ikke undgå at bemærke, at elbilen har langt færre komponenter og systemer end en klassisk benzinbil har, og endnu færre end en hybridbil har. Hybridbiler indeholder faktisk hele to systemer; et benzinbilsystem og et elbilsystem. Det gør at hybridbiler er meget dyrere at producere end elbiler, og derfor har en høj købspris.

Rene elbiler er også mindre komplicerede i opbygningen og mindre kostbare at producere end køretøjer, der får energi fra brændselsceller, fordi dennne type køretøjer ligesom hybridbiler behøver to systemer - et elbilsystem med batterier og et brændselscellesystem.



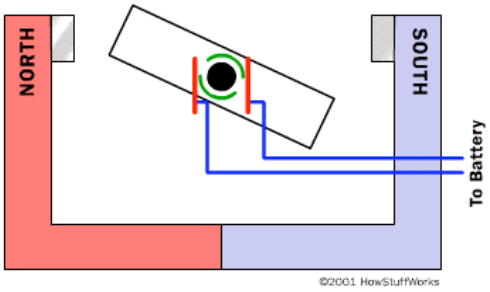
Elbilens konstruktion er simplere og billigere end både hybrid- og brændselscellebiler



Moderne elbilkonstruktion, Opel Ampera, 2011

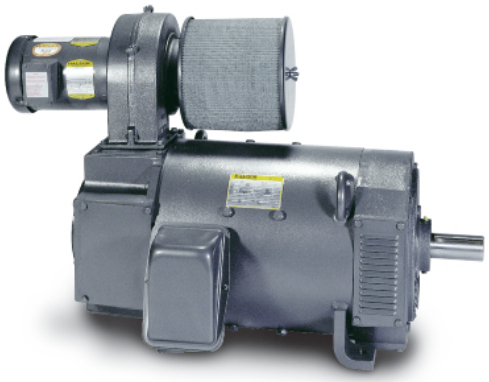
Elmotoren

En elbilmotor er enten en **DC-jævnstrømsmotor** eller en **AC–vekselstrømsmotor**. Blandt begge typer findes der et hav af forskellige modeller. Men uanset hvilken type motor, der benyttes i elbiler, fungerer de alle efter samme princip: Elmotoren består af en rotor med enten magneter eller elektromagneter og en stator med elektromagneter. Ved at tilsætte strøm til statorens elektromagneter tiltrækkes magneterne til rotoren. Når magneterne nærmer sig elektromagneterne på statoren skiftes strømmens retning, og dermed skabes en afstødende kraft. På denne måde opstår en rotationseffekt.



En vekselvirkning mellem tiltrækkende og afstødende kraft skaber rotation i elmotoren

DC-motorer benyttes normalt i biler, hvor den maksimale spænding er 300 V. De stammer fra gaffeltruckindustrien eller er motorer, som er blevet brugt i el-elevatorer og lignende applikationer. DC-motorer kan i kortere perioder klare meget høje belastninger. En typisk god DC-motor på 20 KW (26 hk) kan i kortere perioder yde helt op til 100 KW (134 hk), og kan dermed producere en optimal acceleration i elbilen.



En typisk DC motor, 300 V, 500 hk

AC-elmotorer, eller vekselstrømsmotorer, bruges typisk i industriel produktion og benytter 360-420 V spænding. Det særlige ved en AC-elmotor er, at der ikke findes en reel maksimumgrænse for hvor stor effekt, de kan yde, og de bruges derfor typisk i elbiler, hvor man ønsker en meget stor motorstyrke, og i større køretøjer som f.eks. busser og lastbiler.

Baldor AC motor, 460V, 1000 hk

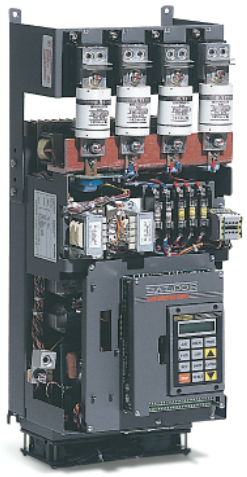
En elmotor kan også selv producere strøm. Denne egenskab bruges i elbilerne til bremsning af køretøjet og kaldes regenerativ bremsning. Når man bremser med elmotoren produceres der strøm, som sendes tilbage til batterierne. Man kan på den måde regenerere omkring 5-10% af den elektricitet, som man har brugt til at accelere bilen med.

Udover produktionen af klassiske industrielle DC og AC elmotorer, bliver der i dag produceret såkaldte in-wheel-motorer, hvilket vil sige elektriske motorer, hvor elmotoren er integreret i et hjul. Mindre hjul-elmotorer bruges i dag især i elektriske scootere, og fordelen ved denne type motorer er, at man undgår transmissionssystemer med remme eller kæder og gearkasser. Ulempen ved hjul-motorer er, at vægten fra motorerne på hjulene gør køretøjet svært at styre, og stiller store krav til konstruktionen af både styretøj og motorcontroler.

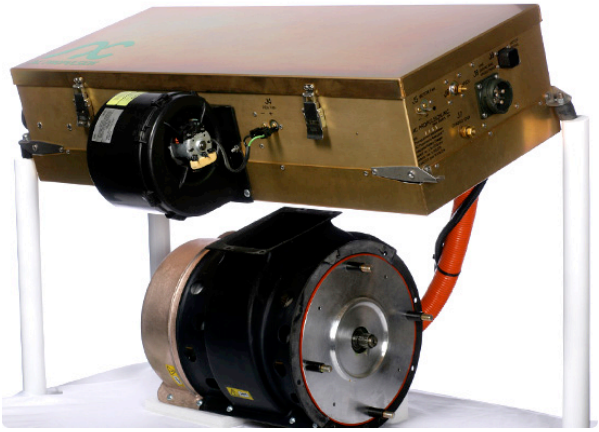
Hjul-motorer, som den britiske PML på 120 KW (billedet til venstre), produceres kun af et par producenter i Europa og er meget dyre. Motorerne er ikke testet i samme grad som industrielle motorer, som har været i produktion i årevis, og kombination af høj pris samt behov for yderligere produktudvikling gør, at elbilproducenter indtil videre har valgt den sikre og traditionelle løsning i form af industrielle elmotorer.

Motorcontroler/inverter

For at kunne styre motorens kraft, skal man bruge en motorcontroler også kaldet en inverter. Motorcontrolere/invertere er forholdsvist komplicerede elektroniske konstruktioner, som bruges til at styre elmotorkraften. De er normalt forsynet med software, som definerer og finjusterer dusinvis af funktioner som eks. den maksimale strømtilførsel, d.v.s bilens hastighed, den regenerative bremsning samt en hel del sikkerhedsfunktioner, som sikrer, at elbilen ikke lige pludselig kører ukontrolleret. Nogle motorcontrolere/invertere har indbygget BMS (Battery Management System), som kontrollerer opladning og afladning af litiumbatterier samt en ekstra enhed, der kaldes Vehicle Management System (VMS) og som har indbygget GPS, kommunikationsport til intelligent ladning, energiberegningsenhed, trådløs internetforbindelse og interface til servicering.



Typisk motorcontroler til en 3-fase elmotor, 420 V



Motorcontroler og motor fra AC Propulsion, USA, der bla. leverer til Tesla.

Oplader

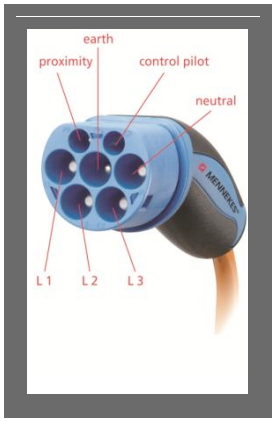
Bilens oplader overfører 230 V eller 400 V (i USA 110 V) strøm fra opladerstikket til bilens batterier. En oplader overfører forskellig strømstyrke målt i Ampere (A), og derfor vil opladningstiden afhænge af opladerens styrke og kvalitet. Når elbilproducenterne skal vælge en oplader til en elbil, er de nødt til at tage højde for, hvor meget strøm almindelige eller industrielle stik rundt omkring i verden kan levere, da opladeren ikke kan levere mere strøm, end hvad den kan "hive ud" af stikkontakten. I et almindeligt hjem vil en stikkontakt normalt levere 230 V ved 16 Ampere. Hvis man ganger de to tal, får man den maksimale effekt stikket kan levere: 230 V x 16 A = 3520 W eller 3,52 kW. I USA, hvor de fleste hjem kun har 110 V strømforsyning kan et stik levere det halve af, hvad et europæisk stik kan, d.v.s. kun omkring 1,7 kW.

De fleste danske huse har ud over almindelige stik også de såkaldte 400 V 3-fase stik, som kan levere den dobbelte strøm af, hvad et almindeligt 230 V stik kan, d.v.s. helt op til 11 kW. De fleste elbiler, der sælges i dag, har batterier på mellem 20 kWh og 30 kWh og de fleste er forsynede med en 3,5 kW oplader (230 V). Dermed kan batterierne oplades på et sted mellem 6 og 9 timer, hvis batteriet er helt afladet forinden.

En typisk 230 V/ 3 kW oplader

På trods af at man i Europa har vedtaget fælles standarder for opladerstik til elbiler, bl.a. under betegnelsen IEC 62196-2, så udbydes opladerstik stadig i forskellige fysiske udgaver, som gør, at ikke alle elbiler kan kobles til bestemte typer opladere.

EUkomissionen har for nyligt bedt de europæiske standardiseringsinstitutioner CEN og CENELEC om at udpege det stik, som skal være standard i hele Europa i fremtiden. Aktuelt diskuterer man tre forslag fra hhv. Japan, Tyskland og Italien.



Det tyske forslag til et standard opladerstik, IEC 62196-2 også kaldet "Mennekes", som flere og flere bilproducenter i EU og USA accepterer som standard for forbindelsen mellem opladerne i bilerne og el-nettet.

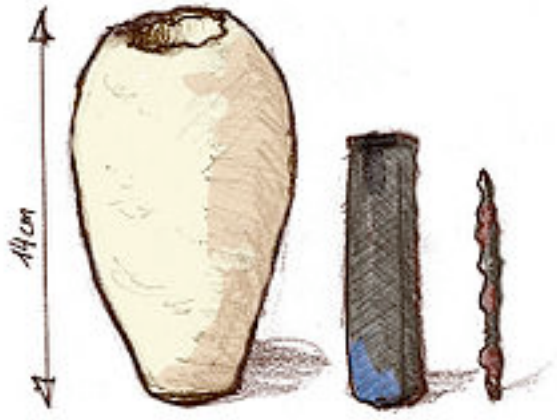
Det japanske forslag til et stadard opladerstik "Yazaki" IEC 62196-1

Det italienske forslag til et standard opladerstik "Scame", IEC 62196-2-3

Elbilens batteri

Den vigtigste komponent i en elbil er batteriet! Det er batteriet, der definerer elbilen og bestemmer elbilens funktionalitet og holdbarhed. Kvaliteten af batteriet har afgjort elbilens skæbne igennem tiden, og det var først og fremmest batteriet, der gjorde, at elbilen tabte terræn i forhold til benzinbilen for 100 år siden, dels fordi batteriet ikke kunne tilvejebringe den energi, der skulle til for at elbilen kunne køre langt nok, og dels fordi de bekostelige batterier ikke havde den nødvendige holdbarhed, og derfor skulle udskiftes for ofte.

Indtil for 70 år siden var det en udbredt opfattelse, at batteriet var en relativ ny Vesteuropæisk opfindelse. Men i 1936, under udgravningerne til en ny jernbane i nærheden af Iraks hovedstad Bagdad, fandt man i ruinerne fra en 2000 år gammel bygning en keramisk vase, som indeholdt en kobbercylinder med en jernstang i midten.



Verdens første batteri dateret til år 196 før Kristus

Efter at have lavet en nøjagtig kopi af vasen med dens bestanddele, fyldte forskerne vasen med vineddike, og genskabte dermed et 2000 år gammelt batteri, som kunne producere 1.5 V spænding. Det er stadig et ubesvaret spørgsmål, hvad batteriet blev brugt til.

Udviklingen af det moderne batteri indledtes i 1800, da den italienske videnskabsmand Alessandro Volta publicerede en artikel, i hvilken han beskrev et batteri, der bestod af tynde lag af sølv, papir og stof, lagt i flere lag og behandlet med en blanding af salt og zink. Flere af lagene producerede en større elektrisk spænding.

Voltas batteri havde en meget lille kapacitet, og det blev afladet meget hurtig og kunne i øvrigt ikke oplades igen. Batteriet blev udelukkende brugt til videnskabelige eksperimenter om levende organismers reaktion på strøm, såsom at få frølår til at bevæge sig - et eksperiment der i øvrigt ledte til den konklusion, at der var elektricitet i levende kroppe, og at muskler kan styres ved hjælp af elektricitet.

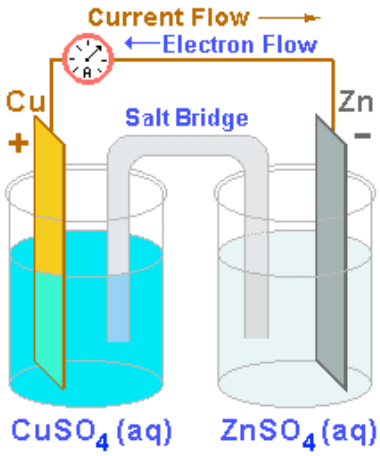
Alessandro Voltas batteri fra 1800

I løbet af 1800 tallet blev Voltas batteri udviklet videre af britten John Frederic Daniell. Han placerede en kobberelektrode i midten af batteriet og brugte en svovlsyre (H2SO4) som elektrolyt. I 1859 føjede Raymond Gaston Plante blyplader til konstruktionen, og dermed var blybatteriet født. Batteriet blev yderligere udviklet i 1881 af franskmanden Camille Faur, som skabte det blybatteri, vi kender i dag, og som de første elbiler i USA kørte rundt med i slutningen af 1800 tallet.

I perioden fra 1898 til 1908 skete der store forbedringer af batterikvaliteten, idet den amerikanske forsker Thomas Alva Edison, som var overbevist om, at elbiler var fremtidens køretøj, i samme periode satte alt ind på at udvikle et nyt og meget bedre batteri. Edison skabte et jern-nikkel batteri, som var yderst holdbart og robust og kunne oplades. Batteriet bestod af en negativ elektrode (katode) af jern og en positiv elektrode (anode) bestående af nikkel-oksid.

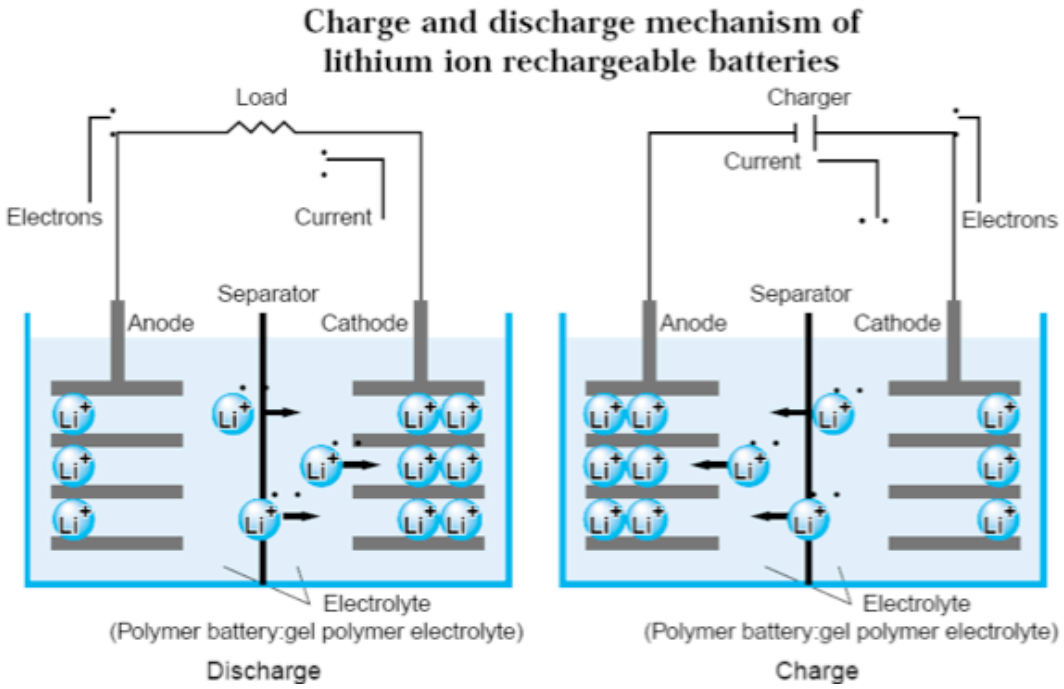
Samtidig med at Edison udviklede sit batteri, udviklede de to svenske forskere Jungner og Berg i 1909 nikkel-kadmium batteriet, hvor jern blev erstattet med kadmium. Dermed blev batteriet endnu mere robust. Denne type batteri blev benyttet så sent som i 1990'ernes første moderne elbiler på grund af robustheden og batteriets lange levetid. Men batteriet er nu på vej helt ud af markedet, dels på grund af dets meget skadelige indvirkning på miljøet (både kadmium og nikkel er giftige tungmetaller), og dels fordi brugen af litiumbatteriet har vist sig at være en meget bedre løsning.

I løbet af de seneste 60 år har man indenfor batteriforskningen afprøvet forskellige typer metaller til anoden og katoden, og forskellige former for elektrolytter i en søgen efter konstruktionen, som kan øge batteriets kapacitet og levetid. Men uanset de justeringer, som forskningen afstedkommer, er et batteri opbygget efter et grundliggende princip, som vist i nedenstående billede:



Galvanisk princip i et batteri

Som det fremgår af billedet er to metalplader nedsunket i en syre i hhv. to cylindre. De to cylindre er forbundet med et rør, der muliggør, at sulfatatomer fra syren kan vandre fra den ene til den anden cylinder. I et moderne batteri er dette rør udskiftet med en membran, der isolerer minuspolen (anoden) fra pluspolen (katoden), men tillader at elektrolytatomerne vandrer fra den ene cylinder til den anden. Til venstre i billedet ses en kobberplade (katode), der er sænket ned i en elektrolyt (syre), hvorved der opstår en kemisk reaktion, som producerer et overskud af ioner (ioner er partikler, der mangler en elektron, og som dermed er positivt ladede). Til højre i billedet ses en zinkplade sunket ned i en elektrolyt (syre), hvor den kemiske reaktion producerer negativt ladede ioner. Det er forskellen mellem antal elektroner på anoden og katoden som skaber ubalance og dermed et enrgipotentiale. Når man kobler anoden og katoden til hinanden, vil der opstå en elektrisk strøm, som konsekvens af at de overskydende elektroner bevæger sig for at udligne forskellen og bringe systemet i balance igen. Denne proces kaldes for afladning. Når alle overskydende elektroner har passeret fra den ene til den anden side vil batteriet være tømt for energi. Man oplader batteriet ved at sætte den omvendte proces i gang.

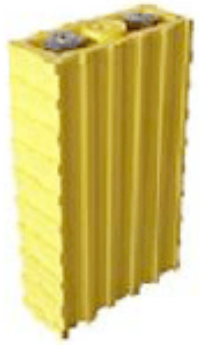


Afladningsprocessen (til venstre) og opladningsprocessen (til højre) i et litiumbatteri

Litiumbatterier

Litium er et letmetal og et grundstof. Der findes forekomster af litium mange steder i verden, men de allerstørste forekomster findes i Kina og Sydamerika. Også havvand indeholder litium. Litium kan lettere genanvendes end bly fra blybatterier, da der ikke er tale om et giftigt tungmetal. Selve genanvendelsesprocessen er mindre energikrævende for litium end for bly. Et litiumbatteri fylder og vejer aktuelt 60% mindre end tilsvarende blybatterier, og har tre til fire gange længere levetid.

Arbejdet med at udvikle det litiumbatteri, som nu er på vej til at revolutionere batteribranchen, har allerede pågået i næsten 100 år. Så tidligt som i 1912 forsøgte den amerikanske kemiker G.N. Lewis at erstatte zink og kobber med litium.



Jern fosfat litium celle

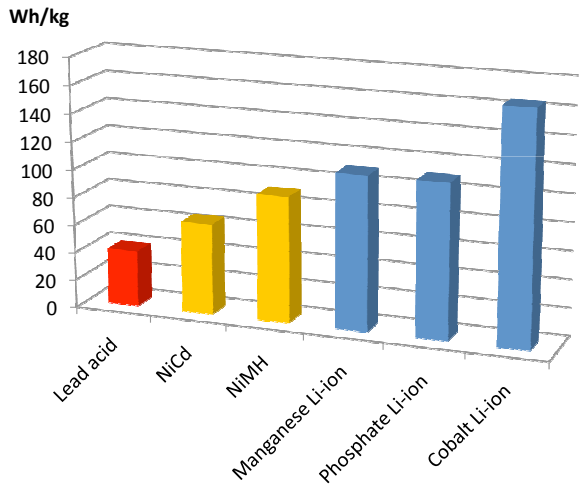
Litium-polymer celle

De første brugbare litiumbatterier blev brugt af NASA i starten af 70-erne til elforsyning af satelitter, men på trods af, at batteritypen kunne levere større mængder strøm og kun vejede det halve af, hvad batterier normalt gør, var dommen, at litiumbatterier var for dyre og havde en alt for kort levetid.

De første langtidsholdbare og økonomisk rentable litiumbatterier blev udviklet af det japanske firma Sony i løbet af 80-erne, og de første litiumbatterier til mobiltelefoner blev lanceret på markedet i 1991. Fem år senere lancerede Sony en særlig udgave af litiumbatteriet, det såkaldte litiumpolymer-batteri, hvor flydende elektrolyt er udskiftet med en fast polymersubstans. Denne type batteri kan formes efter behov og har en endnu højere kapacitet end almindelige litiumbatterier med flydende elektrolyt.

Litiumbatteriet er på alle måder et bedre batteri end alle andre typer batterier. Batteriet har 3-4 gange større kapacitet end øvrige batterityper og en meget fin holdbarhed forstået som lang levetid og sidst, men ikke mindst er litium til forskel fra bly, kadmium og nikkel ikke et giftigt tungmetal til skade for miljøet og mennesker.

Den største fordel ved litiumbatteriet er den meget store kapacitet, og at batteriet kan levere store mængder energi på kort tid uden at det væsentligt påvirker batteriets levetid negativt. Især disse egenskaber gør litiumbatteriet til den perfekte kandidat som energiforsyningskilde i elbiler.



Søjlerne viser energitætheden i forskellige typer batterier. Energitætheden er et mål for, hvor meget energi der kan lagres pr. kilo batterivægt.

Som det kan aflæses af grafen til venstre, hvor de blå søjler viser litiumbatteriers energitæthed, har et almindeligt litiumbatteri 3-4 gange større energitæthed, forstået som evnen til at lagre energi pr. kg batteristof, end blybatterier har. Litium-polymer batteriets kapacitet, som ikke er afbilledet her, har en endnu større kapacitet på omkring 300 Wh/kg, hvilket svarer til 5-6 gange større energitæthed end i tilsvarende blybatterier. I dag tester man på bl.a. Argonne National Lab litium-polymer batterier med en kapacitet på over 300 Wh/kg, hvilket kan muliggøre, at elbiler kan få kørerækkevidder på op til 500 km pr. opladning. Dermed er forudsætningerne skabt for, at elbilens største problem i form af begrænset kørerækkevidde kan løses.

Litiumbatteriernes levetid er væsentligt længere and f.eks. blybatteriers. Et godt blybatteri kan oplades og aflades omkring 700 gange, mens et litiumbatteri kan klare 2-3000 op- og afladninger. Der findes endog titanium-litium batterier, der kan op- og aflades helt op til 12.000 gange.

De gængse litiumbatterityper på markedet og disses egenskaber kan aflæses af nedenstående tabel.

Kemi	energitæthed	stabilitet/sikkehed	holdbarhed
Grafit/NiCOMN02	100-170 Wh/kg	middel	2-3000 opladninger
Grafit/MN spinel	100-120 Wh/kg	middel	1000 opladninger
Grafit/NiC0Al02	100-150 Wh/kg	dårlig	2-3000 opladninger
Grafit/jernfosfat	90-120 Wh/kg	god	2-3000 opladninger
Litium titanate	60-95 Wh/kg	meget god	5-12.000 opladninger

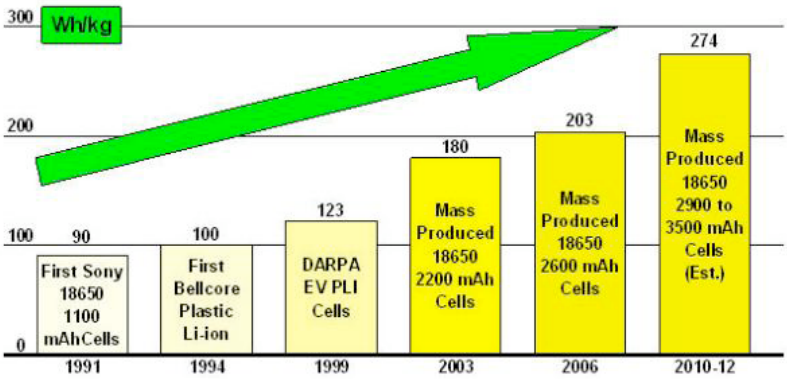
Litiumbatteriernes kemi, energitæthed, stabilitet og holdbarhed

Hvis man analyserer ovenstående tabel er det iøjefaldende, at litiumbatteriernes stabilitet og sikkerhed falder proportionalt med evnen til at optage energi. Litiumbatterier der indeholder kobolt (CO) har den højeste energitæthed, men er det mindst stabile type batteri. Hvis noget går galt, er der risiko for, at litium-kobolt batterier udvikler eksplosioner og voldsomme brande, der er meget svære at slukke. Derfor er litium-kobolt batterier på vej ud af markedet. Den type litiumbatteri der andvendes mest i dag er jern-fosfat typen, fordi både stabilitet og sikkerhed er i orden. Hvis og når noget går galt med denne type litiumbatteri, er det værste man risikerer en del røgudvikling. Det bedste batteri på markedet er utvivlsomt litium-titanate batteriet. Batteriet er ekstremt robust og sikkert, og har en meget lang levetid svarende til over 20 år. Problemet med denne type litiumbatteri er, at energitætheden kun er den halve af andre typer litiumbatteriers, og derfor er anvendelsesmuligheden i elbiler meget begrænset, da litium-titanate batterierne simpelthen er for store og for tunge.

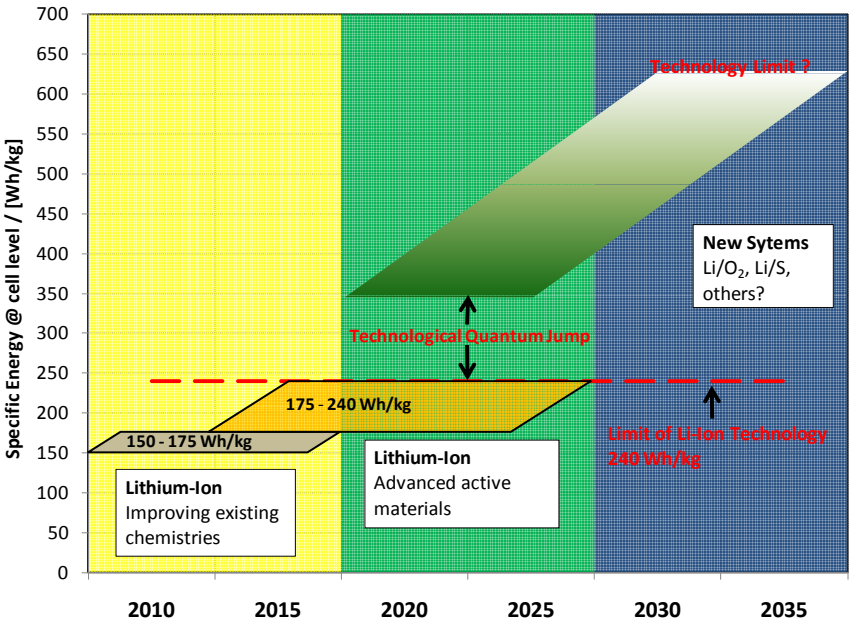
Aktuelt arbejdes der i batteribranchen på opdagelsen og udviklingen af et materiale, som kan muliggøre udvikling af en ny type litiumbatteri, der både har litium-titanate typens holdbarhed og kobolt typens energitæthed. Sony har allerede for to år siden bekendtgjort, at det er lykkedes deres forskere at skabe en litiumcelle med en energitæthed 300 gange større end i de celler, vi har kendskab til i dag. Men en ting er at skabe en celle i et laboratorie, noget andet er at skabe et produkt, der er gennemtestet og bedømt som sikkert at bruge i det daglige.

Til forskel fra de meget hurtige teknologiske landevindinger der sker i computerindustrien, hvor der hvert andet år udvikles dobbelt så hurtige chips, viser erfaringer indtil nu, at udviklingshastigheden i batteriindustrien sker 4-5 gange langsommere. Derfor er det ikke realistisk at forvente, at et betydeligt bedre litiumbatteri, med en meget større kapacitet, vil komme på markedet før år 2025.

Nedenstående grafik viser, hvordan energitætheden i batterier har udviklet sig i løbet af de seneste 20 år.



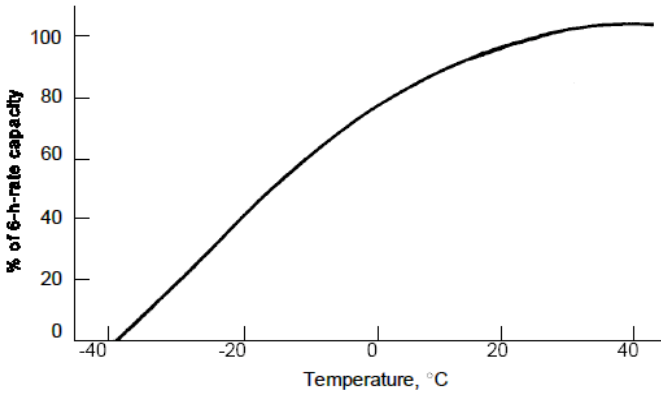
Udviklingen i litiumbatteriers energitæthed - 1991-2010



Det franske batteriudviklingsfirma SAFTs vurdering af den fremtidige udvikling af litiumbatterier

Batteriernes kapacitet, opladning og holdbarhed

Litiumbatterier kan kun virke indenfor en temeperaturzone fra -40C til +60C. Når man køber en elbil med et batteri, der oplyses at have en kapacitet på 20 kWh, skal man gøre sig klart, at denne kapacitet er målt ved stuetemperatur, dvs. ved 25C. Ved lavere temperaturer vil kapaciteten falde. Forskellige typer litiumbatterier mister kapacitet i forskellig grad afhængig af den type materialer, de indeholder, men en hovedregel er, at et batteri der har en 100% kapacitet ved 25C mister ca. 10-15% ved 0C, 20-30% ved -10C til -20C og 50-60% ved -20C til -40C. Ved -40C holder de fleste batterier helt op med at fungere. I mange moderne elbiler er batteriet placeret midt i bilen af sikkerhedshensyn, men også for at forhindre for stor nedkøling i vintermånederne.



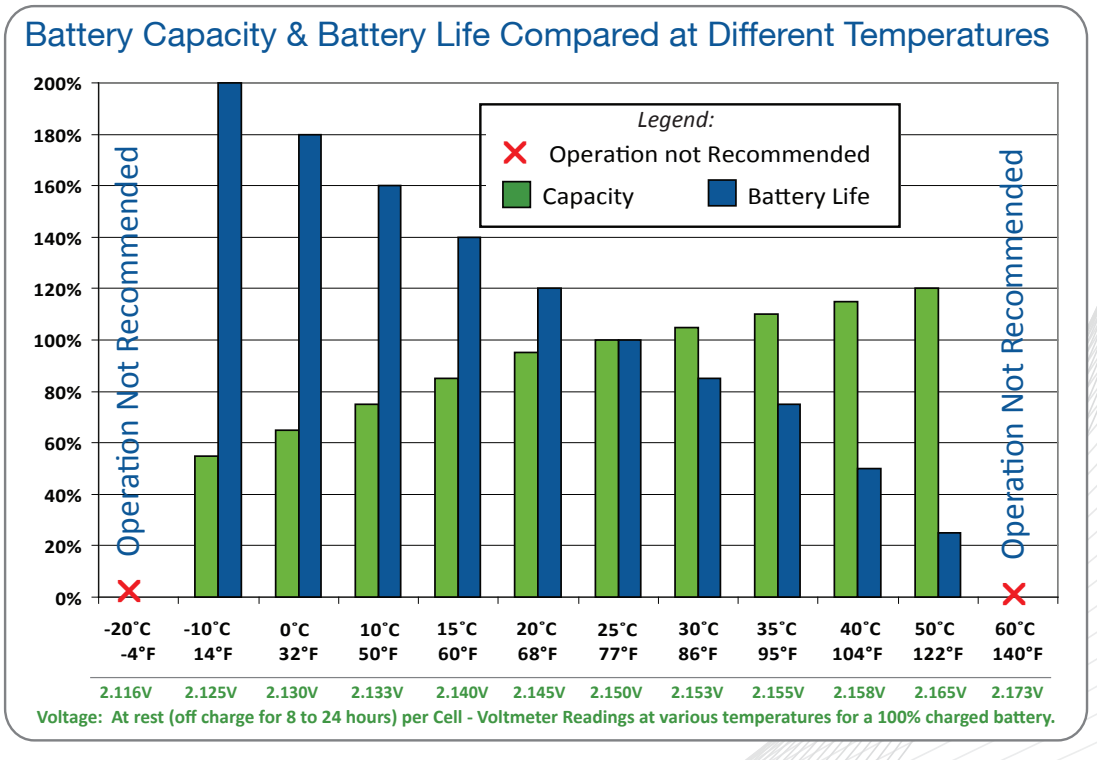
Batteriernes kapacitet som funktion af temperatur

Det største problem batterierne har ved lave temperaturer er, at kulde vanskeliggør opladning. Det kan derfor være nødvendigt at opvarme batterierne før opladning, ved for eksempel at placere dem i en isoleret boks med et varmetæppe som tændes automatisk, når bilen kobles til opladningssationen. Først når batterierne har nået en bestemt temperatur starter selve opladningen.

Alternativt kan man ved lave temperaturer starte opladning med en lav strøm for så gradvist at sætte strømmen op som temperaturen i batterierne stiger, hvilket den automatisk gør i gennem opladningsprocessen.

De fleste elbilpoducenter bruger den sidstnævne fremgangsmåde, som indebærer, at opladningstiden i vintermånederne forlænges.

Ved højere temperaturer end 25C, vil batteriernes kapacitet forøges, men batteriets levetid vil forkortes. Der er en øvre temperaturgrænse for litiumbatterier på omkring 60C. Ved temperaturer herover kan man ikke længere bruge batterierne, idet man risikerer at beskadige det, og i værste fald fremprovokere det såkaldte "thermal runaway" – en kortslutning i selve batteriet som medfører, at batteriet smelter sammen.



Batteriernes kapacitet og holdbarhed som funktion af eksterne temperaturer

Ovenstående tabel kan også bruges til at vurdere batteriers levetid i relation til, hvor kraftigt man oplader batteriet. Kraftigere opladning medfører opvarmning af batteriet med det resultat, at batteriets levetid forkortes.

Som det fremgår af diagrammet, vil en opladning af batteriet, som medfører opvarmning af batteriet til 40C, formindske batteriets levetid med hele 50%.

Elbilens litiumbatteripakke og køreækkevidde

En litiumbatteripakke består af et antal celler med en spænding på 3,5 Volt. Volt er enheden som bruges til at udtrykke elektricitetens spænding (V). Cellernes kapacitet måles i Ampere. Ampere er enheden som bruges til at udtrykke elektricitetens strømstyrke (A). Over tid bruges enheden Ah (ampere pr. time) til at definere batteriets kapacitet. Cellens kapacitet afhænger af cellens fysiske størrelse.

Det at litiumbatteripakken opbygges af enkelte celler, hvor man kan bestemme cellernes størrelse og antal, gør at elbilproducenter kan konstruere lige præcis den pakke, som de har behov for.

En 30 V /8 celle modul

En 250 V / 72 celle bateripakke

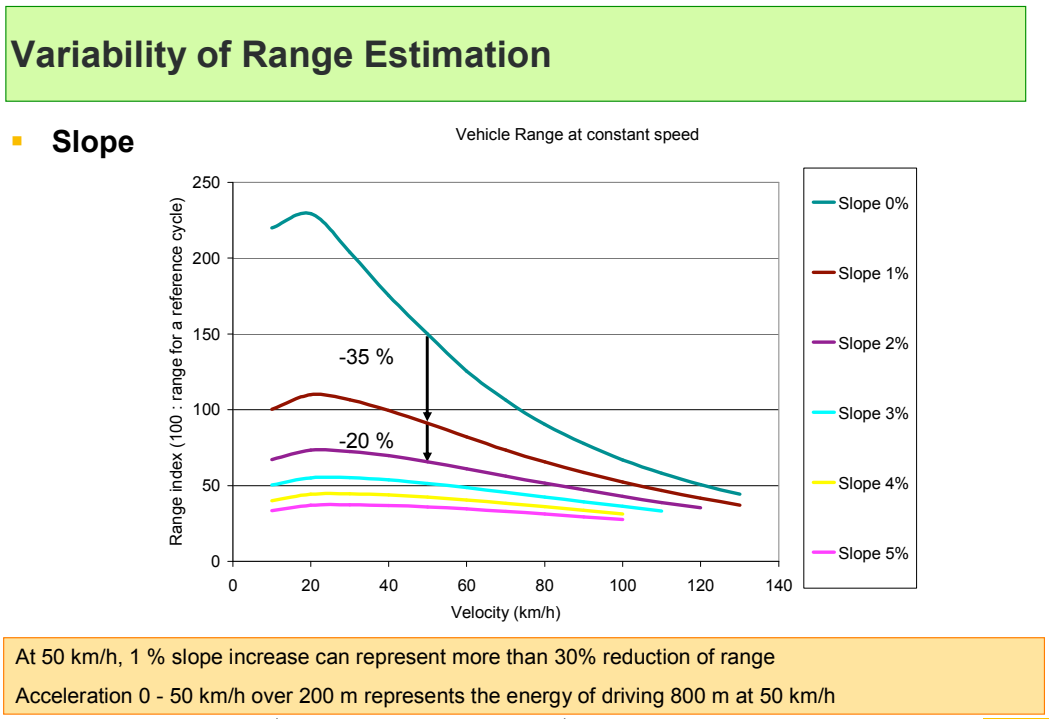
Mobiltelefonens batteripakke består af blot to små litiumceller med en kapacitet, der kan måles i tusindedele af Ah. Når man skal opbygge en litiumbatteripakke med tilstrækkelig kapacitet til at drive en hel bil, skal man operere med batteripakker i et helt andet størrelsesforhold, f.eks. med omkring 100 celler af kapacitet på 70 Ah. Et 100-cellesystem giver f.eks. en samlet spænding på 350 V. Hvis hver celle har en kapacitet på f.eks. 70 Ah, kan man ved hjælp af en simpel udregning finde frem til batteripakkens samlede kapacitet:

350 V x 70 Ah = 24.500 Wh eller 24,5 kWh er den samlede effekt af denne batteripakke. W er måleenheden for Watt, og kW er det samme som 1000 Watt. kWh betegner den effekt, man opnår af en bestemt spænding og strømstyrke på en time.

Elbilens batteripakke kan variere i størrelse, spænding og kapacitet. En lille topersoners elbils batteripakke vil normalt have en spænding på mellem 72 V og 110 V og en kapacitet på mellem 7 kWh og 11 kWh. Store elbiler til 4-5 personer vil normalt have en kapacitet på mellem 20 kWh og 30 kWh. Enkelte elbiler, som f.eks. Tesla, har endnu større batteripakker.

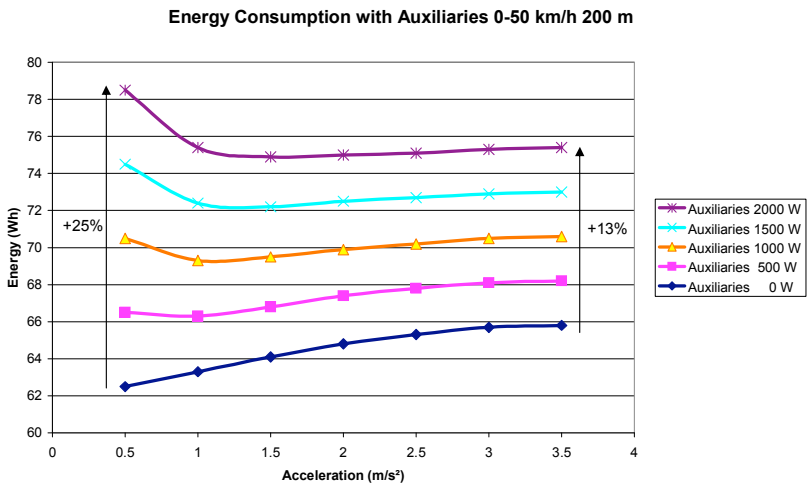
Der er en tendens blandt næsten alle producenter af elbiler til at opgive urealistisk høje tal for deres elbilers køreækkevidder. Derfor er det vigtigt, at man selv kan udregne, om den elbil man er interesseret i, i virkelig kan køre så langt, som man ønsker sig.

Det er umuligt at foretage en præcis udregning af en elbils energiforbrug, da forbruget afhænger af, hvor hurtigt man accelerer, hvor hurtigt man kører, hvor mange personer der er i bilen, om man kører op eller ned ad bakke, i mod- eller medvind m.m. Derfor skal man, når man vil udregne elbilens køreækkevidde, tage udgangspunkt i både det dårligste og det bedste kørselsscenarie.



Ovenstående graf viser at både kørsel op ad bakken samt kraftigt acceleration reducerer elbilens køreækkevidde betydeligt

Effect of Auxiliaries on Energy consumption



Inversion of the trend with High Power of Auxiliaries

- More energy at low acceleration, because of time increase

Ovenstående graf viser, at brugen af en elvarmer på 2000 W reducerer elbilens kørerækkevidde med helt op til 25%

De fleste elbiler bruger minimum 200 Wh energi pr. kilometer og helt op til 400-450 Wh når der accellereres, køres med fuld belastning, eller køres op ad bakke eller i stærk modvind.

Det "dårligste kørselsscenarie" for en elbil med en 22 kWh batteripakke kunne være: 22.000 Wh (batteriets kapacitet): 450 Wh (forbrug pr. kilometer) = 48,8 km

Det **"bedste kørselsscenarie"** for en elbil med en 22 kWh batteripakke kunne være: 22.000 Wh (batteriets kapacitet): 200 Wh (forbrug pr. kilometer) = 110 km

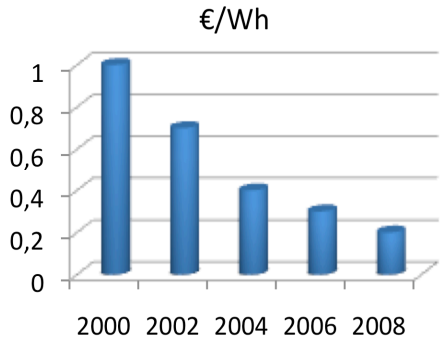
Ovenstående udregningsresultater for kørerækkevidde skal man endvidere reducere med 20%, da elbilens batteri aldrig må aflades fuldstændigt, men kun med 80% af kapaciteten. Dermed vil resultaterne blive en minimumskørerækkevidde på 40 km og en maksimumskørerækkevidde på 90 km. I de kolde vintermåneder skal der indregnes et kapacitetstab på 10-15%, og kørerækkevidderne bliver dermed hhv. 35 km og 75 km.

Udregningseksemplet viser, at elbilens kørerækkevidde varierer forholdsvist meget. I et land som Danmark, hvor der ingen bjerge eller meget lange stejle bakker er, vil variationen i mulige kørerækkevidder ikke være voldsom. Men en elbilejer i et bjergrigt land som Norge kan risikere, at kørrerækkevidden for den elbil, han har købt i god tro, er meget lavere, end hvad han er blevet stillet i udsigt af producenten.

For at opnå en realistisk udregning af kørerækkevidden på en bestemt elbil i Danmark, skal der kalkuleres med et gennemsnitligt energiforbrug på omkring 250 W/km og en reduktion af batteripakkens (officielle, teoretiske,) maksimale kapacitet på 20% om sommeren og 35% i vintermånederne.

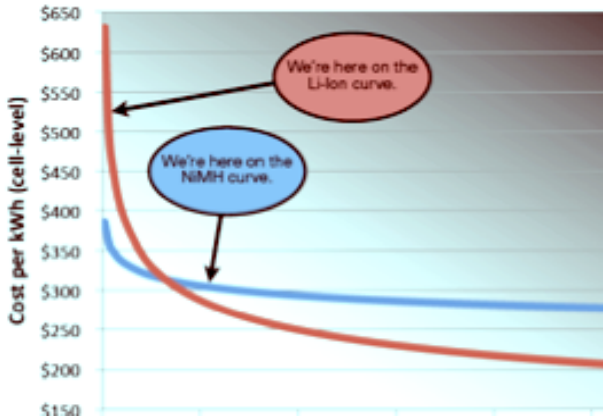
Vil litiumbatterier vedblive at være dyre?

Produktionsprisen på litiumbatterier vil i allerhøjeste grad være bestemt af, hvor hurtigt og i hvor stort omfang indførelsen af elbilteknologi vil ske på verdensplan. Nedenstående grafik viser, hvordan prisen på litiumbatterier har udviklet sig fra 2002 til 2008.



Prisen på litiumbatterier er reduceret med 400% i perioden 2002 til 2008 (AVERE, 2010)

Den amerikanske Institute of Technology vurderer, at prisen på litiumbatterier bør falde helt ned til 20 dollars pr. KWh fra de nuværende 330 dollars pr. KWh, før elbilen vil være i stand til at konkurrere på lige fod med benzinbilen. Udviklingen i løbet af de seneste 6-7 år har vist, at prisen på litiumbatterier falder meget hurtigere end forventet, selvom der stadig er relativt få elbiler på markedet.



Som det fremgår af tabellen til venstre, falder prisen på litiumbatterier (rød kurve) hurtigere end NiMH-batterier (blå kurve), der i dag anvendes i hybridbiler. (AVERE, 2010)

Årsagen til det kraftigere fald i prislejet for litiumbatterier er, at verdensmarkedsprisen for litium falder hurtigere end for øvrige metaller, der benyttes i batteriindustrien så som, nikkel, kobber, zink m.fl. Udviklingen i prisfaldet skyldes til dels også, at Kina målrettet udvider produktionen af litium med 45.000 ton årligt og delvist, at udvindelse af litium er mindre bekostelig end udvindelsen af andre metaller.

Prisfaldet skyldes også øget anvendelse af litiumbatterier i mobiltelefoner, i power-tools og i forskellige industrielle applikationer. Når de store bilfabrikker yderligere begynder at producere hundredtusindvis af elbiler, vil produktion af litiumbatterier forøges med faktor 10.000 i forhold til i dag, og så er det ikke utænkeligt, at prisen på litiumbatterier vil blive ti gange mindre, end den er i dag.

Som et eksempel på, hvordan ny teknologi er dyrt, når det første gang introduceres for forbrugeren, og så bliver meget billigere, når det er overgået til at være hvermandseje, kan nævnes fladskærmsfjernsyn. I 2000 kostede et Sony fladskærmsfjernsyn 135.000 kr. Efter man indledte masseproduktion af fladskærmsfjernsyn faldt prisen på ganske få år til omkring 15.000 kr, og i dag kan enhver købe et fladskærmsfjernsyn til mellem 4 og 7.000 kr.

Det er realistisk at forvente et tilsvarende scenarium i forhold til prisudviklingen for et litiumbatteri, således at et batteri på 20 kWh, som benyttes i en elbil, falder fra de nuværende 60-80.000 kr. til omkring 6 -8.000 kr. i 2020.

Det engelske konsulentfirma Townsend Company udgav i 2010 en rapport, der viser, at det relativt høje prisleje, der præger elbilområdet, ikke kun skyldes, at litiumbatterier har et højt prisleje. Townsends analyse viser at mange andre komponenter i elbilen også er meget kostbare, og at dette hovedsagligt skyldes, at elbiler produceres i meget lavt antal. Analysen konkluderer, at der er store besparelser at hente, så snart de store bilproducenter indleder masseproduktion i større skala af elbiler.

Læs rapporten "Townsend Company" på www.altomelbilen.dk - under Rapporter

Litiumbatteriers sikkerhed og litiums forsyningssikkerhed

I de senere års diskussioner om elbiler har to emner været de mest debatterede: Litiumbatteriernes sikkerhed, og om hvorvidt der er tilstrækkeligt meget litium til at forsyne en fremtidig industri med batterier til potentielt 800 millioner biler - det antal biler, der aktuelt findes på verdensplan.

Diskussionerne om litiumbatteriers sikkerhed er ofte blevet udløst af episoder med brande i elbiler. Undersøgelser af de forskellige uheld med brande har imidlertid vist, at selve litiumbatterierne sjældent har været årsag til brandenes opståen. Oftest er en anden komponent, som f.eks. opladeren, Battery Management Systemet (BMS), en ledning, en dårlig kontakt eller andre dele i bilen, årsagen til brandene. Dette skyldes i mange tilfælde, at der i perioden fra 2000 til 2008, hvor mange små firmaer og værksteder eksperimenterede med litiumbatterier, var et manglende kendskab til den nye teknologi. I øvrigt er brande, som opstår i køretøjer et helt almindeligt fænomen, når det gælder benzinbiler. Årligt udbrænder omkring 300.000 benzin- og dieselbiler af forskellige årsager. Benzin er en meget brandbar og giftig væske, der faktuelt er en hel del mere brandbar end litiumbatteriet er. Alligevel – eller måske netop derfor - skaber en enkelt brand i en elbil langt flere overskrifter end tusindvis af brande i benzinbiler. Men i sidste ende er der reelt ingen beviser for, at litiumbatteriteknologien er farligere and andre køreenergiteknologier.

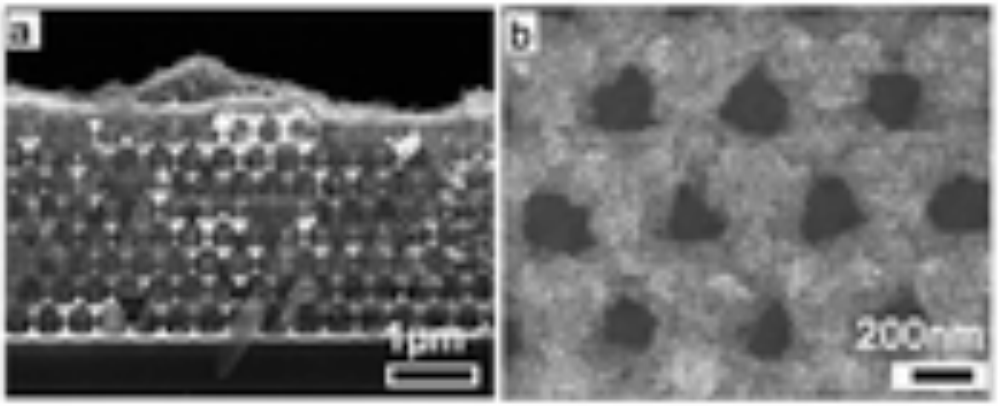
Der er intet, som indikerer, at der er i fremtiden vil opstå forsyningsproblemer for litium. Der findes meget store forekomster af litium i både Kina og Sydamerika og i havene omkring os. Det forholder sig i øvrigt sådan, at man bruger forholdsvis små mængder litium til at producere batterier med. Man bruger som eksempel kun ca. 7% litium for at producere selve katoden, og hvis man ser på batteriets samlede vægt, så udgør andelen af litium små 2-3%. Hvis man antager, at en gennemsnitlig elbil bruger et 30-50 kWh litiumbatteri, så vil den samlede mængde litium, der skal bruges til at producere en million batterier være mindre end 11.000 ton. Der er aktuelt opgjort globale reserver af litium svarende til 28,4 millioner tons på land og yderligere 200 milliarder ton, hvis man indleder udvinding af litium fra havvand. Der producers ifølge US Geological Survey 360.000 tons litium årligt, og Kina øger sin produktion af litium med omkring 45.000 ton hvert år. Intet tyder altså på, at litiumindustrien ikke ville være i stand til at forsyne verden med de millioner af litiumbatterier, som elbilproduktionen potentielt ville have behov for fremover

Fremtidens batteri

Forskellige universiteter verden rundt arbejder på at videreudvikle litiumbatterier, så sikkerheden og kapaciteten til stadighed kan forøges. Forskerne forsøger primært, at forbedre litiumbatterier på to fronter:

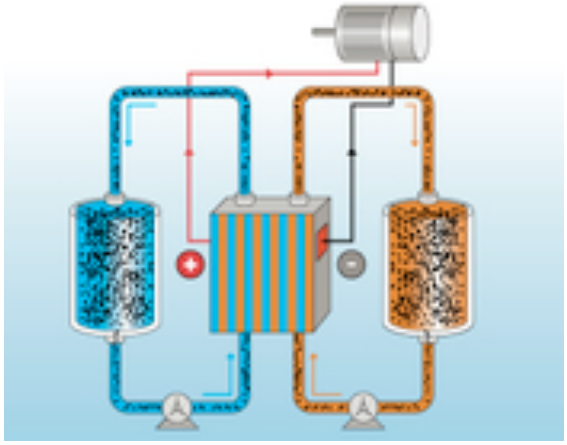
At finde nye materialer til anoden og katoden med henblik på at forøge opladningshastigheden, og at finde nye materialer som kan forøge batteriets kapacitet.

Forskere fra staten Illinois i USA har opdaget en fremstillingsproces, hvor en ny type elektroder angiveligt kan tåle 400-1000 gange hurtigere opladning end de nuværende elektroder kan. Dette betyder, at et typisk litium-ion-batteri vil kunne oplades 90 % på kun to minutter. Opdagelsen er blevet offentliggjort i forskningstidsskriftet Nature Nanotechnology, september 2011. Hemmeligheden bag udviklingen af hurtigere opladning er at finde materialer til anoden og katoden (elektroderne) med så stor overflade som muligt, så modstanden mindskes ved opladning. Amerikanske forskere har mindsket graden af modstand ved at benytte et materiale til anoden og katoden bestående at millioner af små nikkelstøbte, kugleformede forhøjninger, der forøger materialets overflade. Resultatet er en overflade der minder om bikubeceller.



Her kan man på et elektromikroskop-foto se strukturen i de nyopfunde elektroder. Man ser tydeligt de mange huller, hvor polystyren-kuglerne har siddet, imens nikkelstrukturen blev støbt. Resultatet er en luftig, svampagtig struktur med en meget stor overflade.

Den seneste landvinding inden for batteriforskningen er sket ved MIT's (Massachusetts Institute of Technology) laboratorier i USA. Her har man udviklet et såkaldt flow-batteri, som i følge forskerne har 5-20 gange højere energitæthed, d.v.s. kapacitet pr. kilo batteristof (kWh), end de litiumbatterityper, vi kender til i dag. Det opsigtsvækkende ved flow-batteriet er, at batteriet ikke oplades på traditionel vis, ved at forbinde batteriet med en oplader, men ved at skifte batteriets elektrolytvæske. Dermed oplades batteriet på ganske få minutter.



Flow-litium-ion-batteri udviklet af MIT

Det nye batteri opbevarer energi i små nano-katode og nano-anode partikler med litiumioner, som opsamles i en to-komponent elektrolytvæske bestående af alkyl-karbonat. Elektrolytterne holdes adskilt af en membran, som tillader de elektriske bærere (elektroner eller ioner) at passere.

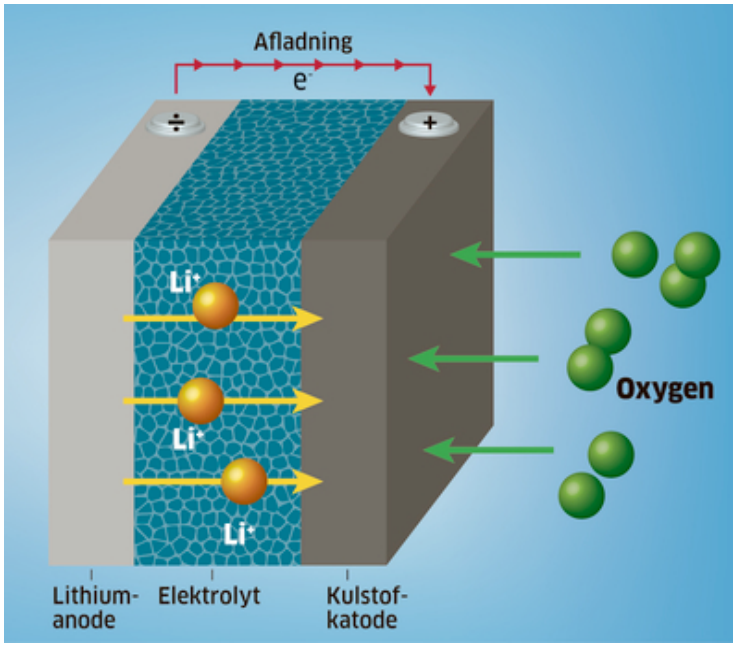
Strømmen udtages af kemisk passive elektroder på hver side af membranen.

Når energien i elbilens elektrolyttank er opbrugt, udskiftes væsken. Opladningen af elektrolytvæsken kan ske på et kraftværk eller ved en vindmøllepark, hvorefter væsken distribueres med tankbiler og pumpes over i elbiler. Dermed er vejen banet form, at man kan "oplade" en elbil ved at fylde væske på ved en tankstation, ligesom man gør det på en benzinbil. På den måde løses problemet med det høje forbrug af tid til opladning af elbiler.

Forskerne forudser at være klar med et fuldt ud fungerende prototype-system i 2013. Hvis det viser sig, at prototypen er velfungerede, forventes systemet at blive sat i masseproduktion i løbet af yderligere tre til fem år.

Også forskere ved IBM's laboratorier i Californien har opdaget et nyt stof, som i teorien kan mangedoble kapaciteten i et litiumbatteri. I stedet for at benytte et metaloxid til den positive elektrode, som man gør i traditionelle litium-ion-batterier, benyttes kulstoft i litium-ilt batterier, som reagerer med ilt. Energitætheden i disse batterier kan være helt op til omkring 7 kWh pr. kilo. Til sammenligning har et litium-ion-batteri i dag en kapacitet på mellem 100 og 250 Wh pr. kilo, og det betyder, at litium-ilt-batterier kan have op til 30 gange større kapacitet end de gængse litiumbatterier, vi kender til.

Ved at bruge kulstof bliver batteriet også langt lettere end traditionelle litiumbatterier, hvilket er interessant for bilindustrien, da nutidens litium-ion-batterier både er tunge, og har relativ lav kapacitet.



Litium-ilt-batteri princip

Principperne bag litium-ilt-batteriet har været kendte siden 1970'erne, men dårlige genopladningsegenskaber er en af årsagerne til, at batteriet aldrig blev udviklet til kommercielt brug. De dårlige genopladningsegenskaber skyldtes, at elektrolytten, altså det materiale, der flytter litium-ionerne mellem anode og katode, hurtigt nedbrydes. IBM's forskere hævder, at de nu har fundet et materiale, som løser problemet, og forventer at en fuldskala-prototype kan være klar til brug i 2013, og at batteriet kommer på markedet omkring 2020.

Miljøgevinst

Når elbiler har været diskuteret i Danmark i de seneste år, har debatten båret præg af en vis skepsis overfor påstanden om, at elbiler er så "rene", som tilhængere af elbiler påstår, de er. I debatten er sporadiske argumenter for og imod elbilteknologien blevet kastet frem og tilbage mellem tilhængere og modstandere af indførelsen af elbiler i transportsektoren. I dette kapitel skal der derfor gøres et forsøg på at opsummere de gængse, aktuelle argumenter og informationer om elbiler, der verserer, med henblik på at uddrage en konklusion omkring, hvorvidt elbiler virkelig er så gode for miljøet, som nogle hævder, de er.

Lad os i første omgang benytte motoren som et sammenligningsgrundlag for en elbil og en benzinbil. Når det drejer sig om motoren, er elbilen utvivlsomt vinderen i miljø-forbedringskapløbet: Moderne benzinmotorer har gennemsnitligt en energieffektivitet på 25%, hvilket betyder, at når der tankes 10 liter benzin, udnyttes 2,5 liter til at drive bilen frem. De resterende 7,5 liter går til spilde. En moderne elmotor har til sammenligning en energieffektivitet på mellem 90 og 97%. Elbilens motor er altså mindst tre gange mere energieffektiv en benzinbilens, og bruger mindst tre gange mindre energi end benzinmotoren på at bringe os fra et sted til et andet.

Transportsektoren i Danmark har et energiforbrug på ca. 25% af landets samlede energiforbrug. Danmark bruger omkring 30 milliarder kr. årligt på import af olie. Hvis man i transportsektoren overgik til el i stedet for benzin, ville man alene på grund af elmotorens energieffektivitet kunne spare ca. 17 milliarder kroner på import af olie og reducere CO2-udslippet med fire millioner ton. Energinet.dk udarbejdede i 2008 en detaljeret rapport "Samspil mellem vindkraft, varmepumper og elbiler" om netop dette tema, som kan findes på www.altomelbilen.dk under linket Rapporter.

I produktionsprocessen for selve elmotoren benyttes endvidere langt mindre energi end i produktionen af en benzinmotor. Yderligere findes der i elbilen langt færre bevægelige dele og komponenter, som er energikrævende, end i biler med forbrændingsmotorer. Der findes f.eks. ingen gearkasse og dermed ikke noget energitab, når energien fra motoren skal transporteres til hjulene. Slutteligt udleder elbiler i modsætning til biler med forbrændingsmotorer ingen farlige partikler, imens de kører.

Energikilden

Når man ser nærmere på selve kilden til den energi, der skal til for at køre en bil, ser elbil-brugen igen ud til at være til fordel for miljøet. Nedenstående tabel viser, hvor meget CO2 der udledes, når man producerer elektricitet ved hhv. at afbrænde kul, olie og naturgas eller ved hjælp af vindmøller og atomkraftværker. I nedenstående beregninger fra World Energy Council Report 2004, "Comparison of energy systems using life cycle assessment", har man også inkluderet den energi, der bruges til at skabe energikilden, og divideret denne med energikildens levetid. **En vindmølle og et vandkraftværk udleder naturligvis ikke CO2, mens de genererer elektricitet, men der udledes eks. CO2 under møllens og kraftværkets konstruktion, opførsel og vedligholdelse m.m. Tallene i nedenstående tabel viser dermed beregningen på den totale CO2-udledning ved etablering af forskellige energikilder.**

Generering af elektricitet fra	Gram CO_2 pr. kW
Kul	1000
Olie	650
Naturgas	500
Sol	150
Vind	23
Vandkraftværk	5
Atomkraftværk	5

Hvor meget CO2 udledes, når man producerer en kW elektricitet

I følge internationale standarder bruger en elbil mellem 0,15 kW og 0.3 KW elektricitet pr. kilometer kørsel afhængig af elbilens størrelse. Ved hjælp af et simpelt regnestykke: (CO_2 gr/1KW) : 0,22kW = (x km/kW), (CO_2 gr/kW : (x km/kW) = (gr CO_2 /km) - er det muligt at udregne, hvor meget CO_2 en gennemsnitlig elbil, som forbruger 0.22 kW/km udleder. I værste fald, det vil sige, når elbilen bruger strøm fra et kulkraftværk, vil elbilen udlede:

1000 gr/KW : 0,22kW/km = 4.54 km/kW; 1000 gr/kW : 4,54 km/kW = 230 gr CO_2/km.

I bedste fald, det vil sige, når elbilen bruger strøm fra enten vindmøller, vandkraftværker eller atomkraftværker, vil elbilen kun udlede mellem 22 gr CO_2/km (vindmøller) og 1 gr CO_2/km (vandkraft og atomkraft).

Til sammenligning producerer f.eks. benzindrevne biler i dag mellem 135 gr og 400 gr CO_2/km afhængig af bilernes størrelse, og vel at mærke kun, når benzin- eller dieselmotorerne er helt nye. Benzin- eller dieselbilens energieffektivitet falder yderligere med alderen, hvormed CO_2-udledningen pr. kilometer øges. Til sammenligning mister elmotorer i elbiler ikke nævneværdig energieffektivitet med alderen.

EU har sat nogle mål for reduktion af partikelforurening og CO_2-udledning fra biler med forbrændingsmotorer. Som man kan aflæse af nedestående tabel, var målet fra 2007 til 2008 at nedsætte $C0_2$-udledningen med 4% og yderligere med 17% fra 2008 til 2012, i alt en reduktion på 21%.

Fra 2012 til 2015 skal der ikke ske yderligere reduktion, men i 2020 skal der igen ske en kraftig reduktion på yderligere 26%.

Det skal understreges, at ingen i dag med sikkerhed kan sige, om disse mål kan nås ved brug af forbrændingsteknologi, da teknologien har sine begrænsninger.

Det er i øvrigt værd at bemærke, at bødestraffen for at udlade at indfri disse mål, er meget ubetydelig, svarende til 5 - 95 euro pr. bil/køretøj. Det betyder, at bilproducenterne i værste fald kan nøjes med at betale 5 millioner euro i bøde for at producere 100.000 køretøjer, der ikke lever op til målene for reduktion. Der er tale om småpenge i forhold til de milliarder, som bilproducenterne tjener på 100.000 producerede biler, og dette viser, at bilindustrien stadigvæk mere eller mindre kan ignorere opstillede overnationale mål for reduktion af partikelforurening og CO2-udledning.

CO_2 Reduction Targets

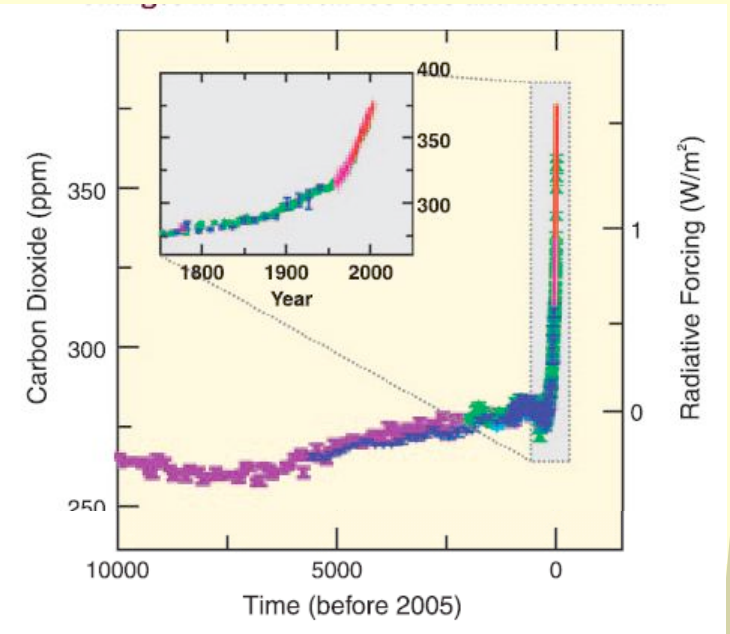
Country CO_2 Levels	2007	2008	Change
Average CO_2	165	158	-4%
EU Policy			
Year	**Target (CO_2 g/km)**	**Percentage of Fleet Included**	
2012	130	65%	
2013	130	75%	
2014	130	80%	
2015	130	100%	
2020	95	100%	
Fines for Missing Targets			
Grams above Target	**Fine per Vehicle**		
1st	EUR 5		
2nd	EUR 15		
3rd	EUR 25		
4th plus	EUR 95		

Source: J.D. Power and Associates Research

EU's CO2 reduktionsmål og bødestraffen

Hvis man antager, at de opstillede mål for reduktion i 2020 kan opnås, vil en gennemsnitlig bil med forbrændingsmotor stadigvæk udlede 90 gr CO2 pr. kilometer. Det er fire gange mere end elbiler, der bruger el fra vindmøller, og 90 gange mere end elbiler, der bruger el fra vandkraftværker eller atomkraftværker.

CO_2 density in the atmosphere increase



IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007, Synthesis Report p38

Den kraftige globale stigning af CO2 i atmosfæren ses tydeligt fra 1995

Fakta viser altså, at den mest miljørigtige elbil i Danmark skal benytte elektricitet fra vindmøller, da Danmark hverken har vandkraftværker eller atomkraftværker. At benytte elektricitet fra vindmøller er den ideelle løsning på problemtikken omkring CO2-udledning, fordi vindmøller næsten ikke udleder C02 eller forurenende partikler.

Men indtil der er opført tilstrækkeligt mange vind-møller i Danmark, vil det meste af den energi, som produceres her i landet, stamme fra kulkraftværker, og energien vil primært blive brugt til opvarmning af vand til fjernvarme og kun sekundært til produktion af elektricitet.

En elbil der benytter kulkraftproduceret elektricitet vil i følge beregninger indirekte udlede omkring 230 gr CO2/km, og vil dermed ikke i betydelig grad kunne medvirke til at reducere CO2-udledningen. Men det er stadigvæk bedre for miljøet at have enkelte kulkraftværker, som kan forsynes med partikelfiltre for at mindske forureningen, og på denne måde producere strøm til elbiler, end det er at have to millioner benzin- og dieselbiler kørende på vejene og udstøde giftige og stærkt forurenende forbrændingsgasser.

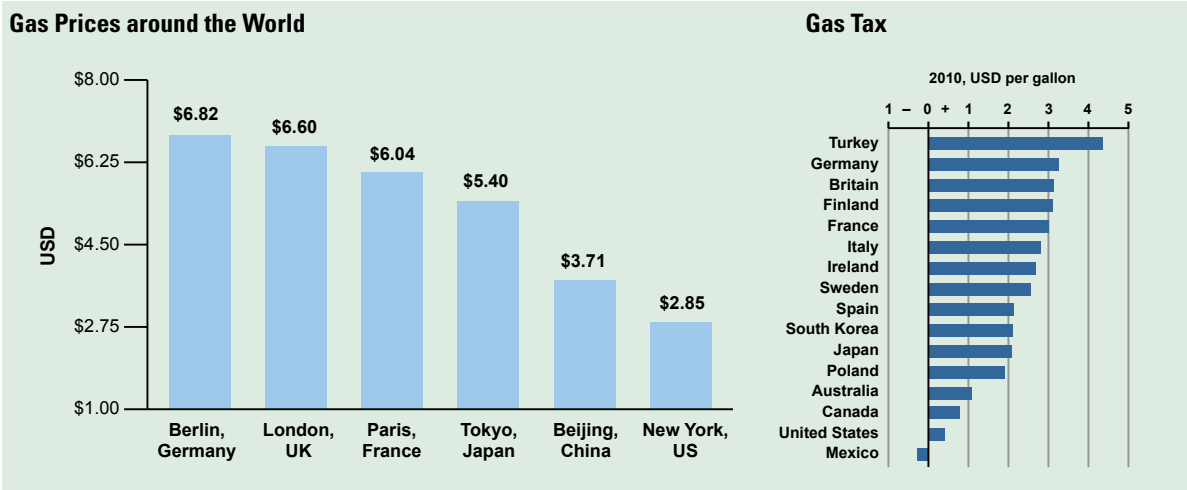
Forbrændingsteknologiens infrastruktur

Imidlertid ligger den primære og største energibesparelse ved indførelsen af elbilteknologi i fjernelsen af den infrastruktur, der betinger vores benzin- og dieselforsyning. Hvis man ser på energiforbruget i olieudvindingssektoren, står det klart, at der bruges enorme mængder energi på at finde, udvinde og transportere råolie med skibe den halve klode rundt, for derefter at raffinere olien og igen transportere den til benzinstationer og øvrige opbevaringssteder rundt om i de enkelte lande. Amerikanske forskere fra Argonne National Laboratry har udregnet, at der tabes godt 15% af energien alene ved raffinering af olie til benzin og diesel. Konkret bruges 6 kWh alene på at raffinere fire liter benzin, d.v.s at der bruges en halv liter benzin på at raffinere 3,5 liter olie. Til sammenligning er tabet af energi ved el-overførsel via højspændingsledninger kun på mellem 6% og 8% .(Energy Efficiency of Powergrid, ABB, 2008)

For at sætte olieinfrastrukturens forurening i perspektiv, kan det nævnes, at en stor olietanker udleder lige så mange farlige partikler på turen fra Kuwait til Amsterdam, som 50 millioner elbiler udleder til sammen. Og alene fem olietankere udleder lige så meget forurening som samtlige 240 millioner europæiske benzin- og dieselbiler til sammen. Dermed kommer hovedparten af luftforureningen og en stor del af CO2-udledningen samt energispildet ved den oliebaserede energiforsyning fra selve forsyningsinfrastrukturen og ikke fra de benzin- og dieseldrevne bilers kørsel.

Global afhængighed

I diskussionen om elbiler eller ej i transportsektoren, må man nødvendigvis inddrage eksisterende økonomiske interesser og tendenser, som modarbejder indførelsen af elbilteknologi på globalt plan, og det vil primært sige de lave oliepriser og de lave benzin- og dieselafgifter. De to største forbrugere af olie på verdensplan, Kina og USA, har meget lave benzin- og dieselafgifter. I USA har man eksempelvis ikke ændret på benzinafgiftsniveauet i de sidste tyve år, og derfor er priserne på benzin og diesel også blandt de laveste i verden.



Priser og afgifter på benzin i forskellige lande i 2010

USA og Kina er på nuværende tidspunkt aftagere af 50% af verdens olieproduktion. USA alene konsumerer 3,2 milliarder liter olie dagligt og begge lande udleder som konsekvens af det enorme forbrug af olie ufattelige store mængder CO2. De to lande er samtidig de lande i verden, hvor benzin er billigst. Det er klart, at så længe USA og Kina fastholder en lav-afgiftspolitik for såvel benzin som for biler med forbrændingsmotorer, vil dette have en negativ indflydelse på målsætningen om global indførelse af elbilteknologi Dette skyldes dels, at der i lav-afgiftspolitikken er indbygget et økonomisk incitament til at køre benzin- og dieselbiler, og dels at det tilskynder til fortsat masseproduktion af benzin- og dieselbiler, hvilket yderligere nedsætter produktionsprisen for biler med forbrændingsmotorer. Omvendt betyder den manglende masseproduktion af elbiler, at produktionspriserne for både elbiler og litiumbatterier forbliver høje, fordi der mangler en produktionsvolumen, som kan øge udbuddet og presse priserne ned. Den danske høj-afgiftspolitik som gælder for både brændstof og biler kan vende denne tendens, især hvis staten totalt fjerner afgifter på elbiler og litiumbatterier, og dermed gør elbiler nogenlunde tilgængelige for almindelige borgere. Men den danske stat har naturligvis ikke råd til i al fremtid at føre en lav-afgiftspolitik på elbilområdet for på denne måde at indføre elbilteknologi i transportsektoren. Den danske miljøindsats på området vil vedblive at være stærkt afhængig af den miljøpolitik på transportområdet, som bliver ført i både USA og Kina fremover.

Sundhedskonsekvensvurdering

Der dør omkring 3000 danskere årligt på grund af luftforurening og ca. 20.000 danskere lider af kroniske sygdomme forårsaget af luftforureningen. Det er almindelig kendt, at luftforurening forårsager hjerte-karsygdomme og lungekræft og mange andre lidelser, og at disse lidelser nedsætter den gennemsnitlige levetid med to til ni år afhængig af sygdommens karakter. Man kan kynisk konkludere, at for tidlig død sparer samfundet for udgifter til folkepension og andre aldersbetingede ydelser. Men sygdom forårsaget af forurening koster på samme tid samfundet dyrt i tabte arbejdsdage, i sygedagpenge og ikke mindst i sygdomsbehandling, selvom der endnu ikke er foretaget undersøgelser, der slår fast, hvor meget luftforurening reelt belaster statskassen. Miljøstyrelsen foretog i 1998 en undersøgelse af bl.a. partikelforurening fra dieselbiler, hvor konklusionen var at påmontering af partikelfitre kunne redde omkring 450 liv årligt i Danmark (læs mere på www.altomelbilen.dk, under linket Rapporter og "Sundhedskonsekvensvurderinger", side 186). Men på trods af rapportens 13 år gamle konklusion er det stadig ikke obligatorisk at montere partikelfiltre på dieselbiler som f.eks. i Tyskland, med henvisning til de omkostninger monteringen vil betyde for især vognmænd.

Som nævnt mangler der stadig at blive sat konkrete tal på de samfundsmæssige omkostninger, som en transportsektor der altovervejende satser på benzin- og dieselbiler medfører, udover de 30 milliarder kroner man ved det årligt koster at importere olie. Når disse tal ikke er på plads, er det svært at (sand)synliggøre, at anvendelsen af forbrændingsteknologier er en dårlig forretning for samfundet som helhed, og derfor burde pålægges høje strafafgifter bl.a med henblik på at dække de omkostninger, som denne type teknologi medfører for samfundet. Sådanne tal ville også kunne påvise, at det omvendt kan betale sig at investere i udbredelsen af rene og miljøvenlige teknologier. Så længe der ikke findes et sagligt funderet sammenligningsgrundlag af de reelle omkostninger forbundet til de forskellige typer teknologier, vil debatten ofte blive reduceret til påstande om, at elbilerne er for dyre i forhold til benzinbiler, og at det er en dårlig idé at reducere eller helt fjerne en forbrændingsteknologi, som umiddelbart genererer store indtægter til staten. Men reelt befinder vi os i den absurde situation, at vi finansierer vores sundhedsvæsen med indtægter fra en oliebaseret transportsektor, der gør os syge.

Aktuelle større miljøpolitiske beslutninger, som indførelsen af EU's CO2-kvotesystem, betyder desværre ofte, at fokus i højere grad rettes mod de økonomiske gevinster, systemet kan afføde, end på de miljøgevinster, systemet burde afføde. Som et eksempel her på er Danmarks satsning på udvikling af alternative bio-brændstoffer, herunder især på anden generation af bio-ethanol produktet.

Argumentet for denne satsning har været, at bio-ethanol er et CO2-neutralt brændstof. Men anvendelsen af bio-ethanol-teknologien understøtter forbrændingsmotor-teknologien, som vi jo ønsker at afskaffe, fordi den ikke er energieffektiv. Endnu mere problematisk er det, at det langt fra er sikkert, at produktionen og anvendelsen af bio-ethanol reelt er CO2-neutralt. Men så længe der er en udbredt opfattelse af, at bio-ethanol-teknologien kan reducere CO2-udledningen, vil bio-brændstoffer dog være god eksportvare, og dermed umiddelbart udgøre en økonomisk gevinst. Spørgsmålet er imidlertid om teknologien er en gevinst for miljøet.

I Danmark har vi besluttet, at 5,75% af det brændstof i 2010 og 10% i 2020, som biler med forbrændingsmotor kører på, skal udgøres af energi fra en vedvarende kilde, hvilket i praksis vil sige biodiesel og bio-ethanol. Men der er flere gange rejst kritik af de kriterier for at erklære bio-brændstoffer bæredygtige, og flere rapporter har påpeget, at bio-diesel slet ikke er så miljøvenligt, som det hævdes. I 2007 konkluderede det daværende Institut for Miljøvurdering, at CO2-reduktion ved benyttelse af bio-diesel koster tre gange det samme, som at bygge havvindmøller. Senest har en række forskere ved Det Danske Center for Miljøvurdering i november 2011 sat spørgsmålstegn ved biobrændslers positive effekt på miljøet i et åbent brev til miljøministeren.

I miljøpolitiske beslutningsprocesser bør man undgå primært at prioritere løsninger, som indebærer kortsigtede økonomiske gevinster, men som ikke med sikkerhed indebærer en gevinst for miljøet. Hvis vi i Danmark ønsker at reducere CO2-udledningen og partikelforurening og i det hele taget vil forbedre miljøet, er den eneste måde at gore det på, når det gælder transportsektoren, at mindske energiforbruget. Det gør vi ikke ved at producere ethanol som tilsættes benzinen og dermed forlænger levetiden for en forbrændingsteknologi, som udgør den primære årsag til de miljømæssige problemer, vi slås med i dag.

Vindmølleenergi

Som eksempel på en langsigtet og miljørigtig politik, er Danmarks politik på vindmølleområdet. I stedet for blot at afvente internationale multilaterale aftaler på miljøområdet, som måske i virkeligheden aldrig bliver til noget, har man i Danmark foretaget massive investeringer i vindmølleteknologien, fordi man ved, at denne teknologi med sikkerhed vil reducere CO2-udledningen fra el-produktion. I den samme ånd burde den danske stat f.eks. forhøje afgifterne på benzin- og dieselbiler, og placere de midler, som opnås her igennem, i en energieffektiviseringsfond, som skal subsidiere elbilteknologien. Vi ved jo med sikkerhed, at elbilteknologien i lighed med vindmølleteknologien reelt vil reducere CO2-udledningen.

I Danmark kunne man på samme måde bestemme sig for at være foregangsland for etableringen af et regionalt vindmølle-el-forsyningssystem, hvor den vindmølleenergi, som produceres i et område, bruges til opladning af elbiler indenfor regionen. Den regionale vindmølleenergiproduktion bør i denne sammenhæng ikke indgå i et konkurrenceforhold med øvrige energiproduktionssteder i landet, da det ikke udelukkende skal handle om, hvem der kan producere energi billigst, men i stedet bør handle om at etablere den mest hensigtsmæssige og miljørigtige måde at producere elektricitet på.

Afslutningsvist skal det nævnes, at en satsning på elbilteknologi vil løse et meget stort problem, som den danske vindmøllebaserede el-produktionsindustri lider under. Der er stadig ikke en teknologi til rådighed, som kan gøre, at elektricitet produceret ved hjælp af vindmøller, kan oplades og bruges efter behov. Når det blæser meget om natten, producerer danske vindmøller derfor overskydende elektricitet, som medvirker til, at prisen på el sænkes pga. mekanismen om udbud og efterspørgsel. Dette medfører, at produktion af vindmølle- elektricitet ikke er en god forretning. I Danmark produceres ofte så meget elektricitet, at det kan betale sig at sende den gratis til nabolande. Det er altså stadigvæk ikke særligt attraktivt at investere i vindmølle-teknologi. Men når Danmark får et større antal elbiler kørende på vejene, vil man kunne bruge denne overskydende elektricitet til at oplade elbilerne med om natten, og på den måde gøre hele vindmøllesktoren mere økonomisk atraktiv tilsammen ned de miljø-gevinster, som teknologien i det hele taget indebærer.

Er litium giftigt?

I rækken af argumenter for indførelsen af litiumbatteribaseret elbilteknologi bør man sidst men ikke mindst fremhæve det faktum, at litium - til forskel fra de yderst giftige tungmetaller bly, nikkel og kadmium, som bruges i produktionen af klassiske batterier - ikke er skadeligt for miljøet. Tværtimod har litium i årevis været anvendt til behandling af psykiske lidelser hos mennesker og til behandling af visse lidelser hos dyr. “7UP” læskedrikken blev lanceret i 1933 under navnet “Bib Label Lithiated Lemon-Lime Soda" og indeholdte litium-ekstrakt. Navnet blev dog ændret i 1950 til “7UP,” men det skyldtes ikke, at litium-ekstraktet var erklæret for usundt, men at “7UP”s ledelse ønskede at distancere sig fra litium, som et præparat til brug i behandlingen af psykiske lidelser.

Derfor litiumbatteribaseret elbilteknologi

På baggrund af ovenstående gennemgang af de væsentligste argumenter og informationer, som aktuelt florerer i diverse debatfora, kan bl.a. følgende opsummeres:

I globale og regionale strategier for forbedring af miljøet, vil det være et stort skridt i den rigtige retning at gå bort fra at benytte de giftige og miljøskadelige batteriteknologier, såsom bly- og NiMh- i elektriske applikationer, og i stedet fuldt og helt satse på den energieffektive og ugiftige litiumbaserede batteriteknologi.

Når alle tilgængelige data sammenholdes, er der ingen tvivl om, at vindmøllegenereret elektricitet som energikilde til biler er den absolut reneste og mest energieffektive teknologi, der kan findes, som hvis den indføres som primære teknologi i transportsektoren vil gøre Danmark til et sundere land at leve og for alvor reducere landets CO2-udledning.

Til sammen er vindmølleenergiteknologien og den litiumbaserede teknologi, den eneste kendte teknologi, der for alvor kan reducere vores energiforbrug og dermed udledningen af CO2, og som samtidig indebærer en enorm reduktion af partikel- og anden form for forurening, vel at mærke uden at det indskrænker vores muligheder for bevægelsesfrihed. Der findes simpelthen ikke en bedre løsning i dag - jævnfør konklusionerne i rapporten "Teknologivurdering af alternative brændstoffer" som findes på www.altomelbilen.dk under Rapporter.

Indførelsen af elbiler i Danmark er ikke bare en god idé, det er en nødvendighed!

Opladningsinfrastruktur

Når vores bil med en benzin- eller dieselforbrændingsmotor mangler energi, skal den nødvendigvis tankes op på en benzintank, før den kan køre. Men i fremtiden behøver vi i de fleste tilfælde ikke nødvendigvis at opsøge en opladningsstation, når vores elbil mangler energi, for vi kan i stedet "tanke op" der hjemme eller på parkeringspladsen ved arbejdspladsen, ved indkøbscentret og andre offentlige steder. Det fleste undersøgelser foretaget indtil nu viser, at vi mest vil oplade vores elbil ved vores hjem om natten, når elbilen alligevel bare står stille i mindst 14 timer. Om natten er der masser af overskudsstrøm fra vindmøller, og dermed er det også det bedste tidspunkt at lade elbilen op på.

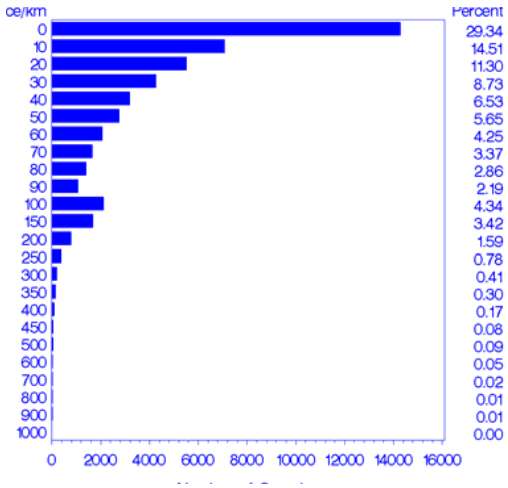
Infrastruktur for elektricitet er allerede etableret over alt i landskabet. Alle huse og lejligheder er forsynet med såkaldte enkeltfase 230 V stikkontakter, og en del boliger har også 3-fase 400 V stikkontakter. En almindelig 230 V stikkontakt kan forsyne os med ca. 3,3 kW, mens en 400 V stikkontakt kan forsyne os med ca. 10KW. En almindelig famileelbil har en batteri på omkring 22 kWh, og kan dermed via en 230 V-stikkontakt oplades på maksimalt syv timer, hvilket vil sige natten over eller på parkeringspladsen i løbet af en almindelig arbejdsdag. Herunder ses en oversigt over standarder for eltilslutning og elstik i danske hjem og på danske arbejdspladser:

Opladningstid 22 kW	El-forsyning	Spænding	Maks.strøm
6-8 timer	Enkelt fase - 3,3kW	230 VAC	16 A
2-3 timer	3 fase - 10kW	400 VAC	16 A
1-2 timer	3 fase - 24kW	400 VAC	32 A
20-30 minutter	3 fase - 43kW	400 VAC	63 A
20-30 minutter	kontinuerlig- 50kW	400 - 500 VDC	100 - 125 A

Intelligent opladningsinfrastruktur

Der findes to millioner køretøjer i Danmark i dag. Hvis bare halvdelen af disse køretøjer bliver til el-køretøjer, skal den eksisterende, elektriske infrastruktur videreudvikles. El-køretøjer skal kunne oplades når det er billigst, og når det er hensigtsmæssigt for energiselskaberne at levere strøm, hvilket vi sige uden for spidsbelastningsperioden. Dette kræver etableringen af en intelligent opladningsinfrastruktur.

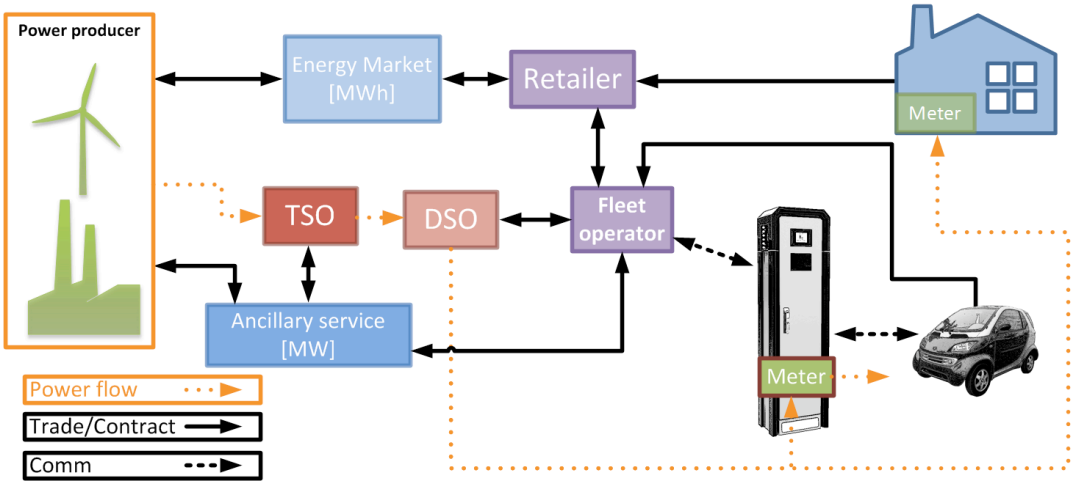
Det officielle europæiske tegn for opladningssted



Omkring 70% af danske bilister kører under 40 km om dagen

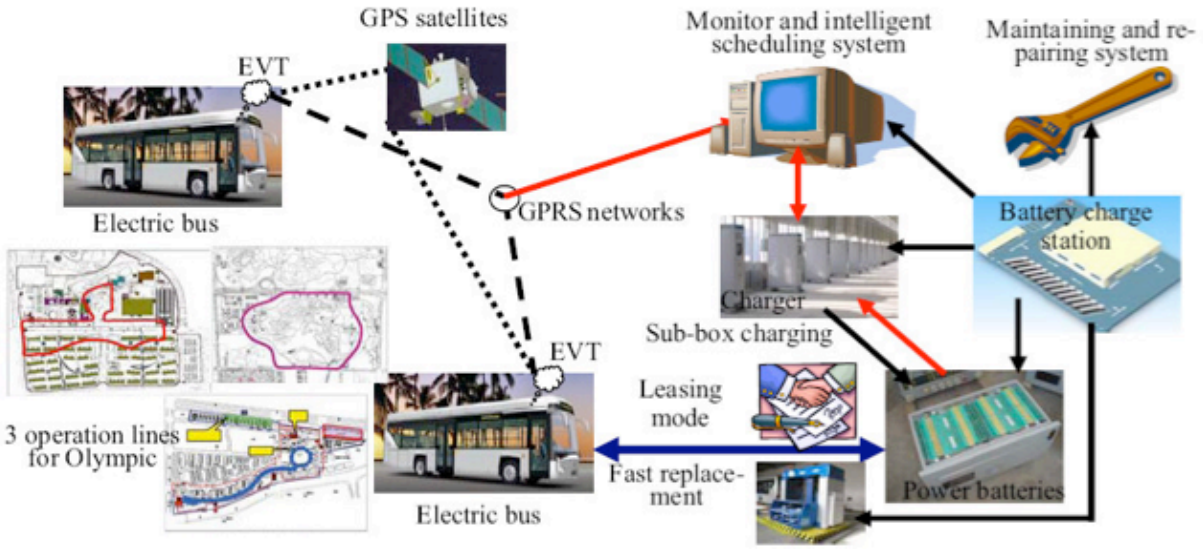
En intelligent opladningsinfrastruktur er kendetegnet af, at energiselskaberne kan kommunikere med og styre samtlige opladerstik rundt om i landet, og ligeledes kan kommunikere med selve el-køretøjet. Kommunikation mellem energiselskabet og el-køretøjets computer kan enten foregå igennem et 0-fase-kabel i det eksisterende elnet, eller den kan foregå trådløst eller igennem et fibernet. Etableringen af en intelligent infrastruktur betyder, at man som bruger vil kunne indtaste sine opladningsønsker i elbilens computer. Ønsker man eks., at bilen kun skal oplades, når elektriciteten er billigst, eller kun skal oplades med grøn-energi, eller ønsker man, at bilen er fuldt opladet hver morgen kl. 07.00, når man skal på arbejde, eller hver eftermiddag kl. 16.30, når man skal hjem fra arbejdet igen, kan man taste disse ønsker, som så kommunikeres til energiselskabernes systemer. Energiselskabet vil så oplade brugerens elbil efter brugerens behov, og kan samtidig tage hensyn til spidsbelastningsperioder for el-nettet og undgå unødvendige belastninger af hele el-nettet. En intelligent opladningsinfrastruktur vil endvidere muligøre, at brugerern kan oplade sin elbil hvor som helst, fordi hver bil vil have en særlig identitet, som vil blive kommunikeret igennem stikkontakten, og blive indentificeret af energiselskabet, således at der kan holdes regnskab med, hvor meget strøm der er forbrugt, og hvad regningen derfor skal lyde på.

Et intelligent el-system er i færd med at blive fuldt udviklet i Danmark under navnet "Edison" af Danmarks Teknologiske Universitet, DTU, i samarbejde med bl.a. Siemens, IBM og en række mindre virksomheder. Systemet testes aktuelt på Bornholm.



Modellen for det intelligente el-system "Edison" med beskrivelse af involverede aktører

Som det fremgår af ovenstående model, så handler den intelligente el-infrastruktur også om, hvordan forskellige aktører kan organisere sig i forhold til hinanden i fremtiden. Det handler kort sagt om, hvem der skal gøre hvad, og hvem der skal betale for hvem. I fremtiden vil en række operatører på markedet indgå aftaler med energiselskaber om ansvaret for installering af opladerstik og kundernes betaling for strøm, sådan som firmaet Better Place allerede gør det. Better Place sælger ud over serviceydelser indenfor el-infrastruktur også elbiler til firmaer og private, og er dermed det man kalder en "fleet operator". I fremtiden vil der opstå en række firmaer, der tilbyder en samlet pakke indeholdende finansiering af køb af elbilen, installering af opladerstik i hjemmet, aftale om leje på månedlig basis af bilens batterier og en afdragsordning vedr. forbrug af strøm. Disse operatører kan også indgå aftaler med offentlige og private firmaer om finansiering af elbiler og installering af opladerstik på firmaernes parkeringspladser.



Intelligent opladningssystem afprøvet under olympiaden i Beijing i 2008

Denne form for el-infrastruktur og denne måde at administrere opladning af elbiler på vil kunne medvirke til at dække de fleste danskeres daglig transportbehov, men vil stadig ikke løse problemet med, at de elbiler, der allerede findes på markedet i dag, kun kan køre 100-150 km pr. opladning, og stadig skal bruge op til 7-8 timer på opladning. Disse problemer betyder, at elbilen kun kan bruges til lokale transportopgaver. Når elbilen endnu ikke kan køre strækningen fra Sjælland til Fyn og slet ikke strækningen fra Sjælland til Jylland, og når elbilen i dens nuværende form endnu ikke kan bruges til taxakørsel, fordi det kræver en kørerækkevidde på godt 420 kilometer, er det svært at overbevise brugere om, at de bør købe elbiler i stedet for biler med forbrændingsmotorer.

Problemet med begrænset kørerækkevidde kan ikke alene løses ved forbedringer at batterierne. Der arbejdes derfor aktuelt på to forskellige løsningsmodeller, som har med infrastrukturen at gøre: En model for infrastruktur bestående af stationer for hurtig udskiftning af elbilens batterier, og en model for infrastruktur bestående af kraftige opladere til lynhurtig opladning.

Modellen for hurtig batteriudskiftning

Det amerikanske selskab "Better Place" lancerede for nogle år siden modellen, hvor elbilens batterier ikke købes, men i stedet lejes og samtidig hurtigt kan blive udskiftet på en station. Modellen stammer tilbage fra starten af det 20-århundrede, hvor amerikanske elbilproducenter indgik aftaler med batteriproducenterne om, at ejerne af elbilerne kunne leje batterierne, og at en del af lejen skulle dække udgifter til serviceeftersyn. På den måde blev batteriet konceptuelt set en energikilde, som man ikke skulle betale for på forhånd ved køb af køretøjet, men som man I stedet kunne betale successivt over tid.

Better Place's opladerstik til offentlige parkeringspladser

En Better Place batteri-udskiftningsstation

Better Place solgte sin idé om en el-infrastruktur til Renault, der ud fra konceptet har brugt de seneste fire år på at udvikle Renault Fluence, som er en flot fempersoner familie-elbil. Når man køber en Renault Fluence, køber man kun bilen. Bilens batterier lejer man af Better Place, som også udbyder opladerstik til garagen eller carporten, og er der tale om et firma, kan man endvidere få installeret opladerstik på firmaets parkeringsplads. Prisen for leje af batterier afhænger af antallet af årlige kørte kilometer.

Renault Fluence kan imidlertid kun køre 160 kilometer pr. opladning, før man igen er nødsaget til at bruge otte timer på at oplade bilen. Derfor har Better Place udviklet et system for hurtig udskiftning af bilens batterier. Stationen for udskiftning af batterier ligner en vaskehal, hvor man hurtigt kan få udskiftet afladte batterier med et sæt nyopladte batterier. Processen er fuldautomatisk og tager kun omkring fire minutter, alt imens chaufføren bliver siddende i bilen. Better Place's plan er at bygge en udskiftningsstation for hver 70. kilometer motorvejsstrækning over hele Danmark samt yderligere et antal i selve byerne. Med så mange udskiftnings-stationer kan man muliggøre en uhindret kørsel i elbil tværs igennem Danmark.

Batteriet udskiftes af en robot på fire minutter

Batteriudskiftningsstationer I Danmark

Better Place-modellen er den eneste model for elbaseret infrastruktur i verden, som muliggør, at elbiler kan bruges til mere end lokal kørsel og kørsel til og fra arbejde. Konceptet hvor ejerforholdet til bilen og ejeforholdet til batteriet adskilles er et forsøg på at gøre elbilen mere pris-attraktivt og dermed mere tilgængelig for køberen.

Svagheden ved modellen er, at det er yderst tvivlsomt om andre el-bilproducenter end Renault vil følge trop og begynde at producere elbiler med udskiftellige batterier, der skal udskiftes på netop Better Place's stationer. Better Place vil på denne måde indtage en global monopolagtig position, og spørgsmålet er om andre bil-energileverandører vil tillade det. Det er ikke muligt at forudse om Better Place's model i fremtiden vil blive kopieret af andre aktører på el-bilmarkedet, og om andre firmaer på denne måde begynder at bygge deres egne stationer til udskiftning af batterier, eller om Better Place's model bliver en global standard, som elbilproducenter vil tilpasse deres produktion af biler efter. Under alle omstændigheder har Better Place med sit koncept vist, at det er muligt, med relative beskedne investeringer på et par hundrede millioner kroner at gøre elbilkørsel mulig i hele Danmark.

De første 18 udskiftningsstationer fordelt over hele Danmark ventes, iføge Better Place, at stå klar inden sommeren 2012.

Modellen for hurtig opladning

Andre aktører på elbilmarkedet arbejder på udviklingen af en model for lynhurtig opladning. Indenfor dette område findes der to mulige løsningsmodeller: En model hvor elbilen oplades på traditionel vis ved at tilslutte et kabel til bilens opladerstik og en model hvor bilen oplades trådløst.

Traditionel kabel-løsning til hurtig opladning indebærer installering af kraftige opladere på strategisk udvalgte steder såsom ved indkøbscentre og restauranter og på motorveje samt på øvrige opladningsteder, hvor man på kun 20-40 minutter kan oplade elbilens batterier. Teknologien er gennemafprøvet og velkendt og omfatter kraftige 50 kW opladere, der kan konvertere vekselstrøm fra el-nettet til kraftig jævnstrøm, som bruges til at oplade elbilens batterier. Investeringsmæssigt er modellen meget billigere and Better Place's model, fordi en kraftig oplader koster meget mindre end en batteriudskiftningsstation.

ChoosEV 50KW oplader, Hedehusene

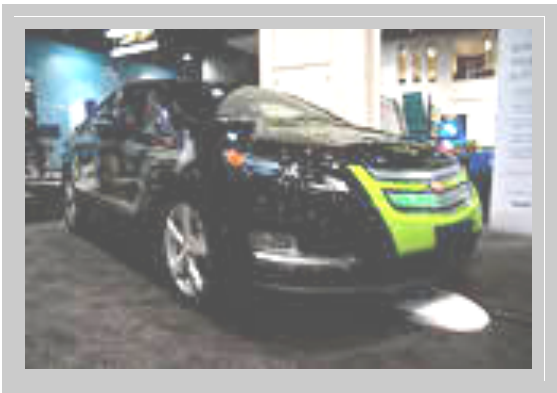
Det danske firma ChoosEV samarbejder aktuelt med det svenske firma ABB om udviklingen af en hurtigopladningsmodel. Firmaet installerede i april 2011 den første 50 KW hurtigoplader i København og indgik i efteråret 2011 aftale med Føtex om installering af hurtigopladere på indkøbscentrenes parkeringpladser. Ideen er, at ejerne af elbiler kan hurtigoplade deres elbiler, imens de køber ind. Firmaet har planer om at installere mange af disse opladere rundt omkring i landet for på den måde at løse elbilens største funktionalitetsmæssige problem, nemlig bilens begrænsede kørerækkevidde. ChoosEV-ABB-hurtigopladeren kan oplade op til 80% af batterikapaciteten på ca. 40 minutter for batterierne i de nyeste elbilmodeller fra Mitsubishi, Peugot og Citroen.

Problemet med denne løsningsmodel er, udover at kraftig opladning normalt medfører energitab på mellem 8% og 13%, at hurtigopladning af elbilens batterier er med til at forkorte batteriernes levetid. Når man oplader med stærk strøm stiger temperaturen i batterierne på grund af modstanden i batteriets anode og katode. På side 54 findes information om batteriets levetid som funktion af temperaturstigninger.

Det eneste batteri der kan klare hurtigopladning, uden at batteriets levetid formindskes væsentligt, som findes på markedet i dag, er titanium-oxide-litium batteriet, men denne type batteri kan på grund af lav energitætheden ikke bruges i elbiler. Hverken ChoosEV eller ABB nævner imidlertid noget om denne problematik i PR-kampagnerne for deres system.

Evatrans trådløs oplader

Det trådløse hurtig-opladningssystem er et system, der endnu ikke er afprøvet i Danmark. Den amerikanske virksomhed Evatran installerede i efteråret 2011 en trådløs oplader ved Googles hovedkvarter i San Fransisco, og har kaldt systemet for "Plugless Power". Der er tale om den første offentlige installering af et system, som kan gøre opladningskabler overflødige. Opladningen virker ved elektrisk induktion, hvor der skabes et kraftigt magnetfelt i en enhed i asfalten på parkeringspladsen. Det kraftige magnetfelt igangsætter en såkaldt induktionsproces i en modtager inde i bilen, og på denne måde bliver bilen opladet.



Forsøgsbilen der kan oplades trådløst

Foreløbigt er magnetadapteren, der gør den trådløse opladning mulig, blevet eftermonteret i et enkelt el-køretøj, (billedet til venstre) som en forsøgsordning. Evatran satser på at gøre systemet bredt tilgængeligt fra år 2012.

Modellen med den trådløse energioverførsel har også sine svagheder. Systemet har den ulempe, at der sker et energitab i forbindelse med overførelsen af strøm. Evertran påstår, at energitabet i forbindelse med trådløs opladning er mindre end 10%, men det er tvivlsomt om tabet er så lille. Der er endvidere et uafklaret forhold ved trådløs opladning, som handler om de helbredsmæssige konsekvenser ved indførelsen af systemet. Det er velkendt, at stærke magnetfelter er sundhedsskadelige. Det trådløse opladningssystem kan dermed på længere sigt udgøre en sundhedsrisiko, og systemet bør derfor undersøges til bunds, før det indføres i større skala (se bl.a. "Helbredseffekter fra ikke-ioniserende elektromagnetiske felter og elektromagnetisk stråling - en oversigtsartikel inspireret af Neil Cherry's arbejde" af Nikolaj Haltermann på www.altomelbilen, under Artikler.

Uanset om energitabet ved overførelsen af energi fra laderen til elbilens batteri er på 10 eller 20% så kan tabet ved både hurtigopladning og trådløs opladning vise sig at være problematisk set i relation til en potentiel massiv udbredelse af systemerne, fordi hundredetusinde og måske millioner af elbiler dermed vil blive opladet med tilsammen store tab af elektricitet til følge. Der vil i sidste ende være brugeren af elbiler, der kommer til at betale denne regning. Omkostningerne ved tab af elektricitet til sammen med omkostningerne ved en forkortelse af batteriernes levetid, kan meget nemt komme til at betyde, at systemerne aldrig når at blive tilstrækkeligt udbredte.

Typisk opladningsstik i London

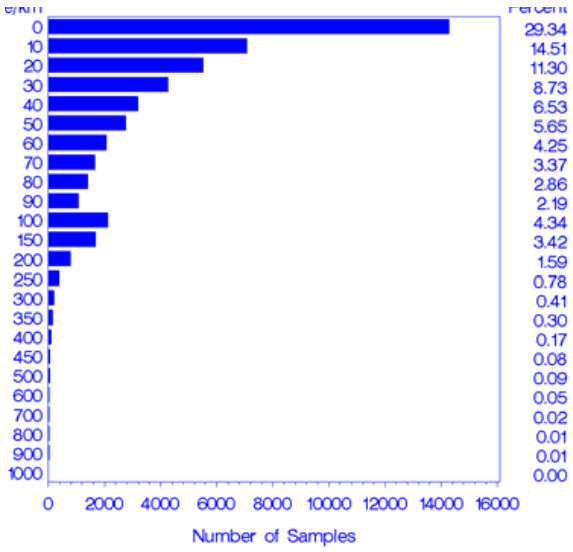
Et dusin firmaer rundt omkring i verden såsom JF Enegineering Corp. og Airoviroment m.fl. førsøger i disse år at positionere sig på markedet med forskellige udgaver af opladere til elbiler. Fælles for de lancerede opladere er, at de alle sammen benytter sig af en velkendt og traditonel kabelladningsteknologi, som designmeæssigt er tilpasset installering på parkeringspladser eller fortorve. Desværre er der endnu ikke indført en lovpligtig standard for selve opladningstikket på elbilerne og på opladerne. Vi er derfor i den situation, at de relativt få typer elbiler, der findes på markedet i dag alle sammen har forskelligt udformede opladningstik.

Alle opladningsstikkene er dog lovlige og opfylder myndighedernes krav, men elbiler importeret i Danmark er ikke underlagt standarder for den fysiske udformning af opladningsstikkene.

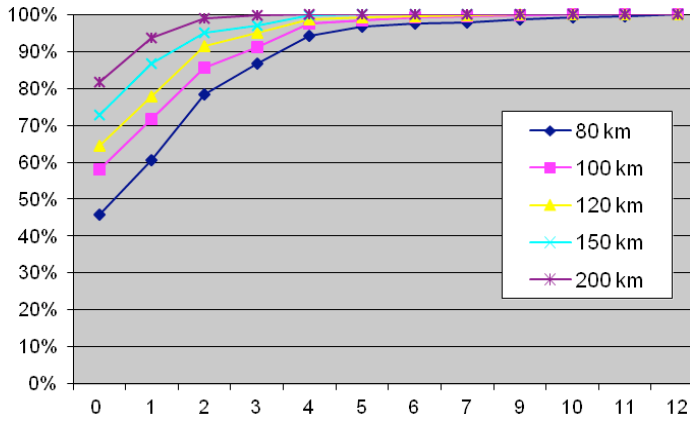
De forskellige standarder gør det umuligt for elbilbrugeren at kunne benytte alle de udbydende producenters forskellige opladningstyper. Kampen om markedsandele på elbilområdet er på denne måde indledt, og opladningsstikket vil i den forbindelse være et blandt flere våben, som skal bruges til at få forbrugere til at købe komplette pakkeløsninger, hvor elbilen og opladningsabonnementet købes af den samme udbyder. Derfor burde myndighederne begynde enten at stille krav til, at den ladeinfrastruktur, som bruges i det offentlige rum, skal være anvendelig for alle de elbiler, som allerede findes på markedet, eller de burde vedtage standarder for fysisk udformning af opladningstik til elbiler, der importeres i Danmark. Jo længere, vi venter med at standardisere disse krav, jo større er risikoen for, at det offentlige rum præges af forskelligartede løsninger, som utvivlsomt vil være til gene for forbrugerne.

Hvordan ser fremtidens opladningsstruktur ud?

Når man inddrager alle aspekter af de belyste løsningsmodeller for fremtidens infrastruktur vedrørende opladning, må konklusionen være den, at Better Place's model indtil videre er det bedste bud på en løsning på trods af, at modellen uden tvivl er den mest investeringskrævende. Modellen forårsager nemlig ikke det energitab eller den forkortelse af levetiden for batterier, som de øvrige belyste eksempler på løsningsmodeller gør. Fordelen ved denne model er også, at køberen af elbilen kun betaler for bilen, og ikke for batteriet. Ansvaret for batteriets funktionsdygtighed ligger hos Better Place og ikke hos ejeren af elbilen Der er reelt tale om et generøst og attraktivt tilbud så længe batterier er så kostbare, som de er, og så længe ingen batteriproducent fuldt ud kan garantere for et batteris levetid over 5 år.



Når man skal belyse problematikker omkring mulige udgaver af opladningsinfrastrukturer er det vigtigt at inddrage undersøgelser af danskernes egentlige kørselsbehov. Undersøgelser viser nemlig, at vores oplevelse af om elbilen har tilstrækkelig kørerækkevidde i højere grad handler om vores måde at tænke på end om det reelle behov, vi har for at køre langt. Transportudvalgets analyse (graf til venstre) viser, at omkring 70% af alle bilpendlere i Danmark maksimalt kører 40 kilometer om dagen.



Analysen foretaget af Edison forskergruppe (graf til venstre) viser yderligere, at omkring halvdelen af alle bilpendlere, som kører max 80 kilometer dagligt, egentlig ikke ville have behov for hurtig batteriopladning eller udskiftning af batterier.

Af de bilister, som kører omkring 120 kilometer dagligt, vil kun omkring 40% have behov for at kunne benytte hurtigopladning eller batteriudskiftning, og behovet vil i øvrigt højest indfinde sig et par gange ugentligt. Disse undersøgelser sætter spørgsmålstegn ved, om der reelt er et behov for en massiv og udbredt etablering af hurtigopladings-infrastruktur, og gør det endnu vanskeligere at forudse, hvordan den fremtidige udvikling på området vil forme sig.

Kigger man på behovet for offentlige laderstandere, er det tvivlsomt, om der overhovedet er brug for en udbredt opladerinfrastruktur på offentlige pladser. Ifølge DTU-Transport har 75% af bilejerne egen, privat adgang til ladermulighed, omkring 8% parkerer ved en kantsten ved hjemmet, og 17% parkerer på et privat eller halvoffentligt parkeringsareal. Omkring 400.000 bilejere i Danmark har to biler. Disse bilejere vil købe en elbil som sekundær bil, og elbilens kørerækkevidde vil dermed ikke være en så afgørende faktor, så længe den kun bruges til lokal transport.

Det største behov for offentlige laderstandere vil familier have, som kun har en (el-)bil med en kørerækkevidde på 80 km. I denne gruppe vil 20% benytte sig af offentlige ladestandere to gange i løbet af 14 dage. Hvis bilens kørerækkevidde udvides til omkring 200 km, vil kun 1% af denne gruppe have behov for at oplade ved offentlige standere tre gange i løbet af 14 dage.

Samtlige analyser og rapporter forudser, at 90% af opladningsbehovet vil kunne dækkes hjemmefra (ca. 75%) eller via opladersstandere på arbejdspladsens parkeringsareal (15%).

Derfor er det nødvendigt at rejse spørgsmålet, om det egentlige problem omkring elbilers begrænsede kørerækkevidde set i forhold til benzinbilers større kørerækkevidde i virkeligheden handler om udbredelsen af opladningsinfrastruktur, eller måske snarere handler om vores opfattelse af, hvad en bil skal bruges til. I fremtiden kan vi måske blive tvunget til at ændre vores grundlæggende opfattelse af, hvad en bil skal kunne, en opfattelse som benzinbilindustrien har indpodet i os i løbet af de sidste 100 år. Måske er vi nødt til ændre vores kørselsvaner, og indstille os på at bilkørsel primært skal foregå lokalt og regionalt, og det gøres lettere, hvis vi i første omgang bevidstgøre os om, hvor lidt vi i virkeligheden bruger bilen til at køre lange ture med. Det er nok ikke realistisk at få bilkøbere til at investere 2-300.000 kr. i en moderne elbil så længe elbilen ikke kan klare en tur tværs igennem Danmark.

Men uanset om elbilens kørerækkevidde indenfor den nærmeste fremtid kan øges tilstrækkeligt meget til, at man kan tilbagelægge en tur fra København til Skagen i elbil, så er det nok ikke realistisk, at der foreløbigt kan udvikles elbiler, som kan klare turen hele vejen til Spanien. Dem der ønsker en bil som kan klare sådanne rejser må købe en bil med forbrændingsmotor. Andre må nøjes med elbilen, der så kun kan klare rejser indenfor Danmark, og så fryde sig ved tanken om, at de transporterer sig selv på den mest energieffektive måde, uden at forurene den verden, som skal overlades til vores børn.

Det egentlige svar på spørgsmålet om, hvorvidt elbilens funktionalitet er tilstrækkelig, kan nok kun findes, hvis vi ændrer vores opfattelse af, hvad vi reelt har brug for og hvorfor.

Energistyrelsens forsøgsordning for elbiler

Folketinget afsatte i aftale af 21. februar 2008 om dansk energipolitik for årene 2008-2011 ti mio. kr. årligt i perioden 2008-09 og fem mio. kr. årligt i perioden 2010-12 til en forsøgsordning for elbiler. Ordningen administreres af Energistyrelsen.

Målet med forsøgsordningen var og er at støtte et antal konkrete forsøg med elbiler samt installering og test af den nødvendige opladeinfrastruktur. Ordningen skal bl.a. medvirke til at belyse mulighederne for indpasning af elbiler som et fleksibelt lager i det danske elsystem, og til forbedring af både energiudnyttelsen og mulighederne for at bruge vindkraft som energikilde. Forsøgsordningen skal også bidrage til at belyse, hvilke barrierer der er i praksis for udbredelse af elbiler, og i hvilke anvendelser elbiler har særlige fordele. Desuden skal forsøgsordningen give viden om tekniske, organisatoriske, økonomiske og miljømæssige forhold i forbindelse med elbilers anvendelse, drift og vedligehold. Indsatsen omfatter et antal praktiske forsøg samt udredningsarbejder og analyser.

Energistyrelsen har i perioden 2009-11 støttet 28 elbilprojekter i hele landet. De 27 projekter omfatter 80 elbiler, mens det sidste projekt, testenelbil.dk, omfatter 170 elbiler, og har en målsætning om at nå 300 elbiler.

Nedenfor findes en oversigt over et udvalg af de projekter, som er i gang i Danmark og de føreløbige resultater af projekterne. Udvalget viser, at elbiler aktuelt testes i hele landet, og at testne har mange forskellige formål. Mere detaljeret information om samtlige projekter og opnåede resultater findes på Energistyrelsens hjemmeside: http://www.ens.dk/da-DK/KlimaOgCO2/Transport/elbiler/forsoegsordningforelbiler/projekter/Sider/elbilprojekter.aspx?p=1

Skive Kommune: Forsøg med elbiler

Bilerne indfrier kommunens forventninger til driftssikkerhed og funktionalitet.

Der er ingen driftsproblemer med elbilerne, der stort set fungerer som forventet.

Hjemmeplejen er bekymret for bilens rækkevidde ved vinterkørsel.

Skive Kommunes Teknisk Forvaltning forsøger at skaffe midler til en quick-charge ladestation, så bilerne kan oplades, hvis der er akut behov for strøm.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladning	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
8 stk. Mitsubishi / iMiEV	god	god	god	Hjemmepleje Tilsyn Udbringning / hentning af post, udbringsning / hentning af mødefaciliteter.	god

Gladsaxe Kommune: Elbiler til kommunale opgaver

Elbilerne er driftssikre og fungerer godt til de tiltænkte funktioner.

Elbilernes rækkevidde og øvrige funktionalitet (komfort, ergonomi og lasteevne) indfrier kommunens forventninger, og brugerne er meget tilfredse med elbilerne.

Sammenlignet med kommunens almindelige biler er elbilerne ganske driftsikre, og der har kun været et mindre antal af driftsnedbrud.

Elbil er dyrere i drift end forventet og udleder ca. lige så meget CO2 som kommunens benzinbiler.

Prisen pr. kørt km for benzin og elbiler i hjemmeplejen adskiller sig ikke væsentligt fra hinanden. Kørselsøkonomien for elbilerne er dårligere end forventet.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladning	Anvendelse	Bruger-tilfredshed
4 stk. Think City	Tilfreds-stillende	Tilfredsstillende	Ikke-styret, nat	Hjemmepleje, virksomheds-tilsyn, møder m.v.	Stor tilfredshed

Ærø Kommune: Elbiler til udlejning og tjenestekørsel

Bilerne har vist sig meget velegnet til den tænkte anvendelse.

Bilerne er driftsikre, og deres rækkevidde og øvrige funktionalitet (komfort og lasteevne) er meget tilfredsstillende.

Der har ikke været tekniske problemer forbundet med udlejningen, og der har ikke været skader på bilerne.

Reparationer og service af bilerne har taget for lang tid.

Transporten af elbilerne til leverandørens serviceværksted i Roskilde er besværlig og ressourcekrævende. Ærø Kommune er derfor i gang med at opbygge en lokal serviceorganisation til vedligehold af bilerne.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
3 stk. Think City	Høj	Meget tilfredsstillende	Ikke-styret, aften-nat	Turistudlejning, persontransport i kommunen (inspektions- og tilsynsopgaver, møder m.v.)	Høj

Gentofte Kommune: Elbil i hjemmeplejen

Når det er koldt, er det ikke muligt at varme bilen op.

Bilens varmepanel er ikke i stand til at varme bilen op.

Bilen er rimelig driftsikker, men der har været nogle tekniske problemer, som det tager leverandøren for lang tid at løse.

Grundet fejl på bilens batteri er bilen ved en række tilfælde gået i stå i trafikken. Dette har bevirket, at nogle af elbilens brugere er utrygge ved at køre bilen.

Der har været problemer med bilens BMS (Battery Management System). Leverandøren har været god til at reparere elbilen, men det har hver gang krævet længevarende værkstedsophold.

Bortset fra problemer med kørsel ved lav udetemperatur, og visse tekniske udfordringer har bilen generelt været driftsikker.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
1 stk. Citroën C1EV elbil	Utilfreds-stillende	Utilfredsstillende	Ikke-styret, nat - frokostpause	Udekørende hjemmebesøg til borgere (aftenhjælpere / dagsygeplejersker)	Tilfreds-stillende – dog ikke ved koldt vejr

Fredensborg Kommune: Tjenestekørsel med elbiler

Elbilerne har vist sig at fuldt ud at indfri kommunens forventninger til driftsikkerhed og funktionalitet.

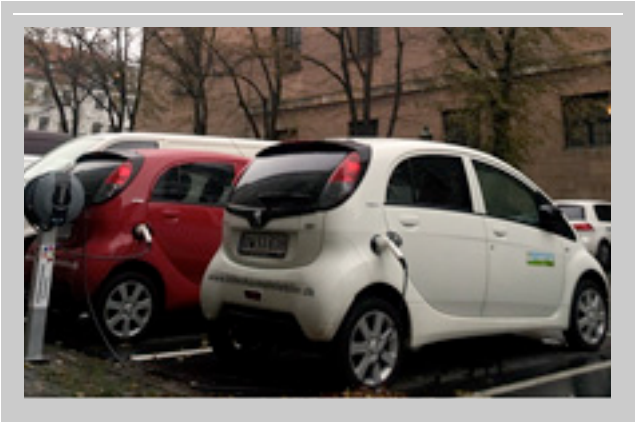
En enkelt gang er en bil gået i stå, og måtte transporteres hjem. Herudover har bilerne kørt uden driftsproblemer.

Ældre- og handicapområdet anvender tre elbiler. Bilerne anvendes af faggrupper til ældrepleje, visitation og ergoterapi. Der er ca. 30 brugere af elbilerne, fordelt på de tre faggrupper.

Efter tilvænning er brugerne meget tilfredse med elbilerne, der er perfekte til de små ture, som er typisk for de funktioner elbilerne er tiltænkt i den kommunale opgaveløsning.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
1 stk. Mitsubishi iMiEV	Meget god	God – Rækkevidde giver dog ikke mulighed for døgnkørsel	Blandet om dagen og hele natten.	Ældreplejen	Meget tilfreds – dog er lydsvag et problem
2 stk. Mitsubishi iMiEV	Meget god	Fungerer godt i driften	Blandet om dagen og hele natten.	Ældre og handicap – visitation og sagsbehandling	God – men nogle er usikker på automat-gear
1 stk. Mitsubishi iMiEV	Meget god	Fungerer godt i driften	Blandet om dagen og hele natten.	"Den flyvende varmemester"	Meget tilfreds
1 stk. Mitsubishi iMiEV	Meget god	Fungerer godt i driften – ønsker dog hurtigere opladning	Blandet om dagen og hele natten.	IT & digitalisering	Meget tilfreds – for meget efterspørgsel fra andre områder om at låne elbilen.

Elbil som delebil



Bilerne fungerer godt som delebiler.

Medlemmerne har taget godt i mod bilerne, og der har stort set ikke været driftsproblemer. Elbilen passer som udgangspunkt godt til en delebilflåde, da delebilkørsel er karakteriseret ved mange, korte ture.

Medlemmerne bruger elbilerne for lidt.

De konventionelle biler i delebilflåden kører ca. fem gange så meget og er reserveret i 3-4 gange så lang tid.

Medlemmerne nævner som problematikker ved bilerne manglende pladsforhold, manglende rækkevidde og lang opladningstid samt usikkerheder forbundet hermed.

Det har været en udfordring at oprette p-pladser til delebilerne.

Det har været tidskrævende og omstændigt at få tilladelse til at oprette el-delebilpladser.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
4 stk. Peugeot iOn	God	Under middel – bilerne bliver kun begrænset benyttet.	Fortrinsvis aften og nat	Delebil	Høj

Københavns Kommune: Elbil som tjenestebil

Københavns Kommune har et politisk vedtaget mål om, at 85 % af kommunens personbiler skal køre på el eller brint i 2015.

Efter en del tekniske problemer i startfasen har elbilerne vist sig at fungere udmærket, og Københavns Kommune har derfor besluttet at udskifte det meste af sin bilflåde med elbiler.

Brugerne er generelt tilfredse med elbilerne.

Københavns Kommune har gennemført en større brugerundersøgelse, der viser, at brugerne opfatter elbilerne som driftsikker, og at bilernes funktionalitet modsvarer brugernes behov.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Bruger-type	Bruger-tilfredshed
6 stk. Citroën C1EV	Tilfreds-stillende	God	Ikke-styret, nat	Hjemmepleje, hjemmepleje-visitation	Høj
15 stk. Fiat Fiorino	Tilfreds-stillende	God	Ikke-styret, aften-nat	Virksomheds-besøg, tilsyn, transport ved møder, som håndværkerbil og til intern transport	Høj
2 stk. Modec	Tilfreds-stillende	God	Ikke-styret, aften-nat	Arbejdsbil ved vej-afspærring Bibliotekskørsel	Høj

Frederiksberg Kommune: Forsøg med el-lastbiler

El-lastbilen indfrier kommunens forventning til funktionalitet og driftssikkerhed.

Brugerne er meget tilfredse med køretøjet, idet det har en tilfredsstillende lasteevne, god accelerationskraft og tilstrækkelig batterikapacitet.

For at forlænge Modec'ens køretid har kommunen anskaffet en ekstra batteripakke, hvilket muliggør kvikskifte af lastbilens batteri.

De positive erfaringer med driften af Modec'en førte til at Frederiksberg Kommunes gartner- og vejservice i 2010 anskaffede tre yderligere Modec'er.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
1 stk. Modec ellastbil	Tilfreds-stillende	Tilfredsstillende	Ikke-styret, nat	Asfaltkørsel, glatføre-bekæmpelse Entreprenører og specialarbejdere	Høj
1 stk. Fiat Scoudo kassevogn	Utilstræk-kelig	Utilstrækkelig	Ikke-styret, nat	Håndværkere	Meget lav

Nyborg Kommune: Elbiler i hjemmeplejen og som servicebiler

Selvom elbilen ikke har den lovede rækkevidde og tophastighed, er brugerne glade for bilerne.

Bilernes rækkevidde og tophastighed er ifølge producentens specifikationer henholdsvis 100 km og 110 km/t. Test af elbilen viser en faktisk rækkevidde på ca. 80 km og en tophastighed på ca. 90 km/t. Valg af ruter er tilpasset elbilens faktiske rækkevidde. Generelt er brugerne positive overfor elbilerne. De er nemme at køre i og dejligt stille.

Service af bilerne tager for lang tid, hvilket har gjort, at bilerne står for meget stille.

Problemerne med elbilerne omfatter utætte benzintanke til bilens fyr (der varmer kabinen op) og forskellige mekaniske samt elektroniske fejl.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
3 stk. Fiat Fiorino Combi	Ikke tilfredsstil-lende	Tilfredsstillende	Ikke-styret, natopladning	Hjemmepleje /hjemmesyge -plejerske	Fra mellem til høj
2 stk. Fiat Fiorino Van	Ikke tilfredsstil-lende	Tilfredsstillende	Ikke-styret, natopladning	Servicevogn	Høj

Projekt Test en Elbil

I projekt testenelbil.dk testes 300 elbiler af samlet 2.400 danske familier i 30 danske kommuner. Pt. omfatter projektet 170 elbiler. I projektet undersøges brugernes erfaringer med elbilen, elbilernes tekniske kunnen og samspil med el-systemet.

Testfamilierne kører i gennemsnit ca. 1.000 km pr. måned, og flere testfamilier er helt oppe på knapt 3.000 km på en måned, svarende til 36.000 km årligt.

Det forventes, at det vil være muligt at samle data for ca. 7 mio. km elbilkørsel og ca. 300.000 opladninger.

Model/ mærke	Drifts-sikkerhed	Funktionalitet ift. målsætning	Opladnings-mønster	Anvendelse / brugere	Bruger-tilfredshed
Mitsubishi iMiev	Meget tilfreds-stillende	Meget tilfredsstillende	Ikke – intelligent, hele dagen – men det ændres til: Intelligent, nat.	Almindelig bilbrug hos testfamilierne	Meget høj
Citroen C-Zero	Meget tilfreds-stillende	Meget tilfredsstillende	Ikke – intelligent, hele dagen – men det ændres til: Intelligent, nat.	Almindelig bilbrug hos testfamilierne	Meget høj
Peugeot Ion	Meget tilfreds-stillende	Meget tilfredsstillende	Ikke – intelligent, hele dagen – men det ændres til: Intelligent, nat.	Almindelig bilbrug hos testfamilierne	Meget høj

Når man analyserer de mange elbilprojekter, Energistyrelsen har støttet rundt omkring i landet, kan man konkludere følgende:

De danske kommuner, her i blandt især Københavns Kommune, som har allerede flere dusin elbiler, er godt i gang med at teste disse biler i forhold til forskellige formål som hjemmepleje, tilsyn og service. Erfaringerne er generelt gode, og medarbejdernes tilpasning til brugen af elbiler har været uproblematisk. Tilbagemelding fra de fleste testprojekter er, at medarbejderne synes, at elbilerne er dejlige at køre i og opfylder deres kørselsbehov.

Starten af projektperioden (2009-2010) var præget af en del tekniske problemer med elbilerne, her i blandt især med de konverterede elbiler. I de problematiske tilfælde var dårlig service af bilerne årsagen til, at elbilerne nogle steder stod stille i sammenlagt flere måneder på trods af, at der har været tale om småfejl, som ville kunne løses hurtigt og nemt. Meget dårlig service, når det gælder konverterede elbiler, fremstår aktuelt som det alvorligste problem for ejere af denne type elkøretøjer.

På den positive side skal fremhæves, at der næsten ingen nævneværdige tekniske problemer var med de elbiler, der er udviklet af de store bilfabrikanter som Mitsubishi, Citroen og Peugeot.

Yderst positive er også de erfaringer, som nogle kommuner har gjort med Modec's elektriske lastbiler, som bruges til renovationsopgaver og saltning af veje m.m.

Af de kommende projekter i 2012 er det mest spændende nok, at Taxa 4x35 får 30 eltaxaer til daglig betjening af kunder i København og omegn.
Det største problem ved elbiler, som skal benyttes som hyrevogne, er stadigvæk den begrænsede køreækkevidde. Derfor er meget af arbejdet i 2011, med støtte fra Energistyrelsen, brugt på at undersøge forskellige optimale modeller, ladeteknologier, og mulige placeringer af ladestandere. De foreløbige resultater viser, at placeringen af en batteriskiftestation på Vesterbro vil være optimalt, og man håber derfor at kunne finde en potentiel byggegrund i nærheden af Kalvebod Brygge.

Planen på nuværende tidspunkt er, at 20 af de 30 taxa-elbiler skal være af modellen Renault Fluence fra Better Place, hvilket indebærer, at de skal fungere i forbindelse med en batteriskiftestation. De resterende 10 taxa-elbiler skal være af modellen Nissan Leaf, som oplades ved hjælp af et hurtigladningssystem.

CO2-besparelsen ved el-taxakørsel er beregnet til i løbet af det første år at være ca. 500 ton for de 30 elbiler, der indgår i projektet.

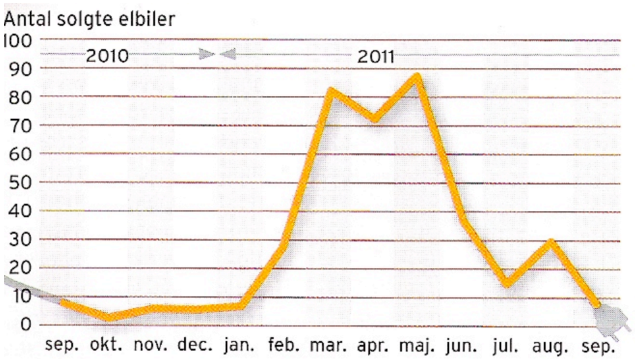
Danmark fik i øvrigt d. 16. december 2011 sin første eldrevne hyrevogn i form af en Nissan Leaf, der er indkøbt af Odense Taxa.

I første omgang har Odense Taxa anskaffet en enkelt bil, som skal testes for komfort og køreegenskaber. Men på sigt er tanken at skifte hele taxaflåden ud med elbiler. Borgere i Odense kunne gratis prøvekøre eltaxaen i løbet af december 2011.

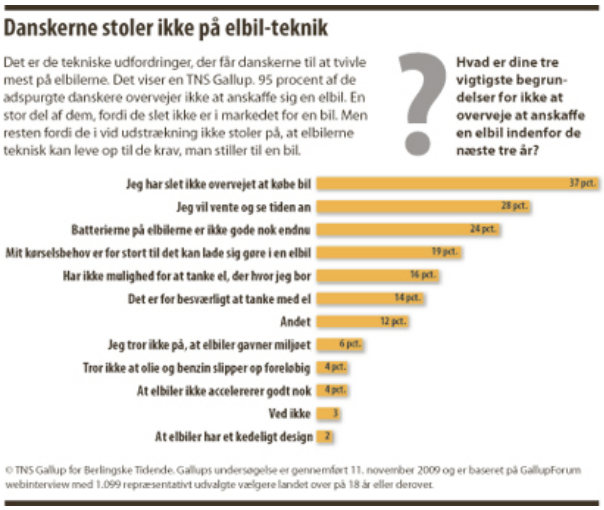
Danmarks første eldrevne hyrevogn, en Nissan Leaf indkøbt af Odense Taxa, indviet d. 16.12. 2011.

Elbilmarkedet i dag og i morgen

Kigger man på de aktuelle tendenser på elbilmarkedet i dag, ser de ikke særligt gode ud. På et helt år har de i alt ni selskaber, der sælger elbiler i Danmark, kun solgt 376 elbiler. Der er ingen tvivl om, at den finansielle krise har indflydelse på at salget går dårligt, især fordi bilsalget generelt er gået næsten i stå her i slutningen af 2011. Man skulle på den baggrund tro, at elbilsalget går dårligt fordi, prisen for elbiler er alt for høj. Men forskellige undersøgelser viser, at når potentielle købere bliver spurgt, så nævner de ikke elbilernes pris, som den vigtigste årsag til, at de har undladt at købe en elbil.



Elbilsalg, sept.2010 - sept.2011



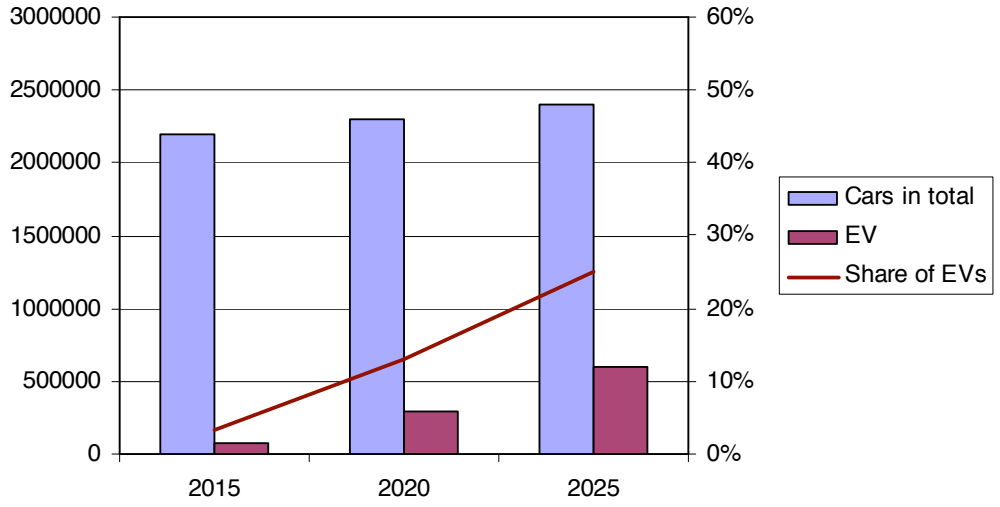
Gallupundersøgelse foretaget i 2009

Allerede i 2009 viste en Gallupundersøgelse foretaget for Berlingske Tidende, at danskernes modstand overfor elbiler, primært skyldes en opfattelse af, at batterierne ikke er gode nok.

På andenpladsen har danskerne angivet, at deres kørselsbehov er større end, hvad en elbil kan dække.

Undersøgelsen viser, at firmaer der sælger elbiler står overfor en svær opgave med at overbevise befolkningen om, at batterierne er gode nok. Der bør gives ordentlige garantier for batterierne, og folk skal bevidstgøres om, hvor stort deres kørselsbehov reelt er. I de fleste tilfælde er kørselsbehovet lavere end, hvad man forestiller sig .

Når man analyserer tilgængelige rapporter om fremtidsperspektiverne for elbilen, er det iøjnefaldende, at der er stor forskel på de politiske udmeldinger, som kommer fra regeringer og forskellige institutioner og på de udmeldinger, som kommer fra firmaer, der er direkte involveret i udviklingen og produktionen af elbiler. Mens den Internationale Sammenslutning af Bilproducenter estimerer, at det globale elbilmarked i 2020 vil udgøres af 20 millioner elbiler, så estimerer f.eks. det tyske firma Bosch, som er et af de førende firmaer indenfor produktionen af komponenter til elbiler, at det globale marked for elbiler i 2015 vil udgøres af 500.000 køretøjer og tre millioner køretøjer i 2020. Som sammenligningsgrundlag var den årlige globale produktion af biler i 2010 på omkring 52 millioner køretøjer.



DTU forudser, at der i Danmark i 2025 vil være omkring 125.000 elbiler kørende på de danske veje, hvilket vil være en andel på omkring 12% af den samlede danske bilpark.

Jeg forudser, at vi i løbet af de næste 10 år vil opleve lanceringen af en række mellemstore og helt store masseproducerede elbiler med enten "range extenders", som i Opel Ampera, eller med udskiftelige batterier som i eks. Renault Fluence - Better Place modellen. Disse elbiler er komfortable, og tilsammen med kørerækkevidder på flere hundrede kilometer pr. opladning og en relativ lav pris, hvis de produceres i større antal, kan de i mine øjne ikke undgå at blive succesfulde på markedet.

Og først når denne type elbiler indtager markedet vil befolkningen seriøst begynde at overveje at købe en elbil - ikke kun som bil nr. to eller som by-pendler bil, men som den primære bil.

Den seneste finansielle krise, og den der af følgende alvorlige nedgang i omfanget af den industrielle produktion, i forbruget og investeringslysten i både EU og USA, vil utvivlsomt have en negativ effekt på mulighederne for en global introduktion af elbilen på verdensmarkederne, og vil yderligere forsinke udviklingen af nye og mere bruger-tilpassede elbilmodeller og disses lancering. De dystre finansielle udsigter gør det urealistisk at forvente, at Danmark vil have elbiler i større omfang på vejene før tidligst omkring år 2025.

I den mellemliggende periode kunne det være spændende at se hvad en eventuel test af f.eks. Opel Ampera som taxi-bil ville vise. Ampera er en ægte plug-in hybrid med en stor elmotor, et stort litium batteri, og er i det hele taget en bil, der kan køre langt, når der er brug for det. Opel Ampera er en elbil, der udgør et reelt alternativ til den benzindrevne bil, fordi den har alle elbilens fordele, og primært et meget lille energiforbrug. Bilen er efter min mening, sammen med Renault Fluence, det mest spændende og lovende koncept indenfor elbilproduktion på nuværende tidspunkt, selvom Opel Ampera har forholdsvist dårlige pladsforhold på bagsæderne. Bilens anvendelsesmuligheder afhænger naturligvis af de testresultater, som med tiden vil indkomme, men også i høj grad af muligheden for, at bilen fritages for fordyrende afgifter. Det kræver, at danske politikkere kan gennemskue, at der er stor forskel på en klassisk hybridbil, hvor elmotoren kun fungerer som en hjælpemotor for den traditionelle forbrændingsmotor, og så på en ægte hybridbil, hvor en mindre forbrændingsmotor fungerer som den større elmotors hjælpemotor, med henblik på at forøge bilens kørerækkevidde væsentligt. Forskellen på de to koncepter er enorm. En almindelig hybridbil kører 95% af tiden udelukkende ved hjælp af en forbrændingsmotor, mens Ampera hybrid-konceptet kun bruger forbrændingsmotor, når der køres mere end 60-80 km, som er den distance, de fleste danskere har brug for at kunne køre til dagligt.

Udviklingen på elbil-området afhænger i høj grad af, om politikere og andre beslutningstagere vil begynde at føre en aktiv, progressiv og banebrydende politik med henblik på for alvor at få elbilen introduceret på markedet, i stedet for blot at vente på, at industrien og markedet løser denne opgave af sig selv.

Vi mangler en offentlig stillingtagen til for eksempel gratisparkering af elbiler og fritagelse fra miljøringafgift på elbiler, tiltag som for længst er foretaget i Storbritanien,Sverige og i Norge, hvor man også har indført momsfritagelse for elbiler. I den offentlige debat mangler i særdeleshed også en stillingtagen til særlige tiltag på elprisområdet, da det f.eks. ikke er billigere at oplade elbiler om natten, hvor hovedparten af elbiler oplades, på trods af at efterspørgslen på el om natten er langt mindre. Selvom det burde være det, er det stadig ikke økonomisk attraktivt for elbilejere at oplade deres elbiler om natten. Yderligere burde det tages op til debat, om det kunne være gavnligt for udrulningen af elbilteknologi at indføre et skattefradrag for elbilkøb, f.eks. i form af en mulighed for fratrækning af merudgifter forårsaget af prisdifferencen mellem en bil med forbrændingsmotor og en tilsvarende elbil.

Det der aktuelt også er brug for er, at politikkere sammen med bilindustrien definerer en 10-15 års plan for afskaffelsen af forbrændingsmotorteknologi til privat brug. En sådan plan er nødvendig, fordi den kan frigøre de mange milliarder kroner, som bilindustrien investerer i videreudviklingen af forbrændingsmotorerne, for at de kan leve op til de skrappere miljøkrav. De frigjorte midler kan dermed bruges til at investere i elbilteknologien. Det er urealistisk at tro, at bilindustrien har råd til både at investere mange milliarder i meget dyr videreudvikling af benzin-og dieselmotorer, og samtidig foretage meget store investeringer i elbilteknologien. Der ligger altså et stort ansvar for fremtidens udvikling på transportområdet hos politikkerne. De skal træffe beslutning om, hvilken vej vi skal gå – for den bør ikke træffes af bilindustrien alene!

Gode råd før du køber elbil

Her er nogle råd til dig, som overvejer at anskaffe en elbil:

- Hvis den elbil du overvejer at købe er en konverteret benzin- eller dieseldrevet bil, eller er et produkt som udbydes af et mindre firma, skal du være ekstra opmærksom på garantibetingelserne for bilen og batterierne samt på serviceringsaftalen. Erfaringer viser, at de problemer, man oftest støder på, når man køber en elbil af et mindre firma, er dårlig service eller manglende garanti på batterierne.

- Uanset om du køber en elbil fra et mindre eller et større firma, er det en god ide at sætte sig grundigt ind i garantibetingelserne for elbilens batterier. Du bør dels sætte dig ind i om der gives tidsmæssig eller kilometermæssig garanti, og dels i prisforholdene for et helt nyt batteri. Batterierne sælges som forbrugsvarer, og derfor ligger den gængse garanti på mellem 6 og 24 måneder. Man bør dog kræve en såkaldt industriel garanti på 5 til 10 år.

- Nogle firmaer udsteder garantier i forhold til antal op- og afladninger af batterierne. I de tilfælde skal du spørge, om bilen har et Battery Management System – BMS, der kan registrere og huske antallet af opladninger. Hvis garantien er udstedt i forhold til antal op- og afladninger, og bilen ikke har BMS, der kan registrere dette, må det frarådes at acceptere en sådan garantiordning

- Få oplyst hvilke certificeringer elbilen har opnået, og om det har været udført crashtest på bilmodellen og med hvilket resultat. Hvis der er tale om en konverteret bil af kendt mærke, skal du sørge for at få oplyst, om bilfabrikanten har godkendt ombygningen, og i øvrigt fastholder nybilsgarantien på alle de dele af bilen, som ikke er berørt af konverteringen.

- Hvis du leaser elbilen med forkøbsret efter endt leasingperiode, skal du sørge for at få oplyst, hvilken værdi bilen er sat til at have ved leasingperioden udløb, og hvad den maksimale længde af leasingaftalen kan være. Det kan give dig et praj om, hvilke forventninger leasingselskabet selv har til den maksimale levetid for elbilens batterier.

- Hvis du køber en konverteret elbil fra et mindre selskab, bør du tjekke om bilen kan klare kørsel i glatføre. Erfaringer viser, at nogle konverterede biler har problemer med at køre i glatføre på grund af en sikkerhedsmekanisme, der frakobler elbilens motor, hvis hjulene skrider ud. Problemet er desværre ikke lige til at løse, da det skyldes selve den konverterede elbils motorcontroler/inverter.

- Når du skal afgøre, om en bestemt elbil kan leve op til dine forventninger og dække dit behov for kørerækkevidde, bør du følge de anvisninger, der er beskrevet i kapitlet "Elbilens litiumbatteripakke og kørerækkevidde". Få oplyst batteriets kapacitet i kWh, som du så skal reducere med mindst 30% og derefter dividere med 300 W. Det resultat du får svarer nogenlunde til det antal kilometer, som du realistisk gennemsnitligt kan opnå i den pågældende elbil.

- Undersøg hvilket varmesystem elbilen har. Hvis systemet kører på el, skal du afprøve det og få oplyst, hvor mange watt systemet kører på. Mange eldrevne varmesystemer er ikke særligt effektive og erfaringerne viser, at varmesystemer på under 1500 watt er ubrugelige om vinteren. Men husk samtidig på, at et velfungerende elektrisk varmesystem på en kold vinterdag kan reducere kørerækkevidden med helt op til 20%.

- I de fleste større elbiler bruges kølervæske til at afkøle elmotoren med. Tjek en gang om måneden, om der er nok kølervæske, så du undgår, at elmotoren brænder sammen. Hvis der mangler væske, er systemet utæt, og det skal repareres med det samme. Der ud over er elbilen meget nem at vedligeholde, og er øvrigt underlagt de samme betingelser for vedligeholdelse, som almindelige biler er.

- Køreteknikkerne som gælder for en elbil er i hovedtræk de samme, som gælder for en bil med forbrændingsmotor, dog er der på to punkter væsentlige køretekniske forskelle: 1. Når du bremser, skal du i så vidt omfang som muligt bremse ved hjælp af elmotoren, for på denne måde at genere energien tilbage til batterierne. Bremserne på en elbil fungerer på følgende måde: Når du berører bremsepedalen let, bremser du med elmotoren og regenerer strømmen. Når du trykker yderligere på pedalen, bruger du de fysiske bremser. Det er derfor vigtigt, at du vænner dig til at bruge en bremseteknik, når du kører elbil, som øger kørerækkevidden ved hjælp af regenereringsbremsning, og samtidig sparer på bilens bremseklodser. 2. Når man kører i elbil, skal man altid trække håndbremsen, før man forlader bilen, da bilen ikke har en forbrændingsmotor som automatisk bremser bilen.

- Da elbilen har en begrænset kørerækkevidde er det vigtigt, at du holder øje med trykket på bilens dæk. For lavt tryk på dækkene øger energiforbruget under kørslen og kan yderligere reducere bilens kørerækkevidde. Lad være med at sætte bredere dæk på bilen end højst nødvendigt. Brede dæk forøger også energiforbruget under kørslen.

Abstract:

I bogen ”Alt om elbilen” konkluderes følgende:

At elbiler er en stor miljøgevinst for Danmark.

At mini/mikro elbiler ikke kommer på markedet, og at de fleste producenter vælger at producere større elbiler. Disse tendenser betragtes som positive.

At der er brug for, at elbiler får en range-extender, således at bilernes kørerækkevidde kan ligge på omkring 500 km pr. opladning . Med denne funktionalitet kan elbilen blive bil nr. 1 for de fleste danske familier.

At elbilen ingen fremtid har som familiebil nr. 2. Danmark skal derfor fritage elbiler med range-extenders for afgifter, fastholde afgifter på hybridbiler og forøge afgifterne på benzin- og dieselbiler.

At der er brug for afgiftsomlægning i Danmark: Benzin- og dieselbiler skal pålægges endnu højere afgifter, og afgiftsindtægterne skal bruges til at subsidiere elbiler med, for på denne måde at gøre elektriske biler billigere og mere tilgængelige for almindelige mennesker. Afgifterne skal udregnes i forhold til sundhedskonsekvensvurderinger.

At en af de største forhindringer for udrulning af elbilteknologi i Danmark er befolkningens manglende viden om det reelle kørselsbehov, samt producenternes manglende evne til at tilbyde ordentlige batteri-garantier.

At elbilernes relativt høje prisleje er et resultat af manglende masseproduktion af elbiler i stor skala, og det forhold, at de fleste elbil-producenter ikke har forstået nødvendigheden af, at batterierne skal udbydes på lejebasis. Udlejning af batterier er en 100 år gammel forretningsmodel, der stammer fra USA. Det er et behov for at benyttet denne forretningsmodel, indtil priserne på litiumbatterier er faldet til omkring 40-50 USD pr. kWh.

At bilindustrien tilbyder ikke attraktive leje eller leasing finansieringsmuligheder for elektriske biler viser, at industrien ikke planlægger at sætte masseproduktion af elbiler i gang. Talløse udstillinger af smarte el-bil prototyper, som ingen i virkeligheden ønsker at sætte i produktion, er bare image-stunts, der skal overbevise forbrugeren om, at industrien fører en korrekt, grøn politik. I virkeligheden forsøger størsteparten af bilindustrien at forhale elbiludviklingen ved at lancere flere og billigere, nye benzin- og dieselbil-modeller, der sælges på attraktive finansieringsvilkår, for at beskytte samme industris investeringer i forbrændingsmotorteknologi.

At prisen på litiumbatterier er faldet med 400 % i perioden 2002-2008, og at det er realistisk at forvente en faktor 10 i yderlig prisreduktion over de næste 10-15 år, hvis der sker masseproduktion af elbiler.

At høje priser på elbiler i høj grad skyldes høje priser på andre komponenter i elbilen end batterierne, hvilket eksemplificerer problemet med den manglende produktionsvolumen for elbiler.

At litiumbatterier ikke er miljøskadelige, at jernfosfat-baseret litiumbatteriteknologi er ufarlig, og at verdens reserver af litium er tilstrækkelige til at forsyne verden med mange millioner elbiler langt ud i fremtiden.

At de lave benzin- og dieselafgifter i USA og Kina, som forbruger 50% af verdens årlige olieproduktion, er en enorm barriere for elbilteknologiens globale udrulning.

At hurtigopladnings-infrastrukturen højst sandsynligt aldrig vil blive etableret, da omkostninger forårsaget af energitab samt forkortelser af batteriernes levetid vil være for høje.

Det er ikke realistisk at forvente, at elbilproduktionen i 2020 vil udgøre mere end 0,5% af den samlede globale årlige bilproduktion på 52 millioner enheder.

Den finansielle krise vil forsinke den globale udrulning af elbilteknologien med fem til syv år.

Det der aktuelt er brug for er, at politikkere sammen med bilindustrien definerer en 10 -15 års plan for afskaffelsen af forbrændingsmotorteknologi til privat brug. En sådan plan er nødvendig, fordi den kan frigøre de mange milliarder kroner, som bilindustrien investerer i videreudviklingen af forbrændingsmotorerne, for at de kan leve op til de skrappere miljøkrav. De frigjorte midler skal bruges til at investere i elbilteknologien.

Vi mangler en offentlig stillingtagen til for eksempel gratisparkering af elbiler og fritagelse fra miljøringafgift på elbiler, tiltag som for længst er foretaget i London, Stockholm, og i Oslo. I Norge har man også indført momsfritagelse for elbiler. I den offentlige debat mangler i særdeleshed også en stillingtagen til særlige tiltag på elprisområdet, da det f.eks. ikke er billigere at oplade elbiler om natten, hvor hovedparten af elbiler oplades.

Abstract in English:

I the book “Everything about electric car” following conclusions have been made:

Electric cars will have substantial and positive enviromental impact in Denmark

Automotive industry will not launch micro electric cars on the market but middle size models . This trend is observed as positive. Electric cars need range-extender that will enable electric cars to have autonomy up to 500 km. With such functionality electric cars will become car nr. 1 for most danish families. Electric car does not have any future as car nr. 2 in Denmark. Denmark should remove import taxes for electric cars with range extender, keep present level of taxes for hybrids and rise taxes for gasoline and diesel vehicles.

Danmark should change taxation structure by raising taxes for gasoline and diesel vehicles and use earnings from higher taxes to subsidise introduction of electric cars in the next 10 years and in such a way make electric cars available for broader public. Higher taxes should be based on calculation of cost that combustion engine technology is inducing on danish health-care system.

The biggest obstacles for introducing succesfully electric cars in Denmark are ordinary peoples absent awarnes of their real driving needs as well as electric car producers non existing willigness to introduce proper battery warranty.

High prices of electric cars on the market is consequence of low production volume. Most producers of electric cars have not accepted that they should compensate for high production price of electric cars by introducing renting or leasing battery models. Renting of battery model is 100 years old model introduced in USA during golden era of electric cars in the beginning of 20th century. Introduction of this model is necessary until prices for lithium batteries have decreased to about 40-50 USD per kWh.

Automotive industries lack of attractive financing models for purchasing of electric cars show that industry does not have yet serious plans to start mass production of electric cars. Countless exibitions with super smart electric prototypes that will never be put in production is just a way to create a positive and green public imeage. In reality most of automotive industry is trying to stop or at least delay development of electric cars by introducing new and cheepers models with combustion engine and attractive financing models as a strategy to protect their investments in combustion engine technology.

Lithium battery prices have been reduced by 400% in the period between 2002 and 2008 and therfore it is realistic to expect that prices will fall further by factor 10, as a consequence of mass production of electric cars

High prices for electric cars are not purely consequence of high prices of lithium batteries but generally high prices for all components built in electric cars. That shows that the rooth of the problem is low production volume.

Lithium batteries are not enviromentaly hasardous, ferrit-sulfat chemistry is not dangerous and there is more then enough lithium in the world to supply market with many millions of electric cars.

Low energy taxation of gasoline in US and China, that use 50% of global gasoline production, are obstacles for introduction of electric cars globaly.

Quick-charge infrastructure will probably never be introduced because of too high cost caused by energy loss during charging and cost caused by reduction of lithium battery life caused by quick charging.

It is not realistic to expect that global volume of production of electric cars will in 2020 exceed 0,5% (3 million) of total annual global production of cars, which is at the moment 52 million vehicles annually.

Present financial crisis will delay global introduction of electric cars by 5-7 years.

There is a need that politicans together with automotiv industry define a 10-15 years deployment plan for combustion engine technology for private cars. Such a plan would enable automotive industry to stop further investments of billions of dolars in improvement of combustion engine technology with an aim to comply with new and tougher enviromental regulations and to re-channel those funds into elelctric car technology.

Danmark has not secured meassures that would support introduction of electric cars, such as, free parking in the cities and free entrance in the “pay-to-drive” zones, meassures which have been succefully introduced in for example London, Stockholm and Oslo. Norway has introduced also vat-exception for electric cars. It is furthermore still not economically attractive in Danmark to charge electric cars during the night in spite of the fact that demand for electricity during the night is much lower and in spite of the fact that most electric cars are and will be charged during the night.

Referencer:

Carbon Calculations over the Life Cycle www.surrey.ac.uk/CES/CCalC/

World Energy Council Report 2010, Comparison of energy systems using life cycle assessment.

www.pre.nl/life_cycle_assessment/life_cycle_inventory.htm

www.uneptie.org/pc/sustain/lcinitiative/lcia_program.htm

www.dti.gov.uk/energy/energy-policy/energy-white-paper/

House of Commons Environmental Audit Committee, April 2006;

House of Commons Trade and Industry Committee, July 2006

www.defra.gov.uk/farm/acu/energy/biomass-taskforce/

Department of Trade & Industry UK, 2003, Elsayed et al, Carbon and energy balances for a range of biofuels options

World Energy Council Report 2010

AEA 2006, Carbon footprint of the nuclear fuel cycle (Torness)

Carbon Footrpint, prof Nicola Pearsall, Northumbria University, 2006

Using an Unconventional History of the Battery. Virginia Journal of Science

Origin of Electrical Power, National Museum of American History;

Practical Electricity; W.E Ayrton, Read Books, 2008

World Batteries, Industry Study with Forecasts to 2010 & 2015 (Study #2095) (Cleveland, OH: Freedonia Group, 2006).

German Federal Ministry of Education and Research, "Innovation Alliance, Lithium Ion Battery 2015" (2008), http://www.bmbf.de/de/11828.php.

Oak Ridge National Laboratory calculations based on information from Energy Information Administration, U.S. Environmental Protection Agency, KEMA, and University of Delaware (2008).

D. Howell, Energy Storage Research and Development, Annual Progress Report 2006 (Washington, D.C.: Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies, U.S. Department of Energy, 2007).

FreedomCAR and Fuel Partnership and United States Advanced Battery Consortium, Electrochemical Energy Storage Technical Team Technology Development Roadmap (Southfield, MI: USCAR, 2006).

D. Howell, Energy Storage Research and Development, Annual Progress Report 2007 (Washington, D.C.: Office of Vehicle Technologies, U.S. Department of Energy, 2008).

J. Goodenough, H.D. Abruna, and M.V. Buchanan, editors, Basic Research Needs for Electrical Energy Storage (Washington, D.C.: Office of Basic Energy Sciences, U.S. Department of Energy, 2007).

H.A. Kiehne, editor, *Battery Technology Handbook*, 2nd edition (New York: Marcel Dekker, Inc., 2003).
J. Besenhard, editor, *Handbook of Battery Materials* (Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 1999).

N.J. Dudney and B.J. Neudecker, "Solid State Thin- Film Lithium Battery Systems," Curr. Opin. Solid State Mat. Sci., 4 (5) (1999), pp. 479–482.

A.K. Shukla and T.P. Kumar, "Materials for Next- Generation Lithium Batteries," *Curr. Sci.*, 94 (3) (2008), pp. 314–331.

M.S. Whittingham, "Materials Challenges Facing Electrical Energy Storage," *MRS Bulletin*, 33 (4) (2008), pp. 411–419.

J. Newman and C. Monroe, "The Impact of Elastic Deformation on Deposition Kinetics at Lithium/Polymer Interfaces," *J. Electrochem. Soc.* 152 (2) (2005), pp. A396–A404.

P. Arora and Z. Zhang, "Battery Separators," *Chem. Rev.*, 104 (2004), pp. 4419–4462.

L. Gaines and R. Cuenza, Costs of Lithium-Ion-Batteries for Vehicles (Report ANL/ESD-42) (Argonne, IL: Argonne National Laboratory, 2000).

J. Carcone, "Update on Li-ion Batteries" (Paper presented at the 15th International Seminar and Exhibit on Primary and Secondary Batteries, Fort Lauderdale, Florida, 2–5 March 1998).

"Edison's Alkaline Battery", Wikipedia

Energistyrelsen, 2007: Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren, COWI for Energistyrelsen, maj 2007.

Energistyrelsen, 2007: Alternative drivmidler i transportsektoren, udkast til rapport, juni 2007.

COWI, 2007: Beregningsmodel for alternative drivmidler.
http://www.ens.dk/graphics/Lovstof/hoeringer/COWIrapport%20Alt%20drivmidler.pdf

[Addison, 2008] Addison, J., Opportunities in plug-in hybrid vehicles and V2G technology, Clean Fleet Report, 2008.

[AEA, 2009] AEA, Aspen association, CE Delft, TNO, Oko-Institut, Assessment with respect to long term CO2 emission targets for passenger cars and vans, for DGENV, 2009 (to be published).

[An et al, 1996] An, F, Frank A., Ross M., Meeting both ZEV and PNGV goals with a hybrid electric vehicle: an exploration, SAE, 961718, 1996.

[An et al, 1997] An, F., Barth, M., Scora, G., Impacts of diverse driving cycles on electric and hybrid electric vehicle performance, SAE, 972646, 1997.

[An et al, 1998] An, F., Barth, M., Critical issues in quantifying hybrid electric vehicle emissions and fuel consumption, SAE future transportation technology conference & exposition, Costa Mesa, CA, 981902, 1998.

[Anderman, 2003] Anderman, M., Brief Assessment of Improvements in EV Battery Technology since the BAT June 2000 Report, Advanced Automotive Batteries, Prepared for California Air Resources Board, 2003.

[Anderman, 2007] Anderman, M., Status and prospects of battery technology for hybrid electric vehicles, including plug-in hybrid electric vehicles, Advanced Automotive Batteries, 2007.

[Anderman, 2008] Anderman, M., PHEV: A step forward or a detour, Presentation at SAE 2008, Hybrid Vehicle Technologies Symposium, San Diego, California, February 12-14, 2008.

[Anderson, 2008] Anderson, D., Status and trends in the HEV/PHEV/EV battery industry, Rocky Mountain Institute, 2008.

[Anderson, 2009] Anderson, D., An Evaluation of current and future costs for lithium-ion batteries for use in electrified vehicle powertrains, Masters Project, May 2009.

[Axsen et al., 2008] Axsen J., Burke A., Kurani K., Batteries for Plug-in hybrid electric Vehicles (PHEVs): Goals and the state of Technology circa 2008, Institute of Transportation Studies University of California Davis, CA, May 2008.

[Balch et al, 2001] Balch, RC., Burke, A., Frank, AA., The affect of battery pack technology and size choices on hybrid electric vehicle performance and fuel economy, Sixteenth annual battery conference on applications and advances, Long Beach (CA), January 2001.

[Bradley and Frank, 2009] Bradley Thomas, H., Frank Andrew, A., Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles, Renewable and sustainability energy reviews 13, pp.115-128, 2009.

"A Climate for Recovery: The color of stimulus goes green," HSBC Global Research, February 26, 2009

International Cluster Competitiveness Project, Institute for Strategy and Competitiveness. *https://secure.hbs.edu/iccp/index.jsp*.

"Clean Technology Primer," Jefferies Research, September 2009.

Bruce R. McKern, and Lyn Denand, "The Business Environment of China: Challenges of an Emerging Economic Superpower." *Stanford Graduate School of Business case IB57*, November 4, 2004 (revised August 2009).

"China Charges Up" (Chinese Version), McKinsey & Company, October 2008.

"The Green Car Report. Investment Analysis of the Hybrid Electric Vehicle Industry: Outlook for 2009-2012,"MDB Capital Group, November 10, 2008.

People's Republic of China State Council, *Auto Industry Revitalization Plan,* March 2009.

E. Plambeck, "Environmental Enhancements in Road Vehicle Technologies," *Stanford Graduate School of Business case OIT-74*, March 24, 2008.

H. Rao, "Market Rebels: How Activists Make or Break Radical Innovations," Princeton, NJ, Princeton University Press, 2009. Chapter 2 "Who Wants to Sit on an Explosion?" and Chapter 8 "From Exit to Voice: Advice for Activists."

Debra Schifrin, Robert A. Burgelman and Andy Grove, "The Global Electric Car Industry in 2009; Developments in the U.S., China, and The Rest of the World," *Stanford Graduate School of Business case SM-175,* September 10, 2009.

"Comprehensive Economic Strength," Shenzhen Government Online. "Comprehensive Economic Strength" http://english.sz.gov.cn/economy/200911/t20091120_1229164.htm

Norihiki Shirouzu, "China Sets Electric Car Plan," *The Wall Street Journal,* April 9, 2009.

Clive Thompson, "Batteries Not Included," *The New York Times,* April 19, 2009.

Ken Thomas, "Senate Passes 'Cash for Clunkers' Program," Associated Press, June 19, 2009.

Matthew Wald, "$2 Billion in Grants to Bolster U.S. Manufacturing of Parts for Electric Cars," *The New York Times,* August 6, 2009.

[Brooks and Gage, 2001] Brooks, A., Gage T., Integration of electric drive vehicles with the electric power grid—a new value stream, in: Paper Presented at the 18th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition, Berlin, Germany, October 2001.

[Bullis, 2006] Bullis K., Technology review, How plug-in hybrids will save the grid? MIT Review, 2006.

[Burke and Miller, 2009] Burke, A., Miller, M., Performance Characteristics of Lithium-ion Batteries of Various Chemistries for Plug-in Hybrid Vehicles, EVS24 Stavanger, Norway, May 2009.

[Chu, 2007] Chu, A., Nanophosphate Lithium-Ion Technology for Transportation Applications, 23rd International Electric Vehicle Symposium and Exposition (EVS-23), Anaheim, California, December 2007.

[Clement et al., 2007] Clement, K., Van Reusel, K., Driesen, K. (2007). The consumption of Electrical Energy of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in Belgium. European Ele-Drive Conference. Brussels, Belgium, 2007.

[Conte, 2006] Conte, F.V., Battery and battery management for hybrid electric vehicles: a review, E&i Elektrotechnik und Informationstechnik, 123 (10), 424-431, 2006.

[Denholm and Short, 2006] Denholm, P., Short, W., An Evaluation of Utility System Impacts and Benefits of Optimally Dispatched Plug-in Hybrid Electric Vehicles, NREL, 2006.

[Douglas and Duvall, 2008] Douglas, J., Duvall, M., Plug in hybrids on the horizon: Building a business case, EPRI Journal, Issue SPRING, pp.7-15, 2008.

[Dowds et al., 2009] Dowds, J., Farmer, C., Hines, P., Watts, R., Blumsack, S., A Review of Results from Plug-in Hybrid Electric Vehicle Impact Studies, Working Paper, University of Vermont (VT), December 2009.

[Duvall, 2006] Duvall M., Plug-in hybrid electric vehicles technology challenges, Plug-in Hybrid Discussion Meeting, U.S Department of energy, Electric Power Research Institute, 2006.

[Elgowainy et al., 2009] Elgowainy, A., Burnham, A., Wang, M., Molburg, J., Rousseau, A., Well-to-Wheels Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, February 2009.

[EPRI, 1997] Electric Power Research Institute, Cost of Providing Ancillary Services, EPRI TR-107270-V1. Electric Power Research Institute, Palo Alto (CA), 1997.

[EPRI, 2002] Electric Power Research Institute, Comparing the benefits and impacts of hybrid electric vehicle options for compact sedan and sport utility vehicles, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto (CA), 2002.

[EPRI, 2004] Electric Power Research Institute, Advanced Batteries for Electric-Drive Vehicles: A Technology and Cost-Effectiveness Assessment for Battery Electric Vehicles,

[Hawkins, 2001] Hawkins D., Vehicle-to-grid: a control area operators perspective, Presentation at the EVAA Electric Transportation Industry Conference, Sacramento, CA, 13 December, 2001.

[Heffner et al. (2007)] Heffner R.R., Kurani K.S., Turrentine T.S., Symbolism in California's early market for hybrid electric vehicles, Transportation Research D 9, 396-413, 2007.

[Hirst and Kirby, 1997] Hirst, E., Kirby, B., Ancillary-Service Details: Operating Reserves, Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, TN. Report # ORNL/CON-452, Available from National Technical Information Service, Springfield, VA, 1997.

[Howell, 2007] Howell, D., Plug-in hybrid electric vehicle battery research and development activities, presentation to the U.S Department of Energy – PHEV Stakeholder Workshop, FreedomCAR & Vehicle Technologies Program, June 13, 2007.

[IEA, 2007] Status Overview of Hybrid and Electric Vehicle technology (2007), Final report Phase III, Annex VII, IA-HEV, December 2007.

[IEA, 2008] Outlook for hybrid and electric vehicles, International Energy Agency, 2008.

[IPTS, 2005] Hybrids for road transport, status and prospects for hybrid technologies and the regeneration of energy in road vehicles, Technical report, EUR 21743 EN, JRC-IPTS, February 2005.

[Kalhammer et al, 2007] Kalhammer, F.R., Kopf, B.M., Swan, D., Roan, V.P., Walsh, M.P. Status and prospects for zero emissions vehicle technology: report of the ARB Independent Expert Panel (2007), Prepared for State of California Air Resources Board, Sacramento, California, April 2007.

[Kammen et al, 2008].Kammen, M.D, Arons M.S, Lemoine, D., Hummel, H., Cost-Effectiveness of Greenhouse Gas Emission Reductions from Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Goldman School of Public Policy Working Paper No. GSPP08-014, 2008.

[Kang and Amine, 2005] Kang, S.H., Amine, K., Layered Li(Li0.2Ni0.15 + 0.5zCo0.10Mn0.55 − 0.5z)O2 − zFz cathode materials for Li-ion secondary batteries, J. Power Sources, 146, 654-657, 2005.

[Karden et al, 2007] Karden, E., Ploumen, S., Fricke, B., Miller, T., Snyder, K., Energy storage devices for future hybrid electric vehicles. Journal of Power Sources 168, 2–11, 2007.

[Karner and Francfort, 2007] Karner, D., Francfort, J., Hybrid and plug-in hybrid electric vehicle performance testing by the US department of energy advanced vehicle testing activity, Journal of Power Sources, vol. 174, no. 1, pp. 69-75, November 2007.

[Karplus et al, 2009] Karplus, J.V., Paltsev, S., Reilly, M.J., Prospects for Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the United States and Japan: A General Equilibrium Analysis, Global Science Policy Change MIT, Report. No 172, 2009.

[Tomic and Kempton, 2006] Tomic, J., Kempton, W., ZEVs in vehicle-to-grid (VG) applications, ZEV Symposium, CARB, 2006.

[Tomic and Kempton, 2007] Tomic, J., Kempton, W., Using fleets of electric-drive vehicles for grid support, J. Power Sources 168, 459-468, 2007.

[Turton and Moura, 2008] Turton, H., Moura, F., Vehicle-to-grid systems for sustainable development: an integrated energy analysis, Technological Forecasting and Social Change, 2008.

[Weber et al., 2009] Weber ,M., Fischer, M., Schwartz V.P., Batteries: Lower cost than gasoline? Energy Policy, 37, pp.2465-2468, 2009.

[Wellinhoff and Kempton, 2007] Wellinghoff, J., Kempton, W., DOE PHEVR&D Plan, External Draft, 2007.

[White, 2001] White, M.N., Transportation Transitions. Inc. Proceedings VIII Biennial Asilomar Conference, Ed. Transportation Research Board, 2001.

[Williams and Kurani, 2007] Williams D.B., Kurani S. K., Commercializing light-duty plug-in/plug-out hydrogen fuel cell vehicles: 'mobile electricity' technologies and opportunities, J. Power Sources 166, pp.549–566, 2007.