



2015



PERSPEKTIV PÅ ELDRIVNA FORDON

CHALMERS

PERSPEKTIV PÅ ELDRIVNA FORDON

2015

Redaktörer
Björn Sandén & Pontus Wallgren

Göteborg 2015

Version 2.0

E-publicerad på:

http://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/energi/perspektiv_ny_teknik/

Layout: BOID

Utgiven av: Chalmers

ISBN 978-91-88041-03-6

FÖRORD

MÖJLIGHETER OCH UTMANINGAR MED ELDRIVNA TRANSPORTER AV GODS OCH MÄNNISKOR

Mänsklighetens historia är till dels en historia om längre transportvägar, större utbyte av varor och mer resande. Det moderna transportsystemet är helt beroende av olja – ett ändligt fossilt bränsle som bidrar till klimatförändringar och lokala luftföroreningar. Begreppet "elektromobilitet" avser ett alternativt transportsystem som bygger på eldrivna fordon. Elektromobilitet uppfattas alltmer fördelaktigt eftersom det skulle kunna tillgodose vårt behov av rörlighet och samtidigt kringgå problem relaterade till både olja och biobränslen.

Övergången till ett eldrivet transportsystem är dock inte utan problem och en rad frågor kräver svar. Hur är det med elfordonens energieffektivitet och säkerhet? Hur miljövänliga är de? Kan brist på vissa metaller leda till en begränsning av antalet elfordon? I vilken utsträckning kommer körmönster att forma eller formas av nya typer av fordon? Är eldrift endast lämpligt för bilar och inte för tunga fordon eller är det tvärt om? Vilka nya affärsmodeller och statligt stöd behövs för att stimulera efterfrågan på elfordon?

Det saknas slutgiltiga svar på dessa och andra viktiga frågor. Däremot kan vi studera elektromobilitet från olika perspektiv för att skapa en mer mångfasetterad bild, döda myter, klargöra konflikter och fördjupa förståelsen.

Perspektiv på eldrivna fordon är en levande e-bok med regelbundna uppdateringar. Du kanske också vill läsa böckerna [Perspektiv på förnybar el](#) och [Perspektiv på förädling av bioråvara](#).

Björn Sandén
Pontus Wallgren
Göteborg

INNEHÅLL

1. OM ELEKTROMOBILITET.....	6
2. VARFÖR ELEKTROMOBILITET OCH VAD ÄR DET? ...	8
3. FORDONSKOMPONENTER OCH KONFIGURATIONER.....	10
4. ÄR ELEKTRISKA FORDON SÄKRARE ÄN FORDON MED FÖRBRÄNNINGSMOTORER?	12
5. HUR ENERGIEFFEKTIVA ÄR ELBILAR?	14
6. MINDRE MILJÖPÅVERKAN ELLER BARA ANNORLUNDA?.....	16
7. KOMMER BRIST PÅ METALLER BEGRÄNSA ANVÄNDNINGEN AV ELFORDON?.....	18
8. FRAMTIDA ENERGIKÄLLOR OCH ELBILARS KONKURRENSKRAFT	20
9. ELBILAR OCH FÖRNYBAR ELPRODUKTION	22
10. ELBILAR OCH KÖRMÖNSTER – ETT PROBLEM? ...	24
11. HUR FORMAR MÄNNISKAN ELBILEN OCH HUR FORMAR DEN OSS?	26
12. BEHÖVER ELEKTROMOBILITET ANDRA AFFÄRSMODELLER?.....	28
13. RÄCKER SUBVENTIONER FÖR ATT FÅ FART PÅ FÖRSÄLJNINGEN AV ELBILAR?	30
14. ELEKTROMOBILITET FRÅN ÅKERIETS PERSPEKTIV.....	32
15. HYBRIDBUSSAR – ETT FÖRSTA STEG MOT ELDRIVNA TUNGA FORDON?.....	34
16. ELEKTRIFIERING AV BILINDUSTRIN GENOM SAM- ARBETEN KRING FORSKNING OCH UTVECKLING ..	36

1

OM ELEKTROMOBILITET

Björn Sandén

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

Pontus Wallgren

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers**

* Avdelningen för miljösystemanalys

** Avdelningen för design & human factors

Att driva fordon med elektricitet har förordats som en väg till minskat oljeberoende, lägre utsläpp av växthusgaser och förbättrad luftkvalitet i våra städer. Just nu är det en spännande tid då nya fordon lanseras på bred front och mycket forskning pågår runt om i världen. Det handlar inte bara om att ersätta bensinbilar med elbilar.

"Elektromobilitet" är ett samlingsnamn för en mängd tekniska lösningar och system som kan användas för att transportera människor och varor med hjälp av elkraft.

I denna bok vill vi bringa klarhet i vad elektromobilitet är och vilka fördelar det kan ha, men också identifiera utmaningar och hinder och diskutera vilka insatser som kan komma att krävas av olika aktörer för att möjliggöra en övergång till mer elektromobilitet.

Människan har alltid rört på sig och samtidigt fraktat varor och verktyg, till en början till fots över savannen, senare även med hjälp av rid- och dragdjur eller med vind- och muskelkraft över hav och sjöar. Med den industriella revolutionen och ångmaskinen kom koldrivna tåg och skepp och framväxten av kontinentala och globala transportsystem. För drygt hundra år sedan lanseras bilen som ett alternativ till häst och vagn för att mekanisera även de lokala transporterna. I bilens barndom var framdrivning med ånga, el och förbränningsmotor ungefär lika vanliga. Men när Henry Ford började bygga bilar med förbränningsmotor på löpande band blev de snabbt billigare och fick ett försprång och började utvecklas parallellt med den framväxande oljeindustrin. Förbränningsmotorn blev snart helt dominerande och idag är 90 procent av alla transporter beroende av olja.

Historien slutar inte här. Vi fortsätter att förflytta oss själva och våra varor allt längre och antalet människor på jorden ökar. Samtidigt är transporterna beroende av tillförsel av energi från ändliga resurser och förbränningen av bensin och diesel leder till att luften i städerna försämras och växthuseffekten drivs på. Huvudfrågan som vi försöker besvara i denna korta bok är om en fortsatt elektrifiering av transporterna – elektromobilitet – kan vara lösningen. Ett tema är vilka fördelar

som elfordon har och hur man kan komma tillrätta med deras nackdelar (kapitel 2). Ett annat tema är sannolikheten för att människor kommer att ta till sig elbilar och vilka förändringar som måste ske för att eldrift ska kunna bli ett verkligt alternativ till förbränningsmotorn.

En slutsats som man kan dra är att elbilar inte nödvändigtvis är mindre säkra (kapitel 4), dyrare, eller mer komplicerade än bensin- och dieslbilar (kapitel 3). Vad som är klart är dock att elbilar kommer att kräva samma mängd kunskap och erfarenhet som vi har skaffat oss om förbränningsmotordrivna bilar och att skaffa den tar tid. En annan slutsats är att de miljömässiga fördelarna med eldrift beror på hur elen produceras (kapitel 8). Om elen produceras genom att elda fossila bränslen är fördelarna ganska små, medan sol- och vindkraft kan ge stora miljömässiga fördelar. I det senare scenariot kan man även tänka sig att laddningen av elbilarna sker när det finns överskott på el och att elbilarna på så sätt kan användas för att balansera elsystemet och därmed underlätta för högre andelar sol- och vindkraft i systemet (kapitel 9).

En stor nackdel med elbilar är den höga kostnaden för batterier, både räknat i pengar och miljöbelastning. Hybridfordon med mindre batterier kan därför vara en lösning trots deras högre komplexitet (kapitel 10). Ett annat alternativ, eller ett komplement, är att använda bilarna på nya sätt, till exempel i bilpooler (kapitel 12). Eldriftens tillkortakommanden blir extra tydliga i lastbilssektorn där vägen till en stor andel eldrift förmodligen är mycket lång (kapitel 14), även om så kallade "elvägar" öppnar för nya möjligheter. Däremot ser det ut som att stadsbussar kan bli det första transportslaget – vid sidan om tåg och elcyklar – där eldrift blir ett konkurrenskraftigt alternativ (kapitel 15).

Ett tredje tema som blir tydligt är att vi under drygt hundra år av förbränningsmotordrivna bilar har låst in oss i ett teknisksystem. Det gäller såväl fysisk infrastruktur som kunskapsproduktion och vanor (kapitel 11). Att bryta denna låsning kommer att ta tid och kräva initiativkraft från både företag och myndigheter, konsumenter och medborgare.

2

VARFÖR ELEKTROMOBILITET OCH VAD ÄR DET?

Anders Grauers

Institution för Signaler och system, Chalmers*

Magnus Karlström

Chalmers Industriteknik

* Avdelningen för automation

VAD ÄR ELEKTROMOBILITET?

Elektromobilitet kan beteckna alla fordon som har elektriska motorer för drivning, men ur ett systemperspektiv är det intressantare att skilja ut de fordon där en del eller all energi kommer från elnätet. Att energin kommer från elnätet betyder att samma fordon kan drivas från många olika energikällor vilket ökar energiförsörjningssäkerheten. Dessutom kan el produceras med mycket små utsläpp av koldioxid, även om det idag inte är så i många länder.

De mest aktuella fordonstyperna för elektromobilitet är *batteri-elfordon*, där energin för körningen lagras i ett batteri på fordonet. En annan lösning är *elvägar* med strömförsörjningssystem som för över energi till fordonet medan det kör. Detta kan likna kontaktledningarna som används för tåg, men kan även ske med strömmatning ifrån skenor i vägbanan eller med trådlös överföring med magnetfält från vägen. En tredje lösning är *bränslecellsfordon* drivna med en bränslecell som omvandlar vätgas till elektricitet under körning. Vätgasen kan bland annat produceras med el, och lagras i en trycktank på fordonet. Alla dessa lösningar är tekniskt rimliga, men de har lite olika styrkor och svagheter. För tillfället är de dyra, men det finns förutsättningar för att de alla kan nå konkurrenskraftiga priser på sikt. Vilken eller vilka lösning som kommer att användas kan inte avgöras idag, för det beror på så många olika faktorer som ännu är osäkra.

Ofta är det intressant att göra *hybridfordon* som kombinerar olika tekniklösningar på samma fordon, just för att komma runt svagheter hos enskilda tekniker. Laddhybrider är ett exempel på detta. I dem minskas storleken på batterier och elmotor, och därmed minskar priset, genom att de kombineras med en förbränningsmotor som startas när batteriet är tomt eller då elmotorns effekt inte räcker.

DRIVKRAFTER OCH HINDER FÖR ELEKTROMOBILITET

En stark drivkraft för elektromobilitet är begränsad tillgång på olja i framtiden, vilket gör att det är en ekonomisk risk att vara beroende av den för transporter. Dessutom gör koldioxidutsläppens klimateffekter att olja inte heller är miljömässigt hållbart.

Det finns dock hinder för en elektrifiering av vägtransporter, bland annat höga priser på batterier, elmotorer och kort körsträcka vid batteridrift. Dessutom kräver en övergång till elektromobilitet även utbyggnad av ny infrastruktur, anpassning av lagar och uppbyggnad av nya tillverkningsindustrier, vilket gör att omställningen kommer behöva ta tid.

Ett väl så viktigt hinder är även att köpare av bilar är nöjda med konventionella bilar och att elfordon för de flesta framstår som aningen sämre än bränsledrivna bilar, samtidigt som de är dyrare. Detta gör att vi inte kan vänta oss att omställningen kommer att drivas av enbart köparnas efterfrågan, utan det krävs andra drivkrafter som till exempel regler för maximala koldioxidutsläpp från nya bilar, miljöskatter på fossila bränslen och miljöbilspremier. På sikt kan ökande oljepris även bli en bidragande drivkraft, men det är osannolikt att enbart ökande oljepris skall driva fram en övergång till eldrivna vägtransporter i närtid.



Figur 2.1 Siemens och Scania samarbetar för att utveckla lösningar för framtidens godstransport på landsväg, så kallade elvägar. Bilden är från Siemens testbana för eHighway utanför Berlin. (Källa: Scania)

3

FORDONS- KOMPONENTER OCH KONFIGURATIONER

Sonja Tidblad Lundmark

Mikael Alatalo

Torbjörn Thiringer

Emma Arfa Grunditz

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

Bengt-Erik Mellander

Institutionen för Teknisk fysik, Chalmers**

* Avdelningen för elteknik, ** Avdelningen för nukleär teknik

HÖGSPÄNDA ELKOMPONENTER FÖR EL OCH ELHYBRIDFORDON

I ett fordon som skall framdrivas helt eller delvis av el finns det följande elkomponenter: batteri, kraftelektronisk omriktare, elmotor samt ofta en ombordladdare.

Batteriet innehåller betydligt mer energi än ett vanligt 12 volts bilbatteri. För att framdriva ett fordon av Volvo V70:s storlek elektriskt i 50 km krävs ett batteri på 150 kg. I hybridbilar där endast marginell elektriskt framdrivning ska ske (typ Toyota Prius classic) är batteriet avsevärd mindre. Batteriet har typiskt en spänningsnivå på 300–600 V, vilket är en så hög spänning att elsäkerheten alltid måste tas i beaktande.

Till batteriets utgångar finns det minst en omriktare, typiskt kallad 'converter' eller 'inverter' även på svenska. Den omvandlar batteriets likspänning till trefasiga växelspanningar.

De trefasiga utgångarna från en omriktare matar sedan en elmotor som kan ha såväl motor- som generator-drift. I en elbil finns typiskt endast en elmotor men i hybridbilar finns det oftast två där den ena kan användas till att ladda batteriet från förbränningsmotorn. Den vanligaste elmotortypen har magneter av sällsynta jordartsmetaller, vilket gör elmotorerna kompakta men kostsamma.

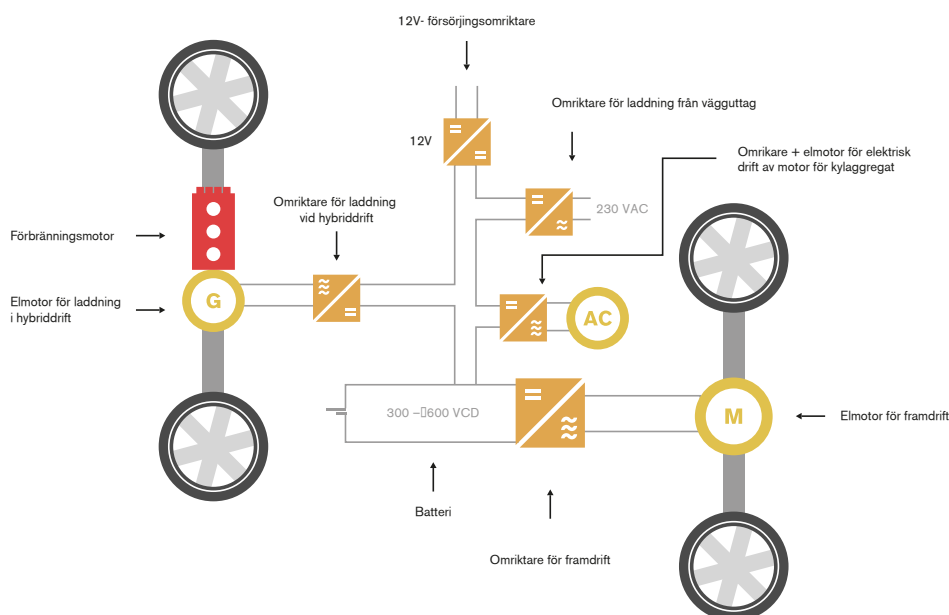
Förutom dessa huvudkomponenter finns det ofta en ombordladdare, vars uppgift är att ladda bilen från ett vanligt eluttag. Då kan man ladda drygt 3 kilowatt, vilket innebär 20 km körning för varje timmas laddning. Det finns högre laddningsnivåer, men för en personbil är ofta en sådan laddare lokaliserad stationärt och inte ombord.

Vidare finns det en likspänning-till-likspänningsomvandlare som omvandlar den högspända likspänningen till 12 V likspänning. Det innebär att den klassiska 12 V-generatorn i en vanlig bil inte behövs.

Alla dessa komponenter genererar betydande värmeförluster och därför behövs vattenkylning, dels för att komponenterna inte får bli för varma men även för att resistansen stiger och förlusterna ökar ännu mer, när det blir varma.

KONFIGURATIONER

När det gäller elhybridfordon har man i princip två huvudkoncept. 1) Seriehybriden: I denna drivs alltid fordonet via en elmotor från batteriet och förbränningsmotorn laddar då batteriet. Lite som ett klassiskt dieselelektriskt lok. 2) Parallellhybriden, då kan både en elmotor och en förbränningsmotor såväl var för sig som tillsammans driva fordonet. Vanligast är parallellkonceptet, se ett exempel i Figur 3.1. Det förekommer även varianter av dessa koncept och blandning dem emellan.



Figur 3.1 Ett exempel på en parallellhybrid med omriktare för laddning från väggtugg.

SVÅRIGHETER OCH MÖJLIGHETER

Med tanke på den uppsjö av olika lösningar det finns på elbilskonstruktioner, kan man dra slutsatsen att det inte finns en lösning som är överlägsen alla andra. I stället blir det en fråga om vad som prioriteras. Generellt kan man säga att det är strävan efter hög verkningsgrad och små kompakta komponenter som ställs mot kostnad. Dock är det också viktigt att beakta säkerhet, ljudnivå, återvinningsaspekter med mera.

Möjliga förbättringar på nuvarande system kan nås med till exempel integrering av komponenter, vilket kan ge kompaktare billigare system. En annan möjlighet är bättre material. Man förväntar sig till exempel förbättrad verkningsgrad hos omriktarna om det vanliga halvledarmaterialet kisel ersätts med kiselkarbid.

4

ÄR ELEKTRISKA FORDON SÄKRARE ÄN FORDON MED FÖRBRÄNNINGS-MOTORER?

Fredrik Larsson

Institutionen för Teknisk fysik, Chalmers*
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

Petra Andersson

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut***

Bengt-Erik Mellander

Institutionen för Teknisk fysik, Chalmers*

* Avdelningen för nukleär teknik

** Elektronik

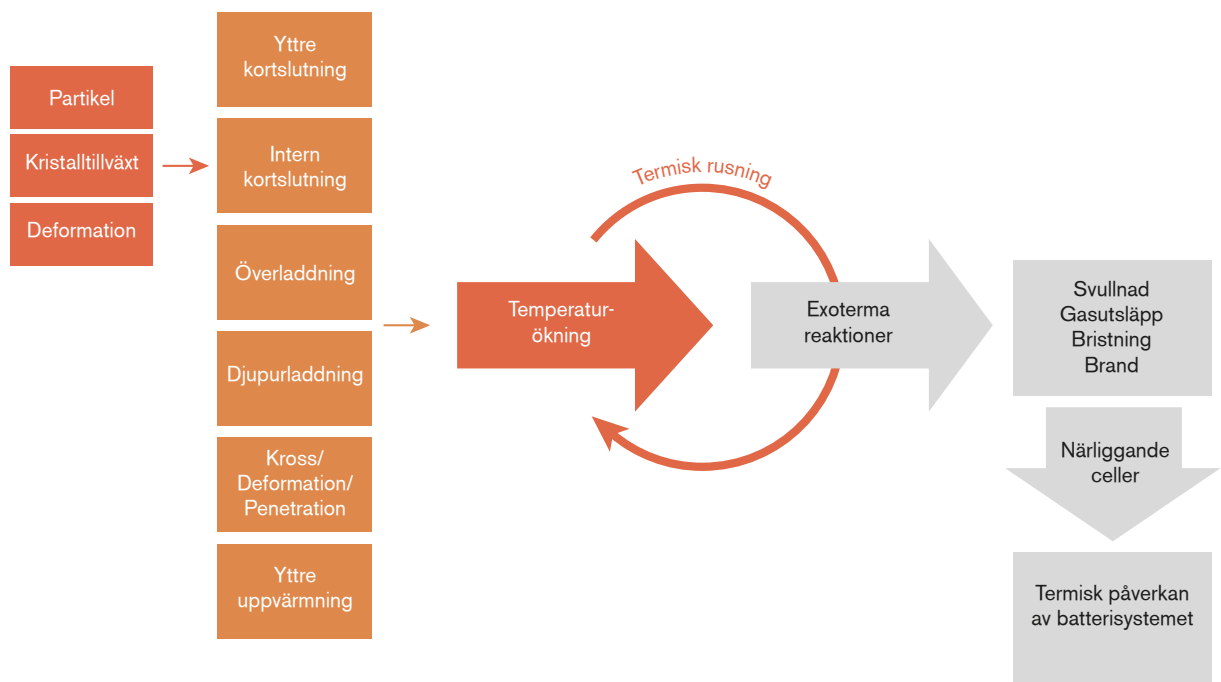
*** Brandteknik

Elektriska fordon har många fördelar jämfört med fordon med förbränningsmotorer, till exempel har fordonen inga tankar för bensin eller diesel vilket minskar brandrisken avsevärt. Men vilka risker är förknippade med de batterisystem som används i elfordon? Litiumjonbatterier har högt energi- och effektinnehåll och används därför i hög utsträckning i de fordon som introduceras idag. Dessa batterier kan emellertid ha vissa nackdelar vad gäller stabilitet, dels i form av kemisk stabilitet (reaktioner mellan batteriets ingående material) och dels termisk stabilitet, det vill säga värmetålighet, vilket kan medföra risker för brand och rökutveckling. De höga strömmarna och spänningarna i hybrid- och elfordon kan också innebära risker.

Litiumjonbatterier är känsliga för överhettning, något som kan uppkomma av många olika orsaker. Den kan vara orsakad av överladdning, överurladdning, mekanisk påverkan som till exempel kollisionsvåld, extern kortslutning, intern kortslutning extern uppvärmning etc. Överhettningen kan i sin tur orsaka accelererande

reaktioner som frigör värme (exoterma reaktioner), gasbildning, brand och i värsta fall explosion. Alltså kan konsekvenserna bli en så kallad *termisk rusning* med stor värmeutveckling, rökutveckling och eventuellt en tryckvåg.

Dessa risker är relativt väl kända. För hög säkerhet behövs först och främst en säker kemi och säker utformning av batteriets celler. Vidare krävs en god system-design och integration i fordonet, inklusive deformationsskydd. Genom flera lager av säkerhet på olika nivåer kan en hög säkerhet uppnås. I kapitel 4 av *Systems Perspectives on Electromobility* diskuteras ämnesområdet vidare.



Figur 4.1. Möjliga orsaker till och konsekvenser av en termisk rusning i ett litiumjonbatteri.

5

HUR ENERGI-EFFEKTIVA ÄR ELBILAR?

Sten Karlsson
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

*Avdelningen för fysisk resursteori

Energieffektiva bilar är bra för den enskilde konsumentens ekonomi, men också viktiga för att hålla nere behovet av energi, speciellt ändliga energiresurser, och för att minimera utsläppen av växthusgaser. När nu allt fler elbilar finns på marknaden kan man fråga sig hur energieffektiv elbilen är egentligen, speciellt i relation till konventionella bilar. Energieffektiviteten för just elbilar är också viktig ur en annan synvinkel: En effektivare elbil använder mindre mängd energi och ökar därmed räckvidden. Räckvidden i kommersiella elbilar är idag relativt begränsad, på grund av dyra batterier, se kapitel 10.

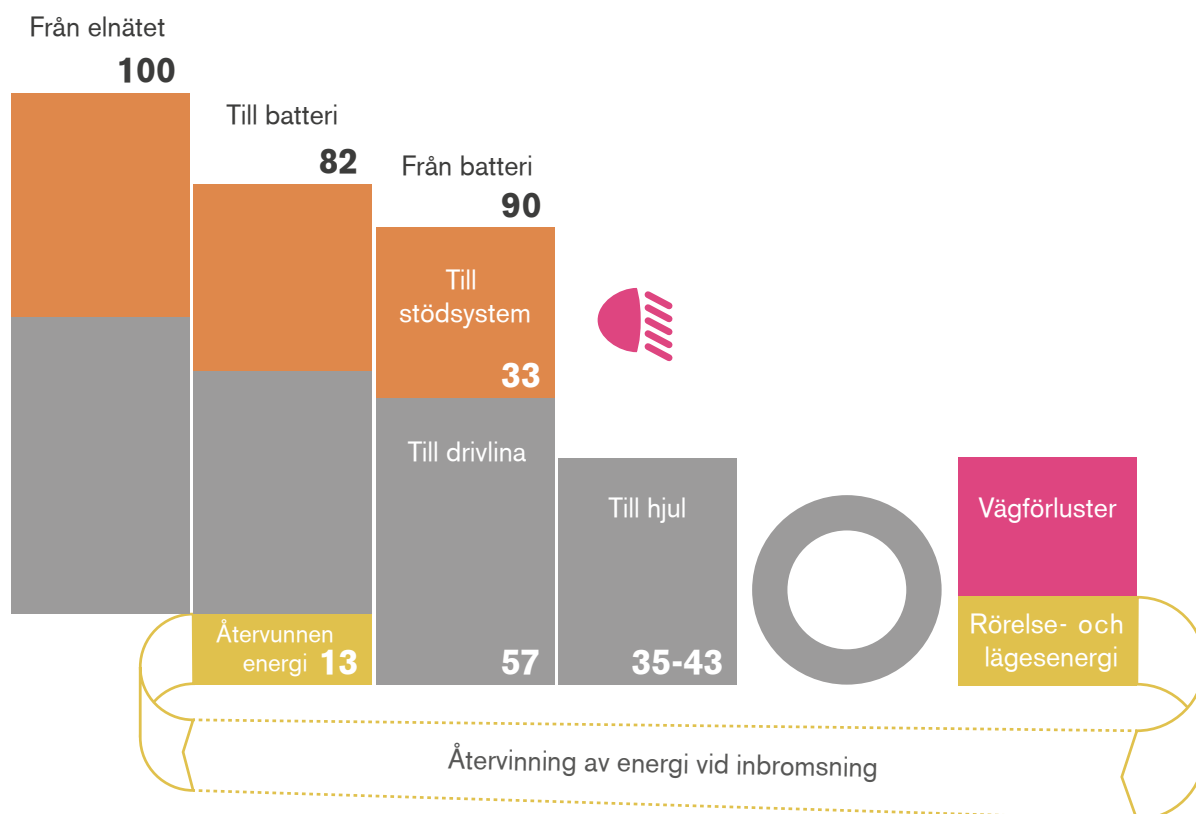
En elbil har en kedja av komponenter som omvandlar elenergin från elnätet till energi vid hjulen: laddare, batteri, kraftelektronik och elmotor. Alla komponenterna har mycket hög verkningsgrad. Dessutom kan energi vid inbromsningar enkelt återvinnas genom att elmotorn då fungerar som generator och levererar energi baklänges i kedjan åter till batteriet. Sammantaget motsvarar därför drivenergin vid hjulen mellan 60 och 80 % av elenergin som togs från elnätet vid laddning. Ett exempel på energiflödena i en elbil ges i Figur 5.1. Över 20 % av energin som levereras från batteriet till hjulen är återvunnen energi. Elbilen har 2–5 gånger högre verkningsgrad än den konventionella bilen. Skillnaden är störst i stadstrafik med låga hastigheter och med många stopp och inbromsningar som ger stora möjligheter till energiåtervinning. Skillnaden är lägre vid jämn och hög hastighet på en motorväg, där också den konventionella bilen är som effektivast.

Figuren visar också att i en elbil kan övrig energianvändning (utöver vad som går till hjulen för att driva fram bilen) vara avsevärd, här över 40 % av tillförd energi från nätet. En stor del av denna energi går till komfortenergi; för att hålla kupén varm under vintern och kyla den på sommaren. I en konventionell bil används de stora

värmeförlusterna från motorn till kupévärm och ingen extra tillförsel behövs. Den effektiva elbilen måste ta komfortenergi från batteriet. Värmebehovet kan därför halvera elbilens effektivitet och räckvidd under vintern.

Vi har konstaterat att elbilen i sig är en effektiv energiomvandlare, men för systemeffektiviteten har det också betydelse hur energin till bilen är producerad. I ett fossilt system kan el produceras från olja med cirka 40 % verkningsgrad, medan bensin eller diesel kan fås med 80–90 % effektivitet. Den lägre verkningsgraden i den bränsledrivna bilen kompenseras alltså till stor del av en högre effektivitet i energiframställningen.

Om man istället ser på ett förnybart energisystem ser bilden annorlunda ut. I ett förnybart energisystem som förlitar sig på solenergi kan elen vara producerad av solceller som omvandlar solenergi till el med en verkningsgrad på 10–20 %. Ett förnybart drivmedel motsvarande bensin/diesel kan produceras genom att en bioenergigröda som salix växer med hjälp av solen och sen omvandlas till ett lämpligt biodrivmedel. Verkningsgraden från solenergi till biodrivmedel för sådana system är under 1 %. I ett förnybart energisystem där vi förlitar oss på solen kommer alltså elbilen i jämförelse med den konventionella bilen att ha en mycket högre effektivitet inte bara i bilen utan också i framställningen av drivmedlet.



Figur 5.1 Energiflöden för en elbil (Peugeot Ion) uppmätta under verklig körning i Belgien. Siffrorna anger procent av energin som laddats in från elnätet. Orange färg betecknar andelen som går till stödsystem som exempelvis belysning, grå färg betecknar andelen som går till framdrivning.

6

MINDRE MILJÖPÅVERKAN ELLER BARA ANNORLUNDA?

Anders Nordelöf
Anne-Marie Tillman

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för miljösystemanalys

El- och hybridfordon utmålas ofta som en viktig del av lösningen på de miljöproblem som orsakas av våra vägtransporter. Men är de verkligen det? Elektrifierade drivlinor är mer energieffektiva än motsvarande konventionella baserade på diesel- eller bensindrivna motorer och helt elektrifierade fordon ger inga direkta avgasutsläpp. Men å andra sidan kräver de elektricitet, och den måste produceras på något sätt, med större eller mindre miljöpåverkan. El- och hybridfordon innefattar också nya avancerade komponenter, vars produktion kräver naturresurser och ger upphov till utsläpp.

Ett sätt att ta reda på om el- och hybridfordon är bättre ur miljösynpunkt är att göra livscykelanalyser, och det finns också ett stort antal sådana gjorda. Eftersom man kan göra livscykelanalyser på många olika sätt, med olika grundantaganden och med olika avgränsningar, ter sig resultaten av alla dessa studier vid en första anblick som högst varierande och ibland till och med motsägelsefulla. Men genom att fördjupa sig i studierna och se vad de tillsammans säger går det att dra att antal mer generella slutsatser ur den samlade litteraturen.

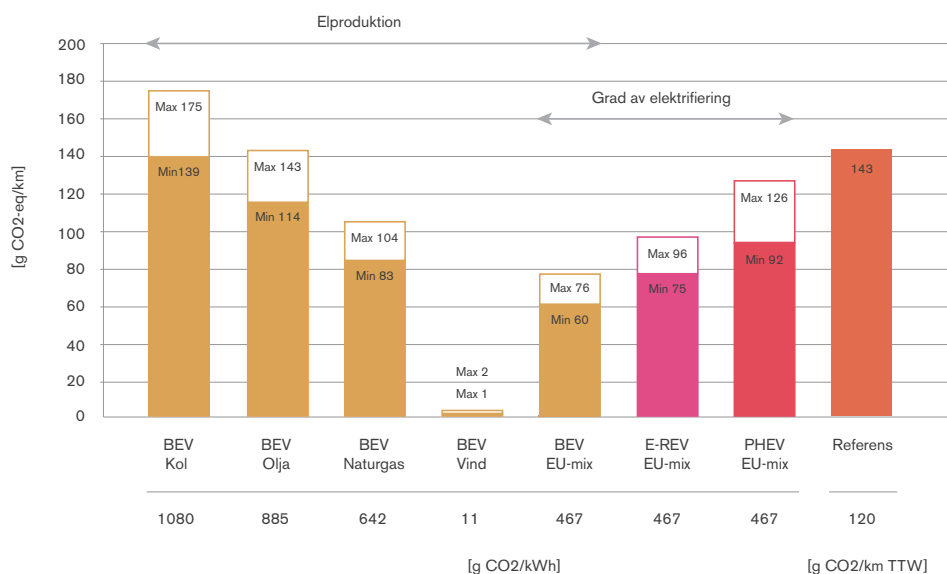
Laddhybrider och helt elektrifierade fordon har potential att väsentligt minska utsläppen av växthusgaser från fordon, men hur väl denna potential kan realiseras beror på hur elen som driver fordonet är framställd. En elproduktion som är baserad på fossila bränslen, som kol- eller oljeeldad elkraft, äter i värsta fall helt upp de vinster som görs genom att själva bilen är mer energieffektiv (se Figur 6.1). Annorlunda uttryckt – elektrifiering av fordon är en viktig del av lösningen på klimatproblemen om, men endast om, produktionen av el till dem i allt väsentligt görs fri från fossila bränslen.

Förutsatt låga utsläpp av växthusgaser i elproduktionen ökar vinsterna med elektrifiering med ökande grad av elektrifiering. Det vill säga att heelelektriska bilar är bättre än laddhybrider som i sin tur är bättre än hybrider utan extern laddning. Hybridisering utan extern laddning innebär en effektivisering av drivlinan, men att denna fortfarande drivs med bränsle och alltså alltid har ett visst utsläpp av avgaser.

Elektrifierade drivlinor gör mest miljönytta i stadstrafik. Energianvändningen, och därmed utsläppen av växthusgaser, minskar mest vid körning med många stopp och med låga hastigheter. Samtidigt minskar utsläppen av andra avgaser, som har negativa hälsoeffekter. Vid ren eldrift släpps det inte ut några avgaser alls från fordonet. Nyttan av detta är störst i städer, med tät trafik och många människor som utsätts för avgaser. I stadstrafik blir den begränsade räckvidden hos helt elektrifierade bilar också ett mindre problem.

Det krävs mer material och mer energi för att producera elektriska drivlinor jämfört med konventionella. Eftersom man därmed får en högre miljöpåverkan från produktionen, bör de i första hand användas i fordon som används intensivt och därmed gör en lång total körsträcka.

På senare tid har livscykelanalyser uppmärksammat att utsläpp från brytningen av metaller till elfordon kan utgöra ett problem. Användningen av litium och andra kritiska material, som exempelvis sällsynta jordartsmetaller, är också viktig ur ett resursperspektiv. Resursknapphet kan rent av hindra en storskalig introduktion av elfordon. Men effektiva återvinningssystem för litium och andra ovanliga metaller kan bidra till att undvika detta och samtidigt minska energiåtgången när fordonen produceras. Därför är det en mycket viktig utmaning för framtiden att sådana system kommer på plats.



Figur 6.1 Utsläpp av växthusgaser, hela vägen från utvinninen ur naturen till framdrivningen av ett fordon, för olika typer av elproduktion, till vänster, och fordon med olika grad av elektrifiering, till höger. BEV, elbilar med endast batteri; E-REV, elbilar med s.k. räckviddsförlängare (range extender); PHEV, laddningsbara hybrider. Referensfordonet släpper ut 120 g CO₂/km. Källor: Edwards et al. (2011), European Parliament (2008), R. Dones et al. (2007)

7

KOMMER BRIST PÅ METALLER BEGRÄNSA ANVÄNDNINGEN AV ELFORDON?

Maria Ljunggren Söderman

Institutionen för energi och miljö, Chalmers*
IVL Svenska Miljöinstitutet

Duncan Kushnir

Björn Sandén

Institutionen för energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för miljösystemanalys

Dagens moderna personbilar innehåller en mängd olika material jämfört med bilarna som såg dagens ljus i början av 1900-talet. Trenden att bygga allt säkrare, miljövänligare och smartare bilar pekar på att materialen kommer att bli ännu fler framöver och att sällsynta metaller kan komma att spela en allt viktigare roll. Till exempel behöver katalysatorerna platina, palladium och sällsynta jordartsmetaller för att kunna rena avgaserna. Elektronik i säkerhets- och styrsystem, liksom bild- och ljudanläggningar och andra funktioner med internetuppkoppling, innehåller ett 20-tal metaller som klassats som kritiska.

I elfordon finns dessutom batterier, elmotor och högspänningselektronik. I elmotorn hittar vi sällsynta jordartsmetaller, i batterierna litium, kobolt och nickel, och fler ledningar kräver mer koppar. Å andra sidan kräver rena elfordon, som inte behöver katalysatorer, mindre platina och palladium än fordon med förbränningsmotorer.

Kommer jordens reserver av metaller att räcka för att vi ska kunna börja använda elfordon i stor skala? Och kommer vi att kunna utvinna metallerna i tillräckligt hög takt för att öka antalet elfordon snabbt nog för att begränsa trafikens bidrag till växthuseffekten?

För att få en uppfattning jämför vi användningen av metaller i en laddhybridbil med jordens kända reserver av respektive metall, samt med den nuvarande utvinningstakten. Av detta får vi två indikatorer: (a) det maximala antalet laddhybrider som

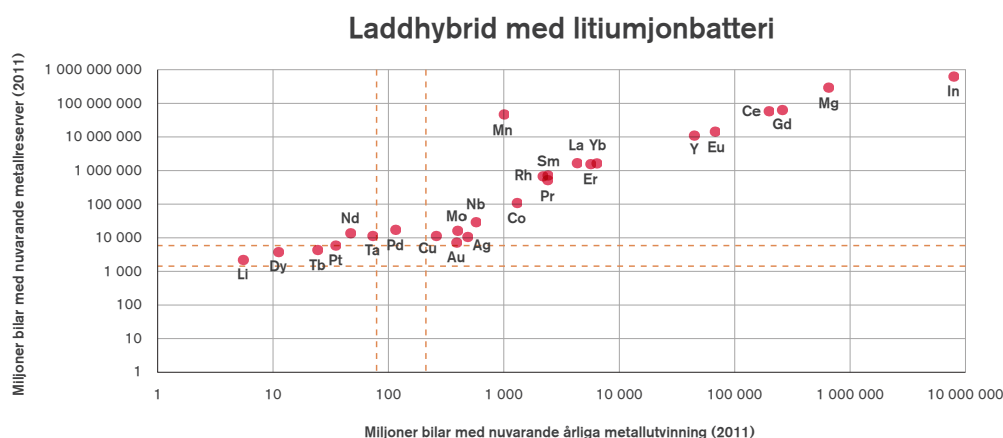
jordens reserver av olika material räcker till, och (b) den maximala årliga ökningen av antalet laddhybrider som den nuvarande utvinningen tillåter om all utvunnen metall används till laddhybrider. Resultatet finns i Figur 7.1. Hur ska figuren tolkas? Metallernas olika positioner på y-axeln visar på en kraftig spridning vad gäller hur många laddhybrider jordens kända reserver räcker till. Längst ner finner vi litium (Li) som sätter en gräns vid två miljarder laddhybrider. Den nedre horisontella röda linjen indikerar det totala antalet bilar i världen med en biltäthet på 0,2 bilar per person (vi är snart där). Den övre linjen visar antalet bilar globalt om snittet når upp till 0,5 bilar per person (Västeuropas nuvarande biltäthet).

Enligt den här grova uppskattningen verkar de kända reserverna vara tillräckliga för de flesta metallerna i en laddhybrid även med hög biltäthet i världen, möjligen med undantag av litium, dysprosium och terbium.

Positionerna längs x-axeln indikerar möjliga begränsningar i den årliga tillväxten av laddhybridflottan på grund av begränsad utvinningstakt. Det är återigen litium som begränsar, denna gång vid fem miljoner nya laddhybrider per år. I jämförelse producerades 60 miljoner nya personbilar 2014, varav ca 300 000 elfordon.

Vår bedömning är att både reserver och årlig utvinning av litium förmodligen kan öka så att en stor del av den globala fordonsflottan kan förses med litumbatterier. Men utvecklingen är långt ifrån problemfri. Rena elbilar skulle typiskt kräva fem gånger större batterier jämfört med laddhybrider. Gigantiska återvinningssystem, som idag är helt olönsamma, skulle behöva byggas upp och nya geopolitiska konfliktzoner skulle kunna uppstå då de största litiumresurserna finns i ett begränsat område i Sydamerika.

Dessa problem kan minskas eller helt undvikas genom utveckling av många olika batteritekniker, smartare fordon och effektivare transportsystem. För långsiktig hållbarhet krävs också teknik, organisation och styrmedel för ökad återvinning, inte bara av litium utan av ett stort antal metaller. Klok användning är en förutsättning för att framtida generationer också ska ha tillgång till jordens unika resurser.



Figur 7.1 Metallbehoven för laddhybrider med litiumjonbatteri. Diagrammet visar maximalt antal laddhybrider som de nuvarande reserverna skulle räckta till (y-axeln) samt hur många laddhybrider som maximalt kan tillverkas per år med nuvarande utvinningstakt av metallerna (x-axeln). Vi antar att varje metall endast används i personbilar och att inga materialförluster sker.

8

FRAMTIDA ENERGIKÄLLOR OCH ELBILARS KONKURRENSKRAFT

Fredrik Hedenus

Maria Grahn

Institutionen för energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för fysisk resursteori

Den framtida marknaden för elbilar beror på flera faktorer: den tekniska utvecklingen av till exempel batterier och laddsystem, regelverk, allmänhetens acceptans och kundernas krav.

Eftersom elbilar "tankas" med el är de starkt sammanlänkade med elsystemet. Kilo-meterkostnaden för att köra en elbil är kopplad till elpriset och elbilens miljöpåverkan beror på hur elen producerats – en elbil som drivs av förnybar el utgör en mindre miljöpåverkan än en som drivs med el producerad i ett kolkraftverk.

Om el och vätgas produceras på ett sätt så att utsläppen av koldioxid blir mycket låga, finns det flera fordonstekniker som ger försumbara utsläpp av växthusgaser: elhybridbilar, laddhybrider, elbilar och bränslecellsbilar men också bilar med förbränningsmotorer som drivs av biobränslen.

Konkurrenskraften hos en fordonstyp beror bland annat på kostnaden för själva fordonet i kombination med bränslekostnaden. En kritisk fråga är hur begränsad tillgång på olika energikällor kommer att påverka priset på el och bränslen i framtiden. Om tillgången på råolja blir begränsad kan till exempel oljepriset öka snabbt. Det är därför viktigt att även ta hänsyn till utvecklingen av energisystemet när man bedömer olika fordonstypers framtida konkurrenskraft.

Vi har utforskat olika framtidsscenarier med hjälp av datamodellen GET (Global Energy Transition) som räknar fram vilken mix av olika bränslen och tekniker som uppfyller världens efterfrågan på energi till lägst kostnad. Vi körde modellen två

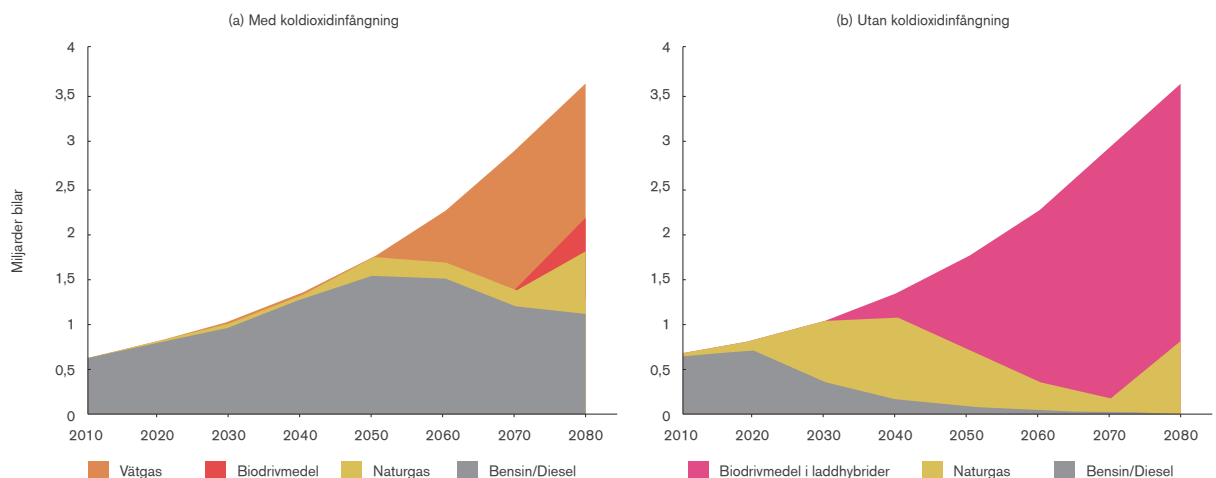
gångar, båda gångerna med kravet att koldioxidkoncentrationen i atmosfären ska stabiliseras vid 400 miljondelar, vilket är ungefär dagens koncentration. I den ena körningen antogs att teknik för infångning och lagring av koldioxid (CCS, carbon capture and storage) finns tillgänglig, i den andra inte. CCS-teknik är för närvarande under utveckling och det finns fortfarande tekniska och politiska hinder för storskalig användning. Det är därför oklart om tekniken kommer att finnas tillgänglig i framtiden.

Figur 8.1 visar resultaten. Fossila bränslen är mer framträdande i scenariot med CCS, se Figur 8.1a. Anledningen är att CCS gör det billigare att minska utsläppen inom andra sektorer, vilket gör att man kan tillåta sig mer utsläpp inom transportsektorn och ändå nå koldioxidkoncentrationsmålet. CCS-scenariot ger även en stor andel vätgasdrivna bränslecellsbilar. Det beror på att CCS kan göra det möjligt att producera vätgas billigt med hjälp av kol utan att påverka klimatet.

I scenariot utan CCS produceras el främst från solenergi. I det scenariot ersätts först bensen och diesel av naturgas, se Figur 8.1b. Men på längre sikt kommer laddhybrider där förbränningsmotorn drivs med biobränsle att bli dominerande. El kommer då att stå för omkring 65 % av de körda sträckorna.

Det finns främst ett skäl till att bränslemixen ser olika ut i de två scenarierna, nämligen förändrade produktionskostnader. När CCS används kan vätgas produceras till nästan halva kostnaden jämfört med el. Om CCS inte är tillgängligt är produktionskostnaderna för el och vätgas ungefär lika stora. Det gör att det finns fler vätgasbilar i CCS-fallet jämfört med fallet utan CCS.

Hur kostnaden för att producera batterier utvecklas är kanske den viktigaste faktorn som kommer att avgöra om vi kommer att ha elbilar på vägarna i framtiden. I den här analysen visar vi först och främst att de olika energisektorerna är kopplade till varandra och att beslut kring hur vi väljer att producera el i framtiden faktiskt kan komma att påverka vilka bilar vi kör.



Figur 8.1 Framtida bränsleval i världens bilar med antagande om att koldioxidinfångning (a) blir en storskaligt utbyggd teknik respektive (b) inte blir en storskaligt utbyggd teknik.

9

ELBILAR OCH FÖRNYBAR ELPRODUKTION

Lisa Göransson

David Steen

Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för energiteknik (L. Göransson), Avdelningen för elteknik (D. Steen)

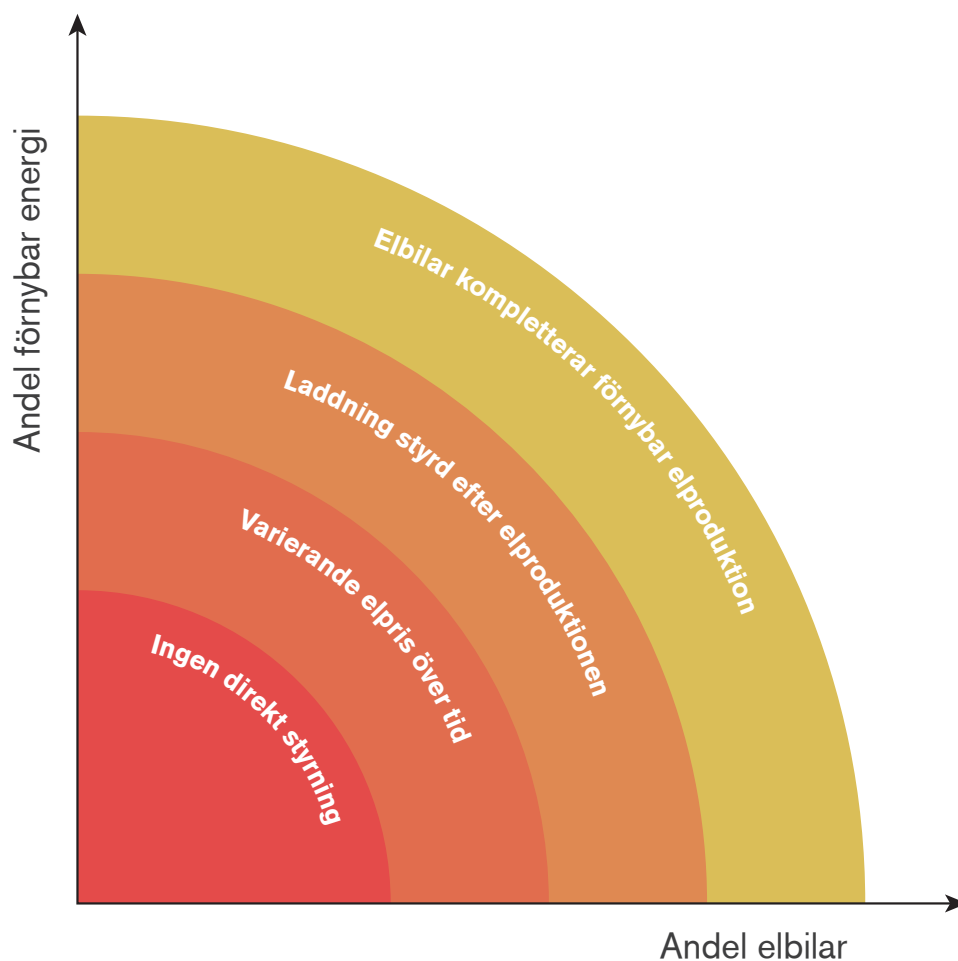
Elbilar kan förbättra förutsättningarna för förnybar elproduktion, så som vindkraft och solkraft. En förutsättning för detta är att användarna får incitament att ladda elbilen när det är bra från ett elnätsperspektiv. Den här texten beskriver två möjliga utmaningar med förnybar elproduktion där elbilar kan bidra, och hur laddningen behöver styras för att möjliggöra det bidraget.

Elproduktion från förnybara energikällor kan leda till vissa utmaningar för elkraftsystemet. En utmaning framkommer då elproduktionen placeras på platser där det tidigare inte funnits någon elproduktion. Då är det kostsamt att bygga ut elnäten för en maxproduktion som sällan inträffar och oftast mer ekonomiskt att inte ta tillvara på all el under dessa tider. Elbilar kan vid sådana tillfällen tillvarata el som annars gått till spillo, under förutsättningen att elbilarna är tillgängliga för att laddas på rätt plats och vid rätt tid. Den geografiska placeringen av bilarna är svår att ändra på då den är styrd av användningsmönstret, men tiden för laddning är mer flexibel.

Då elproduktionen från sol- och vindkraft varierar över tiden ökar kraven på övriga produktionsanläggningar, så som kol- och gaskraftverk, att kunna variera sin produktion. Baslastproduktion, till exempel kol- och kärnkraftproduktion är som mest effektiv om produktionen sker på en viss effektnivå. Variationer i effektnivå, särskilt uppstarter till följd av tillfälliga avstängningar, innebär att kostnader och utsläpp ökar per producerad enhet el. Om laddningen av elbilar sker vid tider då efterfrågan på el är låg men sol- och vindelproduktion är hög minskas produktionsvariationerna för de övriga anläggningarna.

I Figur 9.1 beskrivs i vilken utsträckning laddningen av elbilar behöver styras för att underlätta integrationen av förnybar elproduktion. Det beror dels på mängden elbilar i systemet, liksom på den årliga produktionen av el från sol- och vindkraft.

Vid låga nivåer av sol-och vind-el och få elbilar krävs ingen direkt styrning av laddningen eftersom påverkan från den förnybara elproduktionen är låg samtidigt som påverkan från elbilarna är begränsad. Vid högre nivåer av vindkraft kan det krävas att laddningen av elbilar styrs över till natten när efterfrågan på el i övrigt är låg för att underlätta integrationen. Då undviks situationer när baslastproduktion, med höga kostnader kopplat till variationer, konkurrerar med vindkraftsproduktion. Vid riktigt höga andelar sol- och vindkraft kan liknande situationer uppstå när som helst under dygnet och laddningen kan behöva ske under hela dygnet för att underlätta integrationen. Med ett stort antal elbilar blir påverkan från dessa större på elsystemet men man har även större möjligheter att påverka elsystemet genom att styra elbilsladdningen.



Figur 9.1 Riktlinjer för styrning av elbilsladdning. Med stigande andel sol-och vind-kraft eller elbilar behövs mer avancerad styrning.

10

ELBILAR OCH KÖRMÖNSTER – ETT PROBLEM?

Sten Karlsson
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för fysisk resursteori

Eldrift för transporter finns redan. Tåg drivs vanligtvis med el. Men de kör på ett fast spår och kan relativt enkelt förses med elenergi kontinuerligt från avtagare. För andra fordon som rör sig mer oregelbundet är i dagsläget ett batteri för att lagra energin ombord det enda rimliga lösningen. Batteriet laddas medan fordonet står still. Men de bra batterier med hög kapacitet som i dag är aktuella, litiumjonbatterier, är fortfarande förhållandevis dyra.

Elcyklar har snabbt blivit populära. Med en räckvidd på cirka 5 mil klarar de med marginal mångas dagliga cyklande. För bilar ser det lite annorlunda ut. Det dyra batteriet gör att dagens elbilar i praktiken har en räckvidd på omkring 15 mil under bra förhållanden. Många gånger räcker det inte mer än 10 mil. Vid extremt kallt väder, när en hel del energi behövs för att värma kupén, har försök visat att räckvidden kan bli så låg som 6–7 mil. Många bilar körs längre sträckor än så. Räckviddsbegränsningen blir också viktig eftersom det ofta tar tid att ladda. En vanlig stickkontakt exempelvis ger energi motsvarande någon dryg mils körsträcka i timmen. Det är då inte bara att "tanka" några minuter och sen åka vidare.

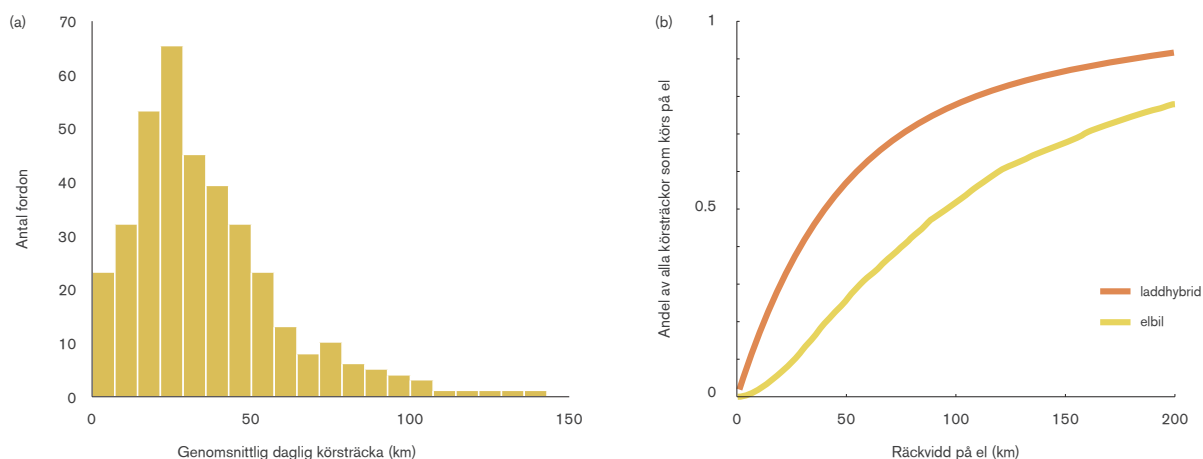
Men åker vi så långt egentligen? Figur 10.1a. visar den genomsnittliga dagliga körsträckan för ett urval bilar i Sverige. Det ser inte så farligt ut. Väldigt få kör i snitt längre än 10 mil om dagen. Men tyvärr döljer figuren den variation som finns mellan enskilda dagar. Vissa dagar står bilen still, medan andra kan innehålla riktiga långresor. Figur 10.1b visar hur stor del av den totala bilkörningen (y-axeln) som skulle kunna utföras av elbilar givet en viss räckvidd på batteriet (x-axeln). Vi ser nu att bara ungefär hälften av körningen skulle klaras med elbilar med ett batteri som räcker 10 mil.

Laddhybrider är en möjlighet att komma runt denna begränsning. Det är bilar som har en vanlig förbränningsmotor som komplement för att klara längre sträckor.

Först kör de på el, sedan på bränsle när batteriet är tomt. Eftersom räckvidden nu inte är begränsande kan man också ha ett mindre batteri. Detta billigare batteri kan då delvis "betala för" den extra motorn. Eftersom laddhybriden kan köra alla resor, blir den möjliga andelen som körs på el också avsevärt större än för en elbil med samma storlek på batteriet, se Figur 10.1b. Ett batteri med 10 mils räckvidd täcker nu omkring 80 % av körningen.

Även andra faktorer, som laddmöjligheter kan vara viktiga. I Figur 10.1b antas att laddning bara sker en gång per dag, i praktiken hemma på natten. Finns möjlighet att ladda också på arbetsplatsen eller andra frekvent besökta ställen, kan ett begränsat batteri vara tillräckligt för en större andel av resorna. En utbyggd infrastruktur av snabbbladdningsstationer kan göra att även längre resor kan klaras med en begränsad räckvidd. Ett annat alternativ är att bygga ut ett nät av batteribytesstationer, där det tomma batteriet kan bytas mot ett fulladdat på några minuter. Detta kräver dock att också bilarna byggs och standardiseras så att detta blir möjligt.

Många bilar behöver inte köra så långt. Flottbilar, som exempelvis bilar i hemtjänsten, går dagligen ett begränsat antal mil och återkommer till samma plats på natten. I flerbilshushåll, där ungefär hälften av Sveriges bilar finns, finns ofta möjligheten att välja bil efter förutsättningarna och en begränsad räckvidd på en av bilarna behöver därför inte vara ett hinder. Förmodligen är det därför bland dessa som elbilarna först kommer in, med tanke på den begränsade räckvidden och dagens körmönster. Vi får heller inte glömma att begränsad räckvidd är en effekt av dagens situation. Allt billigare batterier möjliggör längre räckvidd till rimlig kostnad.



Figur 10.1 (a) Fördelningen av dagliga körsträckor; (b) Andelen av alla körsträckor som kan köras på el med elbil respektive laddhybrid för olika räckvidd på batteriet.

11

HUR FORMAR MÄNNISKAN ELBILEN OCH HUR FORMAR DEN OSS?

Pontus Wallgren
Helena Strömberg

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers*

* Avdelningen för design & human factors

För att uppnå den större samhällsnytta som elbilar erbjuder i termer av miljöförbättring, krävs att individuella användare upptäcker den individnytta som elbilen erbjuder i termer av bekvämlighet, körglädje och ekonomisk vinning. Men för att detta ska ske så måste vi dels utveckla bilar och marknadsföra dem med detta i åtanke och dels utveckla infrastruktur som är anpassad för elfordon.

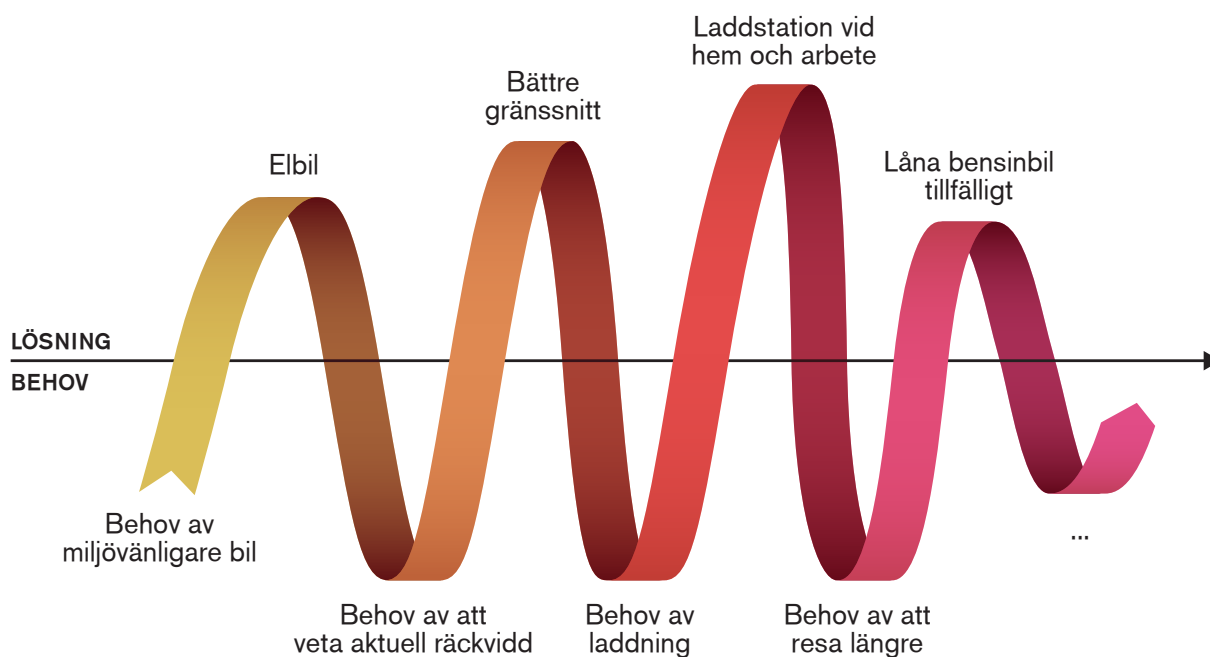
Om man läser dagspress och motortidningar kan man få bilden av att elbilar är högteknologiska under som visserligen är bra för miljön, men har för kort räckvidd för att vara användbara. Det är dock ett missförstånd. Elbilen erbjuder unika fördelar som bara kan upptäckas om man faktiskt kör en. Om man pratar med människor som kört elbil under en längre tid så nämner de fördelar som att elbilar är avslappnande att köra, till exempel kan de köras med en fot, och att de är roliga är köra eftersom de har snabb acceleration. Dessutom är det bekvämt att de inte behöver köras till en bensinstation för att tankas.

På samma sätt som den nu så vanliga bensinbilen har format samhället vi ser idag, så kommer en ökad andel elbilar att kräva att förändringar sker. När ny teknik skapas hittar människor nya användningsområden för den, som i sin tur leder till att tekniken anpassas till dessa och sen går det runt igen. Elbilen har utvecklats för att vara ett bättre alternativ med tanke på miljön, men människor som testat elbilar upptäcker att de framförallt är bekväma. Detta är något som behöver plockas upp och utvecklas mot!

Ett av de ofta påtalade problemen med elbilar är den så kallade räckviddsoron. Det betyder att människor är oroad av att energin i batterierna ska ta slut ute på vägen, vilket leder till att man inte utnyttjar hela bilens kapacitet. Studier har visat att detta är ett fenomen som uppstår när man får testa elbilar en kortare stund. De långtidsstudier som gjorts har visat att olika utbildande gränssnitt (en möjlig lösning på problemet) inte verkar ha någon större effekt, men att däremot bara köra elbil i vardagstrafik gör att man lär sig hur bilen fungerar och vilken räckvidd man kan förvänta sig under olika förhållanden. För att stödja föraren behövs därför enkel och pålitlig instrumentering som främst är lätt att förstå och inte distraherar föraren, snarare än stora displayer som visar hur komplexa och moderna bilarna är.

Inte bara själva bilen, utan även infrastrukturen måste utvecklas för att anpassas till en större andel elfordon. Ett viktigt exempel är att elbilen typiskt laddas hemma (och kanske på arbetsplatsen) när den inte används, vilket ställer krav på att elbilsägare har tillgång till eluttag att koppla in sin bil i. I dagsläget är det något som nästan bara boende i villa har.

Slutligen vill vi argumentera för att elbilen som andrabil är fel tänkt. Elbilen har i alla långtidsstudier som gjorts blivit hushållets förstabil som används för vardagsresorna. Om en större bil eller längre räckvidd behövs har man ordnat det genom att hyra eller låna en annan bil. Elbilen är alltså inte bara en bil med elektrisk drivlina, utan en ny typ av fordon med nya användningsmönster och därmed nya krav på utformning av både fordon och infrastruktur.



Figur 11.1 Produkter utvecklas för att möta vissa behov, men skapar i sin tur nya behov för vilka det behövs nya lösningar. På samma sätt möter elbilen behovet av mer hållbart resande, men skapar behov för nya lösningar runtomkring bilen.

12

BEHÖVER ELEKTROMOBILITET ANDRA AFFÄRSMODELLER?

Mats Williander
Viktoria Swedish ICT

Elbilens karakteristik i form av högre inköpspris men lägre driftkostnader innebär att den ekonomiskt sett kan konkurrera bättre med vanliga förbränningsmotorbilar ju högre nyttjandegrad den får. Hög nyttjandegrad går lättare att realisera med tjänstebaserade affärsmodeller än med vanliga där kunden köper bilen. Det är också lättare att sälja en elbil om man vänder sig till ett kundsegment där man kör många mil per år, inom elbilens räckvidd varje gång, och med tillräckligt lång laddningstid mellan gångerna. Ett sådant kundsegment kan till exempel vara jobbspendlare i förorter. Kan de ladda på jobbet kan avståndet vara upp till 10 mil enkel resa, och ju längre de har till jobbet, inom räckvidden, desto mer konkurrenskraftig är elbilen jämfört med en vanlig förbränningsmotorbil.

Ett företags affärsmodell är en beskrivning på hur företaget skapar, distribuerar och fångar värde. När kundvärdet överstiger kostnaden för att tillhandahålla det värdet kan företaget driva en ekonomiskt hållbar verksamhet.

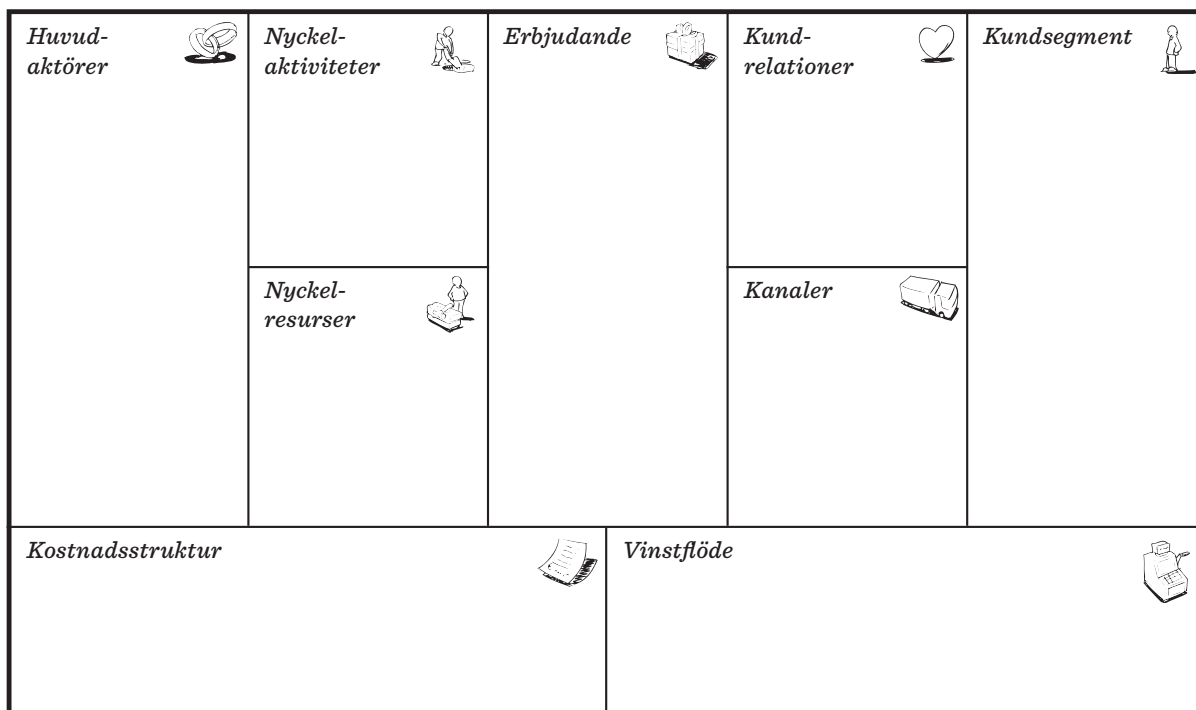
Affärsmodellen bestämmer till stor del hur stort kommersiellt värde en teknologi kan ge och har stort inflytande på hur potentiella kunder uppfattar värdeerbjudandet. Eftersom elfordon har stort samhällsvärde men uppfattas ha svårare att ge privata värden till betalande kunder genom den förhärskande affärsmodellen där bilar säljs så finns det all anledning att undersöka vad potentiella alternativ kan ge, så att samhällsvärdena också kan bli realiserade.

Potentiella kunder jämför inte enbart ett erbjudande mot de behov de har utan även mot vad de kan få för pengarna. Därför spelar det stor roll vilket referenserbjudande kunderna lockas att jämföra med.

Om man erbjuder kunder att *köpa* en elbil så blir kundernas referens lätt en vanlig förbränningsmotorbil. Därmed jämförs pris, räckvidd, storlek, prestanda med mera. Om man istället erbjuder en elbil i till exempel en friflytande bilpool, som Car2Go, så kommer potentiella kunder sannolikt att istället jämföra med kostnaden för taxi eller kollektivtrafik. Affärsmodellen påverkar alltså vilket referenserbudande kunden kommer att använda och därmed hur elbilen uppfattas relativt det erbjudandet snarare än i absoluta termer.

Många bilägare köper en bil som kan lösa de absolut flesta av deras transport-behov, inklusive sällanresan till Medelhavet eller till fjällen, trots att endast 1,6 % av alla bilresor som görs är över 10 mil. Privatägda bilar står också mestadels parkerade. Eftersom en elbil är dyrare i inköp, har begränsad räckvidd på cirka 15 mil, och lång laddtid så talar mycket *emot* att sälja elbilar på vanligt sätt. Därför behövs andra affärsmodeller.

Tre tjänstebaserade affärsmodeller som skulle gå att införa omgående för elbilar är *leasingkedja*, som vänder sig till förortsbor, *friflytande elbilspool*, som vänder sig till de som bor centralt i städer och *elbilsabonnemang*, som vänder sig till förortsbor med mindre bilintresse och/eller mindre bilbehov på sin fritid. I rapporten [Nya affärsmodeller för elbilar](#) beskrivs dessa tre och ytterligare en affärsmodell i detalj. Rapporten ger även en förklaring till varför elbilskommersialiseringen går så sakta och ger förslag på vad samhället kan göra åt det.



Figur 12.1 Ingående delar i en affärsmodell. Källa: Osterwalder et al. (2010)

13

RÄCKER SUBVENTIONER FÖR ATT FÅ FART PÅ FÖRSÄLJNINGEN AV ELBILAR?

Frances Sprei
Institutionen för Energi och miljö, Chalmers*

* Avdelningen för fysisk resursteori

Sverige införde hösten 2011 en så kallad supermiljöbilspremie, det vill säga de som köpte en elbil (eller egentligen en bil som släpper ut mindre än 50 g CO₂/km) fick 40 000 kr som tack. Tyvärr visar försäljningssiffror, såväl som vår och andras studier, att det inte är tillräckligt för att få igång försäljningen. Det betyder inte att subventionerna inte har någon påverkan alls – antagligen hade det sålts ännu färre elbilar utan dem – men vill man verkligen få fart på försäljningen krävs det mycket kraftigare subventioner och helst också andra fördelar.

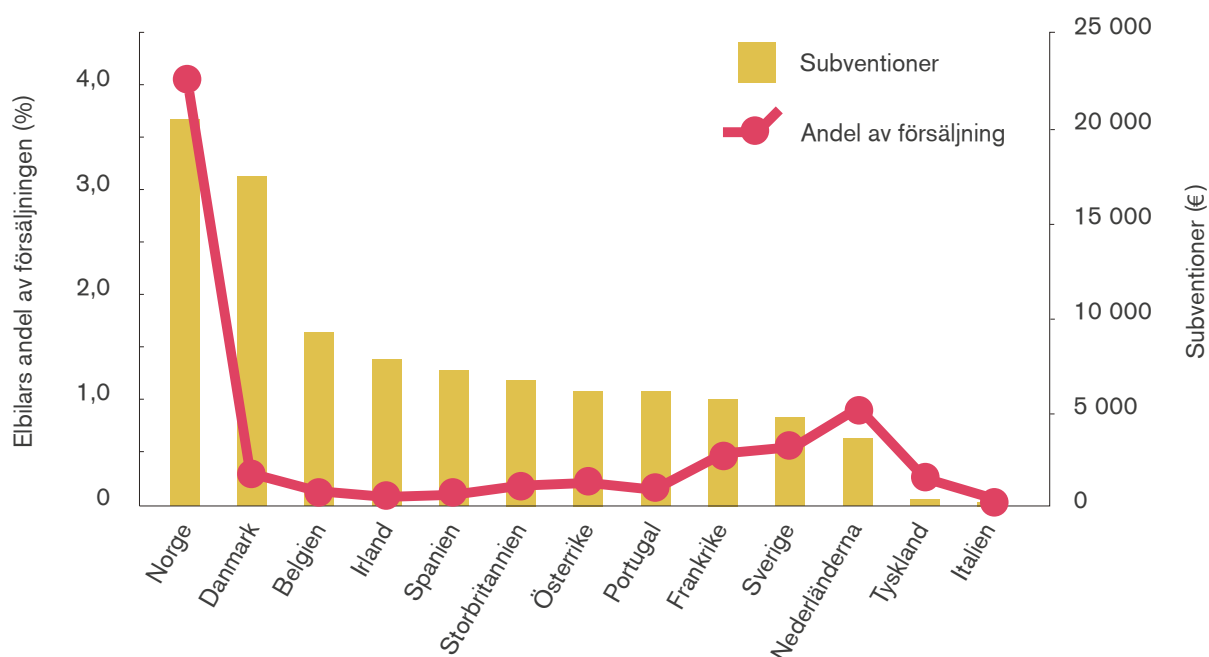
Låt oss titta lite närmare på våra grannländer Norge och Danmark för att visa att ett pengastöd vid köpet inte alltid är tillräckligt. I båda länderna betalar man i vanliga fall höga skatter när man köper en bil, men med elbilar slipper man dessa. Det innebär att trots att elbilar egentligen är dyrare än vanliga bilar så kan skattebefrielsen medföra att de kostar ungefär lika mycket. Om vi nu tittar på försäljningssiffror för 2013 så såldes det ungefär 10 000 elbilar i Norge medan det i Danmark bara var några hundra. Vad beror skillnaden på? Jo, i Norge har man också gett en rad andra fördelar till de som köper elbil: de får köra i bussfilerna, gratis parkering och laddning, ingen bomavgift (en storts vägtull). De har alltså inte bara gjort elbilarna fördelaktiga ur en ekonomisk synpunkt men också i det dagliga användandet av bilen.

Norge är lite den udda fågeln när det gäller att stötta elbilar. De flesta andra länder har subventioner som den svenska supermiljöbilspremien, det vill säga att

man ger lite extra pengar till den som väljer att köpa en elbil istället för en vanlig bensin- eller dieselmotor. Den exakta summan skiljer sig mellan länderna men ligger någonstans mellan 70 000 och 30 000 kronor. Än så länge utgör elbilar mindre än en procent av sålda bilar i alla länder utom Norge.

Det är inte bara på nationell nivå som man har valt att stödja elbilar. Även vissa städer och regioner har gått in och stöttat elbilar på ett eller annat sätt. I London behöver inte elbilar betala trängselavgift, i Paris har man infört en elbilpool, det vill säga elbilar som kan hyras och lätt parkeras runt om i stan under bara några timmar. I Shanghai, Kina, auktioneras vanligtvis ett begränsat antal nummerplåtar för bilar ut varje månad, för att begränsa antalet bilar. Väljer man att köpa en elbil istället kan få nummerplåten med detsamma och utan kostnad.

Varför behöver man då subventionera elbilarna? Den grundläggande anledningen är att kostnaderna idag är högre för en elbil än för en vanlig bil. Det gäller även om man kollar på alla kostnaderna under de första sju åren av bilens livslängd, trots att elbilar är billigare att köra. Men lägger man på en subvention så minskar skillnaden och kostnaderna blir mer jämförbara. Förhoppningen man har med att subventionera elbilar idag är att, genom ökad försäljning och efterfrågan, få ner priset på batterier och bilar så att de sen kan konkurrera utan subventioner. Dock räcker inte det för att folk ska vilja köpa elbilar – de måste också ha andra fördelar som miljövinst, komfort och körglädje som gör att de kan jämföras med eller till och med vara bättre än vanliga bilar.



Figur 13.1 Andel elbilar, i procent, av försäljningen av nya bilar under 2013 (fram till september) och subventioner i euro, för 13 olika länder.

14

ELEKTROMOBILITET FRÅN ÅKERIETS PERSPEKTIV

Per Olof Arnäs

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation, Chalmers*

Magnus Karlström

Chalmers Industriteknik

* Avdelningen för logistik och transport

När ett åkeri ställs inför valet att byta framdrivningsteknologi, till exempel till ett alternativbränsle eller en annan motorteknologi, är detta ofta förknippat med – ur åkeriets perspektiv – ett stort risktagande. En i många stycken bristfällig kunskapsnivå kombinerad med en ekonomisk verklighet som gör det svårt att motivera investering i ny teknologi gör situationen mycket svår för åkeriet.

MEET-modellen är ett verktyg som har utvecklats i transportindustrin för att åkerier ska kunna utvärdera en alternativ framdrivningsteknologi utifrån ett systemperspektiv. Modellen fungerar som en checklista där åkeriet kan utvärdera det nya bränslet (eller som i detta fall – eldrift) ur ett systemperspektiv. Namnet MEET kommer av de fyra perspektiven Miljö, Ekonomi, Etik och Teknik som måste mötas för att en riktig bedömning ska kunna ske. Utvärderingen sker i jämförelse med en befintlig energikälla, vanligtvis diesel av miljöklass 1.

I perspektivet miljö utvärderas den nya energikällans miljöegenskaper såsom nedbrytbarhet och emissioner. Under ekonomi belyses åkeriets olika risker såsom operationell (risk för till exempel stillestånd), försörjning (risk för bristsituationer) och investering (risk för ofördelaktig investering i ny teknik). Etikperspektivet fokuserar på hur de två alternativen marknadsförs, hur råvaruproduktionen ser ut etc. Det tekniska perspektivet visar de mätbara parametrar som beskriver prestanda och andra egenskaper.

I figuren nedan visas ett exempel på hur MEET-modellen kan appliceras för ett åkeri som jämför en traditionell dieseldriven distributionslastbil för citytrafik med en batteridriven variant. Flera städer i världen begränsar idag lastbilar med höga

emissioner. Vissa städer diskuterar till och med möjligheten att bara acceptera nollemmissioner. Här kan batteridrivna fordon med en räckvidd på 180–200 km alltså vara en lösning.

Utvärderingen är gjord utifrån åkeriets perspektiv. Resultatet är alltså beroende av den specifika situationen för det specifika åkeriet.

Batteridrift vs konventionell dieseldrift

Bedömningsexempel för distributionslastbil i citytrafik

Miljö	Ekonomi	Etik	Teknik
- Förnybarhet - Nedbrytbarhet ② Giftighet - Konkurrens om råmaterial (energi) ② Konkurrens om råmaterial (batteri) - Lokala effekter Emissioner: - Well-to-tank - Tank-to-wheel	Operationell risk: - Kostnad per km ② Underhållskostnad - Räckvidd Försörjningsrisk: - Antal leverantörer - Lokal tillgänglighet ¹ Tillgång på råvara ² Mognad, infrastruktur Investeringsrisk: ³ Livslängd ⁴ Investeringskostnad - Andrahandsvärde	- Marknadsföring - Ursprung, råmaterial (energi) ② Ursprung, råmaterial (batteri) - Regionala effekter - Sociala effekter ⁵ Arbetsmiljö	⁶ Standardiserad specifikation - Energidensitet ⁷ Temperatur-egenskaper Framdrivnings-teknologi: ⁸ Mognad - Aggressivitet/ Korrosivitet - Smörjegenskaper

- Alternativet är bättre än befintlig energikälla
- Befintlig energikälla är bättre än alternativet
- Båda alternativen är likvärdiga
- ② Tillräcklig information saknas för jämförelse

¹ Svensk marknad

² Lokala anpassningar/ investeringar kan behövas

³ Batteriutbyte kan behövas

⁴ Subventioner möjliga

⁵ Minskat buller och minskade vibrationer

⁶ Osäkerhet rörande standarder rörande batterier och laddning

⁷ Både värme och kyla kan medföra problem

⁸ Batteriteknologi

Figur 14.1 Exempel på hur ett åkeri kan använda MEET-modellen för att utvärdera batteridrivna distributionsfordon.

I Europa finns ungefär 600 000 åkerier som tillsammans äger över 20 miljoner lastbilar. När en bil transporterar ett ton i en kilometer har den kört en tonkilometer. Tillsammans kör Europas lastbilar 1 900 miljarder tonkilometer per år. Åkerier har typiskt en relativt låg vinstmarginal, ofta runt 1–2 %. Med en stor andel fasta kostnader (65–82 %) och med bränsle som näst största kostnad (10–23 %) efter löner är det inte förvånande att åkeribranschen har begränsat ekonomiskt utrymme för icke vinstdrivande aktiviteter (en tysk studie visar att transportörer endast spenderar 1,1 % av omsättningen på innovation). Det finns ett stort sug efter verktyg som kan hjälpa åkerier att fatta bättre beslut, och MEET-modellen är ett sådant.

15

HYBRIDBUSSAR – ETT FÖRSTA STEG MOT ELDRIVNA TUNGA FORDON?

Thomas Magnusson
Christian Berggren

Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet*

* Avdelningen för projekt, innovationer och entreprenörskap

Täta inbromsningar och accelerationer gör att stadsbussar lämpar sig särskilt väl för eldrift. Dessutom ger eldrift mindre buller och minskade lokala utsläpp, vilket ger en trevligare och hälsosammare stadsmiljö. Stadsbussarnas fördefinierade rutter och många körtimmar gör dem till en bra testplattform för att introducera och utvärdera nya tekniker. Därför är stadsbussar det givna första steget mot eldrivna tunga fordon.

Men det faktum att el- och elhybridbussar är väsentligt dyrare att köpa in än traditionella dieselbussar utgör onekligen ett stort hinder för bussoperatörer med tight budget. Det här kapitlet handlar om strategier för att övervinna sådana hinder.

En milstolpe i elektrifieringen av Europas stadsbussar inträffade 2006 då Londons borgmästare annonserade ett nytt initiativ. Busstillverkare och operatörer bjöds in att delta i ett omfattande testprogram för att utvärdera elhybridbussar i reguljär trafik i Londons innerstad. Vidare inrättades en fond, Green Bus Fund, för att subventionera inköp av bussar med låga koldioxidutsläpp. Det gjorde enklare att rättfärdiga tidiga investeringar i nya bussar. 2013 hade fonden subventionerat 1200 bussar och Storbritannien hade blivit en viktig tidig marknad för elhybridbussar.

För att seriös elektrifiering av tung trafik ska påbörjas behövs initiativ från såväl industriföretag som beslutsfattare. De stora tillverkarna av tunga fordon behöver utveckla strategier för hybridplattformar, som en bas för fortsatta steg mot elektrifiering. Beslutsfattarna behöver utveckla omfattande strategier för att stötta en långsiktig övergång till eldrift.

Ett europeiskt exempel på en plattform som kan användas i både bussar och lastbilar är Volvos hybriddrivlina som testades i Londons stadstrafik och lanserades på marknaden 2010. Sedan 2013 testas en laddhybrid-version i Göteborgs stadstrafik. Steget därefter är helelektriska bussar som kör enbart på batteri. Som alltid i kommersiell trafik är kostnader, robusthet och tillförlitlighet avgörande i valet mellan olika tekniker. Nyckeln till att få ned kostnaderna är inte tekniska framsteg i sig utan att man lyckas sprida elektrifieringen från det begränsade stadsbusssegmentet till de bredare lastbilsmarknaderna.

Politiska beslutsfattare kan sporra utvecklingen och spridningen av ny teknik på många olika sätt. Vi har redan sett hur utsläpp av kväveoxider och små partiklar kraftigt minskat med hjälp av nya tekniker som utvecklats till följd av att allt strängare regelverk gradvis införts. Under de kommande åren kommer regelverken med största sannolikhet även att innehålla krav på minskade koldioxidutsläpp. Men sådan reglering är otillräcklig för att främja utvecklingen och spridningen av tunga elfordon. Det krävs ytterligare fokuserade och teknikspecifika styrmedel för att stimulera framsteg inom området.

Många viktiga styrmedel ligger på lokal och regional nivå. Städer över hela världen har aviserat test- och demonstrationsprojekt med elektrifierade innerstadsbussar. Ett exempel är ElectriCity-projektet som pågår i Göteborg. Här demonstreras laddhybridbussar och helelektriska bussar i linjetrafik mellan Chalmers två campus. Demonstrationsprojekt av det här slaget är ett viktigt för att testa ny teknik i verkliga förhållanden och för att skapa acceptans för tekniken i samhället. Men för att komma vidare behöver de integreras med nationella och internationella initiativ och stöd, både för att göra marknaden större och för att säkerställa investeringar i nödvändig infrastruktur, till exempel laddstationer.

Elektrifiering av sopbilar skulle kunna vara ett bra första steg mot elektrifiering av lastbilar i bredare segment, till exempel varudistributionsbilar. Men för att främja elektrifiering i dessa bredare segment behövs fler incitament, till exempel låg-utsläppszoner och bullerrestriktioner som begränsar användningen av traditionella fordon i tätorter. Dessutom finns det behov av ytterligare politiska initiativ som stödjer byggandet av laddinfrastruktur. Det finns också ett trängande behov av nationell och internationell politik för marknadsincitament och en harmonisering av provningsmetoder och prestandakriterier.

16

ELEKTRIFIERING AV BILINDUSTRIEN GENOM SAMARBETEN KRING FORSKNING OCH UTVECKLING

Steven Sarasini
Björn Sandén

Institutionen för energi och miljö, Chalmers*

Magnus Karlström
Chalmers Industriteknik

* Avdelningen för miljösystemanalys

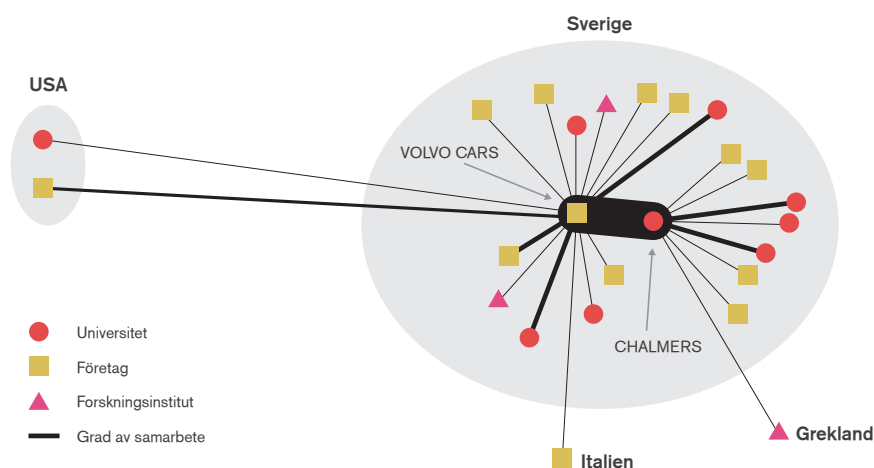
Elfordon har blivit allt populärare de senaste två decennierna. Men det är en utmaning för biltillverkarna att hänga med i trenden – elektrifiering kräver kunskap och kompetens som ligger utanför biltillverkarnas traditionella kunskapsområde. Därför kan det vara värt att söka samarbeten med externa parter. I det här kapitlet presenterar vi resultat från en undersökning av kunskapsbaserade samarbeten inom fordonsindustrin. Framför allt har vi tittat på tillsammans med vem olika biltillverkare publicerar vetenskapliga artiklar och söker patent, både generellt i all forskning- och utveckling (FoU) och specifikt kring elektrifiering av fordon. Det ger oss bild av hur biltillverkare utnyttjar samarbeten inom koncernen och med andra aktörer som underleverantörer och universitet för att kunna utveckla ny teknik.

FoU-samarbeten och kunskapsinhämtning kan organiseras på olika sätt. En vanlig kategorisering är att skilja på så kallade hierarkier, marknader och nätverk. *Hierarkisk organisation* innebär att företag genererar ny kunskap inom den egna organisationen, men det kan också innebära att de köper upp andra företag eller konsortier där företag går samman i ett nytt bolag för att utveckla ett projekt tillsammans. Hierarkisk organisation är lämpligt om osäkerheten och riskerna är höga. Ett alternativ till intern FoU är att köpa kunskap och innovationer på *marknaden*, till exempel licenser för att använda patenterad teknik eller färdiga komponenter från underleverantörer. Det är lämpligt om osäkerheten och riskerna är låga. *Nätverk*

baseras mer på relationer och tillit, medan marknader och hierarkier till stor del styrs av ekonomiska transaktioner och legala kontrakt. Olika aktörer samarbetar i nätverk för att få ömsesidiga fördelar av sina kompletterande styrkor. Nätverkssamarbete är lämpligt när det fortfarande råder osäkerhet om den kommersiella nyttan.

Antalet vetenskapliga artiklar kring el- och elhybridfordon har ökat exponentiellt sedan 1990-talet. Data om vetenskapliga publikationer, så kallad bibliometrisk data, visar att USA, Kina och Japan är mest aktiva i FoU kring elektrifiering. Fastän biltillverkare skulle kunna etablera samarbeten med olika typer av organisationer över hela världen visar vår undersökning att de huvudsakligen samarbetar med organisationer i samma land som deras eget huvudkontor. Bibliometrisk data visar till exempel att Volvo Cars med huvudkontor i Göteborg främst samarbetar med Chalmers, ett universitet i samma stad, se Figur 16.1. Detta mönster går igen hos alla biltillverkare i studien, det vill säga även hos Ford, Fiat, Hino, Renault, Scania och Volkswagen. Som förväntat samarbetar biltillverkarna huvudsakligen med akademiska partners kring vetenskapliga publikationer. Data om patent visar att biltillverkarna också samarbetar över geografiska gränser, främst i hierarkisk organisation, till exempel med dotterbolag i andra länder.

Vi kan dra ett antal preliminära slutsatser baserat på dessa data om patent och publikationer. För det första tenderar biltillverkare att samarbeta med akademiska partners som ligger geografiskt nära företagets operativa nav. Akademiska forskare verkar förlita sig på sina personliga sociala nätverk snarare än på formaliserade tekniköverföringsmetoder för samarbeten med industrin. Dessa samarbeten är med andra ord troligtvis organiserade i form av nätverk vilka tar lång tid att etablera eller förändra. För att driva på utvecklingen av elfordon kan det därför vara strategiskt för beslutsfattare att finansiera forskning om elektrifiering till akademiska institutioner på samma ort som stora biltillverkare. Då är det störst chans att kompetensen kommer biltillverkarna till gagn. För det andra utvecklas innovationer i samarbeten mellan företag som ingår i samma hierarkiska organisation. Uppenbarligen utgör riskerna och osäkerheterna som följer med mer öppna innovationsstrukturer ett hinder för samarbete. Geografiska avstånd verkar emellertid inte utgöra något hinder för patentsamarbeten.



Figur 16.1 En kartbild över Volvo Cars vetenskapliga publikationer tillsammans med andra organisationer. Ju tjockare streck, desto fler gemensamma publikationer.

EN PLATTFORM FÖR LÄRANDE OM HÅLLBARA TEKNIKSYSYSTEM

Energi- och klimatutmaningen är enorm och jordens befolkning är på väg mot en osäker framtid. Teknikens roll i samhällsutvecklingen är tveeggad. Å ena sidan är tekniken definitivt en del av problemet men på samma gång kan vi inte ställa om samhället mot en hållbar utveckling utan ny teknik. Vi behöver därför lära oss mer om vilken teknik som är önskvärd och hur teknikutvecklingen kan styras.

Chalmers Styrkeområde Energi har initierat satsningen "Perspektiv på ny teknik". Satsningen har en tvärvetenskaplig utgångspunkt och den har hittills samlat ett sjuttiofem forskare för att bedöma ny teknik med avseende på potential och risker och vilka tekniska, ekonomiska och politiska förutsättningar som krävs för att ny teknik skall slå igenom och nå storskalig spridning i samhället. Satsningens ambition är att skapa en plattform för lärande om teknikområden med stor betydelse för framtiden. Resultatet är en serie "levande" e-böcker som vi i ljuset av ny kunskap uppdaterar regelbundet. Vi avser inte att ge ett slutgiltigt svar, men vi vill ge underlag till en fördjupad och breddad diskussion. Serien består nu av tre böcker:

Perspektiv på förnybar el - möjligheter och utmaningar med produktion och användning av el från förnybara energikällor

Perspektiv på eldrivna fordon – möjligheter och utmaningar med eldrivna transporter av gods och människor

Perspektiv på förädling av bioråvara – möjligheter och utmaningar med produktion av kemikalier, material och bränslen från skog och jordbruk

Om de mångfasetterade resultaten skall sammanfattas i en mening kan vi konstatera att det vimlar av hinder att ta sig över och fallgropar att undvika men också av framkomliga vägar, så det finns all anledning att samtidigt vara mycket orolig och mycket hoppfull.

Björn Sandén, huvudredaktör

