



KTH Industriell teknik  
och management

## Den stora omställningen

industriella förutsättningar för morgondagens hållbara fordon



DAVID BAUNER

Stockholm 2010

TRITA-IEO 2010/01  
ISSN 1100-7982  
ISBN 978-91-7415-570-9

Avdelningen för Industriell Dynamik, KTH  
SE-100 44 Stockholm  
[www.kth.se](http://www.kth.se)

# Den stora omställningen

industriella förutsättningar för morgondagens hållbara fordon

David Bauner

Kontakt med författaren:  
e-post: [dbauner@kth.se](mailto:dbauner@kth.se)  
telefon: 073 7788963

Copyright 2010 David Bauner  
Trita-IEO 2010/01  
Avdelningen för Industriell Dynamik  
Kungliga Tekniska Högskolan  
SE-100 44 Stockholm  
ISSN 1100-7982  
ISBN 978-91-7415-570-9



## Sammanfattning

När biltillverkningen tog fart i USA under 1900-talets första decennier, var utvecklingen beroende av bränsleförsörjning över hela kontinenten. Oljeindustrin hade inlett sin tillväxtsaga några årtionden tidigare, och nu kring sekelskiftet hade elektricitetens spridning, och med den det elektriska ljuset, inneburit ett kraftigt avbräck för oljeindustrin som i stort utvecklats för att svara på en ökande efterfrågan på fotogen och lampolja. Bensinbilen och diesel-lastbilen passade väl in som ersättare. Både olje-, och kraftindustrin utvecklades starkt, i samspel, för att möta i första hand Triadens (USA, Europa och Japan) efterfrågan på energi: ljus, kraft och bränsle för hushåll, industriell produktion samt transporter.

Bilindustrin, tillsammans med oljeindustrin och kraftindustrin, har genom att effektivt och inte minst kostnadseffektivt tillhandahålla varor och tjänster som efterfrågas av samhället i stor och växande omfattning, sedan dess kommit att bli tre av världens största industrigrenar, och viktiga delar av de ekonomier de hjälpt växa. Alla tre (de primära aktörerna i en ”industrigren” definieras här som de företag som producerar själva slutprodukten, d v s biltillverkare, raffinaderiägare/oljebolag respektive elproducenter) kännetecknas av framgångsrikt samtidigt samarbete/samtidig dialog med många länders regeringar, underleverantörer och konsumentgrupper. Respektive industrigren har konsoliderats, och fortsätter konsolideras, långt över nationsgränserna. I de flesta fall bevakas och stöds utvecklingen för de större bolagen aktivt av en eller flera länders regeringar. När det gäller kraftindustrin och petroleumindustrin, och för vissa länder och perioder även bilindustrin, är staten (för kraftbolag även kommuner) i många fall mer eller mindre aktiv ägare.

Nu, cirka etthundra år efter startskottet för den ”andra industrirevolutionen”, är debatten kraftfull kring den dynamiska balans som ständigt utvecklas inom fordons- och energiområdet. Många frågor söker svar: Klimatförändringar och andra miljörelaterade frågor som vattentillgång på medellång sikt, *Peak oil* och den tilltagande urbaniseringen. Stora grupper i Kina och Indien får det bättre och jätteländerna fylls snabbt med vitvaror och nya bilar, medan begagnade bilar från Europa och USA hittar ner till Afrika och vissa länder i Asien och Sydamerika för ett andra liv, i konkurrens med nya bilar från Indien och Kina. Givet att industrins drivkraft är ökade intäkter, kanske företagets respons primärt är att möta efterfrågan hos den växande medelklassen runt om på jorden. Asiens utveckling, den låga utvecklingstakten i Afrika, och nu senast den globala ekonomiska tillbakagången pekar på ett behov att justera både tekniken och spelreglerna för att välfärden skall bli hållbar verklighet för nya såväl som för gamla ekonomier.

I Triaden pekas mer specifikt övergången från personbilstrafik driven med fossila mineral-oljebaserade bränslen till samma trafik driven med el lagrad i batterier, ut som medel att möta flera av dessa utmaningar: minska energiåtgången och utsläppen av klimatgaser för samhället och transportsektorn, ytterligare reduktion av lokala utsläpp samt minska Triadens oljeberoende. Nationella och regionala mål i respektive land omfattar ofta även utveckling av den lokala industrin. Kraftbolagen kan i fordonsägarna få nya kunder och kan, genom att använda den för laddning anslutna flottan batteriförsedda fordon som energibuffert, även balansera elnäten (kallat *vehicle-to-grid* eller V2G), som i ökande grad tyngs av svårstyrd vindkraft. Andra faktorer som talar för en sådan utveckling är att energiläget pekar åt samma håll: Oljan blir mer och mer

svårtillgänglig, elnäten är utbyggda i Triaden och batterierna är billigare, lättare och bättre. Nya aktörer kommer in, med nya affärs- och debiteringsmodeller.

Det finns dock även flera faktorer som minskar omvandlingstrycket. Den viktigaste är behovet av kunskap, resurser och koordination för införandet av ett nytt system – kompetens, komponenter, produkter, infrastruktur, lagstiftning, standardisering. Kostnaden för traktionsbatterier bör komma ner mot hälften av idag. Utbyggnadens finansiering är en grundläggande fråga – kostnaderna är stora medan intäkterna på kort och kanske medellång sikt är mera blygsamma. Lagar och regleringar behöver ses över då el skall säljas som fordonsbränsle. Det nya systemet, med många delar i samverkan, har potentiellt barnsjukdomar av olika slag. I länder som Tyskland, där fossil förbränning dominerar kraftproduktionen, släpper en elbil ut växthusgaser ungefär som en mindre fossildriven miljöbil. För dessa länder är anpassning av kraftproduktionen en lika viktig fråga som anpassning av fordonsparken. En annan typ av fråga är vad de gör som potentiellt förlorar på omställningen. Den kompetens som byggts upp under 100 år kring förbränningsmotorer – från design till produktion till försäljning till service – är närmast ett hinder för att utveckla den nya tekniken. Varje kWh el såld som fordonsel är en deciliter olja över för oljeindustrin, vilket i den skala som förutspås i Triaden t ex redan för 2020 kan bli ett stort avbräck i efterfrågan. Dock: eftersom bilparken förutspås fördubblas globalt sett, främst på nya marknader, medan tillgången på råolja förutspås minska, kommer oljebolagen ha en viktig roll, även med nuvarande verksamhetsprofil uppströms, så länge oljan räcker. Detaljistledets organisation är dock inte självklar. Andra bromsklossar är frågan hur begagnade laddfordon ska hanteras - bilens andra eller tredje ”liv” är en viktig byggsten i fordonets andrahandsvärde och därmed i fordonsfinansiering och -försäkring världen över. Det tar t ex ett antal år att etablera en andrahandsmarknad för en helt ny typ av fordon. Miljontals begagnade fordon, upp till ett par procent av fordonsflottan på vissa marknader, exporteras också till tredje världen varje år. Utan fungerande elinfrastruktur och service på destinationen kommer inte efterfrågan från utvecklingsländerna att gälla laddfordon.

Klimatfrågan, och mer konkret nya EU-direktiv, kräver förnybara bränslen även för konventionella motorer i personbilar, tunga fordon och hybridernas energiförbrukning utom el. Detta är en fråga som i viss mån hänger ihop med laddhybriden, såttillvida att en ”livboj”-motor till en laddhybrid åtminstone under de närmaste decennierna bör drivas med ett bensin- eller dieselkompatibelt bränsle för att ge största möjliga tillgänglighet. En storskalig introduktion av personbils-laddhybrider kan därför reducera efterfrågan på alternativa bränslen som DME. Metan från fossila och förnybara källor är det gasformiga bränsle som annars ligger närmast marknaden.

En storskalig introduktion av laddfordon kan – om den blir av - antas komma att ske i ett antal steg eller faser, parallellt med utveckling mot mer förnybar el och mera kolsnåla bränslen. Förutom att den progression som beskrivs i sig sträcker sig över minst ett par decennier, så kommer utvecklingen troligen att vara förskjuten med decennier mellan tidiga och sena marknader. Även om synergier finns och marknadsutvecklingen delvis kommer att ske parallellt mellan länderna, så finns flera anledningar att anta att varje region eller land (en tysk delstat motsvarar hela Sverige sett som marknad) får sin egen tidsaxel och unika fördelning av aktörer, fordonstyper, laddinfrastruktur och bränslen.

I en första fas, som kan sägas ha inletts på 1990-talet i Triaden, definierades olika typer av elfordon och laddbehov i olika projekt. Olika koncept provades, mycket kunskap förvärvades, men inget fäste riktigt på marknaden. Bidragande orsaker var det begränsade fordonsutbudet och infrastrukturen, samt att de fordon som fanns aldrig marknadsfördes, vilket skulle ha bidragit till att öka efterfrågan. En del av fokus flyttades successivt till bränslecellsprototyper och olika biobränslen, vilket reducerade efterfrågan på nya systemlösningar för laddfordon. I denna fas gav olika program möjlighet för ägare ("innovatörer") och brukare få stöd på ett sådant sätt att efterfrågan skapades kortsiktigt, och tekniken kunde demonstreras och prövas. Dock ger sådant stöd inte nödvändigtvis några systemeffekter eller färdiga bilder av hur ett hållbart system ser ut. Som jämförelse fanns fullhybrider (utan extern batteriladdning) på marknaden i USA i fyra år innan de nådde en procent av försäljningen, och nu, snart tio år efter introduktionen, ligger de på mellan två och tre procent. Fullhybrider är alltså kvar i den inledande innovatörsfasen vad gäller kundmarknaden. Laddfordon är ännu inte tillgängliga på marknaden och fas ett har enligt aviserade produktionsplaner alltså minst ett par år kvar.

För fas två, tidig praktisk drift och systemtest, är en aktör som Better Place, med system och ekonomisk vinning i fokus, central för att få systemet att fungera. Genom samarbete med kraftbolag, biltillverkare, myndigheter, och sist men inte minst visionära kunder, kan en ny teknisk regim komma igång i liten men växande omfattning och t ex i Danmark kan så systemet gå i tidig kommersiell drift. Innovativa prismodeller, som leasing och bilpooler kan hjälpa till att minska teknikrisken och inleda spridningen. Ett kompetensblock kan uppstå som visar riktningen för olika konsumentgrupper och systemleverantörer och myndigheter. Utvecklingspar som Dong/Better Place/Renault, EdF/Toyota och Vattenfall/Volvo har etablerats, de utvärderar och utvecklar teknik samtidigt som de närmar sig marknaden tillsammans för att kunna lämna ett mer komplett erbjudande. När det gäller laddhybrider (utom Chevrolet Volt) väntas få satsa på att inlemma dem i V2G i den här fasen, utan fordonen säljs mera på egna meriter, vissa inom ramen för utvärderingsprojekt. Här är det viktigt att precisera provmetoder för att indela hybrider efter miljöprestanda – antingen med en genomsnittlig siffra för utsläpp av klimatgaser per km eller i olika klasser.

Det fåtal system som når fram till demonstration och tidig kommersialisering kommer sedan i påföljande fas tre att replikeras i första hand i städer världen över efter förtjänst och nya visionära kunder tillkommer. Under denna fas provas olika infrastruktursystem för kontrollerad laddning av laddfordonsflottan (V2G), ett av systemen kan antas gå mot dominans på växande marknader och en standard etableras på vardera av pionjärmarknaderna - som dock inte behöver vara densamma i Tyskland som i Frankrike ännu. I den här fasen kan också kravställning och upphandlingar leda till mera hållbara system. Varje system som installeras "på ny mark" kommer sannolikt att möta hittills okända utmaningar i vad som i bästa fall blir en dialog mellan brukare och systemutvecklare. Samtidigt med elbilar i system lanseras mera infrastrukturoberoende laddhybrider på bred front, delvis som del av en ny teknisk regim, delvis som ett uttryck för anpassning av den befintliga bilindustrin. De är ett viktigt komplement till rena elfordon, där särskilt "motorstarka" laddhybrider som Prius Plug-In kan uppfattas som tryggare alternativ och vinna mark. "Batteristarka" laddhybrider som Chevrolet Volt kan komma att fungera som "ambassadörer" för rena elbilar och sprida förståelse och tillit till batteridriften till bredare kundgrupper. Fas två och tre leder – om produkterna är tillräckligt attraktiva - växelvis till acceptans för laddfordon bland tidiga kundgrupper respektive på nya marknader, men det är här som en plåtå - eller ett gap - kan uppstå där de visionära grupperna tagit till sig tekniken men

systemet fortfarande har brister och kostnad, komfort samt ”konkurrens” från förbättrad konventionell teknik med flera faktorer begränsar acceptansen. Historiskt är tio år ingen lång tid för fas två och tre, vilket placerar en bred introduktion av laddfordon tidigast en bit in i 2020-talet.

Med fas fyra kommer den verkliga utmaningen: att möta marknadens bredare grupper. Den skeptiska ”tidiga majoriteten” är sannolikt det svåraste testet, där vissa marknader dock kan vara lättare att övertyga än andra. Startskottet för denna fas kan bli antingen lagkrav på nyckelmarknader eller en kraftig prishöjning på konventionella bränslen, men kräver ändå fullgoda produkter och en näst intill stabil andrahandsmarknad. Nyckeln är att förstå och svara upp mot vad den specifika kunden kräver – och det gäller inte bara bilen utan även alla kringtjänster som finansiella lösningar, laddstolpar, försäkringar, andrahandsvärde och exploatering av de tillkommande fördelar som en elektrisk drivlina kan ha för konsumenter och fordonsanvändare. En kritisk fråga för bred spridning av dedikerade elbilar är om det är tillräckligt att hitta rätt pris för de nya fordonen, eller om avsaknaden av möjlighet till kontinuerlig ”semesterresa” avskräcker för stor del av den tilltänkta kundkretsen. I städer kan biluthyrning och olika typer av bilpoolsförfarande öka elbilens tillgänglighet. Under fas fyra kan en branschgemensam standard av V2G etableras; protokoll för identifiering av fordonsindivid, debiteringssystem, anslutningskontakt, kommunikationsprotokoll mellan batteri, laddare, distributionsnät samt produktionssystem. En växande skara laddfordonsägare kommer att behöva, och förmodligen kräva, tillgång till alla laddstolpar oavsett ursprunglig tillhörighet. Städer och länder kan behöva lösa in infrastrukturelement och standardisera kommunikationsprotokoll och kontaktdon för de stora mängder fordon som tillkommer. Historien föreslår att denna fas kommer tidigare i Tyskland än i Storbritannien. Kraftbolagen som agerat på de tidiga marknaderna kommer att få välbehövliga kostnadsreduktioner när elproduktionen kan balanseras av laddfordonens kapacitet för energilagring. Här blir också fördelarna med V2G mer påtagliga – mer vindkraft kan installeras i länder som Danmark och Irland med bibehållen balans i nätet. I denna fas etableras systemets karaktäristiska egenskaper – vilka batteristorlekar och typer av laddning som får genomslag på marknaden, kombinationer av fordonsmodeller med typer av primärenergikällor, bränslen och debiteringsmodeller. Graden av infrastrukturutbyggnad är avhängig teknikval. Dessa egenskaper kan skifta mellan marknader. De flesta kombinationer kommer dock att klara grunduppgiften: att ta två personer från en laddplats till en annan, med ett avstånd däremellan som ligger mellan någon mil och uppåt, med eldrift. I den nya värld, bortanför 2020, där elkraft börjar ta plats för personbilsdrift, kan en ny kamp mellan två eller fler teknikersystem uppstå och komma att fortgå. Långfärder i bil kan möjligen klaras genom batteri-byte, vilket öppnar för rena elbilar, genom att ett hybridsystem används som kan använda fossila eller förnybara källor, alternativt snabbladdning, på längre sträckor. Infrastrukturaktörer ser naturligtvis gärna att kunderna är hänvisade till den egna batteribytesstationen respektive bränslepumpen, vilket bör kunna bidra till god konkurrens och en bra utveckling för bägge systemen. Under denna fas kommer också de första fordonen från fas två och tre att söka sig nya ägare, vilket öppnar för nya kundgrupper. Andrahandsmarknaden är dock ytterst osäker under ett tekniskifte. Då laddfordonen når den tidiga majoriteten kan också bränslecellsfordon nå ut till motsvarande den första fasens innovativa kunder.

Den slutliga femte fasen är då tillverkare och infrasystemansvariga med litet mer precision än initialt kan göra antaganden om utvecklingen på mogna marknader. Den sena majoriteten, länderna och aktörerna på marknaden tar nu till sig de framgångsrika typerna av laddfordon, infrastrukturen är uppbyggd och finansiella strukturer etablerade för den nya tekniken. Här kommer de sista grupperna på de tidiga marknaderna - en majoritet av befolkningen i Triaden - att ta till sig laddfordonen. Innovationshistorien föreslår att hybriderna, med sitt mera komplicerade dubbla drivsystem, nu får se minskade marknadsandelar till förmån för enklare batteribilar. En dominerande infrastrukturstandard per kontinent återstår. I den här fasen kan produktionssystemen optimeras och gör det lättare att konkurrera på pris. Andrahandsmarknaden når nu betydande volymer och nya kundgrupper får därmed ta till sig den elektriska drivlinan. För länder med mindre gynnsamma villkor för förändring, där en mer konservativ blandning av befintlig teknik och aktörer som tillhandahåller fordon och energi etablerats – Hughes beskriver en resulterande ”teknisk stil” utifrån bland annat geografiska, naturliga, demografiska och industriella förutsättningar, kompletterad med överlagrade politiska ambitioner, realiteter och ekonomiska konjunkturcykler – kan anpassningen till *best practice* fördröjas i decennier, eller längre. Elinfrasystemen kommer heller inte att nå många glest befolkade respektive outvecklade områden, vilket begränsar den geografiska spridningen för laddfordon. Efterslätrare utan utbyggd infrastruktur får vänta in lokala, t ex soldrivna system.

Denna rapport är finansierad av Energimyndigheten.  
Författaren svarar själv för analyser och slutsatser.



## Executive summary

When car production ramped up in USA in the first decades of the 20<sup>th</sup> century, commercial diffusion depended on fuel supply all over the continent. The oil industry had commenced its growth saga a few decades back, and now at the turn of the century the advent of electricity, including the electric light, meant a setback for an industry which more or less fully had developed in response to the increasing demand for kerosene and lamp oil. The gasoline car and the diesel truck fit well to create new demand. Both the oil and the power industries grew, in coordination, to respond to the energy demand of the Triad (USA, Europe and Japan): light, power and fuel for households, industrial production and transportation.

The auto industry, together with the oil industry and the power industry, have become three of the world's largest branches of industry, by capably offering cost effective goods and services in growing demand by society, and have become important elements of the economies which they helped to grow. All three (the primary actors in an "industry branch" are here defined as the company which produces the final product, i.e. the car manufacturer, the refinery owner and the power producer, respectively) can be characterized by successful multilateral dialogue with the governments of several nations, component manufacturers and consumer groups. The respective industry branch has consolidated, and continues to consolidate internationally. In most cases the development of the bigger companies is monitored and supported by the government of one or more nations. When it comes to the power and oil industries, and for some countries and periods also vehicle industries, the state (and for power companies' also regional governments) are often more or less active owners.

Now, a century after the beginning of the "second industrial revolution", the debate is strong regarding the dynamic balance that always develops in the area of vehicles and energy. Many questions are raised: Climate change and other environmentally related issues such as access to water in the medium term, Peak Oil and accelerated urbanization all call out for attention. Large groups in China and India see their quality of life increasing as the giant countries are rapidly filled with home appliances and new cars, while used cars from Europe and USA find their way down to Africa and some Asian and Latin American countries for a second or third life, competing with new cars and two-wheelers from India and China. Since the driving force for industry is to increase revenue, corporate response in the rising sea of opportunity may primarily be to meet demand from the growing middle class around the world. Asian economic development, the low rate of development in Africa, and ultimately the recent global economic recession all point to a need to adjust both technology and policy to establish sustainable well-being in new as well as in old economies.

In the Triad, the transition from passenger car traffic driven by fossil mineral oil based fuels to the same traffic being driven by electricity stored in batteries is presented as an important measure to confront several of these challenges: reduction of energy use and emissions of climate gases for society and the transport sector, further reduction of local emissions and the reduction of oil dependency of the Triad. National and regional goals in the respective countries often also include development of local industry. The power utilities may find new customers plugging in their cars, and by using the plugged-in vehicle community as an energy buffer, utilities may balance supply and demand of the grid (called vehicle-to-grid or V2G), increasingly weighed

down by uncontrollable wind power production. Other factors that advocate such a solution is that the energy situation points the same way: Oil becomes more and more inaccessible, the electric grid is fully developed in the Triad and the batteries are cheaper, lighter and better. New actors come in, some with new business and payment models.

Conversely, other factors hamper transformation. The most important is the need for knowledge, resources and coordination for the introduction of a new system or regime – competence, components, products, infrastructure, regulation, and standardization. The cost for traction batteries should come down to half to ease commercialization. The funding of the transformation is a fundamental question – cost is high while revenue is limited in the short and medium term. Regulation needs a thorough overhaul for electricity to be sold as vehicle fuel. The new system, with many parts in cooperation, potentially has various kinds of teething problems. In countries like Germany, where combustion of fossil fuels dominates power generation, an electric vehicle emits around the same amount of climate gases as a modern, small fossil fuel driven car. Where this is the case, it is just as important to reduce GHG emissions from power production as it is to improve the vehicle fleet, even if (in time) the advertised potential for grid demand leveling is high. Another point for debate is how to manage used grid-enabled vehicles (GEVs, i.e. dedicated electric and plug-in hybrid vehicles) – each car's "second life" is an important element of the vehicle's resale value and therefore instrumental for vehicle financing and insurance worldwide. What time does it take to establish a secondary market for an entirely new type of vehicle? Millions of used vehicles, up to 2 % of the vehicle fleet in some markets, are also exported to the third world each year. Without good electricity infrastructure, demand from otherwise proliferating developing countries will not include GEVs.

Another issue is how those actors that lose out on the transition will act. The competence on internal combustion engines and steel bodied cars, accumulated for 100 years - from design to production, sales, financing and service – may predominantly prove an obstruction to the development of new technologies. Each 10 kWh of electricity sold as vehicle fuel is a litre of oil in demand contraction for the oil industry, which by the scale predicted in the Triad can be a major setback for demand already after 2020. As the global vehicle fleet is projected to double, primarily in emerging markets, while fuel supply is predicted to decline, oil companies will likely maintain an important role in the energy business at least as long as oil is available. The role of fuel retail is less clear. The climate issue, and more concretely new EU directives, requires renewable fuels also for conventional engines in passenger cars, heavy vehicles as well as for fuel consumption of plug-in hybrids (PHEVs). This is an issue which to some extent is related to plug-in hybrids, since the “lifesaver” hybrid engine should be using the most frequently available fuel type to serve its purpose well, i.e. for the foreseeable future: less or more renewable liquid fuels, for either Otto or Diesel type engines. A large population of PHEVs could thus hamper the introduction of alternative fuels such as di-methyl ether (DME).

A large-scale introduction of GEVs – if it will come about - could be assumed to occur in a number of phases, in parallel with the development of more renewable electricity and more carbon efficient fuels. In addition to that the progression described below spans at least a couple of decades, the divergence between early and late markets will also be of the same magnitude. Even if synergies exist, and market development in part will be parallel between countries, this report argues that the introduction timeline and unique array of actors, incentives, successful vehicle

configurations, charging infrastructure and fuels will be different in each region (for market size, a German region corresponds to Sweden) or country.

In a first phase, which arguably was initiated in the 1990's in the Triad, different types of electric vehicles (and a few PHEVs) were defined in a number of projects. In this phase, different programs gave owners ("innovators") and users support in a way that demand was created rapidly, and technology could be demonstrated and tested. This kind of support, however, does not necessarily provide for creation of systemic effects or yield a developed image of a sustainable system. Different concepts were tried, a lot of knowledge was acquired, but nothing got traction in the market. Dissuading reasons were the limited supply of vehicles and infrastructure, and that existing vehicles never were marketed, which would have increased demand. Ultimately, part of the focus shifted to fuel cell prototypes and biofuels, reducing demand for grid-enabled vehicles and related system solutions until this new eve of electrification. GEVs are yet limited to a few pre-series electric vehicles being tested on undeveloped markets.

For phase two, involving early operations and system test, an actor like Better Place, with a focus on system and profit, is instrumental to get the system operational. Through cooperation with power utilities, car manufacturers, authorities and, not the least, visionary customers, a new technical regime may bud in a small but growing manner, and on markets like Denmark the system may reach an early commercial phase. Innovative price models like pay-per-km, leasing and car pools may help in reducing technological risk for the users and enhance diffusion. A competence bloc may appear, showing the way for different consumer groups, system providers and authorities. Development pairs like Dong/Better Place (with Renault/Nissan), EdF/Toyota and Vattenfall/Volvo have already been established; these will jointly evaluate and develop technologies while simultaneously approaching the market, to be able to give a more complete offer. PHEVs (with the possible exception of GM Volt) are not yet expected to form part of V2G projects, but will expand the market by their own virtue. For authorities, it would be important to reach unambiguous test methods to grade hybrids after environmental performance – either a model to estimate climate gas emissions per km or by different classes.

Few systems will reach demonstration and early commercialization. These are replicated in the following phase three in cities around the globe according to merit, and new visionary customers join. In this phase, different systems for controlled charging of the GEV fleet go live, and one of the systems may come to dominate on growing markets. A standard is developed on the earlier, pioneering markets – but not necessarily the same standard in Germany as in France just yet. In this phase, procurement may lead to more developed systems. Every system installed "on new ground" is likely to encounter hitherto unknown challenges, managed through what ideally will be a dialogue between users and the system developer. As battery vehicle systems are introduced, more infrastructure independent plug-in hybrid vehicles are launched on the market, in part as elements of a new technological regime, part as an adaptation by the incumbent car industry. PHEVs are an important complement to dedicated battery vehicles, where especially "engine focus" PHEVs like Prius Plug-in may be seen as more secure alternatives and gain commercial ground. "Battery focus" PHEVs like the Chevrolet Volt may serve as "ambassadors" of dedicated Evs and bring understanding and trust in battery propulsion to wider customer groups. Phase two and three alternate in creating acceptance for GEVs from early customer groups in new markets, respectively. It is here that a plateau – or gap – may appear as visionary groups accept the technology, but the system still lacks the tidiness that would bring acceptance by the more

dominant "early majority". "Competition" from existing conventional technology is also likely to be strong. By historic comparison, ten years is not a long time for the development of phase two and three, leaving a broad introduction of GEVs to after 2020. For comparison, full hybrids (not grid-enabled) were on the market for four years before reaching one percent of sales in USA, and now, almost ten years after introduction, sales have fluctuated inversely with fuel prices and only reached between two and three percent. By market introduction standards, full hybrids thus still remain in the first "innovator" phase.

With phase four the real challenge is here: to meet the larger groups of the market. The skeptical "early majority" is likely the acid test of the GEV regime, while some geographic markets or niches may be easier to convince. High fuel (oil) prices or regulation in key markets may kickstart this phase, but fully developed products and systems and a virtually stable second hand market are required regardless of other motivating factors. The key is to understand and respond to customer requirements – and this does not just concern the car but also all ancillary and complementary services such as service, equipment options, financial solutions, charging posts, insurance, second hand valuation and exploitation of any aspect of added value that an electric drivetrain may have for consumers and vehicle users. A fundamental question for the proliferation of dedicated EVs is if it is enough to find the right value for the new (in a market sense) vehicle type, or if the unfeasibility of a continuous "vacation trip" will deter a too large fraction of an assumed client group. In cities, pay-per-km, car pooling and car rentals may increase the availability of, and demand for, the electric car. Under phase four an industry-wide standard of V2G (vehicle-to-grid system) should be defined – including protocol for identifying vehicle unit, payment system, connecting plug, communication protocol between battery, charger distribution network and production system. A growing number of GEV owners want, and are likely to require, access to all charging posts regardless of original owner or operator. Cities and regional governments may have to take over ownership of infrastructure elements and regulate communication protocols and connectors if a large number of vehicles are to be introduced. The history of the development of electrical power suggests that this phase will reach Germany sooner than the United Kingdom. The power utilities which were fast to act on early markets will enjoy cost reductions as more electric buffer/storage capacity becomes available to balance installed wind and solar power. The advantages of V2G become more visible – more wind power can be installed in countries like Denmark and Ireland while maintaining grid stability. In this phase the system characteristics become more defined – sales figures show what battery sizes and types of charging become accepted by the market, which combinations of vehicle models and types of engine, fuels and leasing models are taken up. The degree of infrastructure development necessary relates to choice of technology. These characteristics may differ between markets. Most combinations will however clear the basic mission: moving two people from one charging post to another, over a distance of 10-30 km or more. In the brave new world beyond 2020, when electric power becomes popular for passenger car propulsion, the market will be divided between several technological options. Longer car trips may be managed by battery change, enabling market growth for dedicated EVs, by means of a hybrid system using fossile or renewable sources, or by fast charging en route. Infrastructure actors naturally take an interest in showing customers to the proprietary battery exchange station or fuel dispenser, which should make for good competition and development of attractive systems. During this period, vehicles bought during phase two and three in increasing numbers will find new owners, which opens for new customer groups. The second hand market is however extremely uncertain during a technology

shift of these proportions. As GEVs reach the early majority, fuel cell vehicles may reach the first phase innovative customers in the fuel cell/hydrogen bell curve.

The final fifth phase allows manufacturers and infrastructure operators to make more educated assumptions on the market development both for the now mature markets and for latecomers. The late majority, the late countries and actors will now embrace successful types of GEVs, the infrastructure can be funded and built and the financial structures are established for the new regime. Here the last groups on the early markets – now comprising the 900 million head population of the Triad – will embrace the GEVs. Innovation history suggests that hybrids, with more complicated drivetrains, will now see reduced market shares for the benefit of the simpler battery vehicles. One dominant infrastructure standard for each continent remains. Production systems may now be optimized, making it simpler to compete on price. The second hand market now reaches significant volumes and new customer groups may access GEVs. For countries with less conducive conditions for change, where a more conservative mix of conventional technology and actors providing vehicles and energy is established – Hughes describes a resulting “technical style” from geographic, natural, demographic and industrial circumstances, lined by political ambitions and economic realities – the adaptation to international best practice may be delayed for decades or longer. Infrasytems will not reach all under- or undeveloped areas, limiting geographical diffusion of GEVs. Laggards without infrastructure will have to wait for local, maybe solar operated systems.

This report is funded by the Swedish Energy Agency.  
The sole responsibility for its content lies with the author.