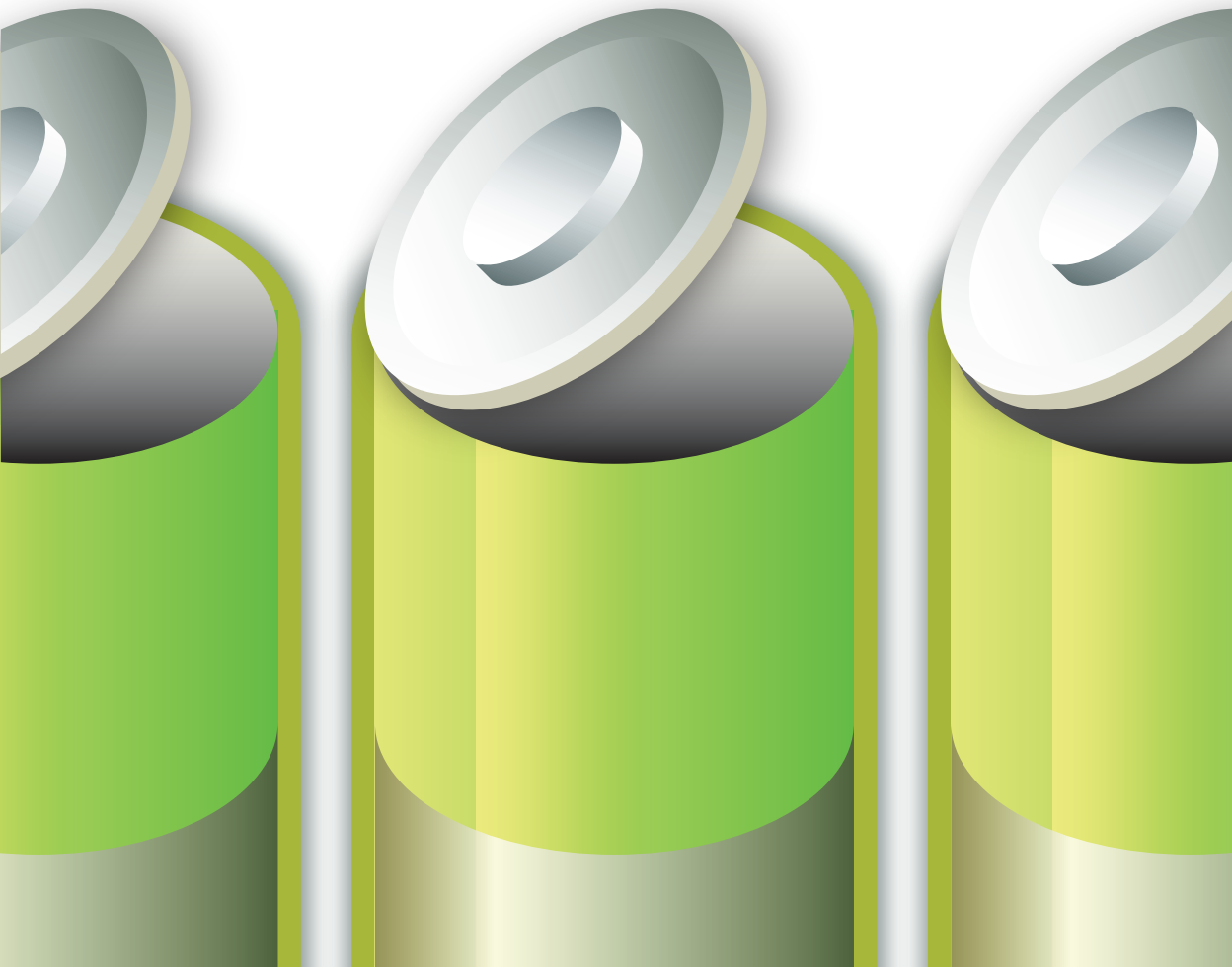


# **UTAN NÄT**

**Batterimarknadens utvecklingsmöjligheter  
och framtida tillväxt**



**Titel:** Utan nät - Batterimarknadens utvecklingsmöjligheter och framtida tillväxt

**Författare :** Örjan Larsson & Benjamin Ståhl - Blue Institute

**Serie:** VINNOVA Analys VA 2012:04

**ISBN:** 978-91-86517-64-9

**ISSN:** 1651-355X

**Utgiven:** Mars 2012

**Utgivare:** VINNOVA –Verket för Innovationssystem / *Swedish Governmental Agency for Innovation System*

**VINNOVA Diariennr:** 2009-02796

---

## **VINNOVA utvecklar Sveriges innovationskraft för hållbar tillväxt**

VINNOVA är Sveriges innovationsmyndighet och ska öka konkurrenskraften hos forskare och företag i Sverige.

Vår uppgift är att främja hållbar tillväxt i Sverige genom finansiering av behovsmotiverad forskning och utveckling av effektiva innovationssystem. För att göra detta har vi cirka 2 miljarder kronor att investera i nya och pågående projekt varje år.

En viktig del av VINNOVAs verksamhet är att öka samarbetet mellan företag, högskolor och universitet, forskningsinstitut och andra organisationer i innovationssystemet. Vi gör det på flera sätt, bland annat genom långsiktiga investeringar i starka forsknings- och innovationsmiljöer, genom att investera i projekt som ska öka kommersialiseringen av forskningsresultat eller genom att skapa katalyserande mötesplatser.

VINNOVA är ett statligt verk under Näringsdepartementet och nationell kontaktsmyndighet för EU:s ramprogram för forskning och utveckling. Sammanlagt arbetar drygt 200 personer på VINNOVAs kontor i Stockholm och Bryssel. Generaldirektör är Charlotte Brogren. VINNOVA bildades 1 januari 2001.

I serien VINNOVA Analys publiceras studier, analyser, utredningar och utvärderingar som tagits fram inom eller på uppdrag av VINNOVAs avdelning för Verksamhetsutveckling.

---

I VINNOVAs publikationsserier redovisar bland andra forskare, utredare och analytiker sina projekt. Publiceringen innebär inte att VINNOVA tar ställning till framförda åsikter, slutsatser och resultat. VINNOVAs publikationer finns att beställa, läsa och ladda ner via [www.VINNOVA.se](http://www.VINNOVA.se). Tryckta utgåvor av VINNOVA Analys och VINNOVA Rapport säljs via Fritzes, [www.fritzes.se](http://www.fritzes.se), tel 08-598 191 90, fax 08-598 191 91 eller [order.fritzes@nj.se](mailto:order.fritzes@nj.se)

*VINNOVA's publications are published at [www.vinnova.se](http://www.vinnova.se)*

# **Utan nät**

**Batterimarknadens utvecklingsmöjligheter  
och framtida tillväxt**

Projektet drivs av Blue Institute, en tankesmedja grundad av Mercuri Urval, med fokus på strategi- och tillväxtfrågor. Mercuri Urval är ett svenskt konsultföretag som arbetar för att stärka sina kunders konkurrenskraft genom att identifiera, utveckla och tillföra rätt kompetens och förmåga som gör det möjligt att bygga upp organisatorisk och strategisk styrka. Analysarbetet och rapporterna inom ramen för *Framtida tillväxtmöjligheter för Sverige* är en del av den verksamhet som Blue Institute bedriver för att skapa och sprida kunskap om marknadsutveckling och de strategiska utmaningar som näringslivet står inför. Genom att arbeta utifrån ett industriellt nätverk, med en industriell tidshorisont och i nära samarbete med de företag som är involverade i tillväxtområdena har den kunskapen kontinuerligt validerats och spridits. Projektet drivs med bidrag från VINNOVA.

VINNOVAs framsynsverksamhet fokuserar på framväxande globala tillväxtområden och förutsättningarna för att med offentliga satsningar på forskning, utveckling och innovation bidra till hållbar tillväxt i Sverige inom ramen för dessa. Framsynsverksamheten syftar dessutom till att identifiera andra typer av policyinsatser än investeringar i forskning, utveckling och innovation som är viktiga för att möjliggöra ekonomisk tillväxt och jobbtillväxt inom framväxande tillväxtområden. Därmed bör den kunna utgöra ett viktigt underlag för svensk närings- och tillväxtpolitik.

# Förord

Sverige är ett exportberoende land som framgångsrikt skapat tillväxt, arbete och välstånd genom att företag utvecklat lösningar som varit internationellt konkurrenskraftiga. Men innovationer och nya marknader måste ständigt skapas, och det sker i en global konkurrens. *Framtida Tillväxtmöjligheter för Sverige* syftar till att identifiera framväxande globala tillväxtområden och beskriva svenska företags förutsättningar, roll och ambitioner. Programmet har nu pågått i fyra år och har identifierat ett sjuttiofem tillväxtområden. Alla har genomgått ett förstudiearbete och ett antal av dem har fördjupats och avrapporterats i studier som denna.

*Utan nät* är en av två rapporter från Blue Institute som handlar om energilagring. Den här rapporten behandlar bärbar och mobil energilagring, särskilt batterimarknaden. Den andra rapporten, *Lösningar på lager*, fokuserar på energilagring för elnät. Rapporterna tar fasta på den starka utvecklingen som pågår i världen där el används för allt fler tillämpningar samtidigt som komplexiteten i elsystemet ökar.

Batterier är fundamentala möjliggörare för den moderna livsstilen. Kommunikation, personlig produktivitet och rekreation är idag i stor utsträckning baserade på batteriförsedda tillämpningar. Vår strävan efter rörlighet har lett till utvecklingen av en mängd områden som alla har gemensamt att de kan användas utan koppling till elnäten. Den här rapporten visar hur den här utvecklingen skett i språng i samspel med olika produkter och hur den dynamiken gör att batterier återigen är ett tillväxtområde i och med elektrifieringen av fordon. Den beskriver också den koncentration som skett i tillverkningsledet, vilket innebär att merparten av tillväxten mer eller mindre är in-tecknad av företag framförallt i Japan och Kina.

Samtidigt är en viktig slutsats att samspelet mellan produkt- och batteriutveckling skapar en marknad, dels för hur batterier integreras i olika produkter, dels för hur de samverkar med omkringliggande system. Det innebär både utmaningar och möjligheter för svenska företag vars produkter och lösningar innehåller eller samspelar med batterier. Därför kan svensk spetskompetens, företagets innovativa förmåga samt forskning och utbildning spela en avgörande roll för utvecklingen av nya marknader för energilagring.

Vår förhoppning är att rapporten bidrar till strategiprocesser i företag och hos myndigheter. Studien har utförts av Blue Institute i nära samarbete med företag som berörs av området. Vi vill tacka alla som medverkat, lämnat information och delgivit sin analys av

området. Rapporten har utarbetats av Örjan Larsson och Benjamin Ståhl. Öppenheten och osäkerheten i marknaden innebär dock att rapporten inte gör anspråk på att vara en fullständig beskrivning. Det är en analys som beskriver och kommenterar utvecklingen i syfte att skapa debatt och underlätta diskussion.

Stockholm i mars 2012

*Göran Liljegren*  
VD  
Blue Institute

*Göran Marklund*  
Ställföreträdande GD externa frågor,  
VINNOVA

# Innehåll

<b>Executive Summary .....</b>	<b>7</b>
The global market for batteries is poised for another surge .....	7
The market growth will be led by lithium and by the automotive sector .....	8
Low-hanging fruit in vehicle electrification will drive short-term growth.....	9
The roles and opportunities for Swedish companies .....	9
<b>Inledning.....</b>	<b>11</b>
<b>Översikt över batteriers funktion, historia och utveckling.....</b>	<b>14</b>
<b>Batterimarknaden .....</b>	<b>19</b>
Blybatterier .....	20
Nickelbatterier .....	22
Litiumbatterier .....	23
Applikationsmarknaderna.....	27
Batterier för personlig produktivitet och mobilitet .....	28
<b>Batterier i fordon .....</b>	<b>31</b>
Personbilar och lätta fordon .....	32
Kommersiella och tunga fordon .....	38
Lok, entreprenadmaskiner, truckar mm .....	41
Leverantörerna och branschstrukturen .....	43
<b>Framtidens batterier och alternativa energilagringstekniker .....</b>	<b>46</b>
Superkondensatorer.....	49
Bränsleceller .....	50
Svänghjul - "flywheels" .....	51
<b>Slutsatser och betydelsen för svensk exportindustri .....</b>	<b>53</b>
<b>Appendix: Batteritillverkare i världen .....</b>	<b>57</b>





# Executive Summary

The capability to store and move energy is a fundamental part of a modern lifestyle. Personal technology that enables communication, productivity and recreation is more or less ubiquitous, and everywhere powered by a battery. As the demands for environmentally friendly transport increases, the battery market is growing fast. This report by Blue Institute outlines the global market opportunities for portable and mobile energy storage solutions.

## The global market for batteries is poised for another surge

With a history spanning two centuries, the battery market should be the very definition of a mature market. Yet during its history, the use of batteries has surged in several waves in connection to the applications that they make possible.

The first such wave, the telegraph in the 19<sup>th</sup> century, saw more than 20 000 Leclanché wet cells deployed in the two years after they were developed. Initially a means to power devices in a world without an electricity infrastructure, their function became obsolete as power grids were built. Yet batteries soon experienced a second surge as portable devices – especially the electric torch – were developed, and more importantly as cars became increasingly prevalent on roads. In the mid-20<sup>th</sup> century, new chemistries powered home and medical appliances. The development of the transistor and the integrated circuit also laid the foundation for battery-powered electronics, an area with profound effects on the global battery market.

Although the basic electrochemical principles that allow batteries to function do not change, technical development has accelerated. In the last decades of the 20<sup>th</sup> century, nickel- and lithium-based chemistries revolutionized the battery market by enabling a wide range of rapidly growing applications – especially portable computers and mobile phones.

Thus, batteries may be an old invention but the market growth has remained high, determined largely by the development of new portable and mobile applications requiring energy storage. The global battery market is still surging with the growth of personal electronics, as the industry delivers ever-higher volumes through larger production facilities and the benefits of scale – and consolidating because of it. However, now market participants are preparing for even faster growth in battery demand - with the electrification of automotive drivetrains.

The global market for batteries is therefore poised for another surge, one which will dwarf previous ones – if electric vehicles become commonplace.

## **The market growth will be led by lithium and by the automotive sector**

The global market for secondary (rechargeable) batteries amounted to approximately 38 billion USD in 2010, and will grow by almost 75 percent – to 66 billion USD - by 2016. That is exclusive of the auxiliary markets for integrating batteries into applications, including battery management, design and testing, which may be of a similar size. Lithium and automotive will be the main beneficiaries, but growth will be strong throughout all segments except nickel-cadmium.

Currently, lead-acid batteries account for approximately half the market, primarily used as SLI (starting-lighting-ignition) batteries in the automotive sector. Only 6 percent of the market goes to electric propulsion, and most of that to light electric vehicles. Lithium has already reached an almost total penetration in mobile phones and portable computers (including tablets), with together account for approximately a third of the global market. The market share of nickel-based chemistries is declining. Nickel-cadmium is declining rapidly in absolute terms, but NiMH remains a valid alternative in some segments (e.g. toys, tools and hybrid electric vehicles).

Over the next few years, lithium is believed to increase and capture half the market by 2016, while lead-acid holds grows more modestly with a declining share of the market as a consequence. As more and more electric vehicles and plug-in hybrids hit the market, their demand for battery capacity will be several orders of magnitude larger than that accruing to personal electronics.

However, applications such as mobile phones, computers, tablets, power tools, video games, camcorders etc. will continue to dominate the market in the short term. Faster processors, larger screens and always-on wireless connections drive power consumption and the need for larger energy storage capacity.

The manufacturing process driven by extreme scale pushes both standardization and innovation, and the industry has already consolidated to a large extent. The Japanese dominance in advanced battery manufacture has deteriorated, but the main suppliers of advanced batteries are found in Asia (in Japan, China and Korea) with only a few western competitors. This is the industry structure that is preparing for the surge in automotive demand. A handful of companies will likely supply the bulk of the world's lithium-based energy storage, and the investments underlying this capacity constitutes a major barrier to entry. However, if the demand of electric vehicles fails to materialize, overcapacity will drive down prices and severely affect profitability.

## **Low-hanging fruit in vehicle electrification will drive short-term growth**

Electric vehicles come in many forms, and which of these that thrive will have a direct impact on the market for batteries. Pure electric cars need very large batteries (25-50 kWh) as well as sophisticated battery management to be a viable alternative to internal combustion engines. Therefore, even a small market share will constitute a sizeable demand. Hybrid (non-plug-in) cars require only small batteries, with less of an impact on the market.

But the largest and most immediate impact will come from “low-hanging fruit”. Plug-in hybrids will strike a balance between battery size and affordability, and will probably reach a larger market share in the coming years. Micro-hybrids (i.e. start-stop systems) are relatively easy to integrate in existing models, contribute significantly to lower fuel costs and emissions, and do not require a change in driving behavior. The large and quick uptake in the market will mean that the relatively small batteries in total will constitute a significant part of demand.

The single largest segment, however, is light electric vehicles, i.e. electric bicycles and scooters. They already constitute a huge market for batteries – more than 20 million LEVs are sold annually only in China. In addition to new vehicle sales, the replacement market for batteries in this sector is large. Dominated by lead-acid batteries today, lithium will increase its share.

In commercial vehicles such as trucks and buses, batteries are becoming more common in hybrid solutions. The market is developing and the ability to offer hybrid solutions will be a competitive necessity, but the market impact on batteries is relatively modest. For industrial purposes, forklifts are a sizeable market for batteries. Lead-acid is most common, but lithium batteries are being introduced with benefits such as quicker charging, longer cycle times, better safety and so on.

## **The roles and opportunities for Swedish companies**

The bulk of both manufacturing and sales of batteries in the global arena takes place in Asia. There are some large American and European suppliers as well, but in Sweden battery manufacture is a marginal activity. Development efforts are likewise concentrated in Asia and the US, although it is a more open field where also research outfits and universities can play an important role – in this sense, both competence and interest exists in Sweden.

Despite this, batteries and the development of the global battery market are of considerable importance to many Swedish companies. For some, the current and future growth represents considerable opportunities. However, these opportunities lie primarily in

areas surrounding the battery itself – in areas of battery integration in products as well as integration with surrounding systems and infrastructure.

In the first area, batteries derive their value from the applications they enable. As such, producers must integrate batteries into their existing and future offerings. This endeavor can be costly but also a competitive advantage. Companies such as Volvo Cars, Volvo and Scania (cars, trucks and buses), Autoliv (automotive safety), Husqvarna and Electrolux (household and garden appliances, robots), BT Toyota Materials Handling (forklifts), BAE Hägglunds (defense) and others, are greatly affected by battery development and influence how successful battery-powered products will be. Furthermore, battery integration is a more fragmented and local sector than battery manufacturing, populated by consultants, software developers and component suppliers. This industry will grow as more applications use more advanced batteries, probably in proximity to application OEMs.

Finally, a world with more mobile rechargeable batteries will require the infrastructure necessary for charging and lifecycle management. The competitive strength of Swedish companies in the power industry and electric engineering, as well as in recycling, have ample opportunities to benefit from the growth of portable and mobile energy storage.

## Inledning

Batteriprincipen är en hundratals år gammal uppfinning som möjliggjort mycket av den vardagsteknik vi idag tar för given. I takt med att dessa produkter och applikationer utvecklats har marknaden för batterier också vuxit. Det har inneburit ett ökat utrymme för forskning och utveckling kring batteriets kemi och relaterad teknik. När utveckling av nya produkter och ett större språng i batteriprestanda sammanfallit har batterimarknaden vuxit snabbt till väsentligt högre nivåer - batterimarknaden har naturligt ridit på applikationens diffusionskurva. Det är därför batterier idag - trots sin framgångsrika hundraåriga historia - återigen står i början av en period av kraftig tillväxt och är att betrakta som ett tillväxtområde. Den här gången är det framförallt eldrivna fordon som driver utvecklingen.

Batterimarknadens utveckling har alltid haft en stark koppling till en befintlig produkt eller tillämpning och har sällan utvecklats isolerat. Eftersom batterier inte är en slutmarknad i sig drivs batterimarknaden av tillväxten och integrationen med de applikationer som de möjliggör. Därför påverkas tillväxttakten också av hur kritisk energilagret är för tillämpningen som helhet och hur viktigt olika funktionella dimensioner som vikt, energitäthet och kostnad är för den.

Men bakom denna förenklade logik finns en komplexitet och osäkerhet som inte ska underskattas. Det finns många olika material som påverkar batteriets elektrokemiska prestanda, och som konkurrerar med varandra. Övervakningssystem och hur batterier integreras är också kritiskt för den praktiska prestandan. Applikationerna i sin tur - och kraven de ställer på strömförsörjningen - är mycket varierande. Produktionsprocesser, skalfördelar och affärsmodeller påverkar också batteriers kommersiella möjligheter. Slutligen finns det i många fall existerande och potentiella substitut.

Batterimarknaden har de senaste årtiondena drivits framförallt av ett ökat användande av personlig och professionell elektronik - särskilt datorer, mobiler och verktyg - och ett ökande behov av mobilitet. När nu fordon ska drivas med elmotorer istället för (eller i kombination med) förbränningsmotorer kommer det behövas ännu mer batterier. *Den sammanhängande drivkraften är möjligheten att använda olika apparater "off grid" - utan koppling till elnätet.*

För bärbara batterier är drivkrafterna framförallt *produktivitet, upplevelser och mobilitet*. Inom de stora och fortfarande snabbt växande applikationsområdena som rör personlig elektronik - mobiler och bärbara datorer - fortgår en utveckling mot snabbare processorer, högupplösta färgskärmar och större minneskapacitet. Det kräver (allt annat lika) mer ström. Samtidigt går utvecklingen framåt vad gäller att minska strömförbrukningen. Dessutom har många applikationer redan nått en bekvämlighetsnivå och infra-

strukturen för att ladda batterier är också väl utbyggd i många fall. Därför är tillväxttakten på det hela taget beroende av volymutvecklingen i slutapplikationerna och inte avhängigt radikala prestandaförbättringar i batterierna. Med andra ord har batterier i dessa områden nått en nästan total marknadspenetration och därmed en flatare del i sin diffusionskurva.

Vad som idag driver investeringar i batteritillverkningskapacitet och forskning kring batteriteknik är istället förväntningar på en snabbt växande marknad för el- och hybridbilar, på samma sätt som de tidigare drivits av konsumentelektronik. Marknadsutvecklingen för batterier är därför starkt beroende av hur elbilsmarknaden utvecklas. I sin tur är det beroende av miljömål och offentligt stöd för elbilar.

I den nära framtiden är det framförallt litiumbatterier som står för tillväxten, även om det förekommer en hel del aktivitet kring alternativa material och teknologier. Utvecklingen inriktas främst på sänkta kostnader, bättre prestanda (särskilt räckvidd) och säkerhet. En annan viktig delmarknad omfattar industriella och kommersiella applikationer, som truckar och fordon för godstransport. Även om de också påverkas av miljömässiga hänsyn är kostnadseffektivitet en annan mycket viktig drivkraft. Genom att elmotorer är effektivare än förbränningsmotorer kan bränslekostnaderna sänkas väsentligt och göra eldrivna fordon konkurrenskraftiga. Inom flera områden är så redan fallet.

Förväntningarna på att de befintliga batterityperna kan förbättras är stora och mycket resurser läggs ner på att optimera materialen, komponenterna, styrningen, tillverkningsprocesserna och integrationen av batterier. Men även med högt ställda förväntningar och mycket resurser finns det applikationer som kräver bättre - eller annorlunda - energilagring. De mer radikala utvecklingsmöjligheterna finns främst i andra batterimaterial, och det saknas inte idéer.

Förutom batterier finns också några andra potentiellt intressanta energilagringstekniker, som bränsleceller och svänghjul, men de befinner sig fortfarande i en tidig kommersiell fas. Bränsleceller liknar batterier i funktionsprincip men använder ett bränsle (till exempel vätgas eller metan) för att generera el direkt. Superkondensatorer lagrar statisk energi och kan laddas upp och laddas ur väldigt snabbt. Svänghjul omvandlar el till rörelseenergi som kan lagras och återomvandlas vid behov. Detta är andra typer av energilager som i vissa fall är konkurrenskraftiga alternativ redan idag.

*Sammanfattningsvis är marknaden för avancerade batterier ett tillväxtområde. Det gäller särskilt de delmarknader som riktar sig mot fordonssektorn, mot personlig elektronik, och tillämpning av litiumjontekniken. Den här rapportens slutsats är att tillväxten i den närmaste framtiden kommer att utgöras av batterier för lätta elfordon (cyklar och mopeder) och för mikrohybrider (start-stopp system). Det är relativt okomplicerade och billiga åtgärder för att nå påtagliga miljö- och kostnadseffekter. Eftersom marknaden som helhet är mogen finns det etablerade värdesystem och starka aktörer, men även en hel del nya aktörer som attraheras av tillväxtmöjligheterna. En rörelse mot mer integre-*

*rade värdekedjor kan förstärka koncentrationen inom tillverkningen men kan också vara ett sätt att bryta sig in på området. Dessutom växer vikten av styrsystem och integration av batterier mot dels produkterna de strömförsörjer och dels med omgivande system, vilket driver en marknad för tjänster, mjukvara och komponenter.*

Den här rapporten beskriver batterimarknadens globala struktur och de applikationsområden där bärbar eller mobil energilagring spelar en avgörande roll. Rapporten inleds med en kortare översikt över batteriets historiska utveckling, för att sedan beskriva den globala batterimarknaden för olika batterikemier, dess geografiska fördelning, och per applikationsområde. I huvudsak riktar vi in den framåtriktade analysen mot batterier i fordon. Rapporten avslutas med en analys av marknadsutvecklingens betydelse för svensk exportindustri.

# Översikt över batteriers funktion, historia och utveckling

*Batteriet<sup>1</sup> har utvecklats avsevärt sedan år 1800 då de elektrokemiska principerna demonstrerades för första gången. Men med tanke på att ett par hundra år har förflutit är dagens batterier ändå förvånansvärt lika de på Voltas tid. Datorer och mobiler har idag gjort oss vana vid exponentiell prestandautveckling men batterier är elektrokemiska anordningar som begränsas av hur kemiska reaktioner kan ske. Därför har utvecklingen snarare skett i vågor, där nya material introducerats som möjliggjort att nya användningsområden kunnat utvecklas. Batterimarknadens historiska utveckling går därför hand i hand med hur applikationsmarknaderna har utvecklats.*

Den som först demonstrerade batteriprincipen var **Alessandro Volta**. Med hjälp av staplade plattor, omväxlande av zink och koppar, separerade med kartong som dränkts i saltlake skapades för första gången en konstant ström från ett batteri. Batterier var - med flera förbättringar som **Daniell-** och **Leclanché-**celler - väsentliga komponenter i uppbyggnaden av telegrafnäten i Europa och USA under 1800 talet, eftersom telegrafi använde just ström för kommunikation. Till dess **Morse** patenterade sitt robusta telegrafsystem 1835 hade batterier varit en marginell produkt som användes i laboratorier och i viss utsträckning för galvanisering, men sedan tog utvecklingen fart. När Leclanché utvecklade våtcellen installerades 20 000 enheter i telegrafsystemet på bara två år. Det var först mot slutet av 1800-talet som olika slags generatorer övertog batteriernas roll i telegrafi. På det sättet kom telegrafi att vara det som drev utvecklingen och marknader för batterier i sin första tillväxtfas.

**Så här fungerar det:** Ett batteri består av en eller flera celler. Varje cell består av en positiv och en negativ elektrod (katod och anod) skilda av en separator indränkt i elektrolyt som tillåter joner, men inte elektroner, att vandra mellan dem. När en yttre belastning, exempelvis en glödlampa, kopplar ihop elektroderna skapas en anslutning där anodmaterialet avger sina fria elektroner genom ledaren till katoden. Den yttre belastningen innebär ett motstånd för elektronerna, vilket ger till exempel ljus. Samtidigt sker en jonvandring genom elektrolyten så att balansen upprätthålls. Strömmen av elektroner flyter tills katoden har avgett allt sitt syre och anoden på motsvarande sätt har oxiderats. Cellen har då lämnat all sin inneboende energi.

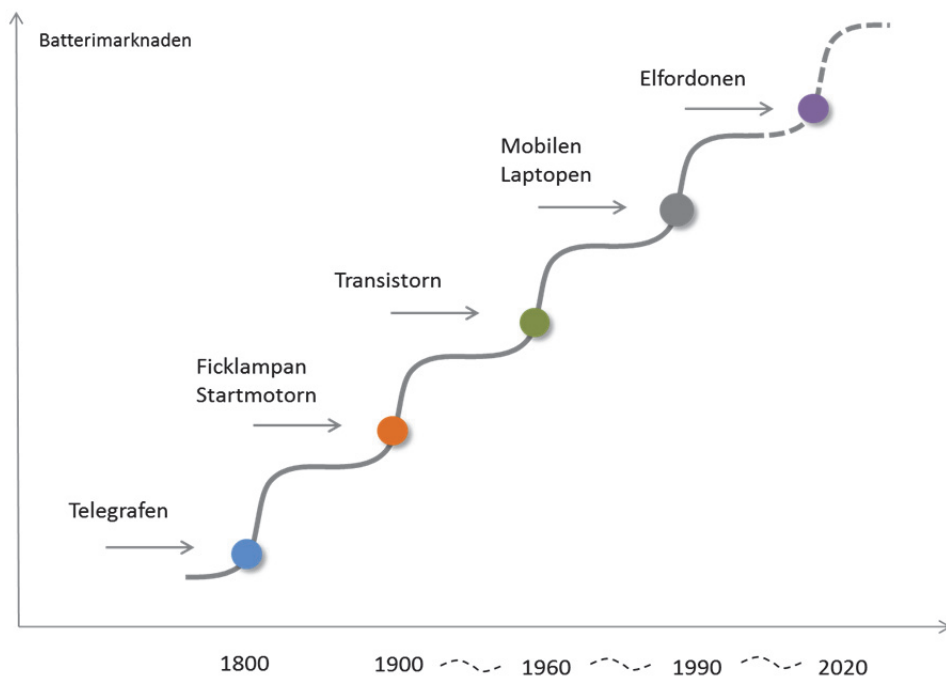
Redan 1859 tillverkades det första laddningsbara batteriet, bly-syra batteriet. Om battericellen går att återställa förbrukas inte någon pol utan omvandlas bara från en kemisk förening till en annan. När omvandlingen är färdig är cellen urladdad men kan återstäl-

<sup>1</sup> Den korrekta benämningen på svenska för uppladdningsbara celler är ackumulatörer. I rapporten används dock den mer bekanta termen batterier genomgående.



las genom att en yttre spänningskälla kopplas till polerna. Eftersom elektriciteten kommer från en annan energikälla kallas det för sekundära batterier.<sup>2</sup> Men även de tidiga batterierna var ”laddningsbara” genom att de konstruerades så att förbrukade kemikalier kunde fyllas på. Batteriindustrin var därför tidigt ute med återvinning.

Batterier på den här tiden var inte särskilt lätta att flytta eller bära med sig, eftersom elektrolyten var flytande och lätt blandades eller läckte om den förflyttades. Ett stort teknisksprång skedde när torrbatteriet utvecklades 1887, genom att blanda elektrolyten med gips och försluta det i ett zinkhölje. Det möjliggjorde en stor mängd av de bärbara applikationer som batterier kanske är mest kända för idag. Den första var ficklampan som utvecklades av Eveready, en batteritillverkare som fortfarande är verksam. Det hade inte varit möjligt om inte glödlampan utvecklats de föregående årtiondena, och marknaden växte ytterligare när volframglödtråden introducerades i början av 1900-talet. Ficklampan var den första bärbara applikationen som också drev marknaden för batterier, till exempel genom viss standardisering (t.ex. av ”D” cellen som sedan 1898 varit vanlig i ficklampor).



Figur 1 Batterimarknaden har utvecklats hand i hand med banbrytande innovationer och applikationer. Källa: Blue Institute

<sup>2</sup> I senare delen av den här rapporten diskuteras främst sekundära batterier, vilka idag står för ca ¾ av batterimarknaden och dessutom ökar snabbast i användning.

Redan ur den tidiga utvecklingen av batterier kan ett par principer som fortfarande gäller urskönjas. För det första handlar det om att optimera en välkänd elektrokemisk princip. Det har skett framförallt genom att använda olika material - till exempel olika metaller i anod och katod samt olika elektrolytlösningar - vilket också påverkar hur batteriet kan konstrueras (och senare styras). Fortfarande idag är det lämpligt att dela in batterimarknaden efter material (som bly-syra, nickel-metallhydrid, litium-luft, osv) eftersom det är avgörande för prestanda, funktion och kostnad i flera dimensioner - och för vilka tillverkare som är inblandade.

För det andra är batteriutvecklingen och batterimarknaden nära sammanflätat med applikationer och kompletterande tekniker. Telegrafin drev ett behov av batterier; ficklampan var också beroende av utvecklingen av glödlampan. Genom att kompletterande komponenter utvecklas möjliggörs strömförsörjning genom batterier - och driver också kravspecifikationerna för batteriutvecklingen. Exempel på det är att minska strömbehovet (för halvledare) eller storleken (för hörapparater). Alltså är batterier djupt rotade i applikationssystem och marknadens utveckling är beroende av de applikationernas utveckling i sin helhet.

Därför är också batterihistorien fylld av uppfinningar som det tagit 60 eller 70 år att kommersialisera - till dess olika applikationer behövde dem. Redan vid 1900-talets början uppfanns nickel-kadmium (NiCad) batteriet av svensken **Waldemar Junger** men det var inte förrän på 1960-talet som det blev vanligt i applikationer som rakapparater och verktyg.

Under 1900-talets första hälft växte batterimarknaden stadigt, men var relativt lokal och fragmenterad. Några nya applikationsområden öppnades upp, inte minst inom fordonsindustrin. Även om de tidiga elbilarna inte kunde konkurrera med förbränningsmotorer i längden så var (och är fortfarande) bilar den största avsettningsmarknaden för batterier, särskilt bly-syra batterier. Men överlag så minskade behovet av batterier i takt med att elnäten byggdes ut. Telegrafi, telefoni och hushållsapplikationer som larm och dörrklockor kopplades till centrala elnät istället för lokala batterier. Det tog mer än ett halvt sekel innan nästa stora tillväxtperiod för batterier kom.

Under 1960-talet skedde flera saker som blev avgörande för batterimarknadens utveckling - och som i sin tur batterierna gjorde möjliga. Transistorn var uppfunnen och elektronikrevolutionen var igång. Den första pacemakern (driven av ett litiumbatteri) opererades in i ett hjärta. Fjärrkontrollen hade kommit och väckt människors intresse för det trådlösa. Den första batteridrivna borsten hade tagits fram (men var så svag att det skulle dröja 20 år innan de vekare elskruvdragarna började nå kommersiell framgång). Om

elnätens utbyggnad hittills varit den starkaste drivkraften för elektroniska apparater i hemmen, kompletterades detta nu med ett begär av att inte vara fjättrad till eluttaget.<sup>3</sup>

Samtidigt utvecklades batterierna. Eveready och Duracell lanserade ”alkaliska” batterier på slutet av 1960-talet, vilket fortfarande är de vanligaste primärbatterierna. Små ”knappceller”, som redan på 50-talet lanserats i hörapparater, revolutionerade klocktillverkningen globalt och möjliggjorde en mängd produkter och applikationer, inte minst spel och leksaker. Men kanske allra viktigast var att små, laddningsbara batterier blev eftertraktade.

Under hela 1900-talet har marknaden för laddningsbara batterier dominerats av bly-syra. De står fortfarande för halva världsmarknaden för sekundärbatterier. Men de är otympliga för mindre applikationer. NiCad batterier var den första batteritekniken som fick ett kommersiellt genomslag i takt med att apparater, verktyg och konsumentelektronik gjordes trådlösa. Med sin relativt ringa storlek och möjlighet till höga effektuttag var det lämpligt för dessa applikationer.

De senaste tre årtiondena har ytterligare två nya batterityper skapat nya förutsättningar för portabel och mobil energilagring. Nickel-metallhybrid (NiMH) batterier – med en utvecklingsbakgrund i rymdteknik och satelliters energiförsörjning – kan lagra dubbelt så mycket energi som ett bly-syra batteri av samma vikt. Det första kom 1989 och blev snabbt den dominerande teknologin för alla sorters bärbara apparater och ersatte i stor utsträckning NiCad. Den första hybridbilen, Toyota Prius, använde ett NiMH batteri när den kom 1997 och gör det fortfarande i sin tredje generation.

Ungefär samtidigt kom litiumjonbatterier – det första lanserades av Sony 1991 – som en utveckling av primära litiumbatterier. Litium, den lättaste metallen, är väl lämpad för energilagring i många avseenden eftersom mycket energi kan lagras i en (relativt) liten massa. Sedan 1991 har utvecklingen dessutom fördubblat mängden energi som kan lagras i ett litiumjonbatteri.

Samtidigt fullkomligt exploderade marknaderna för mobiltelefoner och för bärbara datorer. Från att ha varit nischområden och otympliga har de idag blivit mer eller mindre var mans egendom. Nuförtiden säljs fler bärbara datorer än stationära och nästan en och en halv miljard mobiltelefoner såldes i världen år 2010. Batterier har varit möjliggörare för de marknaderna. Volymerna inom batteritillverkning har expanderat kraftigt och med det har även vikten av skalfördelar vuxit, vilket lett till en successiv konsolidering av tillverkningen.

Även dessa volymer är dock förhållandevis blygsamma om batterier skulle användas i större utsträckning inom världens kanske största industri – fordonsindustrin. För att

---

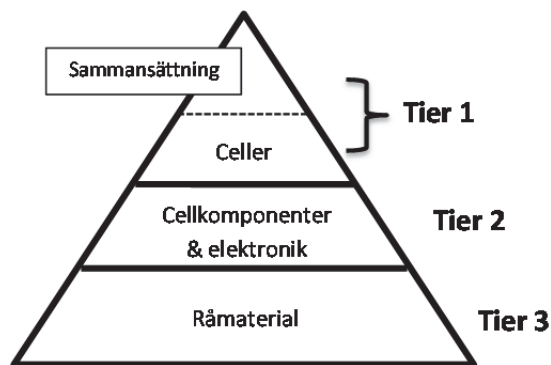
<sup>3</sup> År 1962 släpptes också boken ”Tyst vår” av Rachel Carson, som bidrog starkt till en ökad medvetenhet om de ödesdigra konsekvenserna av kemikalieutsläpp och vilket därigenom påverkat batterimarknaden i material- och återvinningskrav.

ersätta fossila bränslen i drivlinor krävs stora batterier med hög energitäthet. Därför är det främst litiumjon som det handlar om när batterimarknaden står inför en ny tillväxtfas. Men precis som det varit under hela batteriutvecklingens historia är det många faktorer som ska samverka. Motorer och drivlinor, infrastruktur och elnät, regleringar och inte minst konsumenters beteende och uppfattningar behöver också utvecklas och förändras för att tillväxten ska infinna sig.

## Batterimarknaden

Världsmarknaden för avancerade **laddningsbara batterier**<sup>4</sup> bedöms vara värd **ca 40 miljarder USD** år 2010. Uppskattningarna – särskilt bedömningar framåt - varierar dock. Enligt analysbolaget Frost & Sullivan uppgick marknaden år 2010 till 38 mdr USD och förväntas växa till 66 mdr USD år 2016,<sup>5</sup> vilket motsvarar en årlig tillväxttakt på drygt 9 procent. Enligt ett annat analysbolag, Avicenne, uppskattas marknaden snarlikt till drygt 20 mdr USD år 2010, exklusive bly-syra batterier vilka står för ca 50 procent av världsmarknaden.<sup>6</sup> En något högre bedömning landar på drygt 30 mdr USD för marknaden endast för bärbara batterier – både laddningsbara och primärbatterier.<sup>7</sup>

Dessa marknadsuppskattningar är baserade på värdet av batterier i sin oförädlade form – d.v.s. på cell eller ”pack” nivå. Det finns tre tydliga nivåer (”tiers”) inom batteritillverkning. Tier 1 tillverkar och sammansätter celler, baserade på komponenter och elektronik som tillverkas i Tier 2, som i sin tur baseras på råmaterial framtagna i Tier 3. Utöver detta krävs design, integration och styrning av batteriet. Inte minst batteriövervakningssystem, så kallade BMS (battery management systems) är kritiska för att optimera batteriets prestanda för den applikation det är integrerat i, skydda batteriet från skada (och minimera den om skada sker) samt optimera livslängden på batteriet. För vissa applikationer kan kostnaden för styrelektronikens vara lika stor som själva batterikostnaden. Marknaden för batterier är därför betydligt mer omfattande än 40 mdr USD, men oavsett det indikerar den rena tillverkningsmarknaden hela batterimarknadens förändringstakt och fördelning.



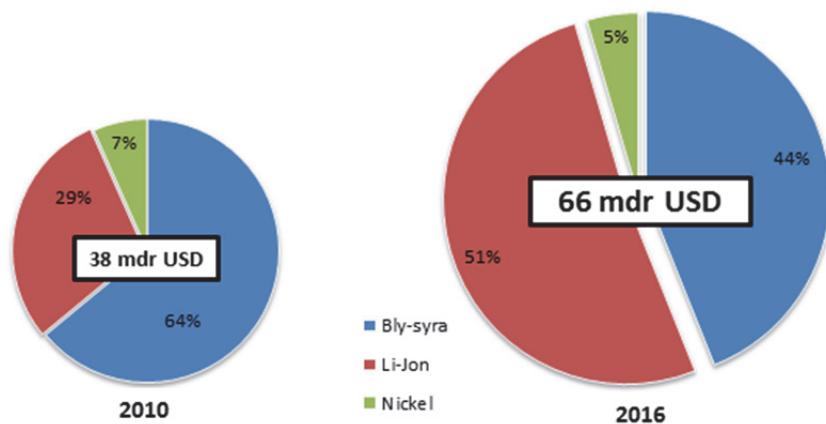
<sup>4</sup> Marknaden för laddningsbara batterier är betydligt större i värde (76 procent) än den för vanliga primärbatterier (24 procent). Tillväxttakten förväntas också vara högre för laddningsbara batterier vilket gör att andelen kommer att öka till över 80 procent år 2015. Källa: Frost & Sullivan, 2011.

<sup>5</sup> Ibid.

<sup>6</sup> Avicenne, 2011: Main trends for rechargeable battery market

<sup>7</sup> Pike Research, 2011: Advanced Batteries for Portable Power Applications

De aggregerade marknadsvärdena och tillväxttakterna innehåller mycket rörelse inom batterimarknaden vad gäller kemi och applikation. I korthet är det en rörelse där bly-syra växer men minskar i andel, framförallt till förmån för litiumjon som växer kraftigt. I sin tur är det en konsekvens av den förväntade tillväxten av elfordon på marknaden.



Figur 2 Batterimarknaden enligt Frost and Sullivan bedöms växa med 28 mdr USD fram till 2016

Indelningen av marknaden utifrån kemi är relevant eftersom applikationsområden och industristrukturen till viss del skiljer sig åt mellan dem. **Blybaserade** batterier har påvisad låg kostnad, robusthet och är återvinningsbara till 98 procent. **Nickelbaserade** batterier har en bevisad hög tålighet och lång livslängd. **Litiumbaserade** har hög energitäthet d.v.s. de är små och lätta men förhållandevis dyra. Det är ingen tvekan om att det är litiumtekniken som tar de största andelarna, har den största potentialen och drar till sig de stora utvecklingspengarna. För den skull ska inte andra principer räknas ut då de har egenskaper som passar precis för vissa applikationer och till priser som inte litiumbatteriet kan möta. Nedan följer en mer ingående beskrivning av de tre batterityperna.

## Blybatterier

Fortfarande 150 år efter dess uppfinning utvecklas blybatterier. De är enkla, robusta och billiga. Varje år säljs nästan 400 miljoner blybatterier bara till bilar och lastbilar, och ytterligare några hundra miljoner till motorcyklar, traktorer, gaffeltruckar och båtar.<sup>8</sup> Över 60 procent av alla sålda laddningsbara batterier i världen är bly-syra-batterier.<sup>9</sup> Bland de stora tillverkarna finns amerikanska **Exide**, **Johnson Control** och **East Penn**,

<sup>8</sup> GS Yuasa Annual Report 2011

<sup>9</sup> Gravita Exim Limited

franska **SAFT**, tyska **Hoppecke**, japanska **GS Yuasa**, **Shin-Kobe** och kinesiska **Zibo Torch**.

Merparten av blybatterier går till fordonsindustrin – till bilar, lastbilar, motorcyklar och mopeder. Så mycket som 75 procent av marknaden är ersättningsbatterier och resten går till fordonstillverkare. Merparten är SLI batterier (start, lighting and ignition) men de används också för elektriska drivlinor, främst i lätta elfordon som mopeder och elcyklar. Andra viktiga applikationsområden är off-road fordon (jorbruks-, bygg- och gruvmaskiner), industrifordon (till exempel gaffeltruckar och städutrustning) och lätta elfordon (som mopeder, golfbilar och rullstolar). Blybatterier används också som reservkraft (UPS), i ubåtar, för telefoni och kraft, i militära installationer och inom sjukvården.

Marknaden för blybatterier är relativt stabil. Den långa utvecklingen och kostnadsoptimeringen innebär att de ofta är det bästa alternativet. Marknaden kommer med all sannolikhet att fortsätta växa i takt med fordonsindustrin, men minska i relativ andel när el- och hybridbilar blir vanligare. En viss konsolidering sker bland leverantörerna som en reaktion på biltillverkarnas konsolidering och globalisering, men det finns fortfarande områden som är relativt fragmenterade. För vissa komponenter, som för råvaran bly, är det en helt öppen marknad. För andra, som polyetylen (PE) separatorer domineras marknaden till över 90 procent av två leverantörer (Entek och Daramic). Det senare är en konsekvens av att det fortfarande förekommer mycket utveckling som radikalt förbättrar blybatteriers prestanda.

Utveckling behövs, för batteriet som startat bilar under mer än hundra år dras med låg energitäthet - de är skrymmande och tunga. De är inte heller speciellt bra på att klara många upprepade i- och urladdningar. Därför finns det på olika håll spännande försök att vidareutveckla blybatteriet som ett kostnadseffektivt alternativ för bland annat start-stoppp-funktionen<sup>10</sup> på moderna bilar (även kallat mikrohybrider).

De stora tillverkarna av blybatterier arbetar förstås med sådan utveckling. Men även nyare aktörer finns inom området. Ett exempel är amerikanska **Axion** som utvecklat ett batteri som kombinerar ett blybatteri med en superkondensator. Hybridtillämpningen - **PbC**-batteriet - ska ge kraft och livslängd som närmar sig litiumjonbatteriers till priset av ett blybatteri. Ett annat utvecklingsspår utgörs av de s.k. **bipolära batteriet**. Genom att göra batterierna bipolära får batteriet mycket större tolerans för snabba svängningar mellan laddning och urladdning. Svenska **Effpower** har utvecklat ett batteri med mycket hög effekt men inte så stor energilagringsskapacitet. Det gör att batteriet lämpligt för start-stopphybrider och mildhybrider. Ett tredje exempel är det Australiensiska forskningsinstitutet **CSIRO**<sup>11</sup> som stöttat forskning inriktad på ett batteri som tål fyra gånger

<sup>10</sup> Start-stoppp-automatik innebär att bilens förbränningsmotor stängs av vid korta stopp - t.ex. vid trafikljus och startar automatiskt när föraren avser att accelerera igen.

<sup>11</sup> Commonwealth Scientific and Industrial Research

fler laddningar än ett vanligt blybatteri, samtidigt som det bara kostar en fjärdedel av existerande batterier för hybridbilar. Batteripaketet ska tåla miljontals snabba laddningar och urladdningar. Sedan tre år har de australiska forskarna låtit den japanska batteritillverkaren **Furukawa Battery Company** utveckla en produkt enligt konceptet.<sup>12</sup>

Blybatterier kommer sannolikt därför att fortsätta vara en viktig del av batterimarknaden, även om det framförallt är andra batterikemier som det talas mest om just nu.

## Nickelbatterier

Det uppladdningsbara nickel-kadmium batteriet patenterades redan år 1899 av svenske Waldemar Junger men det var inte förrän på 1960-talet som de kommersialiserades. När NiCad batteriet kom var det för första gången praktiskt att utrusta små elverktyg och andra konsumentapplikationer med batterier. Idag står nickelbatterier för ca 7 procent av marknaden för uppladdningsbara batterier, varav en tredjedel är NiCad och två tredjedelar är NiMH. Applikationsområdena är hybridbilar, trådlösa telefoner, verktyg, leksaker och hushållsapparater.

Marknaden för NiCad batterier minskar tydligt och förväntas fortsätta att minska till följd av dåliga pris/prestandaförhållandena jämfört med andra batterityper, framförallt NiMH och litiumjon. Nickel-kadmium-batterier erbjuder ungefär hälften av kapaciteten hos NiMH- eller en fjärdedel av litiumjonbatteriernas, och lider av en påtaglig ”minnes-effekt” (d.v.s. att batteriet inte laddas till sin fulla potential). Bara under 2009 sjönk försäljningen av NiCad- batterier med 43 procent inom konsument- och professionell elektronik. Dessutom minskar produktionen av NiCad-batterier som en följd av strängare regler som begränsar användningen av kadmium i många länder. Den Europeiska kommissionen har tillsammans med nordiska länder, bland annat Sverige, vidtagit åtgärder för att begränsa användningen av produkter som innehåller kadmium.

En del av marknaden har istället skiftat till NiMH batterier. NiMH-batterierna uppskattas för dess hållbarhet, stabilitet och säkerhet. Toyota Prius, världens mest sålda hybridbil, har i tre generationer (1997 - 2010) använt sig av dem. Så har även Ford och Honda. Kostnadsfördelarna jämfört med litiumjon är betydande, särskilt med tanke på de volymer av hybrider som Toyota producerar och tillsammans med batterileverantören **Panasonic** har man sedan 1997 lyckas sänka kostnaderna med 75 procent.<sup>13</sup>

NiCad tillverkningen är synnerligen koncentrerad och domineras av japanska **Panasonic** och kinesiska **BYD**. Även franska **SAFT** är en aktör inom området. NiMH tillverkningen är mindre koncentrerad, men även där dominerar kinesiska och japanska tillverkare. **Panasonic** (som äger **Sanyo** och **Matsushita**) och **PEVE** (ett joint-venture mellan

<sup>12</sup> [www.csiro.au/science/Ultra-Battery.html](http://www.csiro.au/science/Ultra-Battery.html)

<sup>13</sup> Vehicle Electrification 05-feb-2010, NiMH battery has high-volume future, says Toyota

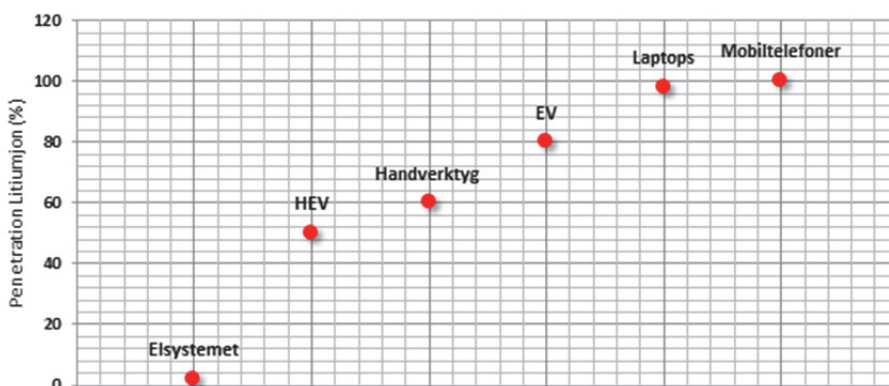


**Toyota** och **Panasonic**, med Toyota som 80 procentig ägare) och **Yuasa** är de stora japanska tillverkarna, medan **BYD** och **GP** är de stora kinesiska aktörerna.

Det går sannolikt att räkna med fortsatt god efterfrågan på nickelbatterier även om marknaden på längre sikt är dömd att erodera när litiumjon utvecklas och blir billigare.

## Litiumbatterier

Litium är den snabbast växande kategorin av batterier. Sedan **Sony** 1991 introducerade det första kommersiella litiumjonbatteriet har det snabbt blivit dominerande för många applikationer. Fördelarna med litiumjon är framförallt dess höga energitäthet, vilket möjliggör lång driftstid kombinerat med låg vikt - egenskaper som passar mycket bra för personlig elektronik, vilket är det applikationsområde som litiumjon främst används för idag. Litiumjonceller har också en relativt hög spänning vilket gör att det krävs färre celler än för till exempel ett nickelbatteri, vilket gör batteritypen lämpligt för handverktyg.



Figur 3 Penetrationen av litiumjonbatterier per applikation 2010. Källor: Avicenne och Blue Institute

Även om litiumjon redan idag utgör en stor marknad, är det framförallt förväntningarna på elfordon som gör intresset för- och investeringarna i tekniken så stora. Men det finns utmaningar som måste överkommas, inte minst måste kostnaden ner. Litiumjonbatterier var dyra när de introducerades, men volymutvecklingen har sänkt priserna avsevärt - batteriet i en iPhone kostar inte mer än 6 USD från tillverkaren.<sup>14</sup> Batterier för mobiltelefoner och bärbara datorer har katoder av litiumkoboaltoxid, som dock är olämplig för användning i batterier för fordon. Utvecklingen handlar därför i hög grad om att förbättra batteriets elektrodmaterial. Randvillkoren är ekonomiska (billigare material ger billigare batterier), termisk och kemisk stabilitet (temperaturkraven sträcker sig mellan -

<sup>14</sup> iSuppli, 2011, iPhone 4S Carries BOM of \$188, IHS iSuppli Teardown Analysis Reveals

30 - - +80 °C), livslängd över många laddningcykler och - framförallt - förmågan att leverera mycket energi och effekt i förhållande till vikt och volym.

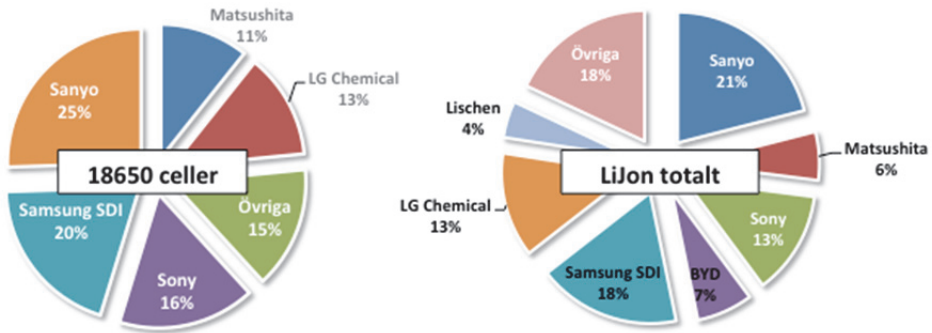
Litiumjon-tekniken är vid det här laget väl känd, men det saknas fortfarande relevanta erfarenheter från de alternativa och mer effektiva varianterna. Samtidigt ägs patenträttheterna för nya batterikemier oftast av konkurrerande företag som håller på dem i väntan på utvecklingsgenombrott, vilket fördröjer industrialiserings- och standardiseringsprocesserna.

Följande katodmaterialkombinationer är nu kommersiella eller föremål för större ekonomiska och forskningsmässiga insatser:

- **Litium-Kobolt** är en mogen, beprövad standardteknologi som ger hög energitäthet och lång livslängd. Patenten är utgångna vilket förklarar den ökande populariteten.
- **Litium-Magnesium** ger en högre cellspänning men lägre energitäthet. Fördelarna är lägre kostnad och bättre prestanda vid höga temperaturer. Magnesium-tekniken är också stabilare och därmed säkrare. Batterierna är kommersiellt tillgänglig men inte så vanliga som litium-koboltceller. Magnesium är ett ur miljösynpunkt bättre alternativ än kobolt.
- **Litium-Svavel** skulle ge elbilar räckvidder på väl över fyrtio mil per laddning. Kombinationen av den höga elektrokemiska potentialen hos litium och det relativt billiga svavlet kan ge både goda tekniska och ekonomiska egenskaper. Bland företag som investerar i litiumsvaveltekniken finns engelska **Oxis Energy**, amerikanska **Sion Power** och **Poly Plus** i Kalifornien.
- **Litium-Nickel** har fördelen att kunna ge upp till 30 procent högre energitäthet än Kobolt men samtidigt är cellspänningen något lägre. Batteritypen har också den högsta värmeutvecklingen vilket kan medföra problem med kylningen i tillämpningar med höga effekter. Battericeller som använder litium-nickel är inte generellt tillgängliga.
- **Litium-Nickel-Kobolt-Mangan** är en kombination som kan ge högre säkerhet till lägre kostnad utan att kompromissa med prestandan. Bland annat **Nissan** arbetar med utveckling av denna princip och uppger att batteriet kan lagra dubbelt så mycket energi som batterier med endast katodmaterialet Mangan. Ca 1 000 laddcykler skall kunna uppnås och eftersom cellerna endast innehåller en liten andel av dyr kobolt kan priset hållas nere.
- **Litium-Järnfosfat** är bra för tillämpningar med höga effekter tack vare god säkerhet. Anledningen är de stabila termiska och kemiska egenskaperna. Cellerna är tåliga även vid vårdslös laddning/urladdning och vid kortslutning. Till dessa positiva egenskaper kan också räknas lång livscykel. Det man får offra är ca 14 procent sämre energitäthet - men även det förutses kunna åtgärdas med vidareutveckling. Batteritypen finns kommersiellt och tar marknadsandelar.

- **Litium-Metall-Polymer** är utvecklad speciellt för bilindustrin. Polymertekniken kommer oberoende av varandra från **3M** i USA och från **Frauenhofer-Institutet** i Europa. I batterierna används anoder av litiummetall i stället för det vanligare Litium Carbon. En del varianter behöver höga arbetstemperaturer för bästa resultat. Dessa produkter har ännu inte nått marknaden.
- **Övrigt** - De flesta anoder i litiumbaserade laddningsbara batterier är baserade på någon form av kol - grafit eller kocks. På senare tid har Litium-Titan-Spinel börjat introduceras som ett alternativ som ger termiskt stabila celler vid höga effekter och samtidigt en bättre livslängd. Ett antal företag och institutioner - bl.a. **IBM, Contour Energy Systems, Envia Systems, Zeptor, Sakti3** laborerar med anodmaterialen för att förbättra energitätheten och säkerheten. Vissa med målsättningen att licensiera sina elektroder medan andra planerar att tillverka egna batterier. Det pågår även nyutveckling av **elektrolytsalter**. Litium Bis (Oxalato) Borat eller **LiBOB**, är intressant på grund av dess relativt enkla tillverkningsprocess från billiga och tillförlitliga råvarukomponenter.

Den intensiva utvecklingen gör att det finns en stor mängd aktörer inom litiumjonområdet, men merparten av dem befinner sig i en förkommersiell fas där de är beroende av riskkapital och statligt stöd. Den faktiska tillverkningen domineras av ett fåtal aktörer. Till exempel står fem företag för 85 procent av tillverkningen av så kallade 18650-celler (industristandarden för bland annat laptops). Men i värdekedjan finns det etablerade aktörer i olika steg och inom tillverkningen av olika komponenter. Japanska företag finns bland de tre främsta inom de flesta områden, men i vissa (som elektrolyter) finns även starka amerikanska aktörer.<sup>15</sup>



Figur 4 Trots mångfalden av aktörer inom LiJon är tillverkningen relativt koncentrerad (N.B. Sanyo och Matsushita ingår båda numera i Panasonic). Totalt uppgick produktionen 2009 till 3,4 miljoner celler värda ca 6,8 mdr USD Källa: Avicenne

Även om det finns goda skäl att tro på en stark tillväxt för litiumjon-tekniken är det två faktorer som kan påverka utvecklingen i det korta perspektivet:

<sup>15</sup> The Center on Globalization, Governance & Competitiveness, 2010.

## 1 Överkapacitet

Batteritillverkarna bygger ny kapacitet med sikte på elbilsmarknaden, ofta med generösa statliga subventioner. Efterfrågestimulansen för elbilar hänger troligen inte med i samma takt som produktionssubventioner för batterier. Det byggs därför upp en överkapacitet som kommer att vara betydande de närmaste åren. Det kan innebära stark prispress men också stora svårigheter för de ledande aktörerna.

## 2 Råvarubrist

Litiumpriserna har nästan tredubblats under det senaste decenniet. Det finns cirka 28 miljoner ton brytvärd litium i världen, men trots att litium är ett av de mest vanliga ämnena på jorden kan det uppstå brist. Med relativt få förekomster av litium finns risker för störningar av produktion och manipulation av marknaden. Produktionen av litium behöver ökas och det är produktionskapacitet snarare än tillgång som kan bli en flaskhals. Det innebär också att återvinning av litium och andra metaller från bilbatterier är högst relevant.

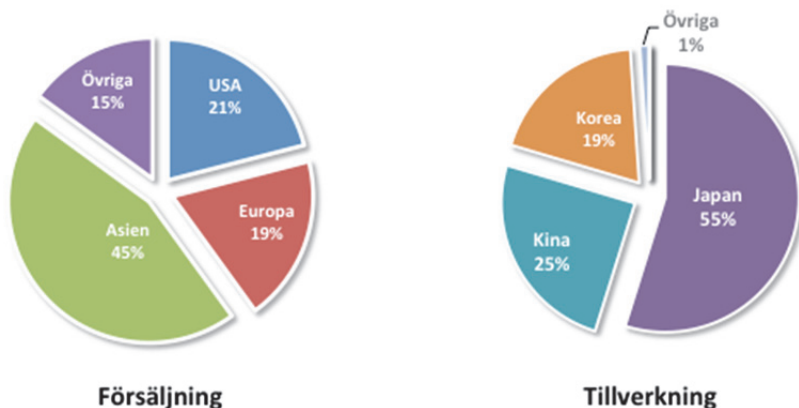
## Batterimarknadens geografi

Geografiskt domineras marknaden av Asien, både vad gäller tillverkning och (om än till mindre grad) försäljning. Det är en konsekvens av att tillverkningen av produkter som kräver energiförsörjning genom batterier framförallt sker där.

Blybatterier särskiljer sig genom att det finns stora amerikanska och europeiska aktörer, men även där skiftar marknaden till Kina och Sydkorea i takt med att fordonsmarknaderna där växer. Gällande nickel- och litiumbatterier har Japanska företag traditionellt dominerat marknaden, men deras dominans är på väg att försvinna. Den avancerade batteritillverkningen domineras av Japan, Kina och Sydkorea som tillsammans står för 99 procent av den globala nickel- och litiumbatteriproduktionen.<sup>16</sup> Kina avancerar dock och har på kort tid blivit en av de största baserna för batteriproduktion i världen. De japanska företagen och tillverkarna i väst är generellt på väg in i joint-ventures och partnerskap med kinesiska batteritillverkare för att kunna konkurrera.

---

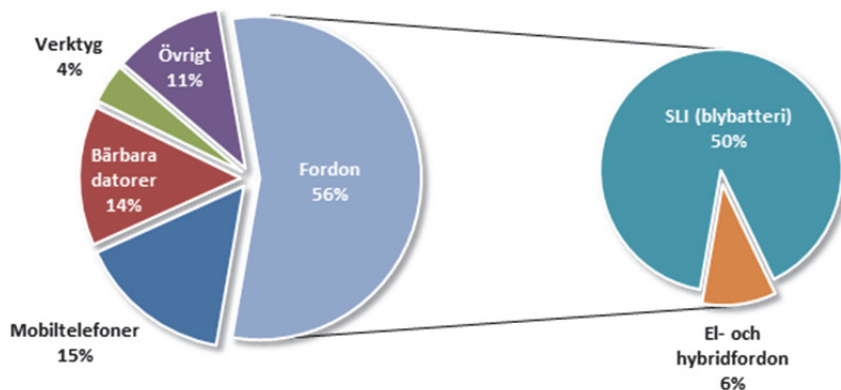
<sup>16</sup> Pike Research, 2009



Figur 5 Asien dominerar den avancerade batterimarknaden. Källa: Avicenne, Pike Research

## Applikationsmarknaderna

Den största enskilda applikationsmarknaden är SLI batterier för fordonsindustrin, d.v.s. blybatterier. För avancerade batterier (nickel och litium) är personlig elektronik - som mobiltelefoner, bärbara datorer och kameror - det applikationsområde som i dagsläget utgör den största delen av batterimarknaden. De förväntas också växa ytterligare, i samma höga takt som applikationerna de försörjer med energi.



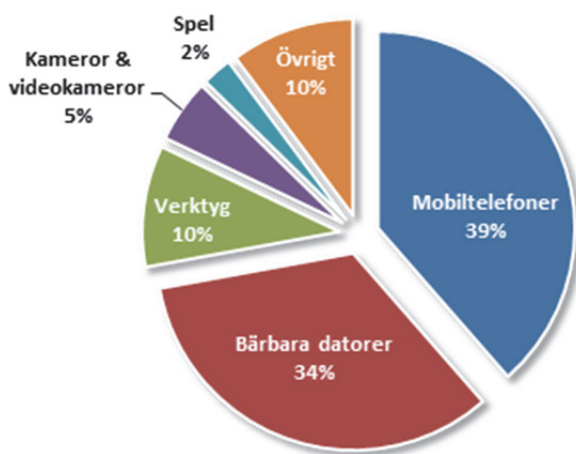
Figur 6 Ungefärlig fördelning av batteriteknik över olika användningsområden. Källor: Frost & Sullivan, Avicenne

Den stora tillväxten förväntas komma från fordonsmarknaden. Redan idag är lätta elfordon (LEV, Light Electrical Vehicles) en betydande applikationsmarknad för batterier. När hybrid- och elbilar blir vanligare kommer de att kraftigt driva fram efterfrågan på stora och dyra batterier. Enligt **Avicenne** kommer marknaden för el- och hybridbilar 2015 vara knappt 10 mdr USD år 2015 och 22 mdr USD år 2020. **Roland Berger** bedömer marknaden vara i en snarlik storlek.

## Batterier för personlig produktivitet och mobilitet

Batterimarknaden har under de senaste årtiondena drivits framförallt av ett ökat användande av personlig och professionell elektronik - särskilt datorer, mobiler och verktyg - och ett ökande behov av mobilitet. Den marknaden kommer fortsätta att växa i takt med att volymerna av personlig elektronik ökar och fler applikationer blir mobila. Litiumjon har blivit den vanligaste typen av batterier, men både NiCad och NiMH förekommer. Det finns också några potentiellt omstörtande teknologier men de befinner sig fortfarande i en tidig, förkommersiell fas.

Marknaden uppskattas till dryga **9 mdr MUSD** år 2010 och förväntas växa med mer än 50 procent till år 2020 till **15 mdr USD**, enligt analysföretaget Avicenne. De största delmarknaderna är mobiltelefoner och bärbara datorer, där litiumjonbatterier är den dominerande batteritypen. Även handhållna verktyg är en viktig delmarknad, där både NiMH och litiumjon är vanliga. Kameror, videokameror, spel och leksaker är andra delmarknader.



Figur 7 Marknaden för batterier inom området personlig produktivitet och mobilitet. Källa: Avicenne

Utvecklingen framåt ser lite olika ut beroende på område. **Konsumentelektronikmarknaden** är kostnadskänslig och den viktigaste tekniska egenskapen för batterier är högt energiinnehåll. **Verktyg och andra mindre motortillämpningar** kräver batterier som kan leverera hög effekt och stora energimängder. Inom proffsmarknaden betyder höga prestanda mer än priset, medan konsumentmarknaden är kostnadsdriven. Bland proffsleverantörerna är det också vanligare att man engagerar sig i utvecklingen av batterier för att tidigt få konkurrensfördelar. För **medicinsk** användning av batterier ställs av naturliga skäl höga krav med omfattande och långa testprocedurer, och höga regulatoriska krav. **Militär teknik** är instrumentell i utvecklingen av ny energilagringsteknologi, men använder naturligtvis också kommersiella batterier i tillämpningar som inte ställer speciella krav.

Batterier för **mobiltelefoner** är den enskilt största - och snabbast växande - marknaden inom personlig elektronik. Under år 2011 såldes mer än 1,5 miljarder mobiltelefoner i världen, en sjufaldig ökning på ett årtionde, och det är fortsatt hög tillväxttakt på marknaden.<sup>17</sup> Praktiskt taget alla mobiltelefoner är utrustade med litiumbatterier. Snabbare processorer, fler processorkärnor, mer minne, högupplösta skärmar och snabbare (och mer) datatrafik kräver allt mer ström. Andelen ”smarta” mobiltelefoner ökar snabbt, från ca 21 procent år 2010 till 31 procent år 2011.<sup>18</sup> De kräver mer batterikapacitet, ca dubbelt så mycket som en ”vanlig” mobiltelefon. Utvecklingen av så kallade litiumpolymer batterier, där elektrolyten är bunden i en polymer, möjliggör avancerad design men ökar också batteriets värde. Sammantaget innebär det att batterimarknaden kommer att öka i det här området snabbare än volymutvecklingen på sålda enheter.

Ett annat viktigt område är **bärbara datorer**, och även där är det uteslutande litiumbatterier som används. Som marknad har de vuxit mycket kraftigt och till stor del ersatt stationära datorer. En stor volymökning kom med så kallade **netbooks** med svagare processorer och lägre pris, men de volymerna har nu sjunkit tillbaks till förmån för **tablets**. Tablets förefaller ändra landskapet då de tydligt tar marknadsandelar från laptopförsäljningen. Den trend mot allt snabbare och mer strömkrävande komponenter som finns i mobiltelefoner ser alltså lite annorlunda ut i det här segmentet, eftersom volatiliteten är stor inom olika delsegment. Överlag kommer även detta område att innebära tillväxt för batterimarknaden och det finns fortfarande ett behov av bättre batteriprestanda.

Handhållna batteridrivna **verktyg** för t.ex. renovering och trädgårdsskötsel är ett applikationsområde som starkt bidragit till produktivitet och bekvämlighet. De första elverktygen patenterades 1895 (en elektrisk borr, av Willem Fein) och sedan dess har allt fler verktyg utrustats med elektriska motorer. Att gå från sladd till batteriförsörjning har varit ytterligare ett steg som frigör användaren. Redan på 1960 talet skapades produkter men det var först 1985 när **Skil** lanserade en batteridrivna skruvdragare som marknaden tog fart. Det var NiCad batterier som möjliggjorde att verktyg kunde marknadsföras som sladdlösa, fullgoda alternativ. Numera är det NiMH och allt mer litiumbatterier som återfinns i verktyg, men för litium finns en hel del utrymme att växa kvar. Idag utgör verktyg ca 10 procent av marknaden för portabla laddningsbara batterier. Andelen kommer sannolikt att minska eftersom andra applikationsområden växer snabbare, men i absoluta tal kommer fler batterier att användas i det här området. Tillväxten drivs dels av att en större andel av verktygsvolymerna blir sladdlösa, dels av att fler (mer energi-krävande) verktygstyper kan utrustas med batterier i takt med att prestandan ökar, och

---

<sup>17</sup> Strategy Analytics, 2012, Global Handset Shipments Reach 1.6 Billion Units in 2011; IDC, 2012, Worldwide Mobile Phone Market Maintains Its Growth Trajectory in the Fourth Quarter Despite Soft Demand for Feature Phones

<sup>18</sup> IDC, Smartphone Market Hits All-Time Quarterly High Due To Seasonal Strength and Wider Variety of Offerings, press release 120206

dels av en växande medelklass och växande förorter (där trädgårdar och hus måste skötas) i befolkningstäta delar av världen.

Andra applikationsområden där batterier är kritiska (men oftast mindre) är digitala kameror och videokameror, handhållna spel, hushållsapparater, hushållsrobotar, medicinsk utrustning och militära applikationer.



## Batterier i fordon

Transporter bidrar med en fjärdedel av de energirelaterade utsläppen av växthusgaser och enbart vägtransporterna förbrukar mer än 50 procent av all olja. I takt med utvecklingsländernas industrialisering förväntas biltrafiken växa kraftigt. En analys gjord för **IMF**<sup>19</sup> drar slutsatsen att antalet bilar kan öka från 700 miljoner till närmare tre miljarder inom mindre än fyrtio år från nu. Det är en ekvation som inte är möjlig om inte nya drivmedel kan tas i anspråk.

Behovet av energilagringsskapacitet i olika fordon skiljer sig stort åt - dels beroende på fordonets storlek och dels beroende på hur drivlinan vägts av i el respektive förbränningsteknik.<sup>20</sup> Det är egenskaper som starkt påverkar den förväntade efterfrågan de närmaste åren. De leder i den allmänna analysen till både förväntade och några mindre förväntade slutsatser.

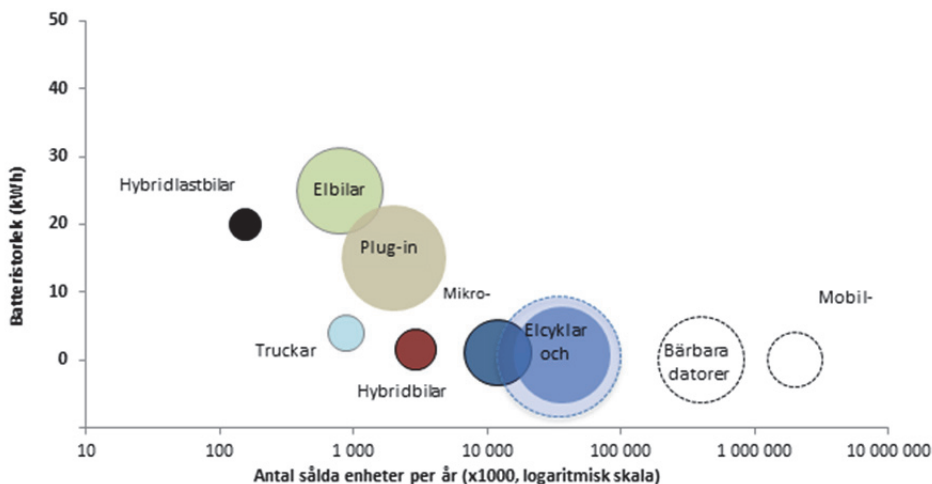
**El-cyklar och mopeder** är kanske ett oväntat inslag, men den stora efterfrågan och tillväxten gör att det kommer säljas mellan 35 och 40 miljoner lätta elfordon år 2016. De har också en levande eftermarknad som är minst lika stor som primärmarknaden. Det gör att den med god marginal efterfrågar mest batterikapacitet inom fordonssektorn. Bland bilar med elektrisk drivlina kommer troligen **plug-inhybrider** att vara den kategori som efterfrågar mest batterikapacitet år 2016. De rena **elbilarna** kommer inte att ta någon stor del av bilmarknaden de närmaste åren, men kommer trots det utgöra en stor marknad på grund av batteriernas storlek. Minst batterier krävs för **mikrohybrider** men då det är ett kostnadseffektivt sätt att sänka bränsleförbrukning - och relativt enkelt att implementera - kommer tekniken snabbt etablera sig och totalt sett utgöra en viktig avsättningsmarknad. **Hybridbilar** har relativt små batterier vilket gör att de endast efterfrågar måttligt med batterikapacitet.

Bland tyngre fordon är **lastbilar och bussar** en snabbt växande marknad men helt eldrivna fordon kommer att vara specialfall. Hybrider kommer utgöra större delen av marknaden, vilket begränsar den efterfrågade batterikapaciteten. **Truckar** utgör en stabil marknad för batterier som kan komma att gå allt mer mot litiumjonbatterier. **Entreprenadmaskiner** kan ha stor ekonomisk nytta av olika former av eldrift men relativt små volymer, försiktigt avancemang och lösningar utan batterier gör att marknaden är mycket liten under den här tidsperioden. **Hybridlok** använder sig av stora batterier

<sup>19</sup> Chamon et al., 2008, *Mass car ownership in the emerging market giants*. IMF/University of Virginia

<sup>20</sup> Översiktligt finns fyra principer för energilagring för eldrivna fordon - batterier, bränsleceller, kondensatorer och svänghjul. De två senare är inte aktuella för långsiktig energilagring utan används då det behövs korta effekttillskott. Bränsleceller kan ses som ett batteri som kan laddas med ett annat bränsle som vätgas eller etanol. Dessa alternativa tekniker beskrivs i ett senare avsnitt i rapporten.

men eftersom det inte förväntas tillverkas fler än ett hundratal lok av den här typen per år är det en nischmarknad för speciellt anpassade batterier.



Figur 8 Förväntad efterfrågan på batterier för fordon år 2016. Storleken anger den totala kapacitetsefterfrågan. Källa: Blue Institute

## Personbilar och lätta fordon

Att köra en bil med förbränningsmotor är ett av de absolut minst effektiva transportsätten när det gäller energianvändning. Mindre än 20 procent av energin används effektivt och även ett modernt jetplan kan hävda sig mot en bil om man räknar bränsleeffektivitet för att flytta en människa från en punkt till en annan.<sup>21</sup>

**Elbilar** och **hybridbilar** är de två tekniklösningar som står till buds för att ersätta bensin och diesel med andra energislag. Båda behöver effektiva energilagrar om de skall kunna leverera värden som förbränningsmotorn vant oss med. Långa körsträckor, höga prestanda och god komfort i både värme och kyla ser vi som självklarheter. Mer sällan reflekterar vi över att det som gör det möjligt är ett energilagrar med osedvanligt potenta egenskaper - bensintanken - som dessutom går att ”snabbladda” på ett par minuter. Full tank i en vanlig bil innebär runt 750 kWh med energi. Det räcker som bekant till kanske hundra mils landsvägskörning. I en elbil med Litiumjonbatterier i samma viktclass som en bensintank får vi ut ca 12 kWh och även om verkningsgraden är mer än fyra gånger bättre för en elmotor så tar det oss inte längre än ca sju mil.

Dessa skillnader illustrerar i ett nötskal problemet med elbilar och väcker samtidigt följdfrågor:

<sup>21</sup> The efficiency paradox, Peter W Huber, Forbes.com

*Kan elbilarna bli en framgång trots sämre distansprestanda och högre priser? Kan utvecklingen ge oss nya lösningar som minskar avståndet mellan bensin och el? Vilken betydelse har infrastrukturen för laddning? Kan och bör samhället subventionera elbilssystemet för att kompensera för skillnaderna?*

Det finns många studier som försöker besvara dessa frågor och i rapporten **Ladda för nya marknader** tar vi upp frågan om laddningsinfrastrukturens betydelse.<sup>22</sup> I den här rapporten fokuserar vi på en annan följdfråga:

*Hur långt räcker dagens batteriteknik för att främja elfordon och vilka konsekvenser får en växande andel eldrivlinor för batterimarknaden?*

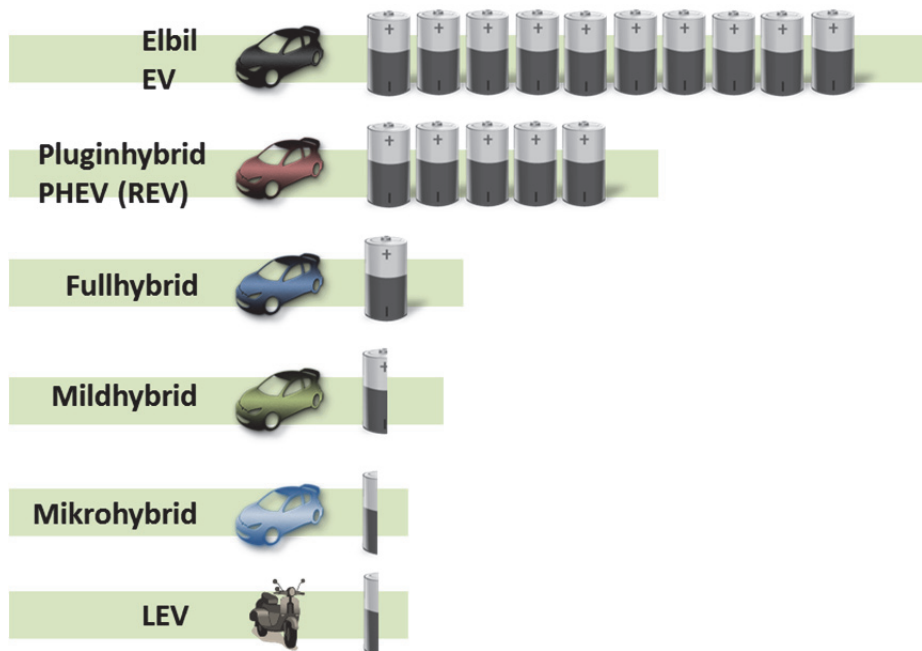
Konsekvenserna för batterimarknaden beror förstås på vilken typ av batteri som fordonet behöver och hur stort det är. En helt eldriven bil (EV, electric vehicle) behöver ett batteri med stort energiinnehåll - många kWh - för att den praktiska användningen och körsträckan ska bli så stor som möjligt. Men utöver den rena elbilen finns hybridbilar (HEV). Begreppet hybrid kan ha många meningar men gemensamt är att det finns både en förbrännings- och en elmotor. Mikrohybrider har någon form av energilager för att säkerställa att komfort och säkerhetsfunktioner hålls igång vid start-stop-automatik<sup>23</sup>. Mildhybrider har en elektrisk ”hjälpmotor” och kan också återvinna energi vid inbromsningar - regenerativ bromsning. Fullhybrider kan köras begränsade sträckor med enbart elmotor. Toyota Prius är ett exempel på full hybridisering. Laddhybriden (PHEV, plug-in hybrid electric vehicle) till sist kan ses som en elbil med inbyggd laddningsmöjlighet, som kan laddas från elnätet och i vissa fall av en förbränningsmotor (och kallas då REV - Range Extended Vehicle).<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Blue Institute, 2010, Ladda för nya marknader - Elbilens konsekvenser för elnät, elproduktionen och servicestrukturer

<sup>23</sup> Teknik som automatiskt stänger av motorn vid kortare stopp och sätter igång den vid start

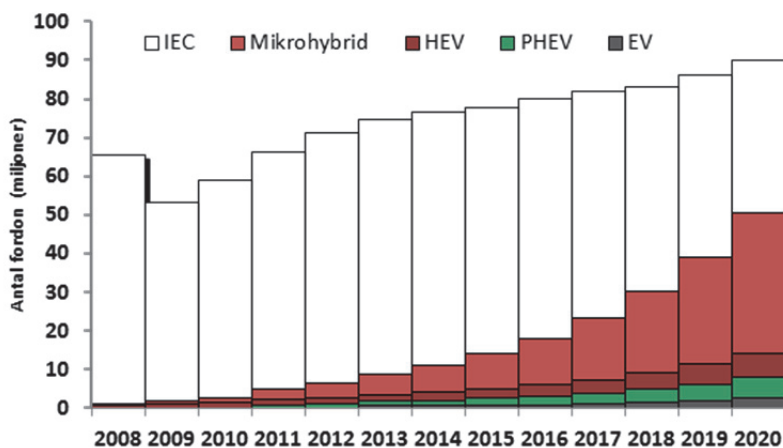
<sup>24</sup> Hybridtillämpningar kräver i regel energilager som kan leverera mycket effekt - många kW - för att accelerera bilen från stillastående eller hjälpa till vid omkörningar. I de här fallen kan även annan teknik än batterier komma i fråga. Kondensatorer med förmåga att hålla mycket laddning under en kort tid och likaså avge den snabbt kan vara en god accelerationshjälp, liksom snabba svänghjul. Läs mer om dessa tekniker senare i rapporten.



Figur 9 För att någorlunda matcha bekvämligheten som ett förbränningsmotordrivet fordon ger behövs i en helt eldriven bil ett batteri som kan leverera 25 - 50 kWh. Det är dubbelt så mycket som en plug-inhybrid kräver och tio gånger så mycket som en hybridbil utan extern laddningsmöjlighet

År 2020 kommer sannolikt både elbilar och plugin-hybrider fortfarande vara sällsynta inslag i gatubilden, men andra typer av hybridlösningar och fordon förväntas spela en stor roll. Konsultföretaget **PwC**<sup>25</sup> tror att bilar med någon inblandning av hybridteknik står för halva bilmärknaden år 2020. Batterimärknaden för mikrohybrider kommer enligt vår analys i den här studien att växa från ca 3 GWh 2011 till 36 GWh 2020. Undersökningsföretaget **Lux Research** räknar mer optimistiskt till **41 GWh** och 3,1 mdr USD redan 2016.

<sup>25</sup> PwC/PRTM, Paving the Way for Electric Vehicles, 2010



Figur 10 Mikrohybrider förväntas få ett stort genomslag medan hybrider (HEV), laddhybrider (PHEV) och rena elbilar (EV) i ett tioårsperspektiv fortfarande har relativt små andelar av marknaden. IEC – förbränningsmotorer – kommer fortsätta att dominera marknaden. Källor: Blue Institute, PwC, Peak Research, Lux Research

Trots att batterierna i hybridbilarna är mycket mindre kommer de stora volymerna att göra dessa marknader nästan lika intressanta som för de rena elbilsbatterierna. För biltillverkarna är mikrohybridisering den ”lägst hängande frukten” för att förbättra bränsleekonomin och minska utsläppen. Det går att få goda resultat till låga utvecklings- och produktionskostnader. Upp till 10 procent bättre bränsleekonomi och lägre CO<sub>2</sub>-utsläpp kan uppnås baserat på det faktum att storstadstilister tillbringar en tredjedel av sin tid stillastående<sup>26</sup>.

Ytterligare ett kanske överraskande inslag i efterfrågan på energilagring är den närmast exploderande marknaden för **tvåhjuliga elektriska fordon**. Light Electrical Vehicles (LEV) omfattar två och trehjuliga fordon som väger mindre än hundra kilo. El-cyklar - d.v.s. trampcyklar med hjälpmotor - och mopeder är de vanligaste produkterna i kategorin som redan idag omsluter 11 miljarder USD.<sup>27</sup> Enligt **Pike Research**<sup>28</sup> förväntas marknaden växa med 9 procent per år, men det mest anmärkningsvärda är den regionala fördelningen - 90 procent av all försäljning sker i Kina. Mer än 20 miljoner LEV säljs varje år där vilket motsvarar dubbla bilförsäljningen.<sup>29</sup> Förväntningarna är att även resten av världen ska upptäcka fördelarna med lätta elektriska fordon och försäljningen i respektive USA, Europa, Indien och övriga Asien förväntas i snitt nå 350 000 LEV per region kommande året. Vissa bedömare anser att den globala marknaden inom några år

<sup>26</sup> The Micro-Hybrids Are Coming, By Jim Motavalli, March 15, 2010

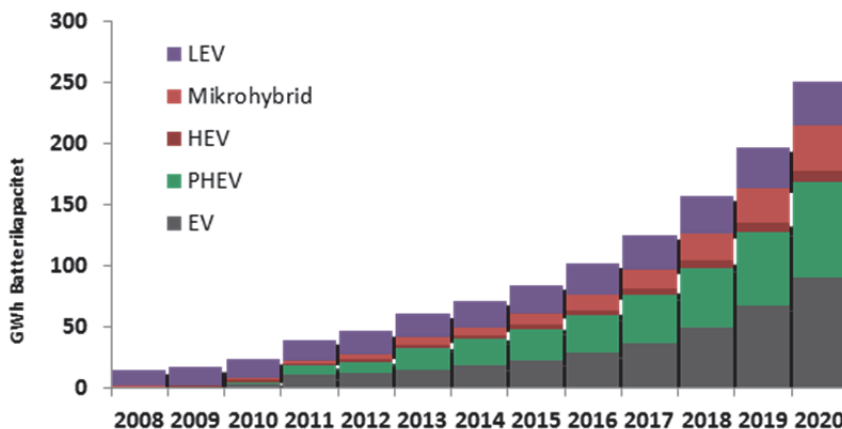
<sup>27</sup> New York Times, An Electric Boost for Bicyclists, jan 2010

<sup>28</sup> Studien - Electric Two-Wheel Vehicles,

<sup>29</sup> Time World, On the Streets of China, Electric Bikes Are Swarming, juni 2009

kommer i fatt Kina och har potential att bli fem gånger större. Det skulle i så fall innebära en försäljning på mer än 120 miljoner LEV per år.<sup>30</sup>

Den batteriprincip som används mest frekvent inom LEV-området är de beprövade och billiga blybatterierna till en kostnad av ca 100 USD/kWh. Batterikapaciteten är typiskt mellan 0,5 kWh för en el-cykel och 1 kWh för en scooter. Men även här ses Litiumjonbatterierna kunna tillföra värden som längre körsträcka, bättre prestanda och längre livslängd. Än så länge är priset dock för högt. Ett litiumbatteri för den här applikationen beräknas kosta närmare 600 USD/kWh. Förbättrade blybatterier kan mycket väl vara en bättre lösning, liksom nickelbatterier. Andelen Litiumjonbatterier uppges till ca 10 procent (men växande) och NiMH till 3 procent (och konstant).<sup>31</sup> Bedömningen är att det kommer att ta ytterligare minst fem år innan litiumtekniken dominerar.<sup>32</sup> Det bör även noteras att blybatterierna är ett miljöproblem om de inte kan återvinnas och en el-cykel kan förbruka så många som fem omgångar batterier under sin livstid<sup>33</sup>. Det innebär också att det finns en mycket stor eftermarknad för ersättningsbatterier - minst lika stor som nyförsäljningsmarknaden. Det gör LEV-marknaden till den största för fordonsbatterier.



Figur 11 Marknaden för avancerade batterier (exklusive SLI batterier) i olika typer av fordon. Även om elbilspenetrationen ser ganska blygsam ut i förhållande till fordonsmarknaden som helhet innebär de stora batterierna att volymerna blir stora. Mest anmärkningsvärt är kanske de lätta fordonens (LEV) relativa andel av marknaden. Källa: Blue Institute

Att elbilar och pluginhybrider inte förväntas ta större marknadsandelar beror på priset och räckviddsbegränsningar. En elbil utan batteri representerar ungefär samma prislapp som en traditionell bil och därtill kommer kostnaden för batteriet. Tekniken för energi-

<sup>30</sup> LEVA, Light Electrical Vehicle Association

<sup>31</sup> Asian Development Bank, 2009 / Weinert, Ma, et al. 2007

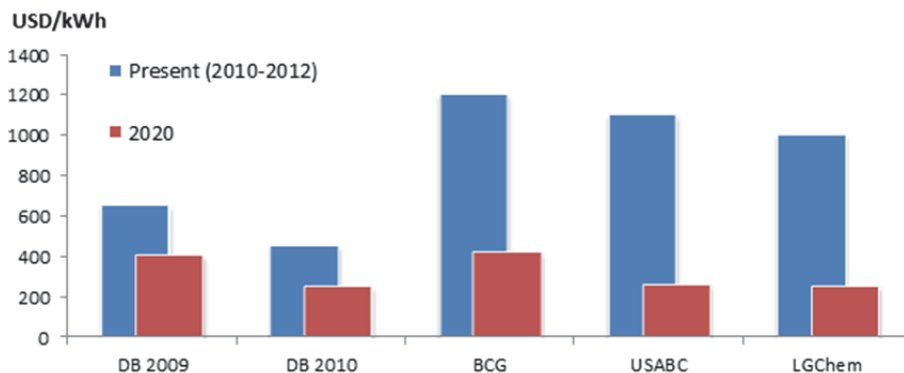
<sup>32</sup> Hannes Neupert Consulting

<sup>33</sup> Energy Use and Emissions of Electric Bike Life Cycle, Asian Development Bank, 2009

lager i EV- eller PHEV-bilar är nästan helt inriktad på litiumjonbatterier och vidareutveckling av dem, vilket är det dyraste batteriet. Det beror inte bara på batteriet utan också på att det krävs avancerad styr- och övervakningsutrustning som är kostsam. Att rationalisera den delen är således lika viktigt för att få ner totalkostnaden.

Vid årsskiftet 2010/2011 uppskattades litiumjonbatterier för elbilar kosta mellan 650 - 1 000 USD per kWh. **Boston Consulting Group** beräknade att priset för litiumjonbatterier fram till år 2020 endast kommer att falla till 750 USD per kWh.<sup>34</sup> Industrin själva hade då satt upp ett prismål på **200 USD per kWh**, vilket ganska väl stämmer överens med att kostnaden för batterier avsedda för konsumentelektronik är ungefär 250 - 400 USD per kWh. Hög volym, automatiserad tillverkning och lägre kostnader för säkerhetssystem ska göra denna utveckling möjligt. **E-One Moli Energy**<sup>35</sup>, som är tillverkare av litiumjonceller för elverktyg och elektriska fordon, menar att kostnaderna för litiumjontekniken kan reduceras till 400 USD per kWh i hög volym, men att elektroniken för att hantera batteriet fortsätter att vara hög.

Deutsche Bank<sup>36</sup> ändrade nyligen sin prognos om prisutvecklingen på litiumbatterier och de uppskattar att kostnaden kommer att gå ner till till år 2020. Underlaget är branschintervjuer som pekar på att den hårda konkurrensen kommer att driva ned priserna, vilket samtidigt reser frågetecken inför lönsamheten i branschen.



Figur 12 Förväntningar på prisutvecklingen på litiumjonbatterier: Källor: Deutsche Bank, BCG, USABC, LG

Det är således stora skillnader på prognoserna vad gäller den framtida prisutvecklingen. Tills vidare är den spekulativ, svårbedömd och fylld av olika partsinlagor. Det behöver gå ytterligare ett par år och marknaderna måste komma igång på riktigt innan mer hållbara prognoser kan göras. Å andra sidan är det nödvändigt att komma ner till bilindustrins målpriser om marknaden ska öppnas. Och om inte kostnaden kan sänkas i önskvärd takt är frågan var volymerna som i sin tur ska sänka kostnaderna ska komma ifrån.

<sup>34</sup> Boston Consulting Group, 2010, Batteries for Electric Cars

<sup>35</sup> <http://www.molicel.com/ca/>

<sup>36</sup> Deutsche Bank, 2010, The End of the Oil Age - 2011 and beyond: a reality check

Förutom priset är räckvidden det andra stora bekymret, särskilt i kallt eller varmt väder. En bil specificerade för körsträckor i mildt väder på 160 km (100 miles) vid full laddning klarar en kall vinterdag sannolikt endast halva sträckan enligt batteritestföretaget **Cadex**. Förutom behovet av värme i kupén tappar batteriet prestanda vid låga temperaturer. De räckvidder som anges av bil och batteritillverkarna visar sig generellt vara optimistiska. Vid försök är en tredjedel kortare körsträcka än beräknat inte ovanligt. När batterierna dessutom åldras kommer kapaciteten att minska och ytterligare begränsa körsträckan.

Eltekniken har därutöver fantastiska egenskaper som i grunden vida överträffar förbränningsmotorn i fråga om moment vid låga varvtal, smidighet och energieffektivitet. Biltillverkaren **Tesla Motors** bygger prestandabilar som genererar nollutsläpp och klarar noll till hundra på fem sekunder. Stora batterier - upp till 85 kWh - ger lång driftsradius och vätskekylning hindrar batteripaketet från att nå högre temperaturer. Till priset av 60 000 USD och mer löser dessa bilar många av elbilens avvisidor. Att ett nytt batteri kostar 40 000 USD kan möjligen oroa den mer långsiktiga ägaren, men bedömningen är att livslängden på ett elbilsbatteri av litium-jon-typ åtminstone ska vara tio och sannolikt närmare femton år.

Batteriet kommer sammanfattningsvis att avgöra framgången för elbilen. I sin tur skulle en växande elbilsmarknad få stora konsekvenser för batterimarknaden och innebära en mycket stor tillväxt. Men fram till att förbättringar har uppnåtts i form av högre energitäthet, många laddningscykler och lägre kostnader kommer marknaden att vara begränsad till olika nischer som offentliga organisationer, bil-pooler, miljöprofilerade företag och en och annan entusiastisk privatkonsument. Till dess att energilagren för elbilar kan visa upp nödvändiga kvaliteter pågår en överbrygging mellan el- och förbränningsteknik genom hybridisering. Full hybridteknik innebär merkostnader som begränsar marknadsandelarna. De stora batterivolymerna kommer med billiga och effektiva lösningar, det vill säga små batterier. Mikrohybrider och lätta elfordon är exempel på det.

## Kommersiella och tunga fordon

Helt eller delvis elektriska lastbilar har förutsättningar att skydda miljön och kapa kostnader. Med de fördelarna förväntas antalet kommersiella hybridfordon att växa starkt inom bara några få år. Hybridelektrisk drift lönar sig bäst för bilar med oregelbundna körcykler. Sopbilar, distributionsbilar och fordon som används av serviceföretag och budfirmor är därför lämpligast att hybridisera.

Den globala marknaden för mellanstora och stora hybridfordon kommer att växa från 9 000 fordon år 2010 till mer än 100 000 fordon år 2015 enligt **Pike Research**.<sup>37</sup> Det

---

<sup>37</sup> Pike Research, Hybrid Trucks & Busses från Pike Research, juni 2010



motsvarar en årlig ökning med 63 procent, vilket är betydligt snabbare takt än för personbilar. **Volvo** och **Scania** har produkter som redan är kommersiella eller är på väg ut på marknaden – Volvo har redan leverat hundratals hybridbussar bara till Shanghai. De stora amerikanska lastbilstillverkarna **Navistar** och **Freightliner** kommer snart att erbjuda mellanstora lastbilar som går på ren elektricitet.

Priset på bränsle är den faktor som mest driver på försäljningen av hybridlastbilar. Diesel utgör mellan 17 och 50 procent av ett åkeris sammanlagda driftskostnader och hybridsystem kommer att kunna reducera denna kostnad avsevärt.

Utvecklingen ska också betraktas utifrån att lastbilstillverkarna under kommande tre år måste minska utsläppen av kväveoxider med 75 procent och halvera utsläppen av partiklar enligt direktivet Euro 6. Euro 7-kraven som förväntas om ytterligare några år kommer att innehålla ännu högre krav på låga koldioxidutsläpp och för att möta det måste verkningsgraden öka dramatiskt och tillverkarna måste bli skickliga på att använda alternativa bränslen. Den största mängden föroreningar från tunga fordon skapas under acceleration från stopp och under längre perioder av tomgångskörning. Hybridsystem utnyttjar elmotorns höga vridmoment till stöd vid acceleration. När dieselmotorn sen tar över framdrivningen sker det inom dess mest effektiva arbetsområde. Därför kan upp till 40 procent minskning av växthusgasutsläpp uppnås genom användning av hybridsystem.

Det största hindret för att gå över till hybridfordon är - precis som när det gäller personbilar - kostnaderna. En hybridlastbil eller -buss kostar mellan 40 till 70 procent mer än ett fordon som drivs med vanligt bränsle. Det ska ställas mot bränslebesparingar i spannet 5 - 50 procent beroende på driftsförhållanden. Lastbilar som fraktar gods över långa avstånd ger minst besparing. Det beror på att moderna hybridlastbilar behöver frekventa inbromsningar för att ladda batterierna. Därför kan stadsbussar, distributionsbilar och sopbilar spara mest på att gå över till hybridteknik. Att bromsa fordonet med hjälp av det elektriska driv-/genereringsaggregatet sparar dessutom på fordonets reguljära bromssystem med mindre underhåll som en bonus.

Även för tung trafik över långa avstånd kan hybridlösningar komma att spela en roll. Framtidens hybridlastbilar skulle kunna köras på diesel, DME eller annat bränsle fram till motorvägen. Väl där fälls en automatisk strömvtagare upp och fordonet fortsätter enligt trådbussprincipen med en elmotor. Initiativet **Svenska Elvägar**<sup>38</sup> har beräknat kostnaden för att sätta upp kontaktledningar för el-lastbilar efter de motorvägar där de flesta tunga transportererna går till mindre än 15 miljarder kronor. Koldioxidutsläppen skulle minska med minst två procent av landets samlade utsläpp. **Energimyndigheten** beviljade i oktober 2010 ekonomiskt stöd på 24 miljoner kronor till **Volvo Powertrain** i samarbete **Scania, Bombardier, Volvo Car, Saab Automobile, Elways AB, Svenska**

---

<sup>38</sup> <http://www.elvag.se>

**Elvägar AB, Vattenfall** och **Trafikverket** för att utvärdera metoder för att överföra elenergi mellan väg och fordon.

När det gäller teknik för bussar finns olika vägar att gå. Hybridbussar är uppbyggda kring ett koncept med en dieseldrivlina och en elektrisk motor i serie eller parallellkoppling och med batterier eller superkondensatorer för energilagring. I maj år 2010 startade **Volvo Bussar** serieproduktion av sina hybridbussar med batterier. **Scania** och **MAN** har i stället för batterier också använt superkondensatorer som energilager i sina demonstrationsprojekt. Kondensatorerna kan hålla mycket mindre laddning än ett batteri - typiskt 2 till 5 procent - men kan i gengäld både ladda och avlämna energin hastigt. Det är egenskaper som är bra i stadstrafik med ideliga inbromsningar och accelerationer. I slutet av 2010 visade **General Electrics** upp ett koncept med dubbla batterier i en elbuss. Ett litiumjonbatteri kombineras med ett billigare natriumbatteri. Idén är att litiumdelen ska bidra med hög effekt och natriumdelen med mycket energi under lång tid, till en lägre totalkostnad.

En annan princip är snabbaddade bussar med laddningsstationer. Tanken är att bussarna utrustas med ett mindre och billigare batteri som laddas ofta. En laddning på 5-6 minuter i vardera änden av en busslinje ska räcka för att hålla en el-buss igång hela dagen. Bussarnas batterier måste klara ett mycket stort antal laddningscykler och att laddas snabbt.

Nackdelarna med den här principen är att bussarna kommer att vara begränsade till relativt korta sträckor på 10-15 kilometer. Men detta anses ändå tillräckligt för att klara merparten av större städers busslinjer. Fördelarna är att systemet förmodas bli billigare än andra former av eldriven kollektivtrafik, som spårväg, tunnelbana eller pendeltåg. Dessutom är systemet flexibelt eftersom bussarna fungerar precis som vanliga bussar bortsett från själva laddningen. En variant på snabbaddningssystemet är att komplettera det med induktiv laddning via laddstationer i vägbanan. **Bombardier** har lanserat ett koncept som kallas **PrimoveCity**. Genom ett elektriskt fält mellan fordon och väg kan laddningen ske trådlöst.

Umeå har intresserat sig för snabbaddningskonceptet och två provbussar under namnet **Arctic Whisper** är sedan en tid i drift. Bussarna är i grunden av typen Volvo 7700 som konverterats till laddhybrider av Umeå-företaget **Hybricon**. Det i grunden amerikanska men spanienbaserade företaget **Oprid** bidrar med laddningstekniken. Även e-Traction BV, Umeå Energi AB och Umeå stad är medintressenter i projektet som väckt stor uppmärksamhet internationellt och är det första som använder sig av snabbaddade hybridbussar.

Ett annat företag inom samma nisch är **Proterra** i Colorado. Proterra har levererat snabbaddningsbussar som provas i Kalifornien. Enligt företaget kommer de också att finnas i Seattle, Reno, Pomona, Tallahassee och Fresno. Bland andra har General Motors varit medfinansierer av projektet.

Den tredje principen för eldrivna bussar är trådbussar. Trådbussen är i princip en vanlig buss där dieselmotorn har ersatts av en elmotor. Matningen av ström sker via kontaktledningar med strömavtagare. Trådbussar är vanliga i Central- och Östeuropa, men desto ovanligare i Västeuropa. **Landskrona** är den enda ort i Sverige som har trådbussstrafik och fick det så sent som år 2005.

## Lok, entreprenadmaskiner, truckar mm

Maskinbranschen står i jämförelse med de massproducerande fordonstillverkarna för små volymer. Det begränsar även den framtida marknadspotentialen räknat i energilagringsskapacitet. Behoven av energilagring varierar också stort beroende på tekniska förutsättningar och kommersiell mognad. Inom flygfarten finns några få bemannade testfarkoster som baseras på bränsleceller eller litiumjonbatterier. Inom sjöfarten är diesel-elektriska drivlinor sedan lång tid en etablerad teknik som dock inte inkluderar energilagring. För fritidsbåtar finns ett växande utbud av el-drivsystem som inkluderar både batterier och solceller, men det är marginalmarknader. Tillverkarna av entreprenadmaskiner har de senaste tre åren presenterat ett antal hybridprojekt i kommersiella eller förkommersiella stadier. Branschen verkar övertygad och framtiden väl utstakad. Världens **truckmarknad** har redan en "el-penetration" på närmare 70 procent och en lång historia av batterianvändning.

Tågmarknaden är kommersiell men för närvarande finns endast en tillverkare, japanska **Toshiba**, som kan erbjuda lok med batterier. Inom några år förväntas dock marknaden för hybridlok att få ett uppsving. Nya regler inom EU och i Nordamerika om hur mycket diesellok får släppa ut i form av avgaser innebär att dieselloken kommer att behöva betydande förändringar för att möta utsläppskraven. Infrastrukturen för järnvägar växer också snabbt i Indien och Kina. Enligt **Pike Research** kommer det att säljas 500 hybridlok i världen mellan 2011 - 2020. Dessa lok kommer att efterfråga 0,5 GWh batterikapacitet. Batterierna som används är främst bly-syra av mer avancerat slag och till en mindre del varianter på natriumbatterier.<sup>39</sup>

När det gäller försvarstillämpningar har bland annat **BAE Hägglunds** arbetat med eldrivna stridsfordon under flera år och det är en strategi som går igen hos de flesta militära fordonstillverkare i världen. **US Armys Future Combat System** använder uteslutande hybridelektrisk teknik för att generera el för framdrift och alla andra delsystem i fordonen. Amerikanska militära hybridprototyper omfattar också **Millenworks Light Utility Vehicle**, Internationella FTTS, **HEMTT modell A3**, och **Shadow RST-V**.

Huvudmotivet för att förse stridsfordon med hybrid och batterikapacitet är inte miljöskäl eller bränsleeffektivitet, utan det handlar i första hand om logistik och manöverförmåga i skog, berg och träskmark. Många av de krav som ställs på militära tillämp-

<sup>39</sup> Pike Research, 2010, Hybrid Locomotives

ningar återkommer ändå för kommersiella tillämpningar. Det visar sig i gränsöverskridande utvecklingsprojekt. Bland annat har **BAE Systems** och **Caterpillar** annonserat ett samverkansprojekt som går ut på att utveckla ett parallellhybridsystem för tunga vägfordon.

Hybridteknik i entreprenadmaskiner kan dramatiskt förbättra bränsleekonomin eftersom den medger mindre dieselmotorer som tillåts arbeta inom de mest optimala varvtalsområdena. Att återvinna och återanvända överskottsenergi som blir till värme i traditionella system, är ett annat utvecklingsområde. Den återanvända energin skapar inte bara nyttigt arbete, det medger också enklare kylsystem, ger lägre vikt, mindre friktion och längre livslängd. Potentiellt kan bränsleekonomin med olika åtgärder förbättras med upp till 40 procent i en entreprenadmaskin.

**Volvo Construction Equipment** var först i världen med att lansera en hjullastare med parallellhybriddrift och batterier som energilager. **L220F Hybrid** ska kunna ge besparingar på motsvarande 10 procent av bränsleförbrukningen när den kommer ut på marknaden. I konceptet för 2020-talet - Gryphin - går Volvo hela vägen och i stället för tunga växellådor, drivlinor och axlar har Gryphin elmotorer inuti alla hjul. Det ger möjlighet till högre markfrigång och tyst drift. Frånvaron av traditionell drivlina och axlar ger möjlighet att införa nya typer av hjulupphängning som ger färre vibrationer och justerbar höjd på maskinen. Mycket av tekniken i Gryphin är redan under utveckling eller till och med under testning.

Ett projekt som använder sig av hjulmotorprincipen är **El-Forest F14**. Företaget har tillsammans med **Volvo Technology Transfer** utvecklat världens första skotare med elhybridteknik. En mindre dieselmotor driver en generator som via batterier ger el till elmotorerna i skotarens hjul.

**Komatsu** är en annan tillverkare som uppmärksammats för satsningen på hybridteknik. Grävaren PC200-8 Hybrid använder en uppsättning av kondensatorer för att ta till vara energi som genereras av svängrörelsen som uppstår i grävmaskinens övre delar. Grävmaskinen använder sedan el från kondensatorerna för att driva en elmotor som förstärker maskinens dieselmotor. Bränsleförbrukning uppges att minska med så mycket som 41 procent jämfört med motsvarande icke-hybrid-maskiner. Komatsu är (2011) redan på gång med att lansera nästa generations hybridgrävmaskiner. Även **Hitachi** kan erbjuda grävare med hybridteknik.

**Caterpillar** har lanserat världens första dieselelektriska bulldozer. Modellen D7Electric är en vidareutveckling av den klassiska schaktmaskinen D7. Maskinen har inga extra batterier, vinsterna finns i att dieselmotorn kan göras mindre och arbeta med konstant varvtal. Driften sker via två elmotorer som driver respektive larvband. Extrakostnaden i jämförelse med en konventionell maskin är mellan 20 och 30 procent.

Även **John Deere** har dieselelektrisk teknik på väg in i produktprogrammet. Hjullastaren 944 K använder sig av samma princip som Caterpillars D7E, vilket innebär att

bränsleförbrukningen kan sänkas med mellan 25 och 30 procent. John Deere menar att bränsleförbrukningen kan sänkas med ytterligare 10 procent med hjälp av batterier, men att kostnaden fortfarande är för hög för att motivera den funktionen. Inom jordbrukssektorn har även **Fiat Iveco** demonstrerat en traktor som kombinerar bränsleceller med litiumjonbatterier som drivkälla.

Sammanfattningsvis adopterar entreprenadmaskinstillverkarna hybrid- och dieselelektrisk teknik på ett till synes marknadsmässigt och moget sätt. Drivkrafterna är ekonomiska och teknikinvesteringarna måste gå att räkna hem för kunderna - entreprenörerna. Därför skiljer sig implementeringssätten från bilindustrin. Få maskinleverantörer använder sig så här långt av litiumjonbatterier i kommersiella produkter. Lösningarna baseras på ren dieselelektrisk drift med inslag av hydraulisk energilagring, på kondensatorteknik och på andra billigare batteriprinciper. När priserna på litiumjonbatterier sjunker kommer de med all säkerhet att fullt ut implementeras i maskinerna. Trots det kommer entreprenadmaskinmarknaden alltid att spela en mindre roll i efterfrågan på batterier. Världsproduktionen var totalt ca 700 000 maskiner år 2010<sup>40</sup> och andelen med någon form av elektrisk drift färre än tusen.

Truckar och andra speciella lastningsmaskiner utgör traditionellt en stor andel av batterimarknaden. I Sverige finns en av de största tillverkarna i världen genom **BT Toyota Material Handling**. Världsmarknaden för truckar förväntas 2011 vara 960 tusen sålda enheter<sup>41</sup> vilket är en ökning med 20 procent från 2010 och en kraftig återhämtning från 2009 då endast 560 tusen enheter tillverkades. Andelen elektriska truckar var 2005 ca 55 procent, år 2010 hade den andelen ökat till 68 procent och en viss fortsatt ökning förväntas<sup>42</sup>. Antalet sålda eltruckar är således i spannet 500 000 – 700 000 och världsmarknaden för batterier är ca en miljard USD.<sup>43</sup> Det finns även truckar som använder sig av bränsleceller i stället för batterier. Tunga blybatterier har tjänstgjort både som energilager och effektiv motvikt när tunga laster ska flyttas. Men även här kan litiumjonbatterierna förväntas växa. Trots den högre kostnaden finns det positiva aspekter som att man slipper batteribytet med snabbbladning, ett minskat underhållsbehov samt att man inte behöver särskilda ventileringsutrymmen.

## Leverantörerna och branschstrukturen

Batterier för elfordon är en ung marknad som när det gäller litiumjonbatterier precis uppnått kommersiell skala. Men den bygger på en mycket längre tradition av batterier för elektronik, apparater och industriella tillämpningar - och i hög utsträckning också på dess ekonomiska fundament.

---

<sup>40</sup> Off Highway Research, 2009

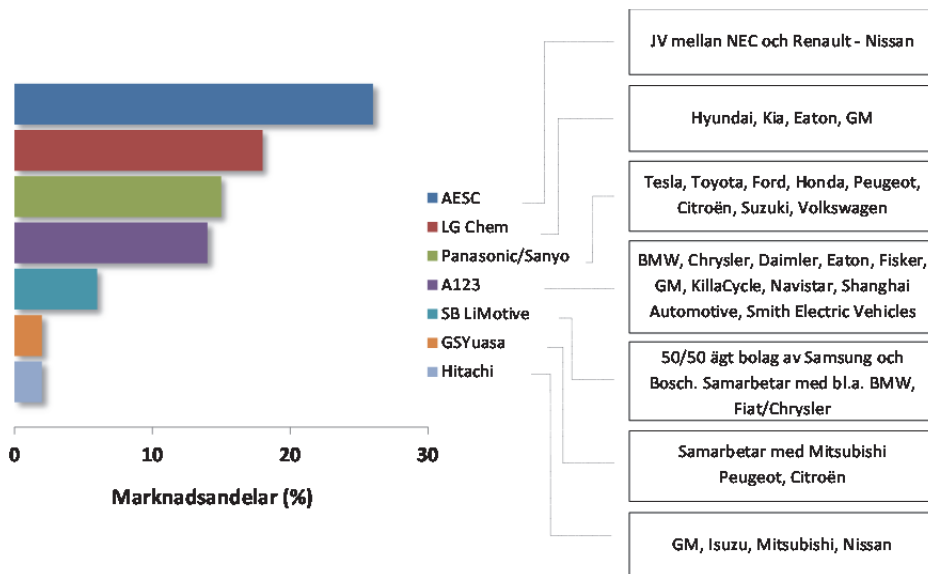
<sup>41</sup> Jungheinrich Maintains Upward Trend 11.08.2011

<sup>42</sup> Rapporten: Top Lift Truck suppliers augusti 2010

<sup>43</sup> US Fuel Cell Council

Det innebär dels att de japanska och koreanska inslagen är stora. Dels att omfattande grepp redan tagits för att konsolidera industrin och för att positionera den inhemska bilindustrin. **NEC/Nissan** hänger ihop i det gemensamägda **AESC**. **Toyota** med **Panasonic/Sanyo** och **Samsung/Bosch** i bolaget **SB LiMotive**. **LG Chemical** samarbetar med **Hyundai** och **Kia**.

Konsultföretaget **Roland Berger**<sup>44</sup> konstaterar i den senaste rapporten att dessa företag kommer att representera nära 70 procent av marknaden om fyra år. Lägger man till amerikanska **A123** finner man att fem företag helt kommer att dominera marknaden med en andel på ca 80 procent. Samtidigt inleder **Hitachi** och **Johnson Controls** ett samarbete för att kunna mäta sig mot de stora leverantörerna.



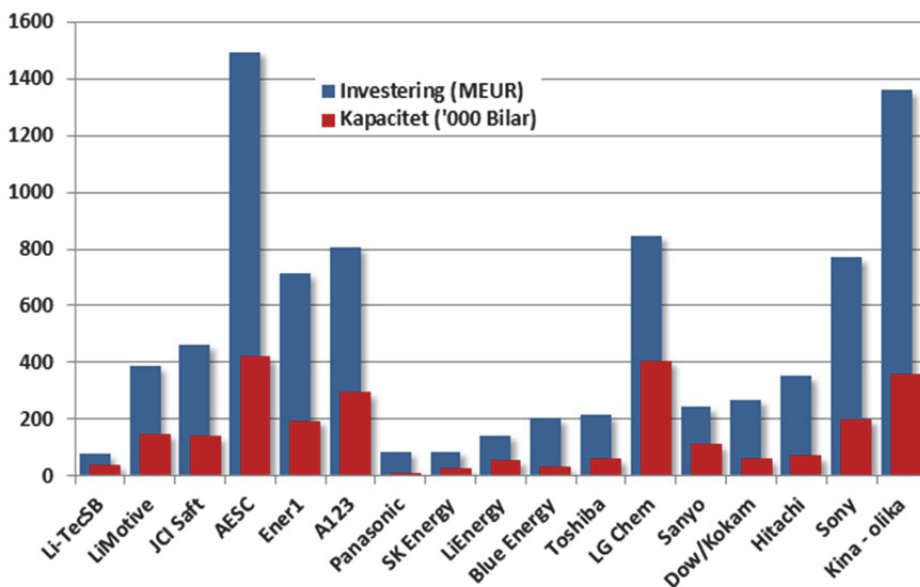
Figur 13 Förväntade marknadsledare inom litiumjon-segmentet år 2015 enligt konsultföretaget Roland Berger

Biltillverkaren **Tesla** är ett annat namn kring vilket betydande batteri-intressen kretsar. **Panasonic** har investerat 30 MUSD i Tesla Motors för att öka intresset för elbilar. Panasonic är huvudleverantör av batterier och arbetar nu med att utveckla en ny generation batterier för den kommande **Tesla S**. Även **Toyota** och **Daimler** har investerat pengar i Tesla. Panasonic arbetar konsekvent med en strategi som innebär att 30 procent (12 mdr USD) av omsättningen ska komma från energisystemkomponenter år 2018. I linje med den utvecklingen har företaget förvärvat **Sanyo**.

Bakgrunden till Korea och Japans dominans är en målmedveten och välfinansierad satsning på forskning och utveckling som förväntas ge frukt på en växande marknad.

<sup>44</sup> Roland Berger, 2011, Global Vehicle LiB Market Study

Den reella produktionskapaciteten i världen har dock till nu varit modest. Därför investeras det kraftigt med uppenbar risk för överetablering. **Samsung-Bosch** investerar 400 - 500 MEUR i en fabrik i Korea som tas i drift 2011. **Panasonic-Sanyo** ökar produktionskapaciteten med nära tre gånger i sin fabrik i Sumoto, Japan. Även **Hitachi** och **Mitsubishi** investerar stora belopp i ökad produktion.



Figur 14 Pågående kapacitetsinvesteringar för litiumjonbatterier för elbilar i världen. Investering i miljoner EUR, kapacitet i antal tusen el- eller hybridbilar. Källa: Deutsche Bank och Roland Berger

För att möta Asiens dominans satsas det dessutom i både USA och Europa. I USA stimulerar regeringen via **Department of Energy** utvecklingen av elbilsteknik genom att utlysa 2 400 MUSD i statligt stöd. En och en halv miljarder går till batteriutveckling.

I Europa har **Johnson Control - Saft** redan startat tillverkning av litiumjonbatterier i Frankrike. I Tyskland har Daimler och kemibolaget **Evonik Degussa** öppnat en fabrik norr om Dresden. Renault söker statligt stöd för en egen batterifabrik i Frankrike. Men japanerna investerar också i Europa. Nissan har planer på fabriker i England och Portugal. Toyota förbereder tillverkning av hybridbilar i Europa och i samband med det förväntas också fabriker för batteritillverkning.

Även indiska **Tata Motor** undersöker möjligheterna för batteritillverkning i England. Dessutom satsar Kina hårt. **BYD Auto** ägs av en stor kinesisk batteritillverkare med 10 000 ingenjörer verksamma inom laddbar batteriteknologi och i förlängningen även elbilar. I företagets planer ingår att bli världens största biltillverkare år 2025. I Japan och Kina är fordonsbatterier föremål för mer eller mindre uttalad statlig styrning och koordinering. Kina kommer enligt uppgift att investera motsvarande 12 miljarder kronor inom området.

# Framtidens batterier och alternativa energilagringstekniker

Att finna den heliga gral som löser världens energilagringsproblem är en utmaning som både lockar skarpa hjärnor och riskvilligt kapital. Privat kapital har hittills varit den primära källan för utveckling och i hög grad även för grundläggande forskning. Det är en princip som också kan verka hämmande då forskning och utveckling tenderar att ske ”patentfokuserat” och isolerat. Ett större utbyte mellan olika initiativ skulle kanske gynna utvecklingen i stort. Att utbudet av avancerade batteriinnovationer finns parallellt vid universitet och labb runt om i världen är också viktigt därför att de flesta av prototyperna förmodligen aldrig kommer nå den kommersiella verkligheten.

Batterier är inte det enda alternativet för mobil energilagring. Efter batterier är kondensatorer den energilagringsteknik som i verkligheten används i någon omfattning. Bränsleceller i fordon är med undantag av militära tillämpningar och vissa truckar fortfarande på experimentstadiet, medan det finns vissa lösningar för mindre tillämpningar (konsumentelektronik) och för elnäten. Svänghjul - flywheels – är ytterligare en energilagringsteknik som är under utveckling för fordonsapplikationer och som redan finns för elnätsapplikationer. I detta avsnitt diskuteras framtidens batterier och alternativa energilagringstekniker för mobila och bärbara tillämpningar.

## Framtidens batterier

Framsteg inom materialteknik och nya processer för att förbättra energieffektiviteten och densiteten i olika lagringseenheter är prioriterade forskningsområden. Följande är exempel på projekt som - om de lyckas - mer eller mindre kan förändra spelplanen och överkomma en del av de problem som finns med energilagring.

**Litium/Luft-principen** har använts i primärbatterier<sup>45</sup> under en tid, men nu pågår forskning och utveckling för att ta fram laddningsbara batterier. Fördelarna med en sådan teknik skulle vara mycket hög energitäthet och lägre vikt eftersom den ena elektroden utgörs av den omgivande luften. Den högsta energitäthet är beräknad till mer än 5 kWh per kilo eller mer än 10 gånger dagens litiumjonbatterier. Problemen har med säkerhet att göra och att isolera den metalliska litumanoden från fukten i den omgivande luften. Litium reagerar häftigt vid kontakt med vatten och kan orsaka explosion och även vid försumbara spår av fukt bryts materialet ner. I stället måste det litium som finns i anoden transporteras via en elektrolyt för att kontrollerat möta syret.

---

<sup>45</sup> Primärbatterier är inte laddningsbara



Idén om att använda luften för reagens har funnits länge men varit svår att omsätta i praktisk nytta. En kommersiell produkt kan knappast nå marknaden förrän om tio till tjugo år. Men med tanke på energiproblemen i världen försöker myndigheter runt om i världen att påskynda processen. Bland annat arbetar **IBM** med stöd av **US Department of Energy** i ett projekt kallat **Bat 500** (batteri för 500 miles räckvidd) där en av världens snabbaste superdatorer har ställts till förfogande. Det gör det möjligt att simulera processer där miljoner atomer kan spåras. De största simuleringarna kan hålla superdatorerna sysselsatta upp till 48 timmar.

Bland företag som märks i samband med litium-luftutvecklingen syns också det amerikanska utvecklingsbolaget **PolyPlus**, som säger sig att ha löst problemet med en skyddad litiumelektrod. Den fasta elektrolyten är ogenomtränglig för vatten men litiumjonerna kan passera. En annan lösning är att ersätta den oxid av litium och kobolt som fungerar som positiv elektrod med poröst kol. Sådan forskning pågår vid **St. Andrews** i Skottland.

Till sist finns det också många belackare som menar att litium-luftbatterier är en utopi. Principen är helt oförlåtande och kräver därför så mycket extraanordningar för både sin grundfunktion och säkerhet att kostnaderna slår genom taket. Även med den höga kapaciteten inräknad.

Flera intressanta utvecklingsspår drar nytta av **nanotekniken**. Vid **Stanford** sker forskning som går ut på att använda nanotrådar av kisel istället för kol för att lagra litiumjonerna i anoden. Antalet joner kan på så vis ökas kraftigt - faktiskt till den grad att nanotrådarna expanderar till fyra gånger sin ursprungliga storlek under laddning utan att skadas. Medan försöken att maximera kapaciteten hos grafit/kol-elektroder börjar närma sig det möjligas gräns och inte kan ge några större språng skulle tekniken med nanotrådar kunna **tiodubbla** batterikapaciteten. Försök med kiselelektroder är inte nytt - idén har lockat eftersom kisel kan ta upp tio gånger så mycket litium som kol, problemet är att kiselmaterialen krackelerar efter ett fåtal laddcykler.

**Lockheed Martin** och **Rice University** har funnit en annan princip som går ut på att etsa kiselmaterialen så att det uppstår små hålrum, vilka ska hindra kisel från att knäckas. Den tekniken sägs ge längre livslängd än varianten med nanotrådar.

**Cambridge Crude**<sup>46</sup> är populärnamnet för ett radikalt nytt sätt att designa litiumjonbatterier, där katoder och anoder utgörs av partiklar i en trögflytande vätska. Forskarna vid **MIT** kallar batteriarkitektur för en "semisolid flödescell". Tanken är att pumpa två kvicksandsliknande vätskor med fasta partiklar genom batterisystemet. Den ena lösningen innehåller katodpartiklar och den andra anodpartiklar. Vätskorna är trögflytande och mycket energitäta, vilket gör att de inte behöver pumpas så fort. De båda elektro-

---

<sup>46</sup> Vätskorna har fått smeknamnet "Cambridgeolja" (Cambridge Crude), efter Bostonförorten där MIT är beläget.

derna interagerar genom ett poröst membran. Med tekniken särskiljs batteriets två huvuduppgifter - att lagra energi och att vid behov ge ifrån sig denna energi.

Målet är att ta fram elbilsbatterier som är hälften så stora och hälften så dyra som idag. Principen gör det också möjligt att ”tanka” batterierna genom att helt enkelt byta ut-tjanta vätskor mot nya. En annan fördel är att systemet är skalbart. Det vidgar användningsområdet även till elnätssammanhang. En nackdel är att batterierna har svårare än vanliga litiumjonceller att snabbt leverera hög effekt. Batteriet lämpar sig därför inte i applikationer som handverktyg och liknande.

Forskarna har visat att tekniken fungerar, men det krävs fortsatt forskning och utveckling för att optimera vätskor och membran. Projektet har finansierats med 16 miljoner dollar från riskkapitalbolag och det amerikanska försvaret. År 2013 är målet att en användbar prototyp för en elbil skall vara framme.<sup>47</sup>

**Zink - Luftbatterier** - Det norska forskningsinstitutet **Sintef** sägs vara i slutfasen att färdigställa ett uppladdningsbart **zink-luftbatteri** som ska kunna ge oss en ersättare till litiumjonbatterier. Denna typ av batteri ska kosta hälften så mycket att tillverka och vara säkrare än litiumjonbatterier. Batteriernas höga energitäthet innebär att de kan rymma så mycket som tre gånger mer energi än ett litiumjonbatteri. Zink-luftbatterier bygger på oxidation av zink med hjälp av syre från omgivningsluften, vilket ger elektronvandring och därmed ström. Luften fungerar även i detta fall som elektrod medan batterikapseln som kan släppa in luft innehåller en elektrolyt och en zinkelektrod. Zink-luftbatterier används i dag mest för hörapparater. Svårigheten har varit att göra dem uppladdningsbara. Sintef uppger nu att deras prototyper klarar över 100 laddningscykler, och ska förbättras till omkring 300-500 cykler innan kommersiell lansering. Slutmålet är uppladdningsbara batterier för fordon vilket sägs vara några år bort. Batterierna skall marknadsföras via det avknoppade företaget **ReVolt**<sup>48</sup>.

En annan typ av batterier - inte lika revolutionerande - som kan förekomma främst i tyngre fordon är varianter baserade på **natrium**. Italienska **FIAMM** gick för en tid sedan samman med Schweiziska **MES-DEA** för att påskynda kommersialiseringen av det s.k. **Zebrabatterier** via ett nybildat bolag som heter **FZ Sonick**. Zebrabatteriet tillhör familjen natrium/metallkloridbatterier. Zebravarianten utvecklades av **AEG** för användning i elektriska fordon, men drabbades trots tekniska framgångar av ogynnsamma marknadsförutsättningarna i slutet av 90-talet. Det har nu lockat till nytt intresse för användning i fordon och i elnätet. Batteriet är testat i bland annat Mercedes A-klassbilar. Zebrabatteriet kräver inget underhåll, anses vara tillförlitlig och har potentiellt låg kostnad. Det är en robust teknik med avseende på livslängd och tolerans mot överladdning och urladdning och tillverkas av råvaror som är enkla att återvinna. **General Electric**s dual-battery-bus är ett stadsbusskoncept som kombinerar Natrium-metall-

<sup>47</sup> Advanced Energy Materials, Volume 1, Issue 4, pages 511–516, July, 2011

<sup>48</sup> <http://www.sintef.no>

batterier med litiumjonteknik. GE kommer nästa år att starta tillverkning av natriumbatterier i USA bland annat med sikte på järnvägsmarknaden.

## Superkondensatorer

Medan batterierna är helt elektrokemiska anordningar är kondensatorer *elektrostatiska*. Till fördelarna hör att de kan klara upp till miljoner i- och urladdningar utan att degenerera. Laddningen kan ske så snabbt som på delar av en sekund. Nackdelen är att energimängden är begränsad, liksom den tid laddningen kan hållas kvar - upp till minutnivå.

En variant av kondensator som eliminerar en del av nackdelarna är ultrakondensatorn eller superkondensatorn.<sup>49</sup> Det finns förhoppningar om att kondensatortekniken ska kunna utvecklas så att de ska kunna konkurrera med batterier. Lagringskapacitet kommer troligen att öka med mellan fem till tio gånger under de kommande åren men att superkondensatorer skulle kunna ersätta batterierna är inte sannolikt annat än för speciella tillämpningar. För effektintensiv användning - acceleration och regenerativ bromsning i elfordon t.ex. - är kondensatorn mycket lämplig.

Utvecklingen av kondensatortekniken är intensiv och det finns redan prototyper på laboratorienivå som erbjuder tio gånger kapaciteten hos dagens kommersiella produkter. Utvecklingen bygger på nanoteknik som gör ytorna som laddningarna kan ta plats på mycket större inom ett givet yttermått. **Grafen** kan vara ett sådant material. Frågan som återstår är hur lätt de nya materialen kan massproduceras och om de kan göras billiga nog.

Bland de mest aktiva utvecklingsföretagen finns MIT:s spin-off **FastCAP Systems**, **ADA Technologies** och **Nippon Chemi-Con**. När det gäller att pressa kostnaderna handlar det oftast om att göra billigare kolelektroder. Bland aktörerna här finns bl.a. **SolRayo**, **TDA Research** och **University of Kentucky**. Elektrolytutveckling är ett annat hett område, liksom joniska vätskor och litium. Om man kan hitta sätt att bygga samman batterier och superkondensatorer i nya och kanske oväntade kombinationer kan det generellt komma att radikalt förbättra möjligheterna att lagra energi.

I mild- och start-stopp-hybrider kan det finnas stor potential för att använda superkondensatorer. **Maxwell Technologies** förser bland annat **Continental AG** med en kondensatorlösning för mikrohybrider. Även i samband med batterier för laddhybrider och rena elfordon kan det finnas en marknad, men för det behöver kostnaden för kraftelektroniken för att integrera de två systemen bli billigare.

På den kommersiella fordonsmarknaden har **Volvo** och **MAN** redan produkter i form av stadsbussar som är baserade på den här tekniken. Kinesiska **Youngman** tillverkar också

---

<sup>49</sup> På fackspråk också: Electrochemical Double-Layer Capacitors (EDLC)

bussar med kondensatorteknik. **Komatsu** som tillverkar entreprenadmaskiner har demonstrerat grävmaskiner med kondensatorer som energilagrar.

Enligt en rapport från analysföretaget **BCC**<sup>50</sup> är marknaden 470 miljoner USD (2010) och ska växa till 1,2 mdr USD (2015). **Maxwell Technologies**, USA, tillhör de ledande inom segmentet med en försäljning på närmare 70 MUSD (2010). Andra större aktörer är **Nippon Chemi-Con**, **Nesscap Energy**, **Panasonic Electronic Devices** och **NEC Tokin Corporation**.

## Bränsleceller

En bränslecell omvandlar kemisk energi till elektrisk energi i en direkt process. Bränslecellen kan liknas vid ett batteri som "tankas" med ett bränsle. Det vanligaste bränslet är vätgas som enklast kan sönderdelas elektrokemiskt. För vardagliga tillämpningar är vätgas svårt att hantera och transportera, det bränslen som därför förväntas användas är t.ex. metanol, bensin eller naturgas, som reformeras till vätgas. En bränslecell kan ge en spänning på 0,7-1 Volt. Således krävs precis som för batterier att ett antal celler seriekopplas för önskad spänning.

Inom bränslecellsindustrin förväntas tekniken stegvis att bli mer kostnadseffektiv genom nya systemlösningar och skaleffekter. För att bli konkurrenskraftiga i fordonssammanhang måste bränslecellerna bli mellan tio till femtio gånger billigare<sup>51</sup> och råvaran - vätgas - måste kunna framställas och distribueras upp till tio gånger billigare. I de försök som nu görs reformeras ofta naturgas till vätgas, vilket är det billigaste sättet. Men en sådan process är inte långsiktigt hållbar då naturgas är ett fossilt bränsle. En annan metod är elektrolys av vatten men precis som vid laddning av batterier avgör elproduktionen hållbarheten. Kolkraft gör vätgas till ett fossilt bränsle medan vindkraft gör det grönt.

Följande varianter utgör de vanligaste typerna av bränsleceller:

- **PEMFC** - Den i särklass vanligaste bränslecellstypen, som bland annat kan förväntas att användas i bilar.
- **HTPEMFC** - En yngre vidareutveckling av PEMFC som eliminerar några nackdelar, men inför enstaka nya.
- **DMFC** - En bra lösning för bärbar elektronik. Blir för dyr vid effekter över 100 W.
- **MCFC** - För närvarande den mest attraktiva bränslecellstekniken för kraftvärmeapplikationer >100 kW

<sup>50</sup> BCC Research - Supercapacitors: Technology Developments and Global Markets, januari 2011

<sup>51</sup> enligt en IEA-rapport, 2005

- **PAFC** - Anses som en föråldrad teknik, men ger fortfarande den bästa livslängden
- **SOFC** - En inte lika mogen teknik som PEMFC, MCFC och PAFC och därmed svårbedömd. Kanske bästa framtida valet för lägre effekter och bränslen som måste reformeras

Flera bilföretag utvärderar bränslecellstekniken med olika typer av testfordon. Bland de mest hängivna kan räknas **Daimler** och **Honda**. Den senare hyr ut 200 exemplar av modellen FCX till privatpersoner i Kalifornien och i Japan. Även tillverkarna **GM**, **Hyundai**, **Mazda** och **Toyota** testar bränslecells-bilar. **Volvo Car** har med forskningsstöd från Statens Energimyndighet påbörjat utvecklingen av en bränslecell i syfte att öka räckvidden för sina elbilar. Målet är att ha två prototyper baserade på **Volvo C30 DRIVE Electric** färdiga för tester i trafiken under 2012. I projektet samarbetar Volvo Personvagnar med **Powercell Sweden AB**, vars största ägare är Volvo Technology Transfer och i vilket statens riskkapitalbolag för fordonsindustrin, **Fouriertransform**, genom en riktad nyemission investerat 60 miljoner SEK.

I en rapport<sup>52</sup> från undersökningsföretaget **Pike Research** tror man att antalet bränslecells-bilar på vägarna har nått över en miljon till år 2020. Marknaden förutspås ta fart år 2015 med 57 000 sålda fordon och därefter öka till 390 000 fem år senare. Japan, Tyskland och Kalifornien förväntas bli föregångsmarknader eftersom det här planeras och ges stöd för utbyggnad av vätgasdistribution. Resonemangen i rapporten förutsätter sannolikt kraftiga subventioner också för fordonen. Det är heller inte troligt att den privata marknaden är huvudmålet under den här tidsperioden.

**Ballard Power Systems, Plug Power, EnerFuel, H2Logic, Intelligent Energy, Nedstack, Proton Motor, Serenergy, UTC Power** och **Hydrogenics** är exempel på leverantörer.

Det finns också bränsleceller för andra typer av applikationer. **Sony** har till exempel bedrivit utveckling för mindre bränsleceller som är tänkta att förse bärbara datorer och mobiler med energi, och i Sverige finns **myFC** som utvecklar en mobiltelefonladdare baserad på bränslecellsteknik.

## Svänghjul - "flywheels"

Att lagra energi i ett snabbt roterande svänghjul kan var en god idé i fordons-sammanhang. Redan i slutet av 1970-talet testade **Volvo** svänghjul i stadsbussar och på 80-talet i en Volvo 240. Även tåg och tunnelbanor har utrustats med svänghjul. Idén är att ta tillvara bromsenergin för att sedan använda den vid acceleration och starter. Tekniken har dock varit både dyr och klumpig. Men utvecklingen av kompositmaterial, kraftkom-

---

<sup>52</sup> Fuel Cell Vehicles, 2011

ponenter och magnetlager gör att intresset inom bilindustrin ökar. Principen är att energimängden ökar med kvadraten på svänghjulets hastighet, men bara linjärt mot massan. Därför kan svänghjulen göras lätta och små om bara hastigheten kan hållas hög. Utmaningen är hur hjullagringen skall kunna ske utan att det uppstår problem med livslängd och värmeutveckling när varvtalet är uppåt 60 000 varv per minut. Detta kan lösas med elektrodynamiska lager eller magnetlager.

Svänghjulen är - precis som kondensatorerna - ett effektlager för korta tider som snabbt kan leverera energi. Poängen är dels att kombinera elbilens drivlina med ett svänghjul för att förlänga batteriets möjliga drifttid och livslängd. Svänghjulet får ta stötarna vid starter och stopp som sliter på batteriet. Dels komplettera en förbränningsmotor för bättre bränsleekonomi och/eller högre effekt. Under senare år har de här egenskaperna testats inom formel 1-sporten. När bilarna bromsar in i en kurva gör bromskraften så att svänghjulet börjar rotera. När bilen sedan går ur kurvan ger svänghjulet bilen ”extra hästkrafter” och snabbare acceleration.

Bland bilfabrikanter som prövar den här tekniken - som kallas **KERS** (Kinetic Energy Recovery system) - återfinns **Porsche, Volvo** och **Jaguar**. **Torotrak** i England har tillsammans med Jaguar inlett en test av svänghjul som enligt målsättningarna ska vara lättare, billigare och ge tillbaka mer av den lagrade energin än en vanlig batterihybridlösning. Svänghjulet snurrar med upp till 64 000 varv per minut och effekten uppgår till motsvarande 80 hk. När bilen efter bromsning ska accelerera kopplas svänghjulet direkt in mot fordonets drivaxel via en variabel transmission. Svänghjulet sägs kunna återföra 70 procent av energin, det ska jämföras med att motsvarande energiomvandling via batteri har en verkningsgrad på 35 procent.

Volvos koncept utvecklas tillsammans med **Volvo Powertrain** och **SKF**. Energimyndigheten stödjer projektet genom ett anslag på 6,57 miljoner kronor. Volvo är än så länge ensam om att applicera svänghjulet på bakaxeln i en bil som har en förbränningsmotor som driver på framhjulen. Det spekuleras en del i om Volvo eller Porsche blir först ut med serieproducerade KERS-bilar.

## Slutsatser och betydelsen för svensk exportindustri

Det står klart att tillverkningen av avancerade batterier främst kommer att ske i Asien och till viss del i USA. Fabrikationen av litiumjonceller och dess paketering domineras av fyra, fem företag med resurser och möjligheter att föra utvecklingen vidare. Mellan de viktigaste biltillverkarna och batterileverantörerna har tycken uppstått och partnerskap ingåtts. Konsolideringen för konsumentelektronik har pågått en längre tid och scenen för den framtida el- och hybridbilsmarknaden är i huvudsak satt.

Det innebär inte att det saknas möjligheter. Inom batteritillverkning finns det gott om nischer. Även om de flesta batterier, i alla fall på cell- och packnivå, är ”commodity”, så finns det olika komponenter och tillverkningsmetoder som snarast är monopolmarknader – skyddade av patent och/eller av att efterfrågan ökar så kraftigt att den befintliga kapaciteten inte räcker till. Ett exempel på det första är polyetylen-separatorer för blybatterier, ett på det senare är litium-polymer batterier. Särskilt finns det nischmarknader och utvecklingsområden inom de flesta energilagringssprinciper som inte baseras på litium. Vi har i rapporten nämnt svenska **Effpower** som i utvecklingsprojekt med Volvo prövar avancerade blybatterier i entreprenadmaskiner och att **Volvo PV** utvecklar svänghjul i personbilar. De stora volymerna och marknadsvärdena inom batteritillverkning kommer inom överskådlig framtid finnas inom en redan konsoliderad branschstruktur.

Analysen om möjligheter för svensk exportindustri bär därför *ifrån* själva energilagret. Dels för att det inte finns förutsättningar – eller behov – av att konkurrera inom ett område med standardiserade produkter, men framförallt för att det finns goda affärsmöjligheter runt omkring. Möjligheterna är av två kategorier: integration av batterier i en särskild applikation samt integration av applikationen med omgivningen.

En stor del av utmaningen och kostnaden för att utveckla konkurrenskraftiga tillämpningar som använder batterier ligger i integrationen med andra komponenter och system som bildar en helhetslösning. Att beställa ett batteri som kan leverera en viss mängd energi är en sak; att bygga in den i sin produkt och säkerställa optimal prestanda och livslängd är en annan. Som nämnts är detta inte en obetydlig kostnad utan något som kan vara större än kostnaden för själva batteriet. Det är också en viktig konkurrensfaktor i den mån det avgör hela produktens prestanda.



Figur 15 Svensk industris möjligheter finns inom batteriintegration och de strukturer som omger batteriapplikationer

Svenska företag vars produkter på något sätt integreras med avancerade batterier är därför beroende av att själva införskaffa kompetens om batterier. För företag som **Volvo**, **Scania** och **Volvo PV** (inom fordon), **BT Toyota Materials Handling** (truckar), **Husqvarna** (trädgårdsverktyg och gräsklippare), **Electrolux** (hushållsmaskiner) med flera är det således viktigt att följa med batteriutvecklingen för att fortsätta leverera konkurrenskraftiga produkter. I den mån man erbjuder en helhetslösning kan ansvaret även innefatta kringliggande komponenter som till exempel laddare och batteribytestsystem. Även för företag som jobbar mot kunder med stort intresse av batterier, till exempel fordonsindustrin, är batteriintegration en möjlighet. Det är alltså även tillväxtområden för bland annat **Autoliv**, som är världsledande på fordonssäkerhet.

Företagen bygger egen kompetens men det är också vanligt att ta hjälp av konsulter och specialiserade företag, som kan sägas utgöra ett ”mellanlager” mellan batteritillverkning och tillämpning. Det är en bransch som är mycket mer fragmenterad, lokal och specifik (per kemi och tillämpning) än vad batteritillverkning är. Närheten till industri och kvaliteten på forskning och utveckling inom energilagring är en avgörande grogrund för sådana konsulter. Ett exempel i Sverige är **ETC AB**. De arbetar med att överbygga gapet mellan akademi och industri och har ett av Norden mest välutrustade batteritestcentrum. Ägare är Sveriges ledande universitet, offentliga och industriella organisationer. Inom batteriområdet har ETC medverkat i projekt som sedan utvecklats till företag och industriella produkter. Här kan nämnas Volvos och Vattenfalls hybridbilsprojekt.



En viktig del av integrationen är batteriövervakningssystem (BMS), särskilt för fordon där batterierna är stora och säkerhetskraven hårda. BMS kan innefatta många byggnadsstenar, inte minst mjukvara och sensorer, och där finns möjligheter för både stora aktörer att följa med sina kunders utveckling och för små med särskild kompetens i nischade områden. De stora aktörerna inom elektronik och underleverantörer inom bilindustrin är förstas redan positionerade för den utvecklingen. Till exempel har **SKF** produkter och lösningar lämpade för el- och hybriddrivlinor.

Den andra kategorin av tänkbara tillväxtområden där svensk industri kan göra sig gällande handlar om hur batteribärande applikationer integreras med omgivningen. Laddningsinfrastruktur blir till exempel en viktig förutsättning för el- och hybridfordon. Särskilt elfordon kan komma att frigöra stora marknadsvärden utöver den marknad som själva fordonen utgör. I en tidigare rapport har vi beräknat potentialen för tillväxtområdena i anslutning till elbilen, d.v.s. laddpunkter, tjänster och investeringar i smarta elnät.<sup>53</sup>

En särskild och annorlunda del av infrastrukturen skulle kunna vara elvägar, där diskreta insatser för hårt trafikerade transportstråk till en förhållandevis låg kostnad skulle möjliggöra utsläppsminskningar med hjälp av hybridlastbilar. **Energimyndigheten** beviljade i oktober 2010 ekonomiskt stöd på 24 miljoner kronor till **Volvo Powertrain** i samarbete **Scania**, **Bombardier**, **Volvo Car**, **Saab Automobile**, **Elways AB**, **Svenska Elvägar AB**, **Vattenfall** och **Trafikverket** för att utvärdera metoder för att överföra elenergi mellan väg och fordon.

Ett annat område är säkerhetssystem runt batterier och elsystem som är en förutsättning för en ökad användning av batterier i fordon. **Autoliv** har redan nämnts, men det finns också utvecklingsbehov av kommunikationslösningar och tjänster för hanteringen av stora batterier, både vid transport, olyckor och återvinning.

Slutligen finns ett antal omgärdande områden av mer specialiserad karaktär. Ett exempel är kiselkarbidsbaserad elektronik vilken passar i fordonsammanhang som tillåter kompakta enheter som tål mycket höga temperaturer. Överlag kan den kompetens som finns i Sverige inom elteknik och kraftelektronik ha fördel av en växande marknad för batterier.

Men det förekommer också ”ren” batteritillverkning och batteriutveckling i Sverige, om än i begränsad skala relativt kapaciteten och investeringarna globalt. Svensk verksamhet för energilagring förekommer hos **SAFT** i Oskarshamn med 450 anställda, som producerar batterier för stationära tillämpningar, t.ex. telekommunikation. Företaget är en del i den franska koncernen SAFT. **Alelion Batteries** är en avknoppning från ETC, som erbjuder litiumjonteknik för bland annat fordon. Fabriken invigdes så sent som i april 2009 och har tjugotalet anställda. Inriktningen är att sätta samman celler från andra

---

<sup>53</sup> Blue Institute, 2010, Ladda för nya marknader.

tillverkare till paket för olika användningsområden. **CellTech** är ett annat sammansättningsföretag som tillhör teknikhandelsgruppen **Addtech**. **Aventek** i Sollentuna sätter samman olika typer av batteripaket och utför även batteritester. **Effpower** med bakgrund från Tudor och utveckling vid Chalmers ägs bland annat av **Fouriertransform**, **K-Svets**, **Volvo Technology Transfer** och **Industrifonden**. Verksamheten är inriktad på design, utveckling och testning av kompletta batterisystem baserade på bland annat litiumjonbatterier inklusive framtagning av installationsklara prototyp- och demonstrationssystem. Nyligen har också industriforskningsinstitutet **Swerea IFV** tagit initiativ till samarbeten runt batteriteknik som skulle kunna leda till en pilotfabrik i Sverige. Svensk forskning kring batteriteknik finns företrädesvis vid Ångströmlaboratoriet i Uppsala - Advanced Battery and Fuel Cell Centre räknas som en av Europas ledande grundforskningsmiljöer inom utveckling av material för energilagring och energiomvandling i batterier och bränsleceller. Även Chalmers och KTH berör inom sina program batteritekniken. För svänghjul pågår kommersialisering av forskningsresultat från Ångströmlaboratoriet med inriktning mod fordonsindustrin.

Men det är ändå i avsättningsmarknaderna för batterier, d.v.s. hos de som tillhandahåller och utvecklar bärbara och mobila applikationer, som det största engagemanget finns i Sverige. I dessa och andra fall är utvecklingen av energilagring en kärnfråga, och särskilt hur de integreras i produkter och vad de möjliggör för framtida applikationer. Precis som under de senaste tvåhundra åren är det i kombinationen av energilagring och andra produkter som nya applikationer – och nya marknader – uppstår.

## Appendix: Batteritillverkare i världen

I tabellen nedan listas de mer intressanta batteritillverkarna i världen. Det är en blandning mellan de riktigt stora och etablerade men också intressanta utvecklingsföretag. Listan gör inga anspråk på att vara komplett.

Batteritillverkare	Biltillverkare	Batterityp
Automotive Energy Supply Corp. (AESC) - Japan	Joint venture mellan NEC och Nissan (Renault)	Litiumjon
A123 Systems - USA i allians med Continental AG	BMW, Chrysler, Daimler, Eaton, Fisker Automotive, General Motors, KillaCycle, Navistar, Shanghai Auto-motive, Smith Electric Vehicles, Think Global	Litiumjon/ Järnfosfat
Altairnano - USA	Lightning Car Company, Phoenix Motorcars, Proterra	Litiumtitan
Axeon - England	Allied Vehicles, Applus+ IDIADA, Electric Car Corporation, Jaguar Cars, Land Rover, Modec, Rolls Royce, Ruf GmbH	Litiumjon
Axion - USA		Avancerade blybatterier
Boston Power - USA/Kina	Prototyper till SAAB	Litiumjon
BYD - Kina	Egenutvecklad PHEV och andra kinesiska fordonstillverkare, även samarbete med Volkswagen	Litiumjon/ järnfosfat
Concorde Battery - Kanada	Kewet, City-Jet, Buddy I grunden tillverkare av batterier för flyg- och försvarsindustrin	Litiumjon Bly NiCd
Dow Kokam - USA	Joint Venture mellan Dow och Kokam.	Litiumjonpolymer/ Kobolt
Effpower - Sverige	Ett svenskt företag inriktat på design, utveckling och testning av kompletta batterisystem med intressenterna Fouriertransform, K-Svets, Volvo Technology Transfer och Industrifonden.	Litiumjon och avancerade blybatterier
E-One Moli Energy - Taiwan, Kanada	BMW, Mini-E, Fisker	Litiumjon
Electrovaya - Kanada	Joint venture med Tata Motors och Miljøbil Grönland för att producera celler och batteripaket för Indica EV. Dessutom: Chana International (Kina), Chrysler, Hummer, Maya Electric, Phoenix motorcars, Shan-dong Shifeng	Litiumjonpolymer/ Manganoxid
Ener1 - USA EnerDel	Think, Mazda	Litiumjon/Mangan Spinel
European Batteries - Finland		Litiumjon
FIAMM Group - Italien	Utvecklar och tillverkar natrium-metallbatterier som ett alternativ till litium- och Nickel-batterier	SoNick-batterier

Batteritillverkare	Biltillverkare	Batterityp
GS Yuasa - Japan	Samarbete med Mitsubishi Peugeot, Citroën	Litiumjon/Mangan Spinel
Hitachi Vehicle Energy - Japan	bl.a. GM, Isuzu, Mitsubishi, Nissan	Litiumjon/ Manganoxid
Johnson Controls - SAFT - USA, Frankrike	Samarbete med SAFT, Mercedes, GM, SAIC (Kina), Ford, BMW, Volkswagen	Litiumjon/Kobolt
LG Chemical - Sydkorea	Hyundai, Kia, Eaton, GM	Litiumjonpolymer/ Mangan Spinel
Li-TecSB - Tyskland	I konsortium med Evonik, BAFS, VW, Mercedes	Litiumjon/Kobolt
Panasonic Sanyo - Japan	Tesla, Toyota, Ford, Honda, Peugeot, Citroën, Suzuki, Volkswagen	Litiumjon/Kobolt NiMH
SB LiMotive Co - Sydkorea, 50/50 ägt bolag av Samsung och Bosch		Litiumjon/Mangan Spinel
Valence Technology - USA	Optare Bussar, Segway, Smith Electric Vehicles, Wrightbus	Litiumjon/Järnfosfat

# VINNOVAs publikationer

Mars 2012

För mer info eller för tidigare utgivna publikationer se [www.vinnova.se](http://www.vinnova.se)

## VINNOVA Analys

### VA 2012:

- 01 Impact of innovation policy - Lessons from VINNOVA's impact studies. *För svensk version se VA 2011:10*
- 02 Lösningar på lager - Energilagringstekniken och framtidens hållbara energiförsörjning
- 03 Friska system - eHälsa som lösning på hälso- och sjukvårdens utmaningar
- 04 Utan nät - Batterimarknadens utvecklingsmöjligheter och framtida tillväxt
- 05 Sveriges deltagande i sjunde ramprogrammet för forskning och teknisk utveckling (FP7) - Lägesrapport 2007 - 2011. *Finns endast som PDF*

### VA 2011:

- 01 Smart ledning - Drivkrafter och förutsättningar för utveckling av avancerade elnät
- 02 Framtid med växtverk - Kan hållbara städer möta klimatutmaningarna?
- 03 Life science companies in Sweden including a comparison with Denmark
- 04 Sveriges deltagande i sjunde ramprogrammet för forskning och teknisk utveckling (FP7) - Lägesrapport 2007-2010, fokus SMF. *Finns endast som PDF. För kortversion se VA 2011:05*
- 05 Sammanfattning Sveriges deltagande i FP7 - Lägesrapport 2007-2010 - Fokus SMF. *Kortversion av VA 2011:04*
- 06 Effektanalys av forskningsprogram inom material från förnyelsebara råvaror
- 07 Effektanalys av starka forsknings- & innovationssystem. *Finns endast som PDF. För kortversion se VA 2011:08*
- 08 Sammanfattning - Effektanalys av starka forsknings- & innovationssystem. *Kortversion av VA 2011:07*
- 09 Samarbete mellan Sverige och Kina avseende vetenskaplig sampublicering - aktörer, inriktning och nätverk. *Finns endast som PDF*
- 10 När staten spelat roll - lärdomar av VINNOVAs effektstudier. *För engelsk version se VA 2012:01*

## VINNOVA Information

### VI 2012:

- 02 Så blir Sverige attraktivare genom forskning och innovation - VINNOVAs förslag för ökad konkurrenskraft och hållbar tillväxt till regeringens forsknings- och innovationsproposition
- 03 Idékatalog - Sociala innovationer för äldre
- 04 Innovation i offentlig upphandling - Ett verktyg för problemlösning
- 05 Årsredovisning 2011
- 06 Färdplaner för framtidens fordon och transporter - Strategiska milstolpar framtagna av myndigheter och fordonsindustrin inom samverkansprogrammet FFI

### VI 2011:

- 01 Framtidens personresor - Projektkatalog
- 02 Miljöinnovationer - Projektkatalog
- 03 Innovation & Gender
- 04 Årsredovisning 2010
- 05 VINN Excellence Center - Investing in competitive research & innovation milieus
- 06 VINNOVA Sweden's Innovation Agency
- 07 Challenge-driven Innovation - VINNOVA's new strategy for strengthening Swedish innovation capacity. *För svensk version se VI 2011:08*
- 08 Utmaningsdriven innovation - VINNOVAs strategi för att stärka svensk innovationsförmåga och skapa nya hållbara lösningar för näringsliv och offentlig verksamhet. *För engelsk version se VI 2011:07*
- 09 *UTGÅR, ersätts av VI 2012:02*
- 10 Projektkatalog - Innovationer för framtidens hälsa.
- 11 *UTGÅR, ersätts av VI 2012:06*
- 12 Projektkatalog Smartare, snabbare, konvergerande lösningar - inom området IT och data/tele-kommunikation i programmet Framtidens kommunikation
- 13 *UTGÅR, ersätts av VI 2012:04*

## **VINNOVA Policy**

### **VP 2011:**

- 01 Tjänstebaserad innovation - Utformning av insatser som möter behov hos företag och organisationer. *Finns endast som PDF*
- 02 Regeringsuppdrag Kina - "Föreslå områden för förstärkt långsiktigt forsknings-, innovations- och utbildningssamarbete med Kina" U2010/7180/F. *Finns endast som PDF*
- 03 Behov av kunskap och kompetens för tjänsteinnovationer
- 04 Utveckling av Sveriges kunskapsintensiva innovationssystem - Huvudrapport - Underlag till forsknings- & innovationsproposition
- 05 Utveckling av Sveriges kunskapsintensiva innovationssystem - Bilagor - Underlag till forsknings- & innovationsproposition

## **VINNOVA Rapport**

### **VR 2012:**

- 01 Utvärdering av Strategiskt gruvforskningsprogram - Evaluation of the Swedish National Research Programme for the Mining Industry
- 02 Innovationsledning och kreativitet i svenska företag
- 03 Utvärdering av Strategiskt stålforskningsprogram för Sverige - Evaluation of the Swedish National Research Programme for the Steel Industry
- 04 Utvärdering av Branschforsknings-program för IT & Telekom - Evaluation of the Swedish National Research Programme for IT and Telecom
- 05 Metautvärdering av svenska branschforsknings-program - Meta-evaluation of Swedish Sectoral Research Programmes
- 06 Utvärdering av kollektivtrafikens kunskapslyft. *Finns endast som PDF*

### **VR 2011:**

- 01 Hundra år av erfarenhet - Lärdomar från VINNVÄXT 2001 - 2011
- 02 Gender across the Board - Gender perspective on innovation and equality. *För svensk version se VR 2009:20*
- 03 Visioner och verklighet - Några reflexioner kring eHälsostategin för vård och omsorg. *Finns endast som PDF*

- 04 Hälsa genom e - eHälsorapporten 2010. *Finns endast som PDF*
- 05 Halvtidsutvärdering av branschforskningsprogrammet för skogs- & träindustrin - Mid-term evaluation of the Swedish National research programme for the forest-based sector
- 06 Leadership Mandate Programme - The art of becoming a better centre director. *För svensk version se VR 2010:18*
- 07 The policy practitioners dilemma - The national policy and the transnational networks
- 08 Genusvägar till innovation - Erfarenheter från VINNVÄXT. *Finns endast som PDF*
- 09 Att utveckla Öppna Innovationsarenor - Erfarenheter från VINNVÄXT.
- 10 White Spaces Innovation in Sweden - Innovation policy for exploring the adjacent possible
- 11 Etapputvärdering av centrumbildningen Virtual Prototyping and Assessment by Simulation - ViP. *Finns endast som PDF*
- 12 Tjänsteinnovationer i offentlig sektor - Behov av forskningsbaserad kunskap och konsekvens
- 13 Competences supporting service innovation - a literature review. *Finns endast som PDF*
- 14 Innovationsdrivande forskning i praktiken - Samverkan mellan forskare och praktiker för att skapa organisatoriska innovationer. *Finns endast som PDF*
- 15 Det offentliga stödsystemet för hantering av företags immateriella tillgångar - Kartläggning och analys
- 16 Innovative Growth through Systems Integration and Globalisation - International evaluation of the 2004 VINNVÄXT programme initiatives
- 17 Ready for an early Take Off? - International evaluation of the VINNVÄXT initiatives in early stages

**Produktion & layout:** VINNOVAs Kommunikationsavdelning

**Tryck:** Trosa Tryckeri AB, Trosa, [www.trosatryckeri.se](http://www.trosatryckeri.se)

Mars 2012

**Försäljning:** Fritzes Offentliga Publikationer, [www.fritzes.se](http://www.fritzes.se)

**Kommunikation, personlig produktivitet och rekreation är idag i stor utsträckning baserade på batteriförsedda tillämpningar. Den här rapporten visar hur utvecklingen av batteriteknik och batterimarknaden skett i olika språng, i samspel med produkter. Samma dynamik gör att batterier återigen är ett tillväxtområde i och med elektrifieringen av fordon.**

ISBN 978-91-86517-64-9, ISSN 1651-255X



---

VERKET FÖR INNOVATIONSSYSTEM – SWEDISH GOVERNMENTAL AGENCY FOR INNOVATION SYSTEMS

VINNOVA, SE-101 58 Stockholm, Sweden Besök/Office: Mäster Samuelsgatan 56  
Tel: +46 (0)8 473 3000 Fax: +46 (0)8 473 3005  
VINNOVA@VINNOVA.SE WWW.VINNOVA.SE