

# Innovationen für erneuerbare Energien – Systemtechnik für Photovoltaik und dezentrale Energiesysteme

Die Photovoltaik ist eine Erfolgsgeschichte. Sie hat sich Dank konsequenter Innovationsstrategien, einem kompetenten FuE-Umfeld und dem Wettbewerb im Rahmen des EEG zu einer wesentlichen Säule der Energieversorgung entwickelt. Neben der technologischen Basis spielte hierbei von Anbeginn an die Systemtechnik eine entscheidende Rolle, sei es bei intelligenten Lösungen für die Hausenergieversorgung, bei PV-Großkraftwerken im Gigawatt-Maßstab oder bei modularen Off-Grid-Hybridssystemen. Und so werden neue Systemlösungen, die der Photovoltaik einerseits Kraftwerkeigenschaften verleihen und andererseits neue subventionsfreie Märkte erschließen, auch auf dem Weg zur EE-Vollversorgung und Energiewende unerlässlich sein und darüber hinaus der deutschen Photovoltaik-Industrie mit ihrer besonderen Systemkompetenz eine attraktive Zukunftsperspektive bieten.

## Innovation als Wettbewerbsfaktor

Gegründet vor über 30 Jahren ist das Unternehmen SMA von Anfang an auch in der PV-Systemtechnik tätig und mit über 30 % Marktanteil der weltweit größte Solar-Wechselrichterhersteller. Mit gut 5500 Beschäftigten in 21 Ländern wurde 2011 eine Wechselrichterleistung von etwa 7,6 GW produziert und dabei 1,7 Milliarden € Umsatz realisiert.

Diese gute Marktposition konnte nur über technologischen Vorsprung erreicht werden, der u. a. auch auf eine intensive Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Universitäten gegründet ist. Um diese Technologieführerschaft weiter auszubauen und so dem sich verschärfenden internationalen Wettbewerb Rechnung zu tragen, sind bei SMA über 1000 Beschäftigte in den Entwicklungsabteilungen tätig, und das FuE-Budget erreicht mit über 100 Millionen Euro eine für die Solarbranche einzigartige Höhe.

Einige ausgewählte Photovoltaik-Innovationen und Meilensteine aus der Unternehmensgeschichte sind insbesondere die folgenden Highlights:

- Erster Solar-Wechselrichter für die Serienproduktion und erfolgreichster Wechselrichter im 1000-Dächer-Programm 1990
- Einführung des String-Wechselrichter-Konzepts in 1995 reduziert den Installationsaufwand und wird zum weltweiten Standard

- Modularer Systembaukasten für PV-Batterie-Off-Grid-Systeme ermöglicht flexible, erweiterbare, skalierbare Anlagenkonzepte (solare Inseln)
- Sunny Portal mit über 100.000 PV-Anlagen bietet Monitoring für Anlagenbetreiber und Echtzeitdaten für Netzbetreiber und Leistungsprognose
- 99 % Spitzenwirkungsgrad in Serienwechselrichter realisiert
- Erstes kommerzielles Last- und Energiemanagement-System für PV-Anlagen

Eine konsequente Innovationsstrategie, ein kompetentes FuE-Umfeld und der Wettbewerb im Rahmen des EEG haben sowohl das Unternehmen SMA wie auch die Photovoltaik zum Erfolg geführt. Die Systemtechnik hat dabei stets eine entscheidende Rolle gespielt und wird künftig in Anbetracht der neuen Herausforderungen für eine weltweite Energiewende sogar eine noch größere Bedeutung bekommen.



**Günther Cramer**

Aufsichtsratsvorsitzender der SMA Solar Technology AG und Präsident des Bundesverbands Solarwirtschaft e. V.

**Dr. Oliver Führer**

SMA Solar Technology AG  
R&D Coordination and Public Funding  
oliver.fuehrer@sma.de

## Was wurde erreicht? Wo stehen wir heute?

Seit über 20 Jahren sind die systemtechnischen Innovationen neben der technologischen Weiterentwicklung von Zellen, Modulen und Produktionsverfahren die treibenden Kräfte, die den Erfolg der Photovoltaik ermöglicht haben. Inzwischen ist die Photovoltaik zu einer wesentlichen Säule der Energieversorgung geworden. Allein in Deutschland sind schon über 30 GW Photovoltaik im Netz, und die BSW-Roadmap zielt bereits für 2020 auf einen PV-Stromanteil von 10 %, also einen Zubau auf 50 bis 70 GWp (Gigawatt Peak). Die PV-Stromerzeugung ist dezentral, verbrauchernah und immer zu Zeiten hohen Verbrauchs verfügbar, was zahlreiche Vorteile, wie beispielsweise eine geringe Netzbelastung, mit sich bringt.

Das oberste Ziel aller Forschungsarbeiten für die Solarenergie und die dazu gehörige Systemtechnik ist die konsequente und kontinuierliche Kostenreduktion. Und dies ist in den vergangenen beiden Jahrzehnten hervorragend gelungen. So konnten z. B. die spezifischen Preise für Wechselrichter um 80 % reduziert werden. Das Watt Wechselrichter kostet heute nur noch 20 % von dem, was es vor 20 Jahren gekostet hat, es kann aber viel mehr, ist hoch intelligent und kann Netzintegration mitmanagen. Für die nächsten fünf Jahre ist eine weitere Halbierung der Kosten und Preise das Ziel. Aber nicht nur die Systemkosten

wurden bei PV-Anlagen gesenkt, sondern gleichzeitig auch der Wirkungsgrad, die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit gesteigert. So erreichen beispielsweise die Wechselrichterwirkungsgrade heute Spitzenwerte von über 99% gegenüber rund 90% zu Beginn der 90er Jahre.

Ein weiteres Feld der PV-Systemtechnik ist die Netzintegration. Wurde die Photovoltaik in ihren Anfängen fast als störendes Element im Netz aufgefasst, so leistet sie heute wichtige Beiträge für den Netzbetrieb und die Netzstabilität. Dank neuer systemtechnischer Lösungen und entsprechender, zum großen Teil von Industrie und Forschung gemeinsam erarbeiteter Regularien und technischer Regelwerke (BDEW-Mittelspannungsrichtlinie, VDE-Anwendungsregel 4105 und der geplante ENTSO-E Pilot Grid Code usw.), trägt die Photovoltaik bereits heute zu Spannungshaltung, Einspeisemanagement und dynamischer Netzstützung im Verteilnetz bei, erbringt also Netzsystemdienstleistungen.

Nach vielen Jahren des Anschubs der Photovoltaik-Entwicklung durch staatliche Maßnahmen wie die EEG-Einspeisevergütung wird es in Zukunft zunehmend auch neue selbsttragende Märkte geben. Hier wird der Eigenverbrauch des selbst erzeugten PV-Stroms ein wichtiges Segment sein und die besonderen Vorteile der Photovoltaik, wie verbrauchernahe Stromerzeugung ausspielen können. Intelligente Systeme, die diesen Eigenverbrauch durch Lastmanagement optimieren, sei es im Hinblick auf eine Erhöhung des Eigenverbrauchs oder auf ein wirtschaftliches Optimum bei zeitvariablen Strompreisen, sind inzwischen marktverfügbar und erfolgreich im Einsatz. PV-Systeme übernehmen heute also neben der eigentlichen photovoltaischen Stromerzeugung auch zusätzliche Systemaufgaben für Energiemanagement, Netzintegration und Überwachung.

Aber nicht nur im netzgekoppelten, haushaltsnahen Bereich hat die Solartechnik Dank systemtechnischer Lösungen ein hohes Niveau erreicht. Auch für die weltweite Elektrifizierung ist inzwischen eine hervorragende, ausgereifte Technik für modulare PV-Off-Grid-Systeme marktverfügbar. Und PV-Großkraftwerke für den globalen Sonnengürtel wurden bereits mit Leistungen von über 250 MW realisiert. Die Photovoltaik hat also im wahrsten Sinne des Wortes Kraftwerksmaßstab erreicht.

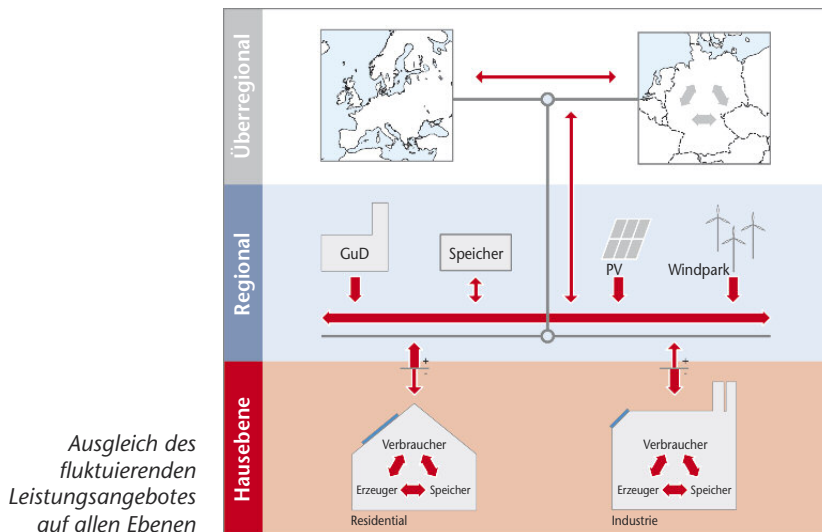
### Innovationen in der Systemtechnik: entscheidend für die Energiewende

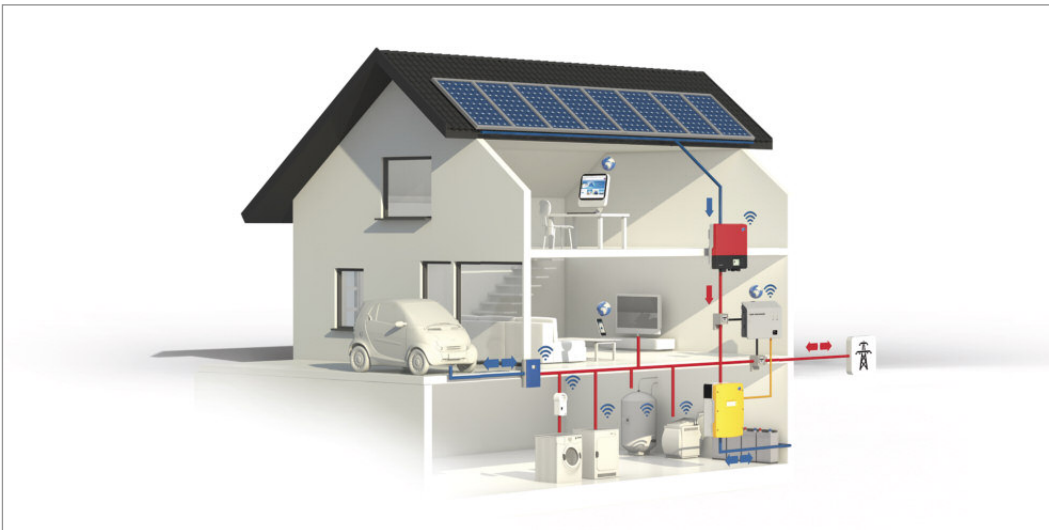
Wie geht es nun weiter mit der Photovoltaik? Die nächste große Herausforderung ist die Energiewende. Für die notwendige und von einer breiten Mehrheit angestrebte Energiewende spielt – neben der weiterhin erforderlichen Technologieentwicklung – die Systemtechnik eine entscheidende Rolle. Denn Aufbau und Funktionsweise des Energieversorgungssystems müssen hierfür grundlegend verändert werden.

Die wichtigsten Herausforderungen und Ziele dabei sind:

- die Speicherbarkeit der erneuerbaren Energien sicherzustellen,
- ein zuverlässiges und automatisiertes Energiemanagement zu realisieren,
- dadurch Kraftwerkeigenschaften für die Photovoltaik und die anderen erneuerbaren Energien zu erreichen
- und letztendlich ein kosteneffizientes Gesamtsystem zu schaffen.

Insbesondere gilt es, das fluktuierende Leistungsangebot der erneuerbaren Energien auszugleichen. Dieser Ausgleich muss auf allen Ebenen erfolgen und





**SMA Smart Home System**  
 mit den Komponenten Solarwechselrichter, Batteriewechselrichter und Batteriespeicher, Energiemanagementsystem, Internet-Portal-Anbindung, steuerbare Verbraucher und Anbindung für Elektrofahrzeug  
 © SMA

beginnt auf der Ebene von Haus, Gewerbe und Industrie. Wichtige Bausteine für diesen Leistungsausgleich sind die Prognose von Last und Erzeugung, die Lastverschiebung (Demand Side Management und Eigenverbrauchsoptimierung), die Energiespeicherung und das Erzeugungsmanagement. Hierbei spielt das zukünftige „PV-Smart-Home“, das Strom, Wärme und Elektromobilität intelligent vernetzt, eine wichtige Rolle. Aber auch die Ausdehnung solcher intelligenten Konzepte auf gewerblichen Eigenverbrauch und große PV-Anlagen stellt ein wichtiges Zukunftsthema und eine neue Aufgabe für die Systemtechnik dar.

Darüber hinaus muss die Photovoltaik Kraftwerkeigenschaften erlangen. Denn PV und Wind werden einen immer größer werdenden Anteil an der Versorgung haben, während die konventionellen „must-run-units“ nur noch in einem ganz geringen Maße eingesetzt werden sollen. Für diesen neuen Mix brauchen wir Wechselrichter mit integriertem Batteriespeicher, die das Netz stabilisieren und die Regelfunktionen übernehmen, die bisher die rotierenden Kraftwerksgeneratoren erfüllt haben. Mit erreichbaren Speicherleistungen von 10 GW und Speicherenergie von 5 GWh bis 2020 kann die Photovoltaik einen wesentlichen Anteil der Netzregelung übernehmen.

Aber auch im Off-Grid-Bereich entstehen derzeit neue Perspektiven für die Solartechnik, die eine dynamische Marktentwicklung erwarten lassen, sofern die geeignete Systemtechnik kurzfristig zur Verfügung steht. So haben PV-Diesel-Systeme inzwischen die Wirtschaftlichkeit erreicht und mittels intelligenter Lösungen lässt sich hier durch Einsatz von Solarenergie ein „Fuel-Saver-Betrieb“ realisieren. Die Photovoltaik kann also den Dieseleinsatz in den global weit verbreiteten mit Dieselgeneratoren betriebenen



**Wechselrichter mit integriertem Batteriespeicher**  
 für PV-Systeme mit Kraftwerkeigenschaften  
 © SMA

Stromnetzen reduzieren und so die Stromerzeugung dort kostengünstiger als bisher und auch ressourcen- und umweltschonender machen.

### Energiewende und Photovoltaik als Chance für den Industriestandort Deutschland

Alles in allem: die PV-Systemtechnik hat in den vergangenen Jahrzehnten wesentliche Beiträge für den Erfolg der Photovoltaik geleistet und wird in Zukunft mit den Herausforderungen der Energiewende eine noch größere Bedeutung erlangen. Die in Deutschland auf diesem Gebiet in Industrie und Forschung bestehende Kompetenz bietet nun eine einmalige Chance für den Industriestandort Deutschland. Denn neue, subventionsfreie Märkte sind derzeit am entstehen und könnten mit Technik und Systemkompetenz aus Deutschland kurzfristig und nachhaltig erschlossen werden.

# Lösungen für die Energiewende – Energieforschung bei Bosch



**Dr. Klaus Dieterich**  
Vorsitzender des Zentralbereichs  
Forschung und Voraentwicklung  
Robert Bosch GmbH  
klaus.dieterich@de.bosch.com

## Energieversorgung

Aus vorliegenden Szenarien wissen wir, dass für viele fossile Ressourcen die wirtschaftlich abbaubaren Vorräte in absehbarer Zeit erschöpft sind. Am bekanntesten ist der Peak Oil, formuliert 1956 von M. King Hubbert, einem Geologen, der von 1943 bis 1964 für die Shell Oil Company und anschließend bis 1976 für den United States Geological Survey (USGS) tätig war.

Die Szenarien der Ölförderung unterscheiden sich in den Annahmen für die noch abbaubaren Mengen und für die künftige Entwicklung des Verbrauchs. Sie hängen damit ab von der Entdeckung und wirtschaftlichen Nutzung neuer Vorkommen, umweltpolitischen Rahmenbedingungen, der Preisentwicklung und dem technologischen Fortschritt der Alternativen zur Nutzung fossiler Ressourcen. Für die Ölförderung liegen die Prognosen zwischen effizienter Nutzung und natürlicher Begrenzung nur um etwa 80 Jahre auseinander.

Weitere Szenarien zur Energieerzeugung zeigen, dass regenerative Energien in Kürze einen hohen und schnell wachsenden Anteil an der weltweiten Erzeugung haben werden. Diese Entwicklung ist unabhängig davon, ob der weltweite Energieverbrauch weiter in einem unkoordinierten Wettlauf wächst (Scramble-Szenario) oder sich geplant entwickelt (Blueprints-Szenario).

So gewinnt die Elektroenergie an Bedeutung, weil sie überwiegend das Ergebnis der Wandlungspfade erneuerbarer Energie ist – Elektroenergie wird Primär-

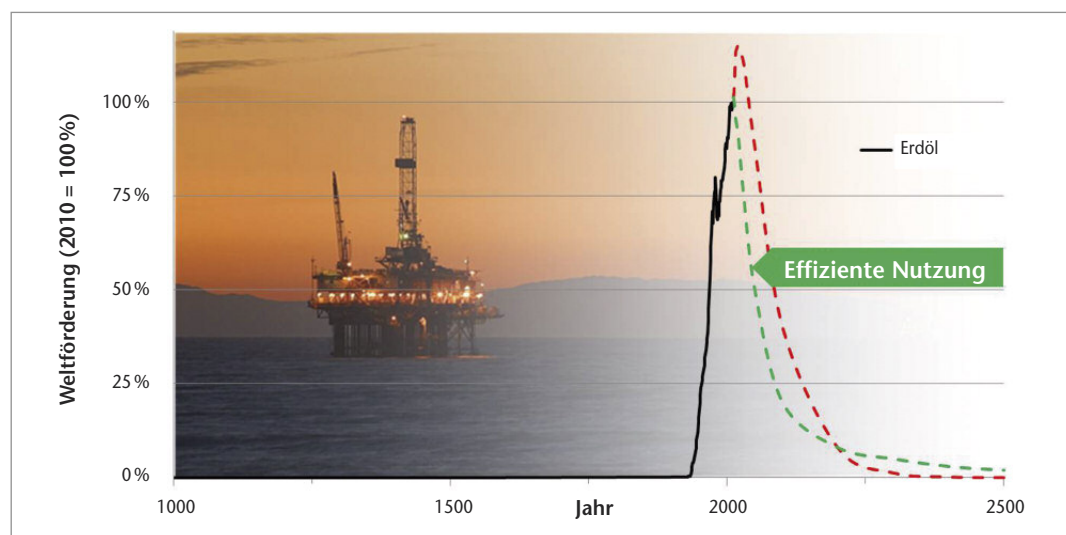
energie. Energetisch sind also erneuerbare Energien in Verbindung mit elektrischen Verbrauchern besonders effizient.

Die derzeitige Energieversorgung ist traditionell zentral in Erzeugung und Verteilung gegliedert und dabei rein bedarfsgesteuert. Dabei werden die für den Übergang auf erneuerbare Energieerzeugung wichtigen Effizienzpotenziale der Verbraucher im Netz bislang kaum genutzt.

Der Umbau auf erneuerbare Energien wird evolutionär erfolgen. Deshalb ist kurzfristig die effiziente und emissionsarme Nutzung fossiler Ressourcen wichtig, bis langfristig unsere Energieversorgung auf erneuerbare Energien umgestellt sein wird. Zusätzlich müssen wir anstelle des stetig steigenden Rohstoffverbrauchs die „natürlichen“ Kreislaufprozesse vorantreiben.

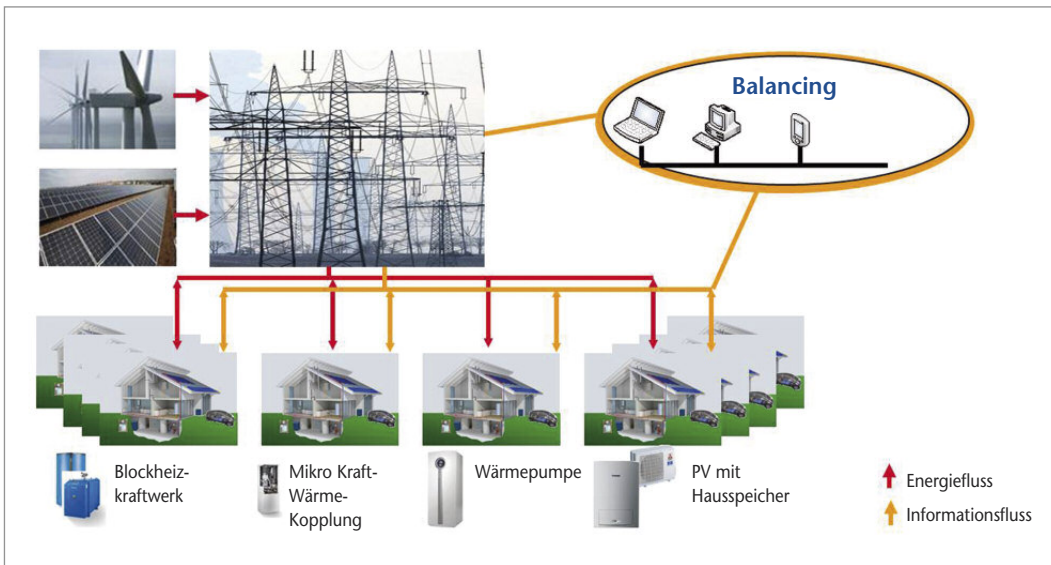
Eine Herausforderung der erneuerbaren Energieversorgung ist einerseits ihre wetterabhängige Fluktuation. Andererseits bieten Technologien wie PV oder Windanlagen aber auch eine große Chance, weil Sonnen- oder Wind-Energie auch vor Ort beim Verbraucher geerntet werden können. So fördert ihr Ausbau die Dezentralisierung unseres Energiesystems. Dies ist die Grundlage dafür, am Verbraucher Energie ohne Komforteinbußen einzusparen sowie Eigenenergie, -verbrauch und die Ankopplung ans Netz hinsichtlich Effizienz und Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

Für diese Optimierung sind objektive, wissenschaftlich abgesicherte Lösungen gefragt. Entscheidend



Das Ölzeitalter – eine kurze Periode





Intelligente Energiesysteme

wird es sein, die Energieangebote und -bedarfe der unterschiedlichen Netzebenen, also im Haus, in der Siedlung und überregional, möglichst lokal auszugleichen und zu regeln. Wenn elektrische Verbraucher, deren Energiebedarf nicht zeitkritisch ist, nur dann Strom verbrauchen, wenn er gerade günstig aus regenerativen Quellen angeboten wird, können Ausgleichsbedarfe durch fluktuierende Energiequellen verringert werden. Das zentrale Netz gleicht nur noch aus, was am privaten Verbraucherknott nicht bedarfsgerecht erzeugt oder bei Überschuss nicht verbraucht werden kann. Ein solches dezentrales Energienetz erfordert Informationsflüsse parallel zum Energiefluss – eben ein Smart Grid.

Die Energiewende erfordert ein ganzheitliches Konzept, beginnend bei effizienter, angebotsgesteuerter Nutzung am Endverbraucherknott, über lokale Erzeugung, überregionale Verteilung und intelligente Speicherung auf allen Netzebenen. Daraus sollte sich der verbleibende Bedarf an Ausbau und Optimierung der Verteilernetze ergeben. Die Effizienz am Verbraucherknott sollte also Ausgangspunkt der Strategie werden.

Eine wichtige Kenngröße bei dieser Optimierung ist dabei die temporäre Speicherung der Energie, sowohl lokal beim Verbraucher als auch auf den einzelnen Ebenen der Verteilernetze.

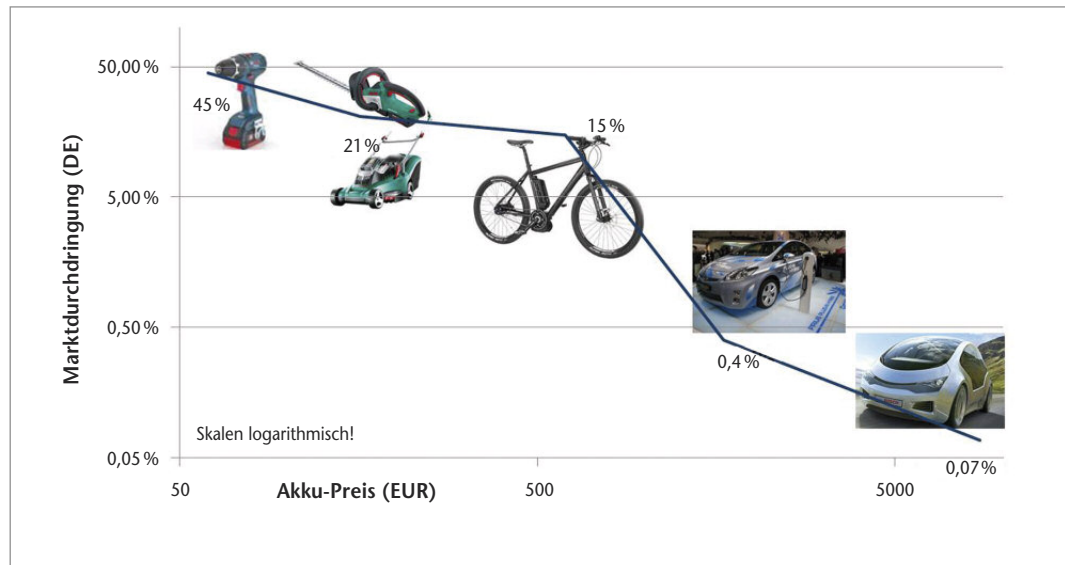
Heute sind vor allem die elektrischen Speicher für einen flächendeckenden Einsatz sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen technologisch aber auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht reif. Die Entwicklung effizienter und wirtschaftlich einsetzbarer elektrischer Speichertechnologien bleibt also die mit Abstand größte Herausforderung der Wissenschaft und der Politik – denn ohne eine langjährige Technologieförderung wird diese Herausforderung nicht zu lösen sein.

### E-Immobility

Das Energieplus-Haus ist heute möglich und bezahlbar. Bereits ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 160 Quadratmetern kann pro Jahr einen Überschuss an elektrischer Energie von 1,5 MWh liefern. Es sollte deshalb Richtung weisend sein für die politischen Rahmenbedingungen bei Neubauten. Dabei muss allerdings der erhöhte Eigenverbrauch durch lokale Speicherung je nach Reifegradentwicklung der Speichertechnologie schon heute mit berücksichtigt werden – denn derzeit muss die Überschussenergie noch überwiegend ins Netz eingespeist werden.

Effiziente Heizsysteme und Hausgeräte sind ebenfalls Stand der Technik. Insbesondere Hausgeräte der Effizienzklasse A++ und höher sind bereits durch attraktive Preise und positive „Total Cost of Ownership“ auf dem Weg, über begeisterte Kunden den Markt nachhaltig zu durchdringen. Im Gegensatz dazu stehen moderne Technologien wie Brennwerttechnik, Wärmepumpen oder Kraft-Wärme-Kopplung in ihrer Marktdurchdringung noch am Anfang.

Allein in Deutschland besteht heute die installierte Heiztechnik des Gebäudebestands (laut BDH ca. 17,8 Mio. installierte Heizanlagen) noch zu 75% aus herkömmlichen Gas- und Öl-Heizkesseln mit Heizwerttechnik und entspricht damit nicht dem Stand der Technik. Lediglich 13% der Installationen bestehen aus der schon lange erhältlichen, effizienten Brennwerttechnik, kombiniert mit solarthermischen Anlagen. Nur 2,5% der Gebäude sind mit Wärmepumpen ausgestattet. Würde man den gesamten Gebäudebestand auf einen Niedrigenergiehaus-Standard sanieren, wäre eine Energieeinsparung um ca. 70% möglich (Quelle: Kleemann-Studie 2006).



Marktdurchdringung mobiler Anwendungen

### E-Mobility

Die Li-Technik gilt als eine der aussichtsreichsten Technologien, die die flächendeckende Elektromobilität der Zukunft ermöglichen kann. Allerdings sind hier noch erhebliche Forschungsleistungen nötig, um diesen Traum wahr werden zu lassen. Benzin und Diesel haben einen Energiegehalt von etwa 11 kWh/kg. Selbst mit dem schlechten Gesamtwirkungsgrad von Verbrennungsmotoren stehen noch 3 kWh/kg für den Antrieb eines Fahrzeugs zur Verfügung. Dem gegenüber bieten die Li-Ionen-Batterien aktuell 150 Wh/kg – und selbst der Weg bis zu einer Energiedichte von 1000 Wh/kg ist noch sehr weit.

So ist die Li-Technik derzeit vor allem für Anwendungen wie Elektrowerkzeuge, Gartengeräte oder eBikes reif. Nur bei optimaler Abstimmung vieler Parameter lassen sich so wirtschaftliche und effiziente Lösungen erreichen – denn nur Produkte, die Kunden begeistern, bezahlbar und wertstabil sind, setzen sich am Markt langfristig durch und schonen gleichzeitig die Umwelt.

Für das Auto ist die Li-Technik noch jung und unreif. So rechnen wir für 2020 mit einer Marktdurchdringung

von 10% für Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb – im Weltmarkt für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sind das etwa 2,5 Mio. reine Elektrofahrzeuge und etwa 9 Mio. Fahrzeuge mit Hybridantrieb.

Falls elektrische Speicher mit ausreichender Kapazität und zu wirtschaftlichen Kosten für stationäre und mobile Anwendungen in absehbarer Zeit nicht bereitstehen, kann Power-to-Gas, d. h. die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser – und gegebenenfalls Weiterverarbeitung zu Methan – eine Alternative sein. Daher können Elektrolyse und Rückverstromung (Brennstoffzelle) sich in den nächsten 10 Jahren zu Schlüsseltechnologien entwickeln. Man darf gespannt sein, welche Technologie sich für den Verkehr durchsetzen wird – reine Batteriefahrzeuge mit ihrer hohen Effizienz in der gesamten Kette erneuerbarer Energien, die Brennstoffzelle mit ihrer hohen Effizienz der Wasserstoffnutzung oder der Verbrennungsmotor mit seiner hohen Reife und Marktdurchdringung auf Basis von erneuerbarem Gas.

### Ausstellung auf der Messe – Markante PV-Installation in Stuttgart

Das Bosch-Parkhaus überspannt als markantes Bauwerk der Neuen Messe Stuttgart die Bundesautobahn A8. Die Bosch Solar Energy AG und die Flughafen Stuttgart GmbH nahmen im Dezember 2009 eine 955 kWp-Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Bosch-Parkhauses in Stuttgart in Betrieb. 4.247 monokristalline Solarmodule erzeugen hier auf rund 7.000 Quadratmetern Fläche 870.000 kWh „grünen“ Strom im Jahr. Damit können jährlich etwa 250 Vier-Personen-Haushalte mit Energie versorgt werden. Etwa 575 Tonnen Kohlendioxid werden durch das neue Solarkraftwerk jährlich vermieden.



Bosch-Parkhaus