



# Volle Ladung

Die Preise für Lithium-Ionen-Akkus sind im freien Fall. Bald, glauben Experten, ist eine kritische Marke erreicht. Die **Akku-Revolution** wird ganze Branchen durcheinanderwirbeln.

VON JENS LUBBADEH



**E**s war wieder kein gutes Jahr für Daimler. Einer der wichtigsten Auftraggeber ging verloren: Google wird seine Fahrgestelle künftig bei Toyota ordern. Die Daimler-Aktie fiel auf fünf Euro. Übernahmegerüchte machen die Runde: Tesla sei interessiert. Apple auch. VW und BMW ergeht es nicht besser. Die einstmals wertvollen Kernkompetenzen der deutschen Autobauer – Verbrennungsmotoren, Getriebe – sind wertlos geworden. Elektroautos dominieren den Markt. Deutsche Autobauer sind zu Zulieferern degradiert, seitdem Tesla, Apple und Google sich mit den Japanern und Chinesen den Markt aufteilen.

Willkommen im Zeitalter der Batterien.

Sie haben das Öl besiegt. Obwohl es zunächst nicht danach aussah angesichts der Dumpingpreise von 2016 bis 2019. Doch am Ende waren die Akkus so billig, dass nur noch Saudi-Arabien mithalten konnte. Südamerika, Russland, der Iran: ausgehungert. Nachfrage gibt es noch, aber nur, weil die Superbatterien für Flugzeuge und Schiffe nicht ausdauernd genug sind.

Sie brachten zudem die Energiewende, wenn auch anders als gedacht. Die großen Stromtrassen wurden wieder zurückgebaut, die einstmals großen Energieversorger sind Franchise-Unternehmen von Photovoltaik-Installateurbüros. Jedes Haus mit Solarpanels auf dem Dach und Batteriespeicher im Keller ist jetzt ein Kraftwerk. Das Geschäft machen ein paar digitale Plattformen, die „Energie-Google“. Mit Steuerungsmotoren und Daten vernetzen sie die Batterien zu virtuellen Kraftwerken.

Deutschland im Jahr 2030? Mal sehen. Aber während die meisten Beobachter dieses Szenario noch vor wenigen Jahren für Fantasterei gehalten hatten, ist es mittlerweile eine ernst zu nehmende Prognose. Die Batteriepreise fallen seit Jahren in einem selbst für Experten ungeahnten Ausmaß. Ein historisches Moment zeichnet sich ab, der eigentlich seit 130 Jahren überfällig ist. Damals begann die Elektrifizierung der Welt, aber sie wurde nie konsequent zu Ende geführt. Wir konnten diese grandiose, aber flüchtige Energieform Strom nicht in dem Ausmaß speichern, wie wir es bräuchten. Doch langsam werden die Batterien gut und günstig genug für diesen Schritt. Damit steht einer der seltenen Momente der Technikgeschichte bevor, in der eine einzige Technologie Unzähliges verändern wird. Die Batterie wird Wirtschaftszweige umwerfen, die derzeit fast 1,3 Millionen Menschen beschäftigen. Wie rasch und wie genau, ist noch offen, für den grundlegenden Trend aber nicht entscheidend. Jeder Einzelne wird den Wandel spüren – sei es als Hausbesitzer, Autofahrer, Stadtbewohner, Industriearbeiter oder als alles zusammen.

**Der Preis des Goldes wird in Dollar** pro Feinunze angegeben – der von Lithium-Ionen-Akkus in Dollar pro Kilowattstunde. 2007 kostete sie noch über 1000 Dollar, sieben Jahre später waren es nur noch 300 Dollar. So jedenfalls lauteten die Schätzungen, denn über die wirklichen Preise redet die Branche ungern. Dann aber zeigte sich im Oktober 2015, was tatsächlich möglich ist. General-Motors-Chefin Mary Barra plauderte aus, GM werde in seinem neuen Mittelklasse-Elektroauto Bolt Batterien für nur 145 Dollar pro Kilowattstunde verbauen. Was sich für General Motors als PR-Coup entpuppte, war für den

Lieferanten, den südkoreanischen Hersteller LG Chem, eine ärgerliche Indiskretion. Denn anschließend klopften andere Großkunden mit der gleichen Forderung an: Daimler, Ford, Renault, VW. Es geht weiter: 2022, so Barra, werde man bei 100 Dollar sein. Spätestens dann werden Elektroautos so viel kosten wie Verbrenner.

**Gerade einmal 20 000 Elektroautos** fahren derzeit in Deutschland. Selbst mit Hybridfahrzeugen zusammen sind das nur 2,9 Promille der 44 Millionen Autos. Entsprechend weit entfernt scheint Angela Merkels Traum von der Million Elektroautos bis 2020. In dieser Argumentation gerät jedoch oft aus dem Blick, wie nah die Elektrofahrzeuge den Verbrennern heute schon gekommen sind. Die ersten Brancheninsider sehen den Break-even der Elektromobilität bereits kommen. Die Unternehmensberatung P3 Group hat eine Gesamtkostenrechnung gemacht, bezog also neben der Anschaffung auch den Betrieb und Wertverlust über vier Jahre mit ein. In diesem Fall kostet ein E-Golf der nächsten Generation im Jahr 2018 im Monat 545 Euro – und damit 16 Euro weniger als sein benzinfressender Bruder. P3 nimmt für diese Rechnung einen Batteriepreis von 150 Euro pro Kilowattstunde an, den die Realität praktisch schon unterboten hat. Etwas Geld müssen die Käufer trotzdem

## Preisschätzung um die Hälfte unterboten.

mitbringen: Als Vergleich diente nicht der billigste Golf für 17 650 Euro, sondern ein gleich hochwertig ausgestatteter Benziner für 28 000 Euro. Nach Analysen des ADAC hat der BMW i3 den Break-even sogar heute schon erreicht. Er liegt knapp unter seinem Benzin-Pendant (siehe Seite 30). Erkauft wird der niedrige Preis allerdings mit einer geringen Reichweite, beim BMW i3 von gerade einmal 160 Kilometern.

Aber je stärker die Batterien im Preis sinken, desto mehr Sprünge sind zu erwarten. Beim Chevy Bolt etwa plant GM bereits eine Reichweite von 320 Kilometern und einen Preis von 37 500 Dollar. Mit nahezu den gleichen Kennzahlen soll Teslas Model 3 im Jahr 2017 den Massenmarkt erobern. Wer früher keinen Pfifferling auf die Elektromobilität gesetzt hat, muss heute zugeben: Es ist ein Milliardenspiel.

So gesehen passt es, das ausgerechnet in Nevada, dem Ort der Spielerparadiese Reno und Las Vegas, eine der wagemutigsten Wetten auf die Batterie Zukunft läuft. Hier baut Tesla-Chef Elon Musk, Gründer von PayPal und des Raketenbauers SpaceX, gerade die Gigafactory, die größte Batteriefabrik der Welt. Mit Panasonic hat Musk den Lithium-Ionen-Marktführer mit an Bord. Beide wollen die Stromspeicher zwar nicht neu





erfinden (zehn Prozent mehr Energiedichte will Musk noch rausholen), wohl aber ihren Preis neu definieren. Aus der fünf Milliarden Dollar teuren Anlage rollen ab diesem Jahr Lithium-Ionen-Akkus im Akkord. Ab 2020 soll die Gigafactory ihre volle Kapazität erreichen und genug Batterien für 500 000 Elektroautos liefern. Vor allem diese gigantische Hochskalierung der Produktion soll die Preise um 30 Prozent drücken. 145 Dollar minus 30 Prozent macht: 100 Dollar. Eine gewagte Wette. Denn Musk legt sich damit für Jahre auf die Lithium-Ionen-Technik fest, während Konkurrenten bereits an neuen Technologien forschen (siehe Kasten Seite 34).

**Ob Musk den Gewinn seines Lebens einfährt** – oder zu hoch gepokert hat? Noch ist die Antwort ungewiss. Risiken gibt es auch ohne konkurrierende Technologien genug. Die geringe Reichweite wird ein Problem bleiben, glaubt Georg Erdmann, Professor für Energiesysteme an der TU Berlin: „Selbst 300 oder 400 Kilometer werden nicht ausreichen, dass Normalbürger ihre Benziner gegen Elektroautos tauschen.“ Auch eine flächendeckende Ladeinfrastruktur fehlt nach wie vor. Zudem könnte ein anhaltend billiger Ölpreis den wirtschaftlichen Break-even verzögern. Im Januar meldete das Kraftfahrt-Bundesamt 3,3 Prozent mehr Neuzulassungen – nahezu ausschließlich Verbrenner. Der Elektroauto-Absatz ging um 27,6 Prozent zurück.

Umgekehrt aber dürften steigende Umweltauflagen den Wandel fördern. Zum wohl ersten Mal in ihrer Geschichte freuen sich die Autohersteller daher nur begrenzt über das billige Benzin. Denn es verführt ihre Kunden zum Kauf spritschluckender Modelle – mit denen die Konzerne aber die EU-Vorgabe verfehlen werden, bis 2020 nur noch 95 Gramm Kohlendioxid im Schnitt auszustoßen. „Im niedrigen Ölpreis sehen wir keinen strategischen Vorteil“, sagt BMW-Vertriebsvorstand Ian Robertson. „Er kann zwar kurzfristig dazu führen, dass Kunden sich eher für einen Benziner oder einen Diesel als für ein Fahrzeug mit alternativen Antrieben entscheiden. Wir müssen als Autohersteller aber langfristig denken.“

Gleiches gilt für den gesundheitsgefährdenden Feinstaub. Der Dieselskandal rund um VW und die manipulierte Abgassteuerung hat gezeigt, wie schwer es für heutige Motoren ist, die Schadstoffgrenzen einzuhalten. VW wusste sich in den USA nur mit Betrug zu helfen. Andere Hersteller machen es zwar gesetzeskonform, aber nicht weniger trickreich (siehe TR 2/2016 Seite 48). Als Folge haben „die Kommunen ein massives Feinstaubproblem“, sagt Mobilitätsforscher Stephan Rammler. Im Januar rief Stuttgart als erste deutsche Stadt Feinstaubalarm aus. Um dem zu entgehen, müssen die Umweltauflagen steigen. Strikte Umweltzonen und Fahrverbote wären eine Variante. Mit beiden Maßnahmen würden Verbrenner unattraktiver. Die Alternative wären sauberere Diesel und Benziner. Damit aber steigen die Kosten für die Motoren. „Verbrenner werden prinzipiell teurer, Elektroautos prinzipiell günstiger, weil die Batteriepreise massiv auf breiter Front sinken“, prophezeit Markus Lienkamp, Professor für Fahrzeugtechnik an der TU München. Er sieht den Durchbruch für Elektroautos zwischen 2020 und 2025 kommen. Für die Million bis 2020 wird es wohl nicht reichen, glaubt ein anderer Brancheninsider. Aber „500 000 vollelektrisch fahrende Autos sind realistisch“.

**Der Wettlauf um die Batteriezukunft** mag langsam beginnen. Aber niemand sollte die Verwerfungen unterschätzen, die er mit sich bringt. Was auf die Autobranche zukommt, darauf gibt der Wandel in der Energiebranche einen Vorgeschmack. Lange nahmen viele Stromversorger Batteriespeicher ebenso wenig ernst wie die Fahrzeughersteller. Doch nun führen die massiven Investitionen in ihre Produktion dazu, dass sich das Bild wandelt. Einer Studie der Unternehmensberatung Roland Berger zufolge kostet solarer Strom aus Batterien mittlerweile genauso viel wie jener aus dem Netz.

Viel schneller als auf der Straße, sind sich viele Experten sicher, wird das Batterie-Zeitalter in den Häusern beginnen. Deutsche Mittelständler wie das Dresdener Unternehmen Solarwatt oder Solarbatterie aus Bayern bieten PV-Besitzern seit

## Wettrennen

Der Kostenvergleich des ADAC zeigt, wie E-Autos im Vergleich zu Verbrennern dastehen. Der Rechnung zugrunde liegen ein Spritpreis von 1,20 Euro für Super, 1,00 Euro für Diesel, ein Strompreis von 28 Cent pro kWh, eine Haltedauer von vier Jahren und eine jährliche Fahrleistung von 15 000 km.



**56 CENT**

kostet jeder Kilometer mit einem BMW i3 in der Vollkostenrechnung.

**57 CENT**

pro Kilometer sind es beim Benziner BMW 120i Steptronic.



**45,5 CENT**

pro Kilometer müssen Besitzer des Renault Zoe Z.E. Life bezahlen.

**35 CENT**

kostet in der gleichen Rechnung der Diesel Clio ENERGY dCi 90 Experience EDC.



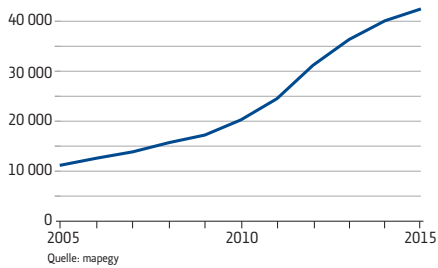
**127,6 CENT**

sind es beim Tesla Model S 70 für jeden Kilometer.

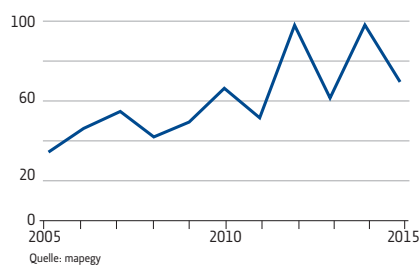
Anzeige



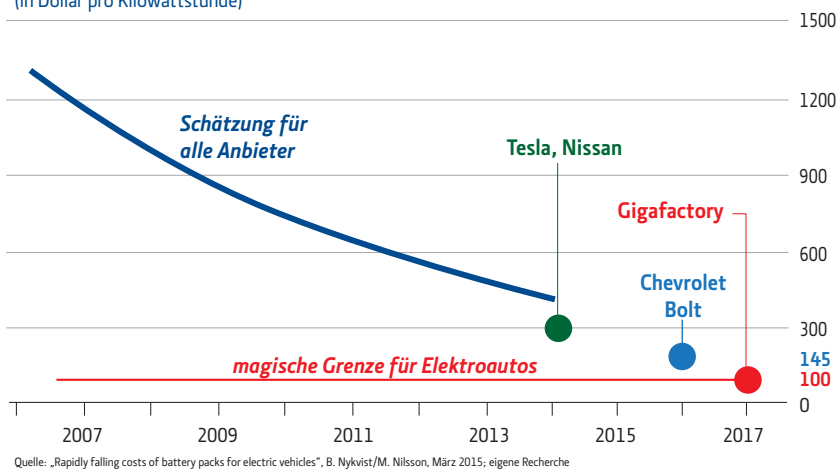
**Innovationsaktivitäten bei Akkus**  
(Patente und wissenschaftliche Publikationen)



**Streitfälle um Batteriepatente**  
(Anzahl pro Jahr)



**Preisverfall Lithium-Ionen-Akkus**  
(in Dollar pro Kilowattstunde)



Langem an, ihren selbst erzeugten Strom für bewölkte Tage zu speichern. Nun bekommen sie mächtige, vielleicht sogar übermächtige Konkurrenz: Elon Musk lässt in seiner Gigafactory auch die Powerwall produzieren. Der Kasten wiegt 100 Kilogramm, sieben Kilowattstunden passen hinein. Ein Vier-Personen-Haushalt kann sich damit einen ganzen Tag lang versorgen. Die Kosten liegen bei 3000 Dollar (zuzüglich etwa 1500 Dollar für den Wechselrichter, der Gleich- in Wechselstrom wandelt). Zum Vergleich: Auch Eon und RWE haben seit einiger Zeit Batteriespeicher im Angebot. Aber Eons Samsung-Akku kostet 6000 Euro bei gerade einmal 3,6 Kilowattstunden Kapazität. Das Sony-Modell von RWE kommt bei gleichen Kennzahlen sogar auf rund 8000 Euro. Kein Wunder, dass für die Powerwall bereits 38 000 Bestellungen vorliegen, so zumindest erzählt es Musk. „In den USA mit ihren unzuverlässigen Netzen tut sich ein Riesensmarkt auf“, sagt Erdmann.

**Aber Musks große Hoffnung** ist Deutschland. Angeblich hat er sogar schon bei Wirtschaftsminister Sigmar Gabriel Interesse bekundet, auch hierzulande eine Gigafactory hochzuziehen. Nach Zahlen des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW) sind derzeit 30 000 Akkus installiert, im vergangenen Jahr wurde bereits etwa jede dritte Photovoltaik-Anlage mit Solarbatterie verkauft. Wenn jetzt die Billigmodelle kommen, „wird der Markt explodieren“, glaubt Gerhard Hörpel vom

Batterieforschungszentrum MEET der Universität Münster.

Nicht nur Privatleute, auch Unternehmen werden sich auf die billigen Stromspeicher stürzen. Für Unternehmen und Stadtwerke könnten stationäre Batterien in Kombination mit Solar- oder Windkraft reizvoll sein, um hochpreisigen Spitzenlaststrom einzusparen. „Nebenbei verpassen sie sich noch ein grünes Image“, sagt Erdmann. In Kalifornien testet Wal-Mart die Powerwall. Für Firmen bietet Tesla zudem eine vergrößerte Powerwall-Variante an – das Powerpack, angeblich beliebig hochskalierbar bis in den Gigawattstunden-Bereich. Das reicht, um eine Fabrik oder eine Kleinstadt zu versorgen.

**Die Batterie entwickelt** sich damit zur wahrscheinlich größten Herausforderung für die etablierten Energieversorger. 1,5 Millionen Solaranlagen sind derzeit in Deutschland installiert, ein Großteil davon stammt aus dem Jahr 2004. Deren Einspeisevergütungs-Garantie läuft 2024 aus, spätestens

dann werden sich diese PV-Besitzer heimische Batteriespeicher anschaffen. Sie alle sind potenzielle Netzabtrünnige. Und je billiger und besser die Speicher werden, desto „mehr Leute werden off the grid gehen“, glaubt Stephan Rammler. Dann wird es teuer für die, die on the grid bleiben, weil die Kosten für das Netz auf immer weniger Haushalte verteilt werden müssen. Ein Teufelskreis droht. Eon-Chef Johannes Teyssen hat Strom-Selbstversorger daher schon als „Schwarzbrenner“ beschimpft. Helfen wird es nichts, wie Teyssen selbst zu wissen scheint. In einem Interview gestand er ein, dass er nicht davon ausgehe, „dass mit der konventionellen Stromerzeugung künftig noch nennenswert viel Geld verdient werden kann“. Eine Branche gerät endgültig ins Rutschen, die 2,2 Prozent des hiesigen Bruttoinlandsprodukts erwirtschaftet.

Gleichzeitig tut sich ein neuer Markt auf: Jeder, der ein paar stationäre Batterien kauft und sie interessierten Verbrauchern vermietet, hat ein Geschäftsmodell. Hauseigentümer könnten zu Energieversorgern ihrer Mieter werden. „Profite werden künftig mit Dienstleistungen rund um das Produkt Strom erzielt“, sagt Teyssen selbst. „Manche dieser Produkte werfen höhere Margen ab, als es im klassischen Stromgeschäft je möglich war.“ Nebenbei digitalisiert sich der Markt. Wer Batterien clever vernetzt, hat plötzlich ein Kraftwerk im Portfolio. Im Energiemarkt droht eine Entwicklung ähnlich wie damals bei den Computern: Erst gab es Großrechner, dann kleine PCs – und am

## » Die deutsche Autoindustrie verliert an Bedeutung. «

Stephan Rammler,  
Mobilitätsforscher



Foto-Vorlage: dpa/Holger Hollemann

Ende gewannen die Softwarehersteller. Ein „Google für Energie“ ist keineswegs unwahrscheinlich.

Um dagegenzuhalten, werden die Energieversorger nicht nur selbst Batterien anbieten müssen, sondern auch eine intelligente Steuerung dazu. Der Ökostromanbieter Lichtblick macht es vor: Er offeriert in Kooperation mit Tesla die Powerwall ab Mitte 2016 als „SchwarmBatterie“ (Preis noch unbekannt). Kunden können ihre Stromspeicher in den Verbund integrieren und als Reservekapazität zur Verfügung stellen – wenn etwa die Nachfrage überraschend steigt oder die Erzeugung sinkt. Lichtblick beteiligt die Batteriebesitzer an den Erlösen, die es mit diesem Modell auf dem Energiemarkt erzielt.

Gelingt dieser Schritt, wären die Batterien sogar eine Chance für die Energiewende. „Jeder geförderte Speicher wird die Stromnetze entlastet und so den Netzausbau reduzieren“, erklärt Carsten Körnig, Hauptgeschäftsführer des BSW-Solar. Die Stromspeicher könnten Back-up-Kraftwerke ersetzen und Versorgungssicherheit garantieren. Mittlerweile drängen sogar die Autohersteller in diesen Markt. „Sie haben über die Jahre gewaltiges Know-how in Sachen Batterien angesammelt“, sagt Gerhard Hörpel. „Den Markt der stationären Speicher werden sie sich nicht entgehen lassen.“ Dadurch entstehen weitere interessante Geschäftsmodelle: Daimler beispielsweise will zusammen mit den Stadtwerken Hannover 2017 einen 15-Megawatt-Batteriespeicher in Betrieb nehmen. Er soll als Zwischenlager für Autobatterien fungieren. Denn sie müssen regelmäßig entladen und wieder aufgeladen werden, um nicht an Leistung einzubüßen. Daimler nun will diese Kapazität als Regenergie anbieten. Klappt es, verdient der Konzern zusätzliches Geld, die Akkus dienen der Netzstabilität, und der Elektroauto-Kunde bekommt im Notfall rasch eine Wechselbatterie.

Diese Beispiele zeigen, wie grundlegend die Energiebranche umdenken muss. Und sie vermitteln ein Gefühl dafür, was auf die Autobranche zukommt. Jetzt rächt sich, dass die

Batterieforschung in Deutschland jahrzehntelang vor sich hin dümpelte und erst seit wenigen Jahren wieder forciert wird. Gerade hat Daimler die letzte heimische Batteriezell-Produktion seiner Firma Li-Tec im sächsischen Kamenz verkauft. Alle Hersteller importieren ihre Batteriezellen nun. VW kauft seine Akkus von Panasonic, BMW bei Samsung und Daimler bei LG Chem. Dabei macht der Akku etwa 40 Prozent in der Wertschöpfungskette eines Elektroautos aus. „Die deutsche Autoindustrie verliert nicht nur Arbeitsplätze, sondern auch an Bedeutung“, sagt Stephan Rammler. „Wer die beste Batterie baut, hat einen großen Vorsprung.“ Die Betriebsratschefs von Daimler und BMW forderten zwar, dass VW, BMW und Daimler jeweils eine Milliarde Euro in eine

gemeinsame Batterieproduktion investieren sollten. Die CEOs wollen davon aber (noch) nichts wissen, einzig VW-Markenchef Herbert Diess signalisiert vorsichtig Zustimmung. „Ich fürchte, der Zug ist abgefahren“, sagt Rammler.

**Hinzu kommt, dass gerade die Herzstücke** der deutschen Autohersteller und Zulieferer im E-Auto deutlich einfacher zu bauen sind als in Verbrennern: Sowohl für den Elektroantrieb als auch die Getriebe und Aggregate ist viel der Ingenieurskunst hierzulande nicht mehr entscheidend. Das Autogeschäft der Zukunft könnte sich zur reinen Auftragsfertigung entwickeln, wie es schon bei Smartphones der Fall ist. Bereits heute finden sich unter den Top 20 der größten Autobauer vier chinesische Konzerne. Warum sollte unter ihnen nicht das Foxconn der Fahrzeugherstellung sein? Treten zusätzlich noch autonome Autos ihren Siegeszug an, könnten sich die Verhältnisse so weit umkehren, dass die deutschen Autobauer zu bloßen Zulieferern von Tesla, Google oder Apple degradiert werden.

Jürgen Dispan vom Forschungs- und Beratungsinstitut IMU hat 2012 in einer Studie analysiert, welche Auswirkungen die Elektrifizierung auf die Beschäftigungszahlen in der Automobilindustrie haben könnte. Sein Fazit: Sollten Elektro-

## » Der Markt wird explodieren. «

Gerhard Hörpel,  
Batterieforscher



Foto-Vorlage: WWU/MEET





und Hybridautos bis zum Jahr 2030 tatsächlich auf Marktanteile von 40 Prozent kommen, werden die Beschäftigungszahlen in der Summe bestenfalls gleich bleiben. Aber auch nur dann, wenn die Branche auf die neue Herausforderung reagiert: „Es trifft vor allem die kleinen und mittleren Zulieferer, die Komponenten für den Verbrennungsmotor liefern“, sagt Dispan. „Die müssen sich dringend neu aufstellen“, sonst werden sie unter die Räder kommen. Derzeit sieht Dispan aber noch keine Neuorientierung: „Wir beobachten eher ein abwartendes Verhalten.“

Die Ausnahme: Bosch. Der Gigant unter den Zulieferern lässt sich erst gar nicht auf das Rattenrennen um die billigste

Lithium-Ionen-Batterie ein – sondern bastelt lieber an einer ganz neuen Technologie. „Die Festkörperzelle könnte eine entscheidende Durchbruchstechnologie sein“, verkündete Vorstandschef Volkmar Denner auf der IAA 2015. Mit dem Kauf des US-Start-ups Seeo hat sich Bosch das Know-how und die Patente an dieser neuen Batterietechnologie gesichert (siehe Kasten unten). In fünf Jahren soll der neue Super-Akku serienreif sein und eine mehr als doppelt so hohe Energiedichte bieten wie derzeitige Lithium-Ionen-Akkus. Auch das ist eine Wette auf die Zukunft. Aber sie eröffnet die Chance, dass Deutschland doch noch das Zeitalter der Batterien mitgestalten kann – und nicht nur von ihm gestaltet wird. ❖

## Die wichtigsten Konzepte für Super-Akkus

### Lithium-Ionen

Die Elektroden bestehen aus Graphit (negativ) und einer Lithiumverbindung (positiv). Als Elektrolyt dient ein Lithiumsalz in einem wasserfreien Lösungsmittel. Im Elektrolyten wandern Lithium-Ionen zwischen den Elektroden und die Elektronen über den Stromkreis hin und her. Gängige Modelle erreichen mit 140 Wattstunden pro Kilogramm zwar nur etwa ein Hundertstel der Energiedichte

Schwefel. Vorteil: Sie sind billiger und leichter. „Allerdings braucht sie genauso viel Platz wie ein Lithium-Ionen-Akku“, sagt Gerhard Hörpel. Während des Entladeprozesses schrumpft die Lithium-Elektrode und baut sich beim Laden neu auf. Lithium-Schwefel-Batterien könnten Energiedichten von potenziell bis zu 500 Wattstunden pro Kilogramm erreichen (derzeit im Labor realisiert: 350). Allerdings machen die

Lithium-Schwefel-Verbindungen den Chemikern noch große Probleme. Sie können sich an anderer Stelle im Akku ablagern, was den Lade-Entlade-Prozess beeinträchtigt. Die Technik gilt dennoch als vielversprechend.

### Festkörperakkus

Diese Batterien enthalten keine Flüssigkeit. Der Festelektrolyt der Firma Seeo (von Bosch gekauft) beispielsweise birgt stattdessen zwei Polymerschichten. Eine ist weich und leitet Ionen, die andere ist hart und bildet eine Barriere zwischen den Elektroden. Der Nachteil: „Sie müssen bei 80 Grad Celsius betrieben werden, weil der Polymer-Elektrolyt schlecht leitet“, sagt Gerhard Hörpel. Das bedeutet Energieverlust. Daher sucht man derzeit bessere Polymer-Elektrolyte. Hörpel glaubt, dass man sie finden wird. Festkörperakkus sind um 75 Prozent kleiner als herkömmliche Akkus, halb so schwer und sicherer, weil sie nicht entflammen können. Seeo hat mit dieser Technologie Leistungsdichten von 350 Wattstunden pro Kilogramm erreicht. Bosch will in fünf Jahren eine Batterie mit 50 Kilowattstunden Kapazität verkaufen, die nur noch 190 Kilogramm wiegt und in 15 Minuten auf 75 Prozent geladen sein soll. Für Gerhard Hörpel sind Festkörperakkus die vielversprechendste neue Batterietechnologie. Aber er hat Zweifel, dass Bosch die Technik so schnell serienreif haben wird.

### Metall-Luft

Eine Lithium- oder Natrium-Elektrode gibt Ionen ab, die sich als Oxide an der

anderen Elektrode ablagern. Lithium-Luft-Batterien könnten leichter als gängige Akkus sein und Energiedichten von rund 1000 Wattstunden pro Kilogramm bieten – das kommt in die Nähe von Verbrennungsautos. Aber sie haben einen Nachteil: Sie müssen belüftet werden. Der Sauerstoff für die Reaktion kommt aus der Luft, die Batterie ist daher offen. Ein Filtersystem muss daher CO<sub>2</sub> und Wasser aus der Luft entfernen, was aufwendig ist und die Vorteile wieder zunichte macht. „Von der Lithium-Luft-Batterie ist leider nur heiße Luft übrig geblieben“, sagt Gerhard Hörpel. Ähnliches gilt für die Natrium-Luft-Batterie.

### Andere Konzepte

Magnesium als Energieträger hätte den Vorteil, dass seine Ionen doppelte Ladung tragen. Damit hätte man doppelte Energiedichte im gleichen Volumen. Das System befindet sich aber noch im Laborstadium. Auch an Batterien ohne Feststoffe wird geforscht: Bei der Redox-Flow-Batterie speichern zwei Elektrolyt-Flüssigkeiten den Strom. Bei der Batterie der Firma Ambri bestehen die beiden Elektroden aus flüssigem Metall. Beide Konzepte eignen sich besonders für Großbatterien.

JENS LUBBADEH

## » Entscheidende Durchbruchstechnologie. «

Volkmar Denner,  
Vorstandschef Bosch



von Benzin. Aber erstens nutzt ein Verbrennungsmotor davon im Idealfall nur knapp 40 Prozent. Zweitens hält Gerhard Hörpel vom MEET Batterieforschungszentrum der Universität Münster 300 Wattstunden pro Kilogramm für möglich (Teslas Batterien sind bei etwa 230 Wattstunden pro Kilogramm). Dennoch werden Elektroautos mit Lithium-Ionen-Technologie nie Reichweiten wie Benziner bieten. Daher arbeiten Forscher an neuen Konzepten.

### Lithium-Schwefel

Bei ihr besteht die negative Elektrode aus reinem Lithium und die positive aus billigem