

Energieversorgung sichern durch elektrochemische Energiespeicher – auch mit Nanomaterialien

Regine Hedderich, Forschungszentrum Karlsruhe – Institut für Nanotechnologie

Die deutsche Energieversorgung nutzt Gas, Kohle, Öl und Kernenergie sowie erneuerbare Energien, aber keiner dieser Energieträger erfüllt gleichzeitig alle Anforderungen an eine wirtschaftliche, sichere und umweltfreundliche Energieversorgung. Von 2006 - 2009 stellt die Bundesregierung 2 Mrd. € für die Energieforschung bereit. Ein zentrales Forschungsthema sollten dabei auch Systeme zur Speicherung elektrischer Energie sein, wie sie im Folgenden diskutiert werden.

Eine dauerhafte Sicherung der Energieversorgung könnte durch Kernfusion gelingen. Die erforderlichen Brenn- und Brutstoffe Deuterium und Lithium sind in großen Mengen vorhanden. Allerdings benötigt die Entwicklung von Fusionskraftwerken von den Grundlagen bis zur Marktreife mehrere Jahrzehnte. Die umstrittene Kernenergie kann uns einen gewissen zeitlichen Spielraum verschaffen, während neue Lösungen entwickelt werden. Gleichzeitig müssen wir aber Techniken zur Nutzung bestehender Energieträger effizienter einsetzen als bisher.

In Industrie, Kommunikation und Haushalt sowie teilweise in Transport und Verkehr hat sich elektrischer Strom als universell nutzbarer Energieträger durchgesetzt. Ein Nachteil ist seine eingeschränkte Speicherebarkeit, was eine relativ aufwendige, an den Verbrauch angepasste Stromerzeugung mit Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerken notwendig macht.

Speicherung elektrischer Energie

Mit der Zunahme unterschiedlicher Stromerzeuger gewinnen Speichersysteme zusätzlich an Bedeutung, um kurzzeitige Netzausfälle oder typische Leistungsschwankungen dezentraler, regenerativer Stromerzeuger zu kompensieren. Für große Energiemengen werden Pumpspei-

cherwerke, Dampf- und Druckluftspeicher eingesetzt. Supraleitende Magnetenergiespeicher (SMES) und Superkondensatoren (Supercaps) als Kurzzeitspeicher befinden sich in der Markteinführungsphase. Bei der Energiespeicherung über Wasserstoff verliert man rund 70% der (photovoltaisch erzeugten) elektrischen Energie durch die notwendige Umwandlungskette: Wasserelektrolyse, Wasserstoffkompression bzw. -verflüssigung, Wiederverdampfung, Transport- und Stromerzeugung. Dadurch werden die reinen Stromerzeugungskosten der Photovoltaikanlage vervielfacht.

Batterien

Außerordentlich hoch bleibt der Wirkungsgrad hingegen, wenn die erzeugte elektrische Energie auch elektrisch gespeichert wird, ohne physikalisch/chemische Umwandlungsverluste. Hierzu eignen sich insbesondere wiederaufladbare Batterien (Akkumulatoren). Sie sind in einem weiten Energiebereich nutzbar, z.B. von der Knopfzelle im mWh-Bereich bis zu stationären Anlagen mit ca. 40 MWh. Heute werden für die Stromspeicherung folgende Akkumulatortechnologien eingesetzt:

- Der Bleiakku wurde bislang aus Kostengründen verwendet, trotz seiner Nachteile wie relativ geringe Lebensdauer

(500 Zyklen), großes Gewicht und Volumen sowie Batteriewartung.

- Zur Klasse der alkalischen Batterien gehören die Nickel-Cadmium- und die Nickel-Metallhydrid-Batterien, die sich bei niedrigen Temperaturen wegen ihrer Zuverlässigkeit und hohen Lebensdauer (1000 Zyklen) als vorteilhaft erwiesen haben. Ihr Einsatz ist jedoch aus toxikologischen Gründen in Zukunft limitiert.
- Bei den Natrium-Hochtemperatur-Batterien gibt es die Natrium-Schwefel- und die Natrium-Nickelchlorid-Batterie, die bei etwa 300°C arbeiten. Durch ihren hohen Wirkungsgrad haben sich diese Systeme für den stationären Einsatz in elektrischen Netzen empfohlen. Es ist eine in der Anwendung noch junge Technologie, deren Sicherheitsverhalten aufmerksam verfolgt werden muss.
- Vanadium-Redox-Flow-Batterien haben einen Wirkungsgrad von 70-80% und werden z.B. in Japan bei der Kashima-Kita Power Station eingesetzt.
- Die Batterietechnologie der Zukunft ist klar die Li-Technologie, sei es als Li-Ionen- oder als Li-Polymer-Variante. Nachteilig sind die gegenwärtig noch recht hohen Kosten, die aber material- und mengenbedingt in Zukunft erheblich fallen werden.

In **Tabelle 1** sind die wichtigsten indirekten elektrochemischen Speicher und der Superkondensator (Supercap) zusammengestellt. Bleiakku, Natrium-Schwefel-Hochtemperaturakku und Redox-Flow-Systeme sind unter Kostenaspekten für die Energiespeicherung am günstigsten. Wegen ihres großen Potentials gerade auch unter Kosten/Nutzen-Aspekten sollen Lithium-Batterien genauer betrachtet werden.

Lithium-Batterien

Zu Beginn der Entwicklung von Lithium-Batterien wurde als Elektrode metallisches Lithium eingesetzt. Es reagiert mit dem

	Blei	Alkalisch	Na-HT	Li-Ion	RedoxFlow	Supercap
Spez. Energie [Wh/kg]	35	70	89	120	25	<5
Spez. Leistung [W/kg]	100	300	140	500	50	5000
Zyklenzahl	500	1000	2000	1000	>1000	500 000
Wirkungsgrad [%]	80	75	90	95	75	95
Selbstentladung bei RT [% pro Monat]	3	25	100	3	10	50
Kosten [€/kWh]	150	500	150	750	200	10 €/kF
Stationäre Anwendg.	Sehr wenig	Sehr wenig	Viel	Sehr wenig	Viel	Sehr wenig

Tabelle 1: Vergleich elektrochemischer Speichersysteme nach Garche [3]

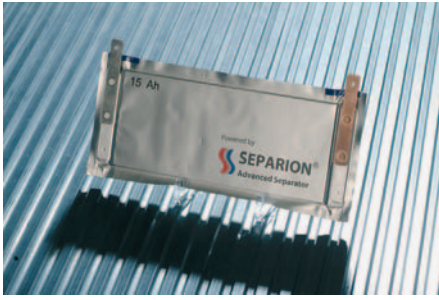


Bild 1: Flache, flexible Li-Ionen-Batterie mit Separion-Separator (Bild: Degussa)

Elektrolyten unter Ausbildung einer Schutzschicht. Allerdings kam es immer wieder zu Kurzschlüssen auf Grund eines nicht kontrollierbaren Dendritenwachstums mit der Folge von mehr oder weniger heftigen elektrochemischen Reaktionen. Erst durch die Erfindung der Li-Kohlenstoff-Intercalationsverbindungen (Sony, 1985) wurde die Li-Ionen-Technologie auch in dieser Hinsicht marktreif. Allerdings erkaufte man sich mit den LiC_6 -Verbindungen die notwendige Sicherheit mit einer geringeren Speicherkapazität im Vergleich zur Li-Metall-Anode.

Heute stehen im industriellen Maßstab Li-Ionen-Systeme im Fokus. In Japan werden im Rahmen des 10 Jahresprogramms LIBES (Lithium Battery Energy Storage) zwei Varianten von Lithiumsystemen für die dezentrale Energiespeicherung in Haushalten mit 20-30 kWh entwickelt. Zum einen wird für die Hausversorgung ein Lithiumsystem entwickelt, dessen spezifische Energie etwa dem drei- bis fünffachen des Bleiakkus entspricht, bei einer Lebensdauer von mindestens 10 Jahren. Zum anderen wird für Hybrid-Elektrofahrzeuge ein System mit sehr hoher spezifischer Leistung (10-30mal

so hoch wie beim Bleiakkumulator) und mit einer Lebensdauer von mindestens 8 Jahren bereitgestellt.

In der mobilen Medizin- und Informationstechnik konzentrieren sich die Entwicklungen derzeit auf Batterien mit sehr hohen Energiedichten und damit geringem Gewicht sowie einer Formflexibilität, um sich an unterschiedliche Anwendungen anpassen zu lassen (**Bild 1**). Dafür eignen sich auch Li-Polymersysteme mit Polymer-elektrolyten. Neue Konzepte dafür werden von den Fraunhofer-Instituten für Silicatforschung (Würzburg) und für Chemische Technologie (Karlsruhe) entwickelt. Am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme in Dresden entstand eine ultraflache Lithium-Batterie, deren Elektroden mittels Siebdruck hergestellt werden. Mit 0,6 mm Dicke ist sie für den Einsatz in Chipkarten geeignet.

Nanomaterialien für Lithium-Batterien

Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) sind für die elektrochemische Speicherung von Lithium-Ionen geeignet und besitzen höhere Speicherkapazitäten als die heutzutage verwendeten Standard-Graphite (**Bild 2**). Außerdem können die mechanischen und elektrischen Eigenschaften bereits bestehender Kathoden- und Anodenmaterialien durch Zusatz von Kohlenstoff-Nanomaterialien deutlich verbessert werden. Die Firma FutureCarbon GmbH entwickelt und fertigt solche Elektrodenmaterialien für zukünftige Lithium-Ionen-Akkus, mit denen höhere Speicherkapazitäten und größere Zyklenzahlen realisierbar sind.

Bei der Speicherung von Energie in großen Batterien, insbesondere für Anwendungen im Automobil-Antrieb, ist die etablierte Batterietechnologie bei weitem nicht ausreichend. Dabei gibt es für die nächsten Jahrzehnte einen klaren Trend

zu elektrischen Antrieben, mit dem Ziel der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs. Hier gilt es, eine Verbesserung der Energie- und Leistungsdichte, aber auch der Sicherheit und Lebensdauer von Batterien zu erreichen. Dies sind wichtige Voraussetzungen, um die Kosten für Batteriesysteme deutlich zu senken. Die Degussa verfügt über großes Know-how bei Lithium-Ionen-Batterien und insbesondere Komponenten (Membranen, Elektroden) zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Erhöhung der intrinsischen Sicherheit. Die von ihr produzierte flexible keramische Membran Separion basiert auf Nanopartikeln und leistet einen wesentlichen Beitrag, um Lithium-Ionen-Batterien für größere Anwendungen sicherer und leistungsfähiger zu machen. Sie können in Hybridfahrzeugen zum Einsatz kommen, die so bis zu 40% weniger Treibstoff benötigen.

Fazit

Der Weltmarkt für Lithium-Ionen-Batteriematerialien wächst immer noch zweistellig und beläuft sich derzeit auf mehr als 1,2 Mrd. US\$. Degussa geht davon aus, dass das Marktvolumen für die Materialien bis zum Jahr 2015 auf rund 4 Mrd. US\$ steigen wird. Wenn Lithium-Ionen-Speicher leistungsfähiger und durch größere Stückzahlen kostengünstiger werden, eröffnet sich auch die Möglichkeit, diese für große wirtschaftliche Speichersysteme anzuwenden, um z.B. das zeitlich schwankende Angebot regenerativer Energien der Energienachfrage anzupassen.

Literaturhinweise:

- [1] Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990-2020, eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V., September 2005
- [2] Die Energieversorgung sichern, Denkschrift der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften, Mai 2006
- [3] Jürgen Garcke, Elektrochemische Energiespeicher: Stand, Probleme, Perspektiven, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 10/2006, S. 61-66
- [4] Energietechnik, Konzepte, Technologien, Produkte, Fraunhofer Gesellsch., www.energie.fraunhofer.de
- [5] FutureCarbon, www.futurecarbon.de
- [6] Degussa, Pressemitteilung, Januar 2007

Ansprechpartner:

Dr. Regine Hedderich
 Forschungszentrum Karlsruhe
 Institut für Nanotechnologie
 und Geschäftsstelle NanoMat
 Postfach 3640
 D-76021 Karlsruhe
 Tel. 07247/82-2630
 Fax 07247/82-6420
 eMail: regine.hedderich@int.fzk.de
 Internet: www.nanomat.de

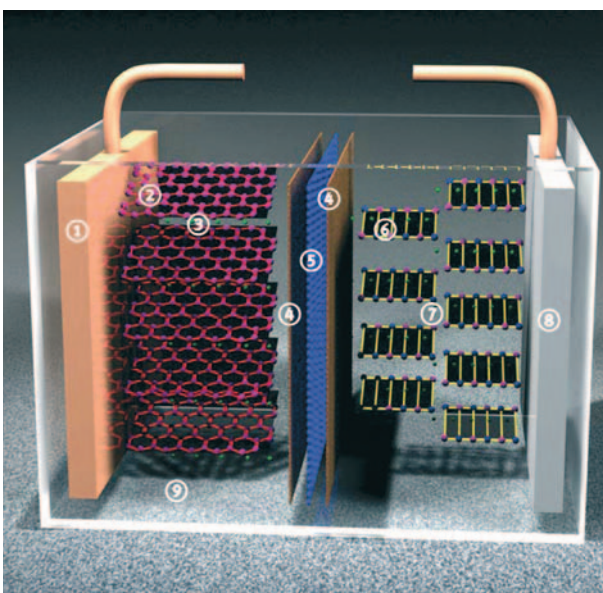


Bild 2: Li-Ionen-Batterie

- 1) Kupferanode
 - 2) Lithium-Graphit-Verbindung
 - 3) Li-Ionen bei der Entladung
 - 4+5) Separion-Separator
 - 6+7) Lithium-Metalloxid
 - 8) Aluminiumkathode
 - 9) flüssiger Elektrolyt
- (Bild: Degussa)