

Energieautonomie durch Speicherung Erneuerbarer Energien

Von Thomic Ruschmeyer, bsm, Bundesverband Solare Mobilität e.V., Kiefernberg 51, 21075 Hamburg

EUROSOLAR und der Weltrat für Erneuerbare Energien (WCRE) luden vom 30. - 31. Oktober 2006 zur Internationalen Konferenz "Energieautonomie durch Speicherung Erneuerbarer Energien" (IRES I) im Wissenschaftspark Gelsenkirchen ein.

Die Veranstaltung brachte erstmals über 40 Referenten aus aller Welt zusammen, um die Optionen von Speichertechnologien für eine Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien zu diskutieren. EUROSOLAR organisiert diese Konferenz in Kooperation mit der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW und der Energieagentur NRW, unterstützt u.a. von der UNESCO, der International Solar Energy Society (ISES), dem Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie NRW sowie der Deutschen Energie-Agentur (dena).

Thomic Ruschmeyer (bsm) und Tomi Engel (dgs) besuchten die Konferenz, Thomic Ruschmeyer berichtet:

Eine Übersicht aktueller Speichertechnologien und Anwendungsmöglichkeiten

In den letzten beiden Oktobertagen dieses Jahres trafen sich auf Einladung von Eurosolar und dem Weltrat für Erneuerbare Energien (WCRE) etwa 250 Teilnehmer aus 25 Ländern im Wissenschaftspark in Gelsenkirchen. Anlass war die weltweit bisher einmalige Konferenz „Energieautonomie durch Speicherung Erneuerbarer Energien, wo das Spektrum heutiger Speichertechnologien vorgestellt und diskutiert wurde.

Die zentralen Fragen war: „*Welche Technologien bieten sich heute an, um Erneuerbare Energien zu speichern und welchen Beitrag leisten sie für den Aufbau einer Energieversorgung auf einer zu 100% regenerativen Basis?*“

Hermann Scheer eröffnete die Konferenz mit der allgemeinen Forderung, dass die Energiespeicherung das strategische Schlüsselement zur Generalisierbarkeit eines Energieträgers ist. Indem die Nutzung von Energiespeichern forciert wird, kann der Öffentlichkeit unmissverständlich gezeigt werden, dass die Erneuerbaren Energien tatsächlich in der Lage sind, atomare und fossile Energien vollständig zu ersetzen.

Basis der Überlegungen auf dieser Fachkonferenz war, dass kein Energiesystem ohne Speicher auskommt, egal ob es um Elektrizität, Wärme oder Treibstoff geht. Insbesondere den Er-

neuerbaren Energien wird vorgeworfen, dass sie nicht oder nur schwierig zu speichern seien und damit eine echte Vollversorgung nicht oder kaum möglich scheint.

Allgemein kann Strom als solcher nicht direkt gespeichert werden, daher müssen Angebot und Nachfrage zu jedem Zeitpunkt exakt ausgeglichen sein. Um dies zu gewährleisten, wird eine aufwändige Einsatzplanung für die elektrische Energieversorgung vorgenommen, die sich dafür aus einer geeigneten Mischung von Grundlast-, Mittellast- und Spitzenlastkraftwerken zusammensetzen muss. Da aber Kraftwerke relativ lange Zeiträume bis zum Erreichen der Nennleistung benötigen, sind zusätzliche schnell einsetzbare Speicher notwendig. Diese müssen immer dann aktiviert werden, wenn der reale Verbrauch von der Prognose abweicht oder wenn ungeplant ein Kraftwerk vom Netz geht.

Der Ausgleich zwischen aktuellem Strombedarf und der aktuellen Stromerzeugung muss zur Stabilisierung der Netze zu jedem Zeitpunkt erfolgen. Grundsätzlich stehen dafür die schnelle Regelung der Kraftwerke selber, eine Steuerung auf der Lastseite und Speicher für elektrische Energie zur Verfügung. Beim heutigen Kraftwerksmix besteht ein Ausgleichsbedarf meist nur für kurze Zeiten, da ausreichend Mittel- und Spitzenlastkraftwerke zur Verfügung stehen. Dies wird sich aber ändern, wenn große Kapazitäten erneuerbarer Energien in das Netz eingefügt werden.

Um dieses realisieren zu können, wurde auf dieser Konferenz die große Bandbreite der heute verfügbaren Technologien für Wärme- und Stromspeicherung vorgestellt und teilweise sehr ausführlich erläutert. Selbst bei einigen teilnehmenden Fachleuten war gelegentliches Erstaunen ob der Vielzahl der Möglichkeiten zu verzeichnen und so waren auch die Gespräche in den Pausen und beim Abendempfang oftmals recht lebhaft und ergiebig.

Es soll hier vom „elektrischen Teil“ berichtet werden, war dies doch für viele der wichtigere Teil für einen breiten Einsatz der erneuerbaren Energien im Stromnetz allgemein, zudem bieten diese auch großes Potential um sie auch im

Mobilitäts- und Verkehrsbereich effektiv einsetzen zu können.

Hierzu ein kleiner Exkurs (nach Prof. Dr. Sauer FHT-Aachen) zu den Klassen und Technologien, sowie den Anforderungen für die Speicherung elektrischer Energie.

Allgemein werden elektrische Speicher, wie folgt nach Einsatzzweck unterschieden:

elektrisch

- Supraleitende Spulen (SuperCaps)
- Kondensatoren (diverse Technologien)

mechanisch

- Pumpspeicherwerke (für große Energiemengen)
- Schwungradspeicher (für schnell verfügbare Leistungen)
- Druckluftspeicher (für langfristige Speicherung)
- elektro-chemisch
- Akkumulatoren mit internem Speicher (z.B. Pb, NiCd, Li-Ion)
- Akkumulatoren mit externem Speicher (externer Elektrolyt)
- Gasspeicher (Elektrolyseur & Brennstoffzelle / Turbine)
- Speicher mit flüssigen Aktivmassen (z.B. Vanadium-Redox-System)
- Primärbatterien mit externer Regeneration (z.B. Zn-Luft)



Prof. Sauer bei seinem Vortrag

Die Anforderungen an Speicher sind reichhaltig und oftmals stellt man fest, dass eine Optimierung von Speichertechnologien zugunsten bestimmter Eigenschaften zu einer Verschlechterung anderer Eigenschaften führt. So leidet typischerweise die Energiedichte unter einer Optimierung auf höchste Leistungsdichten. Auch steigt mit steigender Energiedichte das Gefährdungspotential der Speichertechnologien durch die Konzentration von immer mehr Energie pro Volumeneinheit. Zudem tritt das ty-

pische Problem nahezu aller technischen Anwendungen auf: Eine Optimierung bzgl. der verschiedenen technischen Eigenschaften führt zu einer unerwünschten Erhöhung der Kosten. Nachfolgend aufgelistet sind die wichtigsten Eigenschaften mit kurzen Erläuterungen:

- **Energie- und Leistungsdichte (volumetrisch und gravimetrisch):** Je nach Anwendung ist der Raumbedarf begrenzt und verlangt daher eine hohe volumetrische Energiedichte. Insbesondere bei mobilen Anwendungen ist das Gewicht des Speichers das zentrale Kriterium.
- **Lebensdauer (kalendarisch und Zyklen / Energiedurchsatz):** Je nach Speichertechnologie muss zwischen der Zyklenlebensdauer und der kalendarischen Lebensdauer unterschieden werden. Insbesondere elektrochemische Speichersysteme haben in der Regel eine limitierte Zyklenlebensdauer und somit hängt die Nutzungsdauer stark vom Nutzungsprofil ab.
- **Hochstrombelastbarkeit:** Um hohe Leistungen relativ zur gespeicherten Energiemenge freisetzen zu können und um die Speicher in kurzer Zeit wieder aufladen zu können, ist eine hohe Strombelastbarkeit notwendig.
- **schnelle Ansprechzeit:** Insbesondere bei Anlagen, die die Sicherung von Spannungs- und Frequenzstabilität zur Aufgabe haben, ist eine schnelle Reaktion des Speichers mit der gesamten Nennleistung notwendig. Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme müssen typischerweise innerhalb von 10 ms ansprechen um spätestens nach einer Halbwelle des 50 Hz-Netzes die Versorgung wieder herzustellen. Von großer Bedeutung ist dabei insbesondere auch die Leistungselektronik, die den Speicher an das Netz anbindet.
- **geringe Anforderungen an Ladeverfahren und Ladeelektronik:** Die Ladeelektronik bzw. das leistungselektronische Interface zwischen Speicher und Netz stellt einen sehr wichtigen Teil des Speichersystems dar. Einerseits müssen die Anforderungen seitens der Anwendung z.B. in Bezug auf die Erkennung von Fehlerfällen im Netz und der schnellen Reaktion durch das Speichersystem erfüllt werden und andererseits verlangen viele Speichertechnologien eine geeignete Betriebsführung, um lange Lebensdauern zu erreichen. Je weniger anspruchsvoll die Anforderungen des Speichers sind, desto einfacher und kostengünstiger kann das leistungselektronische Interface gestaltet werden.
- **weiter Betriebstemperaturbereich:** Insbesondere bei Speichertechnologien, die direkt der Umwelt ausgesetzt sind, ist es wichtig, dass über den ganzen typischerweise auftretenden Temperaturbereich eine optimale und effiziente Nutzung des Speichers möglich ist.
- **geringes Sicherheitsrisiko:** Durch die Konzentration von Energie auf engem Raum steigt das Gefährdungspotential für die Umgebung im Fall von Unfällen. So kann z.B.

bei Schwungradspeichern das Schwungrad bei einem mechanischen oder elektrischen Versagen der Lagerung ausbrechen und im Umkreis Schaden anrichten. Elektrochemische Systeme können bei unsachgemäßer Behandlung explodieren und entsprechenden Schaden anrichten. Dabei ist jeweils der Schaden durch mechanische oder thermische Einwirkung des Speichers zu unterscheiden von Schäden die durch ggf. umweltverträgliche Materialien freigesetzt werden können.

- **hoher Wirkungsgrad:** Wirkungsgradverluste kosten direkt Geld, da dem Speicher weniger Energie entnommen werden kann, als ihm zur Aufladung zugesetzt werden muss. Zudem können hohe Verluste auch zu einer erheblichen Erwärmung des Speichersystems führen. Dies kann entweder zu einer Begrenzung des Energiedurchsatzes pro Zeit zur Vermeidung einer Überhitzung führen oder es müssen aufwändige Kühlungsmaßnahmen ergriffen werden.
- **möglichst geringer Wartungsbedarf oder wartungsfrei:** Insbesondere Speicher in netzfernen und abgelegenen Anwendungen sowie kleine unbemannte Speichersysteme sollten möglichst wartungsarm sein. Andernfalls führen lange Anfahrtswege und hoher Zeitbedarf zu hohen Kosten und machen die Systeme unökonomisch.

- **einfache Bestimmung des „state of function“:** Für die übergeordnete Systemregelung ist es wichtig, den Ladezustand, die Verfügbarkeit und den Wartungsbedarf möglichst präzise zu bestimmen, um eine belastbare Einsatzplanung vornehmen zu können. Während bei mechanischen Systemen die Bestimmung des Ladezustands durch Messungen von Druck, Geschwindigkeit oder Pegelstand sehr einfach ist, kann dies bei elektrochemischen Systemen sehr schwierig sein.

- **einfaches und kosten-effizientes Recycling:** Werden Speichertechnologien mit begrenzter Lebensdauer eingesetzt (insbesondere elektrochemische Systeme), ist ein effizientes und umweltverträgliches Recycling notwendig. In vielen elektrochemischen Systemen werden Schwermetalle oder andere umweltgefährdende Stoffe eingesetzt, die nicht in die Umwelt gelangen dürfen. Ideal sind Materialien, die nach dem Recycling wieder für den Bau neuer, gleichartiger Batterien eingesetzt werden können und die als Recyclingprodukt nicht die Kosten für Primärrohstoffe überschreiten.

Der Einsatz von Speichern kann nach der Häufigkeit des Einsatzes und der Dauer pro Einsatz unterschieden werden. Entsprechend dieser charakteristischen Größen lassen sich Speicher für Unterbrechungsfreie Stromversorgungen, für Load Levelling (Ausgleich zwischen Schwach- und Hochlastzeiten, auch für Stromhandel), zur Unterstützung der Primärregelung in Netzen und für die Verbesserung oder Aufrechter-

haltung der Spannungsqualität unterscheiden.

Um einen „optimalen“ Speicher zu schaffen, ist eine Optimierung von Speichertechnologien auf den Einsatzzweck erforderlich. Dieses optimieren führt zu Gunsten bestimmter Eigenschaften meist zu einer Verschlechterung anderer Eigenschaften und führt oftmals auch zu einer unerwünschten Erhöhung der Kosten. Um dieser Quadratur des Kreises zu entkommen, ist es wichtig den jeweils passenden Speicher anzuwenden und auf die Anwendung zu optimieren und nicht die generelle Lösung für alle Anwendungen im Visier zu haben.

So werden derzeit für Druckluftspeicher kleine Wirkungsgrade und aufgrund geringer Energiedichte aufwändige Erschließung von Speichern (Salzstöcke o.ä.) angegeben, die einen weiteren Ausbau für wenig sinnvoll machen. Pumpspeicherwerke sind als Arbeitstiere in der Lage größere Mengen von Energie zu speichern, ein Ausbau ist aufgrund des großen Flächenbedarfs aber nur noch begrenzt möglich.

Schwungradspeicher haben eine sehr hohe Zyklenzahl und bieten sich an, sehr kurzfristig hohe Leistungen zur Verfügung zu stellen, aber aufgrund des hohen Bauaufwands ist aber nur begrenztes Potential zur Speicherung vorhanden.

Größeres Potential für eine dezentrale Speicherung von erneuerbaren Energien bieten sowohl im Stationärbetrieb, wie in mobilen Anwendungen die elektrochemischen Speicher, weil sie schnell und auch länger auf Lastanforderungen reagieren können und mit Wirkungsgraden von bis zu 80% arbeiten.

Zur Bewertung der Energiedichten elektrochemischer Speichersysteme seien hier nur vier Vergleichszahlen genannt (ohne Berücksichtigung von Umwandlungswirkungsgraden):

- Energiedichte von Wasserkraftwerken: 10 kWh können durch die Anhebung von 10 m³ Wasser auf eine Höhendifferenz von 360 m gespeichert werden.
- Für 10 kWh Speicherkapazität mit Bleibatterien werden rund 130 Liter Batterievolumen benötigt.
- Für die Speicherung von 10 kWh Energie in Form von Wasserstoff wird bei 1 bar Druck ein Volumen von etwa 3000 Litern benötigt. Bei 200 bar Druck sind 15 Liter Speichervolumen notwendig.
- Energiedichte von Diesel: ca. 12 kWh in einem Liter.

Neben den klassischen Blei- und Nickel/Cadmium-Batterien werden den Li-

thium-Ionen-Batterien und den Nickel-Metall-Hybrid-Batterien die meisten Entwicklungschancen zugestanden, wenn sie entsprechende Zyklenfestigkeit in der alltäglichen Anwendung nachweisen können und damit die höheren Kosten rechtfertigen können. Batterien mit externen Speicher, die sog. Redox-Flow-Batterien sind durch ihren einfachen Aufbau interessant, haben aber noch erheblichen Entwicklungsbedarf in Bezug auf geeignete Redox-Paare und die zentralen Reaktionseinheiten mit den Membranen.

Für die Speicherung von Wasserstoff sind Druckgasspeicher, Flüssiggasspeicher und Metallhydridspeicher die wichtigsten und bewährten Techniken. Dieses ist jedoch nur mit Aufwand (kühlen, komprimieren etc.) möglich und damit ist Wasserstoff als Speicher für elektrische Energie derzeit mit eher bescheidenen Wirkungsgraden von zumeist unter 30% verbunden. Es kann die derzeit noch selten erneuerbaren Energien damit nur unzureichend ausnutzen und ist aufgrund dieser Ineffektivität ist also nur für spezielle Anwendung zu empfehlen.

Grundsätzlich muss für alle Anwendungsfälle geprüft werden, wie die beste ökonomische und technische Effizienz erzielt werden kann. Eine Rückverwandlung in Strom hat nur einen Wirkungsgrad um 30 %, wenn von einem stationären Speichersystem ausgeht, dass mit geringem Wasserstoffdruck arbeitet. Muss der Wasserstoff stark komprimiert oder gar verflüssigt und zudem transportiert und verteilt werden, sinken die erzielbaren Gesamtwirkungsgrade schnell in den Bereich von unter 20%. Die Wasserstoffherzeugung aus Strom macht also dann und nur dann Sinn, wenn der Strom nicht direkt verbraucht oder abtransportiert werden kann, es somit also zu einer Abschaltung der mit regenerativer Energie arbeitenden Stromerzeuger kommen würde. Wo und wann diese Bedingungen erfüllt sind, muss im Einzelnen untersucht und bewertet werden.

Sinnvoller erscheint zunächst eine thermische Nutzung über die Beimischung zum Erdgas in den bestehenden Gasnetzen. Beimengungen im Bereich von 10 bis 15 % Wasserstoff zum Erdgas werden als technisch unkritisch eingeschätzt und bedürfen keine Umstellungen an den Pipelines oder den überwiegend als Endverbraucher genutzten Gasthermen.

Diese Technologie ist aber auch erst in den Anfängen und bedarf weiterer Forschung, speziell bei den Netzen, aber

auch den Geräten um marktreif zu werden.

Zusammengefasst ist zu sagen, dass die Speicherung von erneuerbaren Energien machbar und möglich ist und vieles dabei im Entstehen ist. Es wird aber noch gezielte Forschung und auch Marktanreizung benötigt, sowie entsprechende politische Rahmenbedingungen, um hier mit Erfolg zu investieren und die gewünschten Ergebnisse für eine optimale Speicherung zu erlangen.



bsm-Infotisch und Poster

Oder wie Prof. Dr. Dirk Sauer von der FHTW-Aachen zusammenfasst: „Die Ökonomie der Speichersysteme hängt in erheblicher Weise von den ökonomischen und technischen Randbedingungen in der Elektrizitätswirtschaft ab, die derzeit in der ganzen Welt einem anhaltenden Wandel ausgesetzt sind. Klar ist, aus technischer Sicht stehen Speichertechnologien für jede Leistungs- und Energieklasse zur Verfügung. Um eine verbesserte Wirtschaftlichkeit zu erreichen, ist aber bei fast allen Technologien noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf vorhanden, um umweltverträglichere, billigere und langlebigere Materialien und Systeme zu entwickeln und in den Markt zu bringen“.

Diese Parameter und Bedingungen zu entwickeln und zu forcieren sollte, neben der technischen Beurteilung der verschiedenen Speichertypen der Schwerpunkt der nächsten in 2007 geplanten Fachkonferenz zu diesem Thema sein.

Abschließend sei der Hinweis gestattet, dass der billigste und effizienteste Speicher gar kein Speicher sei, sondern die Verlagerung des Verbrauches auf die Zeiten der Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien. Eine Vielzahl der Nutzung könnte problemlos verlagert werden, wenn der Verbraucher über eine Art „Stromampel“ dies signalisiert bekommt. Die Kostenvorteile für den „Nichtbau“ von aufwändigen Speichern können entsprechend weitergegeben nicht nur Anreize schaffen, sondern auch zu einem allgemein verstärkten Energiebewusstsein führen

Auch eine „doppelte“ Nutzung von elektrischen Energiespeichern für die Mobilität und für eine breite Verfügbarkeit ist denkbar und sinnvoll, wenn private PKW's als Elektrofahrzeuge mit den modernen Batterietechnologien ausgerüstet sind und – zumeist eh irgendwo parkend – einen Teil ihrer Kapazität zur Verfügung stellen. So würden für die allgemein diskutierten 7 GW Regelenergieleistung im Jahre 2015 bereits 700.000 E-Fahrzeuge oder steckdosentaugliche Hybridautos ausreichen.



Tomi Engel vor seinem Poster über „Vehicle to Grid“

Toyota produziert derzeit jährlich 300.000 Hybridauto vom Typ Prius und zeigt damit das Potential PlugIn-Hybride zur Speicherung von erneuerbarer elektrischer Energie. Bei entsprechender Ausrüstung der Europäischen Fahrzeugflotte könnte diese dreifach mehr Leistung bereitstellen als der derzeitige Kraftwerkspark der EU25. Unter den Motorhauben unserer PKWs steht ein Vielfaches der Kraftwerkskapazitäten zur Verfügung, doch diese wird zeitlich gering überdies mit schlechten Wirkungsgraden (rund 2/3 der Energie verpufft als Abwärme) eher verschwendet als verwendet.

Zu guter Letzt würde dieses zudem zu einer forcierter Batterieentwicklung und Produktion führen und zudem den Einsatz erneuerbaren Energien im Mobilitätsbereich in größerem Maße ermöglichen. Auch die allgemeine Energieeffizienz würde dabei beträchtlich gesteigert werden können, ver(sch)wenden doch heute KFZ fossiles ÖL mit bescheidenen Wirkungsgraden (<10% im Stadtverkehr).

Literaturhinweise bzw. Links zum Vertiefen:
Optionen zur Speicherung elektrischer Energien von: Prof. Dr. Dirk Sauer
http://www.eurosolar.org/new/Sauer_Optionen_Speicher_regenerativ_0kt06.pdf

Einsatzpotential von E-Fahrzeugen als Netzpuffer von Tomi Engel, DGS & bsm
http://www.dgs.de/fileadmin/files/FASM/FASM-2006-Engel_IRES.zip