Martin Meiller, Samir Binder und Martin Faulstich

Speichertechnologien im Überblick

Die Folgen des Klimawandels sowie die Verknappung fossiler Primärenergieträger zwingen zu einer grundlegenden Neuausrichtung der Energieversorgung. Dabei ist es eine der größten technischen Herausforderungen, die Verfügbarkeit von Energie aus volatilen Quellen mit dem Energiebedarf der Verbraucher in Einklang zu bringen und so eine wirtschaftliche und verbrauchsgerechte Bereitstellung von Strom und Wärme sicherzustellen. Energiespeicher ermöglichen technisch die dafür nötige zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch. Somit sind sie in der Lage die Nutzbarkeit und Systemverträglichkeit regenerativer Energien deutlich zu verbessern und langfristig eine vollständige Umstellung auf 100 % Erneuerbare Energien zu gewährleisten.

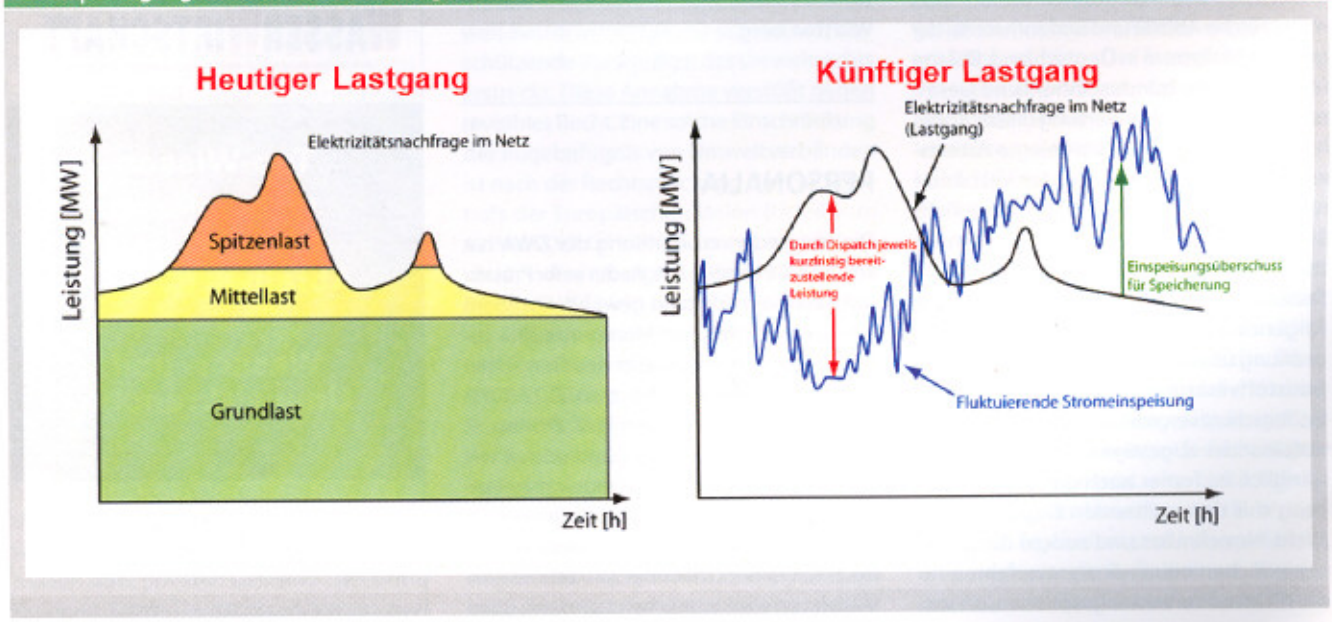
1. Einleitung

Nach der Katastrophe von Fukushima im März 2011 beschloss die derzeitige Bundesregierung, die Laufzeit aller deutschen Kernkraftwerke stufenweise bis 2022 zu beenden. Dazu wurde am 30. Juni 2011 vom Deutschen Bundestag das Dreizehnte Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes verabschiedet, welches diesen Ausstieg abschließend regelt. Nicht zuletzt dadurch steht die Energieversorgung in Deutschland vor der großen Herausforderung, die Bereiche Strom, Wärme, Mobilität und Industriegrundstoffe langfristig nahezu vollständig auf regenerative Energieträger umzubauen. Verfolgt man einen konsequenten Ausbau der Nutzung regenerativer Energiequellen wie Wasser, Wind, Sonne, Biomasse und Geothermie, so hat dies neben der schrittweisen Ablösung der konventionellen Kraftwerkskapazitäten auch den Ausbau von Netzen und Speichern zur Folge. [1]

Dies liegt vor allem darin begründet, dass zwar die Potenziale der Erneuerbaren Energien den Bedarf um ein Vielfaches übersteigen, jedoch ist wegen der stark schwankenden Verfügbarkeit, insbesondere der Energieträger Sonne und Wind, der Aufbau eines leistungsfähigen Verbunds von Netzen und Energiespeichern erforderlich (**Bild 1**). Hinzu kommt, dass die zukünftige Energieversorgung auch in den Bereichen Wärme, Mobilität und chemische Grundstoffe deutlich stärker strombasiert sein wird.

Die bisherige Elektrizitätsversorgung basiert auf den Säulen einer Grund-, Mittel- und Spitzenlastabdeckung, welche den

Bild 1 | Lastgänge – heute und zukünftig [1]



Bedarf durchgehend sicher decken kann. Bei einem hohen Anteil schwer regelbarer und vorrangig in das Netz eingespeister Wind- und Sonnenenergie wird diese klassische Einteilung der Grund-, Mittel- und Spitzenlast aufgebrochen. Um weiterhin eine sichere und effiziente Energieversorgung zu gewährleisten, kommt neben einer intelligenten Vernetzung der Energiespeicherung eine zentrale Bedeutung zu.

Speichersysteme für elektrische Energie übernehmen in Abhängigkeit von der Leistung, der speicherbaren Energiemenge und der entsprechenden Entladezeit unterschiedliche Aufgaben für Stromversorgung und Netzqualität. Wärmespeicher kommen oft zur Energieeffizienzsteigerung zum Einsatz, während elektrochemische Speicher Potenzial zur Weiterentwicklung der Elektromobilität aufweisen.

Die Palette technischer Speichermöglichkeiten ist breit, sodass zwar das ganze Spektrum benötigter Leistungen prinzipiell abgedeckt werden kann. Es gibt aber nach wie vor keinen Universalspeicher, mit dem ein Großteil des Speicherbedarfes zufriedenstellend bedient werden kann. [2] Im Folgenden werden die verschiedenen Speichertechnologien im Überblick dargestellt und erläutert.

2. Stromspeicher

Stromspeicher können je nach Bedarf für unterschiedliche Aufgaben herangezogen werden (**Bild 2**). Speicher, die ihre Energie innerhalb von Millisekunden bis hin zu wenigen Minuten abgeben, werden vor allem für die Sicherstellung der Netzqualität und einer unterbrechungsfreien Stromversorgung herangezogen. Speichersysteme, die Energie schnell und zuverlässig über einen längeren Zeitraum bereitstellen können, werden häufig für die Gewährleistung der Notstromversorgung eingesetzt.

Im Hinblick auf eine zu 100 % aus Erneuerbaren Energien gedeckte Stromversorgung kommt dem Bereich der Langzeitspeicher eine steigende Bedeutung zu. Es muss ein Lastausgleich ermöglicht werden, um z. B. längere Phasen mit geringem Windaufkommen zu kompensieren. Dafür werden große Einheiten für die Langzeitspeicherung benötigt, die hohe Leistungen und große Energiemengen über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stellen können.

2.1. Elektrochemische Speicher

Elektrochemische Speicher sind weit verbreitet und werden in allen Leistungsbereichen und Aufgabengebieten eingesetzt. Vor allem Batterien und Akkumulatoren haben sich in vielen Bereichen etabliert. Dazu gehören mobile Anwendungen wie z. B. Mobiltelefone, Notebooks oder Elektrofahrzeuge, aber auch stationäre Speichersysteme im Megawatt-Bereich. Neben einer Vielzahl an Typen von Sekundärbatterien werden vermehrt auch Redox-Flow Batterien eingesetzt. Diese zeichnen sich vor allem durch eine unabhängige Skalierbarkeit von Leistung und Speicherkapazität aus. Forschungsschwerpunkte liegen überwiegend im Bereich leistungsfähigerer und preisgünstigerer Materialien. [2]

Zu den elektrochemischen Speichern gehören auch die so genannten Doppelschichtkondensatoren, die in der Lage sind, große Leistungen aufzunehmen und vergleichsweise verlustfrei zu speichern. Wegen ihrer hohen Leistungsdichte und ihrer geringen Energiedichte werden diese vor allem als Kurzzeitspeicher zur Sicherstellung der Netz- und Spannungsqualität eingesetzt. [3]

2.2. Elektromagnetische Speicher

Unterhalb einer kritischen Temperatur, der materialspezifischen Sprungtemperatur, weisen supraleitende Materialien keinen elektrischen Widerstand mehr auf. Dieser Effekt kann genutzt werden, um Strom theoretisch unbegrenzt lange und nahezu verlustfrei in einer Spule zu speichern. Supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES) können hohe Leistungen abgeben und werden deshalb besonders für die Sicherung der Netzqualität eingesetzt.

SMES haben einen sehr guten elektrischen Wirkungsgrad, wobei jedoch die energieaufwändige und teure kryogene Kühlung des Supraleiters berücksichtigt werden muss. Deshalb beschäftigen sich aktuelle Forschungsprojekte vorwiegend mit der Untersuchung von Hochtemperatursupraleitern. [4]

Bild 2 | Überblick Energiespeicher

Energiespeicher							
thermische Energie				elektrische Energie			
sensibel	latent	thermo-chemisch	chemisch	chemisch	elektro-chemisch	elektro-magnetisch	mechanisch
Feststoff	Paraffine	Adsorption	Heterogene Verdampfung	Elektrolyse	Sekundär-batterien	SMES*	(AA)-CAES**
Flüssigkeit	Salze	Absorption		C_xH_y Erzeugung	Reversible Brennstoffzelle		Pumpspeicher
Hybrid	Carbonate				Doppel-schichtige Kondensatoren		Schwung-grad
	Fettsäuren						

* SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage
** (AA-) CAES: (Advanced Adiabatic) – Compressed Air Energy Storage

2.3. Mechanische Speicher

Zu den wohl bekanntesten Speichersystemen großtechnischer Art gehören Pumpspeicherkraftwerke. Durch das Pumpen von Wasser in ein höher gelegenes Reservoir kann elektrische Energie in Form von potenzieller Energie gespeichert werden. Lässt man das Wasser über eine Turbine abfließen, die einen Generator antreibt, kann bei Bedarf Strom zurückgewonnen werden. Pumpspeicherkraftwerke sind technisch bewährt, weisen hohe Wirkungsgrade auf und sind in der Lage, als Langzeitspeicher zu fungieren. Problematisch ist jedoch, dass ihr Ausbaupotenzial in Deutschland auf Grund geologischer Begebenheiten und ökologischer Aspekte sehr gering ist. [2]

Schwungräder speichern elektrische oder kinetische Energie in Form von Rotationsenergie, welche sie bei Bedarf im Dynamo Prinzip in elektrische Energie umwandeln können. Die Speicherkapazität eines Schwungrades kann verbessert werden, indem die Masse und vor allem die Drehzahl gesteigert werden. Begrenzender Faktor ist hierbei vor allem die Festigkeit der eingesetzten Materialien. Optimale Kapazitäten werden bei einem größtmöglichen Verhältnis von Zugfestigkeit zu Dichte erreicht. Eingesetzt werden Schwungräder wegen ihrer hohen Ruheverluste nur als Kurzzeitspeicher. [4]

Als Stromspeicher mit potenziell hohen Kapazitäten für die Zwischenspeicherung des regenerativen Stroms bieten sich Druckluftspeicher (Compressed Air Energy Storage, CAES) an. In diesen Speichern wird Luft mit Überschussstrom stark komprimiert und beispielsweise in Salzstöcken gespeichert. Müssen Spitzen im Stromnetz abgedeckt werden, wird die gespeicherte Druckluft zusammen mit Erdgas in einer Gasturbine entspannt. Adiabate Druckluftspeicher (Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage, AA-CAES) zielen darauf ab, den Einsatz zusätzlicher fossiler Brennstoffe durch die Implementierung effizienter Wärmespeicher überflüssig zu machen. [2]

2.4. Chemische Speicher

Ein weiterer vielversprechender Ansatz zur Nutzung überschüssiger Strommengen stellt die chemische Speicherung dar. Basis hierfür ist die Erzeugung von Wasserstoff durch die Elektrolyse von Wasser. Da Wasserstoff jedoch im Normzustand nur eine geringe Energiedichte aufweist, leicht flüchtig ist und zur Versprödung von Materialien beiträgt, stellt die Speicherung von Wasserstoff eine nicht unerhebliche technische Herausforderung dar.

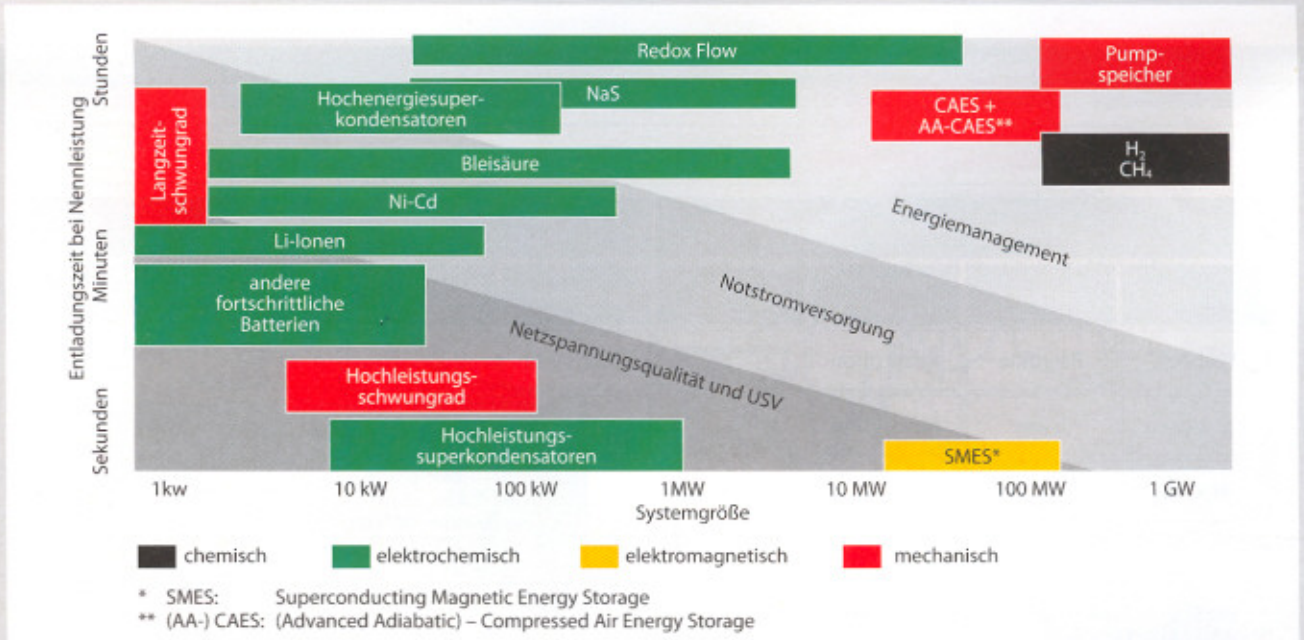
Insofern bietet die Methanisierung von Wasserstoff eine interessante Alternative, vor allem weil bestehende Infrastruktureinrichtungen (Raffinerien, Kraftwerke etc.) genutzt werden können und mit dem Erdgasnetz bereits ein Speicher mit äußerst hoher Kapazität zur Verfügung steht. Mit Hilfe des Sabatier-Prozesses kann aus CO_2 und H_2 das Gas Methan (CH_4) regenerativ erzeugt, in das Erdgasnetz eingespeist und somit auch gespeichert werden. Zudem lassen sich daraus weitere Kohlenwasserstoffe wie Methanol, Ethylen und Propylen herstellen. Diese können wiederum als Grundstoff für viele erdölbasierte Prozesse in der chemischen Industrie dienen, aber auch als Kraftstoff für mobile Anwendungen herangezogen werden. [5]

3. Wärmespeicher

3.1. Sensible Speicher

Sensible oder kapazitive Speicher sind die am häufigsten eingesetzten Wärmespeicher. Einem Speichermedium wird Wärme zugeführt und somit dessen Temperatur erhöht. Die Kapazität des Speichers wird dabei von dessen Masse und spezifischer Wärmekapazität sowie dem realisierten Temperaturunterschied bestimmt. Auf Grund der Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Spei-

Bild 3 | Energiespeichersysteme im Überblick nach [2]



cher entstehen dabei zwangsläufig Wärmeverluste, sodass neben einer guten Isolierung des Speichers auch ein optimales Verhältnis aus Oberfläche und Volumen angestrebt werden sollte. Am häufigsten eingesetzt werden Warmwasserspeicher, die im drucklosen Zustand aber nur für Temperaturen von unter 100 °C genutzt werden können. Für höhere Temperaturen werden andere Flüssigkeiten, wie z. B. flüssige Salze oder Feststoffe eingesetzt.

3.2. Speicherung latenter Wärme

Höhere Energiedichten und kleinere Temperaturdifferenzen lassen sich bei der Speicherung durch die Nutzung des Phasenübergangs eines Stoffes realisieren. Grundsätzlich kann die latente Wärme jedes Phasenübergangs (fest-flüssig-gasförmig) genutzt werden, wobei aber auf Grund günstiger Volumenverhältnisse vor allem der Übergang von fest auf flüssig technisch interessant ist. Ein großer Vorteil latenter Wärme ist die konstante Temperatur, die sowohl während der Ein- als auch während der Ausspeicherung vorherrscht. Da die Energie im Aggregatszustand des Materials gespeichert ist, ist eine Langzeitspeicherung von thermischer Energie bei geringen Verlusten möglich. Außerdem liegen viele potenzielle Materialien mit unterschiedlichen Phasenübergangstemperaturen vor, die für die Speicherung latenter Wärme in Frage kommen. Da ein sehr breites Temperaturspektrum abgedeckt wird, kommt der Einsatz von Latentwärmespeichern für vielfältige Anwendungen angefangen von einer Wohnraumbeheizung bis hin zur Unterstützung von Industrieprozessen in Betracht. [2]

3.3. Thermochemische Speicher

Beim Beladen eines Adsorptionsspeichers wird diesem durch Wärmezufuhr Wasser entzogen (Desorption). Wird das Speichermaterial beim Entladen mit feuchter Luft beaufschlagt, erfolgt eine Adsorption des Wassers, wodurch Wärme freigesetzt wird. Die aufgeheizte, trockene Luft kann für Heizzwecke verwendet werden. Typische Speichermaterialien weisen eine große spezifische Oberfläche auf, wie z. B. Zeolithe oder Silicagel. Da die Energie in Form von Bindungsenergie gespeichert ist, eignen sich Adsorptionsspeicher sehr gut für eine längerfristige Speicherung von Wärme. [2]

3.4. Speicher mit reversiblen chemischen Bindungen

Reversible chemische Prozesse können für die Speicherung von Wärmeenergie herangezogen werden. Durch Wärmezufuhr wird ein Stoff beim Ladevorgang in zwei Komponenten zerlegt. Diese Komponenten werden getrennt gelagert. Bei Bedarf führt man die Komponenten wieder zusammen, wobei eine Rückreaktion unter Freisetzung von Wärme stattfindet. Diese Form der Wärmespeicherung findet derzeit keine technische Anwendung, sondern befindet sich noch weitgehend im Forschungs- und Entwicklungsstadium. [2, 4]

4. Fazit

Im Rahmen einer zukünftigen, sicheren und effizienten Energieversorgung sowie der verstärkten Integration der Bereiche Strom, Wärme, Mobilität und Industriegrundstoffe kommt der Energiespeicherung eine zentrale Bedeutung zu. Die derzeit vorhandenen Speicherkapazitäten reichen jedoch bei Weitem nicht aus und müssen daher deutlich ausgebaut werden. Für die Energiespeicherung ist bereits eine Vielzahl von prinzipiellen Lösungsansätzen bekannt, jedoch stehen die meisten dieser Ansätze bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Pumpspeicher) bislang lediglich als Konzepte oder im Labormaßstab zur Verfügung. Es ist daher dringend erforderlich, diese Technologien rasch weiterzuentwickeln und schließlich in den industriellen Maßstab sowie in die kommerzielle Anwendung zu überführen.

Autoren

Dipl.-Wi.-Ing. Martin Meiller
E-Mail: Meiller@atz.de

Dipl.-Ing. Samir Binder
E-Mail: Binder@atz.de

ATZ Entwicklungszentrum
An der Maxhütte 1
92237 Sulzbach-Rosenberg

Professor Dr.-Ing. Martin Faulstich
E-Mail: M.Faulstich@wz-straubing.de
Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Straubing
Petersgasse 18
94315 Straubing

Literatur

[1] SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung, SRU, Berlin, 2011, (Download unter www.umweltrat.de)

[2] Oertel, D.: Energiespeicher – Stand und Perspektiven, Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung", Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag, Berlin, 2008

[3] Neupert, U., Euting, T., Kretschmer, T., Notthoff, C., Ruhlig, K., Weimert, B.: Energiespeicher – Technische Grundlagen und Energiewirtschaftliches Potenzial, Fraunhofer Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen, Stuttgart, 2009

[4] Rummich, E.: Energiespeicher – Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen, Renningen, 2009

[5] Leipprand, A., Sterner, M., Faulstich, M.: Hundert Prozent erneuerbare Energien bis 2050?, in: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Erneuerbare Energien Band 1: Perspektiven und Strategien Rechtliche und wirtschaftliche Aspekte, Neuruppin, 2009, S. 16 – 21

WASSERWIRTSCHAFT
WASSER UND ABFALL
Top-Wissen für eine nachhaltige Wasser- und Abfallwirtschaft und die Wasser- und Umweltbranche