

Was können Energiespeicher zum Gelingen der Energiewende beitragen?



ZAE

Dr. Andreas Hauer
andreas.hauer@zae-bayern.de

DLR

Prof. Dr. André Thess
andre.thess@dlr.de

ISFH

Fabian Hüsing
huesing@isfh.de

Jan Steinweg
steinweg@isfh.de

Fraunhofer IWES

Jochen Bard
jochen.bard@iwes.fraunhofer.de

UFZ

Dr. Thomas Nagel
thomas.nagel@ufz.de

Abstract

Die Rolle von Energiespeichern in unserem zukünftigen Energiesystem lässt sich nicht allein durch eine Technologie oder eine Anwendung beschreiben. Zu unterschiedlich sind die verschiedenen Speichertechnologien in ihren Eigenschaften und zu vielseitig die Anforderungen der tatsächlichen Anwendungen. Daher ist es wichtig, ausgehend von einer klaren Definition von „Energiespeicherung“ an sich, eine sinnvolle Zuordnung der verschiedenen Technologien zu relevanten Anwendungsbereichen durchzuführen. Denn ein Speicher kann nur in einer konkreten Anwendung tatsächlich beurteilt werden. Energiespeicher können darüber hinaus durch die Bereitstellung zeitlicher Flexibilität und der oft schon im Speicherprozess integrierten Transformation der Energieform einen entscheidenden Beitrag zu Sektorkopplung leisten.

Definitionen für Energiespeicher

Was ist ein Energiespeicher?

Ein Energiespeicher kann Energie aufnehmen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben. Der Speicherprozess besteht prinzipiell aus drei Schritten: Dem Laden, dem eigentlichen Speichern und dem Entladen. Nach dem Entladen kann ein Energiespeicher erneut geladen werden. [1]

Was wird gespeichert?

Die Energieform (Elektrizität, Wärme [2], Kälte, mechanische Energie oder chemische Energie), die ein Energiespeicher aufnimmt, wird in der Regel auch wieder abgegeben. Allerdings wird häufig die geladene Energieform zur Speicherung in eine andere umgewandelt (z. B. Pumpspeicherwerk, Batterie). Zum Entladen wird sie dann wieder in der ursprünglichen Form bereitgestellt, oder in manchen Ausprägungen auch in der Form der Speicherung bereitgestellt, z. B. Power-to-Gas oder Power-to-Heat. [1].

Speichertechnologien und ihre Anwendungen

Die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen an den Speicher werden durch die tatsächliche Anwendung des Speichers im Versorgungssystem bestimmt. Daher sind Vergleich und Beurteilung

verschiedener Speichertechnologien nur anhand konkreter Anwendungen möglich.

- Die Anwendung gibt technische Anforderungen vor: Energieform, Ein- und Ausspeicherleistung, Speicherkapazität, Reaktionszeit
- Die Anwendung legt auch das ökonomische Umfeld fest: z. B. bestimmt sie, welche Energiepreise angesetzt werden können, welche Nutzungsdauer erreicht wird, etc.). [1]

Systematik der Speichertechnologien

Energiespeichertechnologien können nach ihren physikalischen Speicherprinzipien geordnet werden. Damit ergibt sich eine Struktur, die in [Abbildung 1](#) dargestellt ist.

Stromspeicher

Die Speicherung elektrischer Energie kann durch direkte Speicherung der Elektrizität (z. B. durch Kondensatoren), durch elektrochemische Vorgänge (alle Arten von Batterien) oder durch Umwandlung in mechanische Energie (z. B. im Pumpspeicherwerken oder Schwungradspeichern) realisiert werden.

Thermische Energiespeicher

Thermische Energiespeicher können Wärme und Kälte auf unterschiedliche Arten speichern:

- sensibel (durch einfaches Erwärmen oder Abkühlen des Speichermediums)
- latent (unter Einbeziehung eines Phasenwechsels)
- in reversiblen chemischen Reaktionen

Chemische Energiespeicher

Energie lässt sich aber auch durch die Umwandlung von Strom in einen chemischen Energieträger (z. B. Gas) speichern. Diese Technologien (Power-to-Gas oder Power-to-Liquids) bauen in der Regel auf die Umwandlung von Elektrizität in Wasserstoff als ersten Schritt. Prinzipiell kann das erzeugte Gas auch wieder rückverstromt werden. Eine weitere Speichermöglichkeit (bezeichnet als Power-to-Heat/Cold) stellt die Umwandlung von Strom zu Wärme/Kälte und deren Speicherung dar.

Die Umwandlung von Elektrizität in Wasserstoff z. B. als Rohstoff für die chemische Industrie wird hier nicht als „Energiespeicher“ definiert, weil primär keine Energie beim Verbraucher bereitgestellt wird. Dieser Vorgang wird eher dem Begriff „Demand Side Management“ zugeordnet.

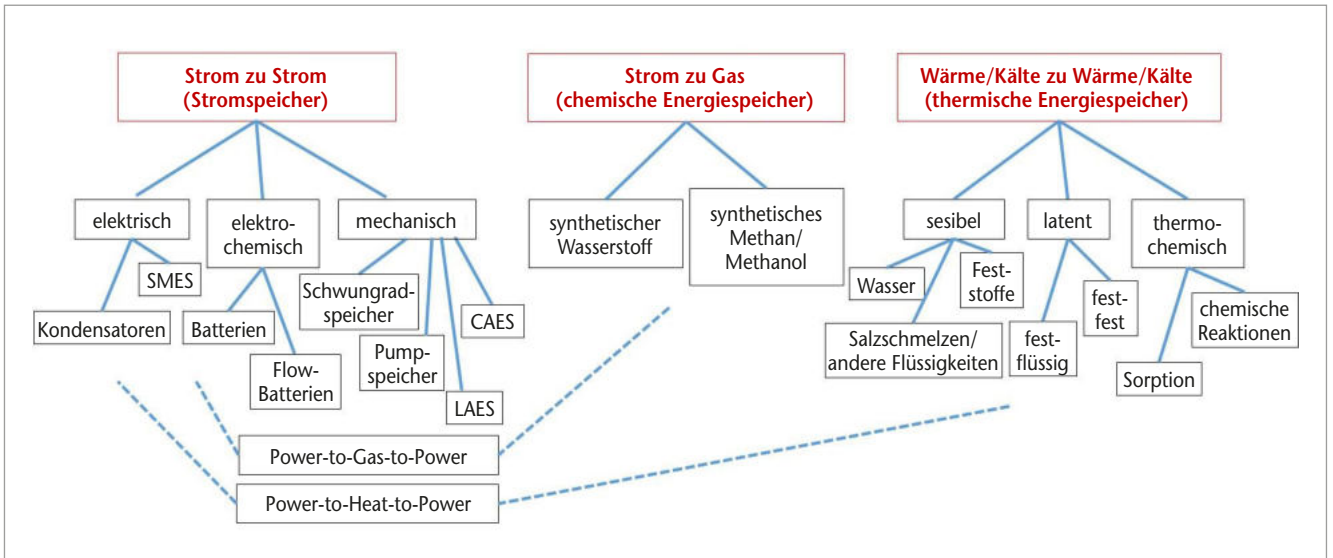


Abbildung 1

Speichertechnologien geordnet nach Speicherprinzip

- SMES = Supraleitende Magnetische Energiespeicher
- CAES = Compressed Air Energy Storage
- LAES = Liquid Air Energy Storage

Energiespeicher für die Energiewende

Den zahlreichen Energiespeichern stehen auch viele unterschiedliche Anwendungsbereiche gegenüber. **Abbildung 2** zeigt Speicheranwendungen geordnet nach den zwei Säulen der Energiewende:

- Integration erneuerbarer Energien
- Steigerung der Energieeffizienz.

Die Farbgebung der Anwendungen soll eine erste Zuordnung zu den Speichertechnologien andeuten.

Energiespeicher werden in der öffentlichen Diskussion bisher fast nur in Hinblick auf die Integration erneuerbarer Elektrizität aus Wind und PV betrachtet. Das Thema „Energiespeicher für die Energiewende“ sollte aber wegen seiner zentralen Bedeutung deutlich umfassender angegangen werden; insbesondere sollten die Möglichkeiten von Energiespeichern für die Effizienzsteigerung weitaus mehr ins Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt werden.



Abbildung 2

Anwendungsbereiche für Energiespeicher:

- EES = elektrische Energiespeicher
- TES = thermische Energiespeicher
- CES = chemische Energiespeicher

Abbildung 3
**Speichertestzentrum
 Arzberg**
 (ZAE Bayern)



Konkrete Anwendungsbeispiele aus Forschung & Entwicklung

Im Folgenden sollen einzelne Beispiele aus Forschung und Entwicklung einen Eindruck von der Vielfalt der Aktivitäten in diesem Bereich vermitteln.

Abbildung 4
**Bauteilaktivierung
 im Neubau**
 (ISFH)



Abbildung 5
**Wärmespeicherung
 in wassergesättigten
 porösen zement-
 basierten Materialien**
 (UFZ)



Abbildung 6
TESIS
 Test facility for Thermal
 Energy Storage
 (DLR)



- Zur Integration erneuerbaren Stroms aus Wind und PV wird vom ZAE Bayern in Arzberg ein Anwendungstestzentrum betrieben (Abbildung 3). Hier können verschiedene Speichertechnologien (Batterien und Power-to-Gas/Liquid-Technologien) in einem realen Kontext betrieben werden. Der erneuerbare Strom wird aus PV-Anlagen bereitgestellt. Der Realbetrieb kann hier in Bezug auf Netzentlastung und Flexibilitätsmarkt analysiert werden [3].
- Auch die Umwandlung und Speicherung als Wärme kann helfen erneuerbare Elektrizität nutzbar zu machen (Power-to-Heat). Am ISFH wird ein Gebäude als Energiespeicher untersucht. Durch Bauteilaktivierung (Abbildung 4) kann die Speicherkapazität der Gebäudestruktur als thermischer Speicher eingesetzt werden. Das dadurch generierte Lastverschiebungspotenzial für Wohnhäuser in Deutschland bezogen auf eine Änderung der Gebäudetemperatur liegt bei ca. 1 TWh/K [4].
- Analog kann auch der solarthermische Ertrag platzsparend unter dem Gebäude in wassergesättigten porösen zementbasierten Materialien gespeichert werden (Abbildung 5). Entsprechende kosteneffiziente Lösungen, die als technisch machbar und nah an der Marktreife gelten, werden von der Firma Scheer Heizsysteme & Produktionstechnik GmbH, dem UFZ und der CAU Kiel untersucht [5].
- Für die Integration solarer Wärme bei höheren Temperaturen z. B. für solarthermische Kraftwerke werden Salzschnmelzen als Speichermedium eingesetzt. Am DLR wird die Testanlage TESIS für solche Materialien, z. B. Solarsalz (NaNO₃-KNO₃), und die Entwicklung neuer Speicherkonzepte aufgebaut (Abbildung 6). Dabei soll die maximale Speichertemperatur bei 560 °C liegen.
- Dass Energiespeicher zur Effizienzsteigerung beitragen können, ist am Beispiel der Nutzung industrieller Abwärme leicht zu belegen. Das ZAE Bayern hat in diesem Zusammenhang einen mobilen

Wärmespeicher mit einer Speicherkapazität von 4 MWh und einer thermischen Leistung von 750 kW entwickelt, der Abwärme aus einer Müllverbrennungsanlage zu einem industriellen Trocknungsprozess transportieren kann (Abbildung 7) [6].

- Thermische Speicher können auch zur Effizienzsteigerung durch Brennstoffeinsparung und Flexibilisierung der Elektrizitätserzeugung eingesetzt werden. Das DLR hat einen Hochleistungs-Latentwärmespeicher entwickelt, der die Dampfbesicherung eines Heizkraftwerks gewährleisten soll. Mit einer Leistung von 6 MW und einer Speicherkapazität von 1.5 MWh werden ca. 30 t NaNO3 bei einer Schmelztemperatur von 306 °C über 800 berippte Rohre be- und entladen (Abbildung 8).

freie Langzeitspeicherung realisiert werden. Interessant ist auch die ökonomische Wertsteigerung, die die eingesetzte Energie beim Übergang in den Mobilitätssektor erfährt.

Die technischen und ökonomischen Randbedingungen für Speichieranwendungen bei der Sektorkopplung können von den konventionellen Einsatzfeldern abweichen. Daher besteht gerade in diesem Bereich ein hoher F&E-Bedarf. In der öffentlichen Wahrnehmung sollte der Begriff „Sektorkopplung“ immer mit Energiespeicherung verbunden sein.

Sektorkopplung und Energiespeicher

Die Kopplung der Sektoren Elektrizität, Wärme/Kälte und Verkehr dient der Optimierung des Gesamtsystems. Dabei kann der Anteil erneuerbarer Energie im Gesamtsystem dadurch gesteigert werden, dass erneuerbarer Strom auch in die Sektoren Wärme/Kälte und Antriebsenergie transformiert wird.

Ziel ist es diese Kopplung „intelligent“ zu gestalten, wozu Energiespeicher durch die Bereitstellung zeitlicher Flexibilität entscheidend beitragen können.

Die Umwandlung von Strom in Wärme/Kälte sowie in Wasserstoff und von da aus in verschiedene andere chemische Energieträger wird durch die Begriffe Power-to-Heat und Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquid beschrieben (Abbildung 9).

Vorteile der Umwandlung in Wärme/Kälte sind eine kostengünstigere Speicherung im Vergleich zur Speicherung von Elektrizität und eine effiziente Wärme- und Kältebereitstellung z. B. durch innovative Wärmepumpen und Kältemaschinen.

Bei der Erzeugung chemischer Energieträger aus erneuerbarer Elektrizität können sehr hohe spezifische Energiedichten bereitgestellt und eine verlust-



Abbildung 7
 **mobiler Sorptions-
speicher**
zur Nutzung
industrieller Abwärme
(ZAE Bayern)



Abbildung 8
**Wärmeübertrager für
Hochleistungs-Latent-
wärmespeicher**
(DLR)

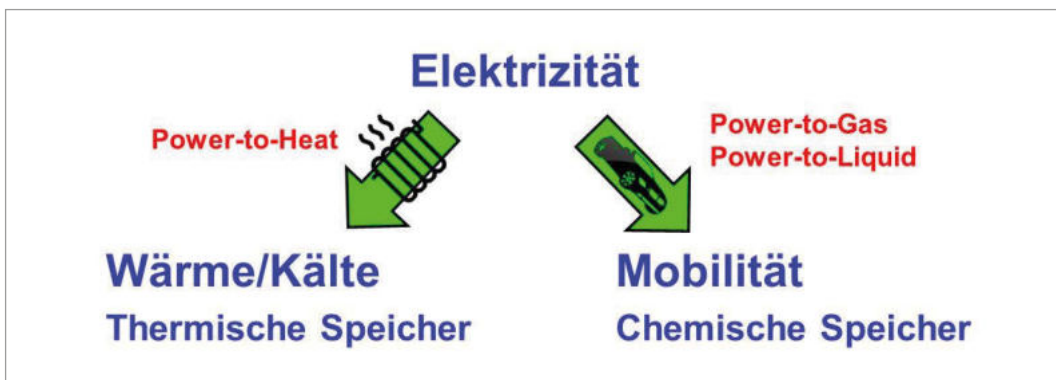


Abbildung 9
**Sektorkopplung und
Energiespeicherung**

Literatur

- [1] <http://www.bves.de/definitionen/>
- [2] A. Thess, F. Trieb, A. Wörner, S. Zunft 2015, Herausforderung Wärmespeicher, Physik Journal 14, 2, 33–39.
- [3] A. Schmutzer, J. Bogenrieder, G. Jung, P. Luchscheider, S. Müller, R. Schmidt, C., S. Tramppler, “Integrated Approach for Smart Grid Data Acquisition, Transmission and Evaluation”, Proceedings 5th Solar Integration Workshop, Brussels (http://solarintegrationworkshop.org/vienna2016/content/uploads/2016/02/SIW15_Proceedings_Content_Overview.pdf)
- [4] Glembin J., Haselhorst T., Steinweg J., Rockendorf G., Simulation and evaluation of solar thermal combi systems with direct integration of solar heat into the space heating loop, Solar Energy Volume 131, June 2016, pp 1–20
- [5] Miao, X.-Y., Beyer, C., Görke, U.-J., Kolditz, O., Hailemariam, H., Nagel, T., 2016. Thermo-hydro-mechanical analysis of cement-based sensible heat stores for domestic applications. Environmental Earth Sciences, 75:1293.
- [6] Andreas Krönauer, Eberhard Lävemann, Sarah Brückner, Andreas Hauer, Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery, 9th International Renewable Energy Storage Conference, IRES 2015, Energy Procedia, Volume 73, June 2015, Pages 272–280