

Speicherung von Stromspitzen in Wärme und Kälte

Integration erneuerbarer Elektrizität

Der Anteil erneuerbarer Energien wird in unserem zukünftigen Energiesystem weiter steigen. Ein Großteil der Stromversorgung wird durch Elektrizität aus erneuerbaren Quellen, wie Wind und Photovoltaik (PV), bereitgestellt werden. Da diese Energiequellen stark fluktuieren, müssen Maßnahmen ergriffen werden, sie dem tatsächlichen Bedarf anzupassen.

Neben dem Ausbau des elektrischen Netzes, dem einfachen Abschalten von Windrädern oder der Integration gut regelbarer (erneuerbarer) Kraftwerke, können Energiespeicher zur Integration erneuerbaren Stroms beitragen. Sie sind in der Lage, momentan zur Verfügung stehenden Strom bis zur seiner Nutzung zu speichern. Energie kann im Allgemeinen in Form von Elektrizität (z. B. in Batterien) oder in Form von Wärme und Kälte gespeichert werden. Letzteres bezeichnet man als thermische Energiespeicherung.

Erweiterung des Energiespeicherbegriffs

Beim Begriff Energiespeicherung gehen wir davon aus, dass die Energieform, z. B. Elektrizität, die in den Speicher geladen wird, zu einem späteren Zeitpunkt wieder entladen wird („In/Out“ Energiespeicher, z. B. Batterien).

Die hier diskutierten Speichersysteme sollen allerdings Wärme oder Kälte speichern, die durch den Einsatz von Elektrizität, bereitgestellt wurde. Damit verhalten sie sich beim Laden, wie eine gewöhnliche

Batterie, beim Entladen stellen sie jetzt aber thermische Energie zur Verfügung.

Der Weg zurück zur Elektrizität ist zwar prinzipiell möglich (bei der Speicherung hoher Temperaturen), wird aber im Allgemeinen aufgrund der geringen Effizienz nicht in Betracht gezogen.

Durch den Einsatz solcher „One-Way“ Energiespeicher wird eine durch die Speicherung verschiebbare Last generiert. Damit verschwimmen die Definitionen von Energiespeicherung auf der einen und „Demand Side Management“ auf der anderen Seite.

„Power-to-Heat“ und die Speicherung thermischer Energie

Abbildung 1 zeigt schematisch, wie Strom aus erneuerbaren Quellen (u. U. auch aus konventionellen Kraftwerken) nach der Verteilung durch das Netz beim Verbraucher in die benötigte thermische Energie (Wärme, Kälte oder Hochtemperaturwärme) umgewandelt und bis zur Nutzung gespeichert werden kann.

In Abbildung 1 sind unten links Hochtemperatur-Umwandlung und -Speicherung angedeutet. In diesem Bereich ist prinzipiell auch eine Wiederverstromung der Wärme denkbar. Interessant ist hierbei der Umstand, dass der 100%ige Exergiegehalt der Elektrizität genutzt und in hohen Temperaturen umgesetzt wird. Das Gleiche passiert auch beim Betrieb einer Wärmepumpe, die – im Vergleich zu einer ein-



ZAE Bayern
Dr. Andreas Hauer
hauer@muc.zae-bayern.de

Fraunhofer IWES
Prof. Dr. Martin Braun
martin.braun@iwes.fraunhofer.de

DLR
Hans Christian Gils
hans.gils@dlr.de

Doerte Laing
doerte.laing@dlr.de

Fraunhofer ISE
Stefan Gschwander
stefan.gschwander@ise.fraunhofer.de



Abbildung 1
Umwandlung von Strom zu Wärme/Kälte („Power-to-Heat“) mit anschließender Speicherung

fachen Widerstandsheizung – einen deutlich höheren Wirkungsgrad erreichen kann.

Kann die Speicherung von elektrischer Energie als Wärme oder Kälte überhaupt zu einer relevanten Lastverschiebung im elektrischen Netz beitragen? Bei der Betrachtung des Endenergiebedarfs in Deutschland fällt auf, dass über die Hälfte des Bedarfs im Bereich Wärme und Kälte liegt. Damit könnte die Speicherung auf der thermischen Seite große Potenziale erschließen.

Thermische Energiespeicher-Technologien

Grundsätzlich kann thermische Energie in Form von sensibler oder latenter Wärme oder in thermochemischen Prozessen gespeichert werden.

Sensible Speicherung thermischer Energie

Bei der sensiblen Speicherung wird ein Speichermedium erhitzt oder abgekühlt. Die gespeicherte Energie ist proportional der Temperaturdifferenz, um die das Material aufgeheizt oder abgekühlt wird. In den meisten Fällen dient Wasser als Speichermedium, da es eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzt und sehr kostengünstig ist. Kleinere Speicher werden als Pufferspeicher in thermischen Solaranlagen (Warmwasserbereitung) für eine Speicherung von Tagen oder Wochen eingesetzt. Große Wasserspeicher (bis zu mehreren tausend m³) werden zur saisonalen Speicherung solarer Wärme zum Heizen im Gebäudebereich gebaut.

Wärme und Kälte werden auch im Erdreich gespeichert. Hier kann beispielsweise thermische Energie mit einem Temperaturniveau von ca. 10 °C im Winter

von einer Wärmepumpe genutzt und im Sommer direkt zur Gebäudekühlung eingesetzt werden.

Latentwärmespeicher

Latentwärmespeicher nutzen zusätzlich zur Temperaturerhöhung (oder -absenkung) einen Phasenwechsel (engl. Phase Change Material = PCM) des Speichermediums. Dadurch kann bei kleineren Temperaturunterschieden deutlich mehr thermische Energie gespeichert werden (siehe *Abbildung 2*). Dies ist vor allem bei der Kältespeicherung von Vorteil. In die Gebäudestruktur integrierte PCMs können z. B. mit Schmelztemperaturen um 25 °C die Raumtemperatur bei komfortablen Werten halten und vor Überhitzung schützen. Die hohe Speicherkapazität trägt zu einer kompakten Speichergeometrie bei. Auch die Nutzung industrieller Abwärme könnte in Zukunft durch Latentwärmespeicher bei hohen Temperaturen (> 200–300 °C) umgesetzt werden.

Thermochemische Speicherprozesse

Zur Speicherung thermischer Energie können auch reversible chemische Reaktionen genutzt werden, die im Allgemeinen nach folgender Grundgleichung arbeiten:



Solche Systeme verfügen theoretisch über noch höhere Energiespeicherdichten und sind in der Lage, die Temperaturniveaus beim Laden und Entladen den aktuellen Bedürfnissen anzupassen. Am meisten untersucht sind auf diesem Gebiet Ad- und Absorptionsprozesse. Offene Sorptionsspeicher werden momentan für ihren Einsatz bei der Nutzung industrieller Abwärme untersucht. Vor allem im Bereich industriell-

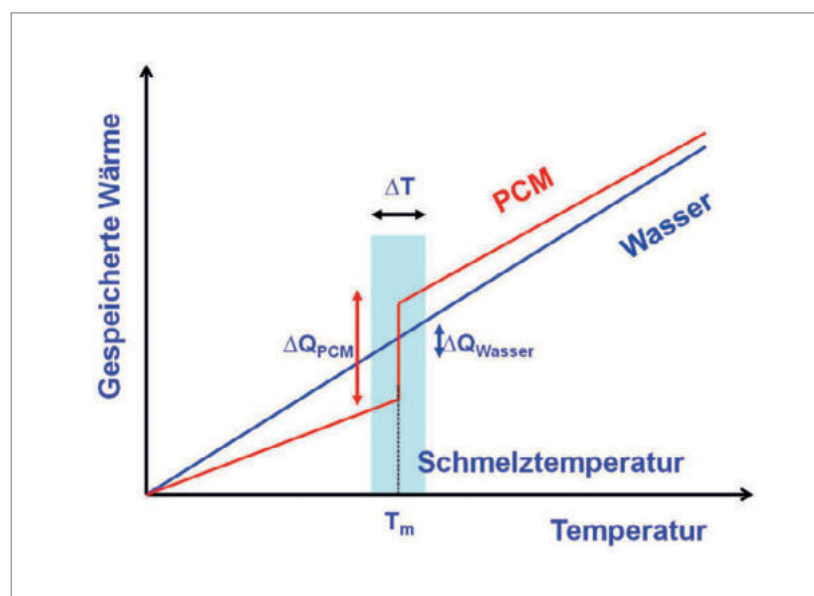


Abbildung 2
Vergleich der Speicherkapazität:
sensibler Wärmespeicher (Wasser, blau)
latenter Wärmespeicher (PCM, rot)

ler Trocknungsprozesse können hier effiziente und wirtschaftlich interessante Systeme entstehen.

Die Möglichkeit neben der Speicherung auch Wärme in Kälte zu transformieren wird in Anwendungen wie der solaren Gebäudeklimatisierung genutzt.

Beispiele und Projekte

Erweiterung von Wärmenetzen um thermische Speicher und elektrische Heizalternativen (DLR)

Der Einsatz thermischer Speicher und elektrischer Heizer in Wärmenetzen kann die Kompatibilität der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit den fluktuierenden erneuerbaren Energien deutlich erhöhen. Die Funktion der Speicher kann dabei neben der Bereitstellung des Spitzenbedarfs und der Reduzierung des KWK-Teillastbetriebs auch die Ermöglichung eines Abschaltens der KWK-Anlage in Zeiten niedriger Börsenstrompreise einschließen. Letztere traten in der Vergangenheit zumeist nachts und am Wochenende auf, sind jedoch zunehmend mit den Einspeisespitzen von Wind- und PV-Anlagen korreliert.

Für den Einsatz in Wärmenetzen bieten sich drucklose oder druckbehaftete Wasserspeichertanks an. Diese gelten als relativ einfache, gut verstandene und günstige Technologie. Solche Wärmespeicher werden in verschiedenen Ländern Nord- und Mitteleuropas zunehmend zu einem integralen Bestandteil von Wärmenetzen. In Schweden und Dänemark sind Speicher in der Regel so ausgelegt, dass sie die Spitzenlast des Wärmenetzes für etwa acht bis zwölf Stunden bereitstellen können. In den vergangenen Jahren haben auch in Deutschland und Österreich verschiedene Wärmenetzbetreiber die Installation thermischer Speicher umgesetzt. Mit der Installation einer elektrischen Heizalternative zur Nutzung erneuerbaren Überschussstroms kann der Wärmenetzversorgung ein weiterer Freiheitsgrad hinzugefügt werden.

Groß-Wärmespeicher im Einsatz bei Stadtwerken (Fraunhofer IWES)

Das wesentliche Ziel von Groß-Wärmespeichern bei Stadtwerken ist die Erhöhung der Wärmeversorgungssicherheit, aber sie bieten darüber hinaus die Möglichkeit, flexibel auf die Preise am Wärme- und Strommarkt reagieren zu können.

Ein interessantes Konzept ist der sogenannte „Hybridanschluss“, in dem das Fernwärmenetz für bestimmte Kunden geöffnet ist, um diesen die aktive Teilnahme an der Wärmeerzeugung zu ermöglichen. Kunden, die ein eigenes Blockheizkraftwerk (BHKW) betreiben, haben somit die Möglichkeit, das Wärmenetz als Zwischenspeicher zu nutzen.

Zukünftig werden dezentrale Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen oder BHKW durch die Nutzung des Fernwärmenetzes und von Großwärmespeichern ebenfalls in der Lage sein, flexibel auf den Wärmemarkt zu reagieren. Das Zusammenspiel des elektrischen und thermischen Lastmanagements, bringt ein neues Konzept, das als „Duales Lastmanagement“ bezeichnet wird. Hierzu werden nicht nur Stromlasten sondern auch Wärmelasten intelligent gesteuert, so dass die Kunden nicht nur auf Strompreise, sondern auch auf Wärmepreise reagieren können. Damit werden Wärmenetze immer flexibler und effizienter. Jedoch werden innovative Betriebsführungen sowohl auf Stadtwerke- als auch auf Verbraucherebene benötigt, um die ganze Flexibilität dieser Systeme nutzen zu können. Solche Betriebsführungen, die Fahrpläne für die dezentrale und zentrale Wärmeversorgung optimieren, sollten bei der Erstellung von Wärmebedarfsprognosen Betriebsdaten nutzen und so könnte ein intelligentes „Duales Lastmanagementkonzept“ eingesetzt werden.

Netzflexibilisierung durch BHKW-Systeme mit PCM-Kältespeicher (Fraunhofer ISE)

Große Bürokomplexe haben einen hohen elektrischen Energieverbrauch sowie einen hohen Kälte- und Wärmebedarf. Mit BHKW kann sowohl ihr elektrischer Energieverbrauch gedeckt als auch Strom ins Versorgungsnetz eingespeist werden. Um die Effizienz der BHKW zu erhöhen, muss auch ihre Abwärme genutzt werden. Während im Winter die Abwärme direkt zur Beheizung genutzt werden kann, wird diese im Sommer mit Hilfe von Absorptionskältemaschinen (AKM) in Kälte gewandelt. Diese Kälte lässt sich sehr gut bei geringem Raumbedarf in PCM einspeichern. Steht zusätzlich noch eine Kompressionskältemaschine (KKM) zur Kälteerzeugung zur Verfügung, kann diese bei hoher Einspeisung erneuerbarer elektrischer Energie in das Stromnetz als zusätzliche Last wirken und den PCM-Speicher mit Kälte für eine spätere Nutzung aufladen. Durch ihre -im Vergleich zu Wasser- hohe Speicherdichte machen PCM oft erst eine Integration von Kälte-Speichern in bestehende Gebäude möglich. Durch sie kann mit dem thermischen Energiebedarf von Gebäuden flexibel auf Netzlasten reagiert werden und die Versorgungssicherheit erhöht werden.

Direkt elektrisch beheizter Hochtemperatur-Latentwärmespeicher zum Netzausgleich (DLR)

Die direkte Einkopplung von Strom in thermische Speicher bietet die Möglichkeit, die Energie auch als Hochtemperatur-Wärme zu speichern, welche zur Bereitstellung von Prozesswärme im industriellen Einsatz verwendet werden kann. Eine passende Anwendung bieten hier z.B. Großbäckereien, die einen

hohen Wärmebedarf in den Nachtstunden für Backstraßen haben. Hierfür werden kostengünstige Hochtemperatur-Latentwärmespeicher entwickelt, die modular mit Plattenwärmeübertragern aufgebaut werden. Zur Minimierung der erforderlichen Wärmeübertragerfläche und zur Vergleichmäßigung der Leistungsabgabe werden geeignete Wärmeleitstrukturen zwischen die Platten in das Phasenwechselmaterial eingebracht. Die Wärmeauskopplung kann bei geringen bis mittleren Drücken über Luft, Öl oder Wasser/Dampf erfolgen. Für die Beladung werden spezielle elektrische Heizelemente entwickelt, die an die Speichergeometrie angepasst werden. Mit Natriumnitrat als Phasenwechselmaterial kann damit Wärme bei konstanter Temperatur von 300 °C angeboten werden.

Kühlschränke als verschiebbare Last im elektrischen Netz (ZAE Bayern)

Auch Kältespeicher in Kühlschränken können Elektrizität aus erneuerbaren Quellen aufnehmen. Die dadurch generierte „verschiebbare Last“ pro Kühlgerät ist zwar relativ gering. Aber unter der Annahme, dass 20 Mio. Kühlschränke in Deutschland (insgesamt werden ca. 70 Mio. betrieben) mit einem Latentkältespeicher ausgerüstet seien, der den halben Kältebedarf für einen Tag bereit stellen kann, könnte allerdings eine elektrische Last von 1 GW über 4 Stunden erzeugt werden. Die gespeicherte Energie von 4 GWh muss dann bei nachlassender Verfügbarkeit erneuerbarer Elektrizität nicht mehr aus dem Netz bezogen werden. Die Kosten für die somit entstandene Speicherkapazität sind um ein vielfaches niedriger als bei vergleichbaren dezentralen elektrischen Speichertechnologien.

Würde man allerdings einfach das Gefriergut weiter abkühlen und Kälte also wie in einem „Kühlakku“ speichern, würden die niedrigeren Ladetemperaturen zu einer Abnahme der Effizienz der Kältemaschine führen. Daher besteht die effizienteste Art, einen Kältespeicher im Kühlschrank zu realisieren darin, das PCM am Verdampfer der Kältemaschine zu positionieren. Damit könnte die Speicherung ohne Effizienzverluste realisiert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Thermische Energiespeicher können durch die Umwandlung von Elektrizität in Wärme oder Kälte zur Integration erneuerbarer Energien und zu einer Reduktion der Spitzenlast im elektrischen Netz beitragen.

Thermische Speicher sind im Vergleich zu elektrischen und elektrochemischen Speichern meist kostengünstiger. Da der deutsche Endenergiebedarf sich zu großen Teilen aus Wärme und Kälte zusammensetzt, können thermische Speicher eine relevante Rolle spielen. Thermische Energiespeicher auf der Verbraucherseite können darüber hinaus zum lokalen Lastmanagement beitragen.

Die intensive Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich thermischer Speicher sollte aufrechterhalten werden. Demonstrationsprojekte thermischer Speicher in ihrer Anwendung zum Lastmanagement sollten hier Priorität haben. Quantitative Abschätzungen zum Potenzial thermischer Energiespeicher bei der Integration erneuerbarer Elektrizität sollten zeitnah durchgeführt werden.

Thermische Speicher sollten auch im Zusammenhang mit Entwicklungen zum Thema „Smart Grid“ betrachtet werden, um auch die Möglichkeit größerer „virtueller“ Speichereinheiten nutzen zu können.