

Batterien

Großspeicherwahl

Lithiumionen- und Redoxflusssysteme sind für Tests zum Speichern großer Energiemengen am Karlsruher Institut für Technologie aufgebaut. Die Techniken zeigen je nach Anwendung Vor- und Nachteile.



Redoxfluss- und Lithiumionengroßspeicher am Karlsruher Institut für Technologie, Campus Nord, für Feldversuche im EnergyLab 2.0.

Energie aus erneuerbaren Quellen soll dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie zufolge bis zum Jahr 2025 bis zu 45 Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland decken und bis zum Jahr 2050 sogar bis zu 80 Prozent.^{1,2)} Die Energie aus Quellen wie Windkraftanlagen und Photovoltaik (PV) fluktuiert naturgemäß tages- und wetterbedingt. Dies macht Puffer wie Batteriespeicher unabdingbar, um die Energieversorgung zu sichern.

In den letzten Jahren haben sich vor allem Lithiumionenbatterien etabliert.³⁻⁵⁾ Mittlerweile streben weitere Techniken auf den Markt wie die Redoxflussbatterien.⁶⁻⁸⁾ Dabei ist es wichtig zu wissen, welche Technik sich für eine Anwendung besser eignet und wie sich die Techniken in einer Anwendung ergänzen können. Beide Systeme sind als Großspeicherlösungen am Campus Nord des Karlsruher Institut für

Technologie (KIT) installiert. Sie werden innerhalb der Infrastruktur des EnergyLab 2.0 (Abbildung oben) in Szenarien erprobt.⁹⁻¹¹⁾

Lithiumionenbatterie

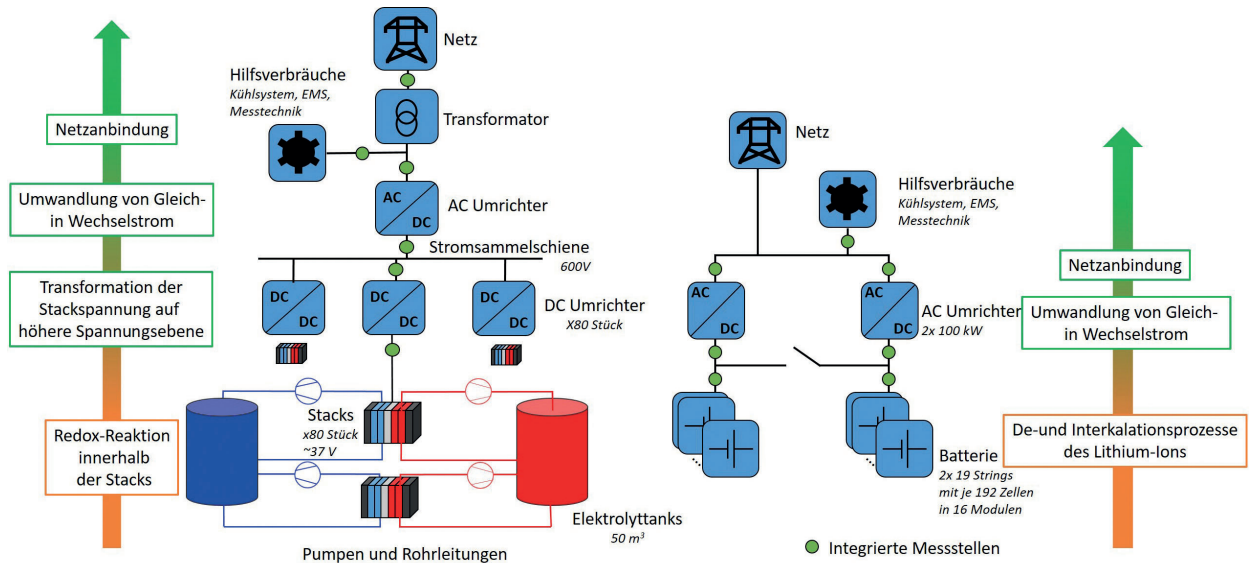
Ladung und Entladung findet bei Lithiumionenbatterien durch Einlagerungsprozesse des Lithiums an der Anode statt.^{12,13)} Die Energie einer Lithiumionenbatterie ist davon bestimmt, wie viel Material die Elektroden enthalten; die Leistung hängt ebenso von der Elektrodenmaterialmenge ab sowie vom Aufbau der Elektroden und der Zelle im Allgemeinen.^{14,15)} Daher sind bei Lithiumionenbatterien Energie und Leistung immer miteinander gekoppelt.

Um eine bestimmte Systemkapazität zu erreichen, werden einzelne Batteriezellen seriell und parallel geschaltet. Am KIT sind zwölf Zel-

len zu einem Modul, 16 Module zu einem String und 2×19 Strings zu zwei Systemhälften zusammengeschlossen, die sich verbinden lassen. Zwei Wechselrichter speisen die Energie ins Netz ein oder laden die Batterien daraus. Weitere Komponenten sind Messtechnik, Energiemanagement und ein Kühlsystem. Die Verlustenergie (Wärme) des KIT-Speichers führen Erdsonden in den Boden ab, sodass zum Kühlen lediglich Energie für die Umwälzung der Kühlflüssigkeit benötigt wird.

Redoxflussbatterie

Die Ladung und Entladung bei Redoxflussbatterien geschieht durch Redoxreaktionen der Elektrolyte. Anolyt und Katholyt fungieren dabei in etwa wie Anode und Kathode in anderen Batterietechniken.¹⁶⁾ ▶



Systemaufbau mit den Komponenten für das Redoxfluss- (links) und das Lithiumionenbatteriesystem (rechts). Pfeile: Umwandlungen der Energie aus der Batterie hin zum Netz.

Die elektrochemische Umwandlung findet in Stacks statt. Dazu sind mehrere Zellen zu einem bipolaren Stack seriell geschaltet, und ein Pumpensystem versorgt diese mit Elektrolyt aus den Tanks, wodurch Leistung und Energie unabhängig voneinander skalierbar sind. Dieser Vorteil ist gegenüber Lithiumionenbatterien mit einem Mehraufwand an Zusatzkomponenten wie Pumpen und Rohrleitungen verbunden. Damit sind Redoxflussbatterien nicht für alle Anwendungen sinnvoll, etwa nicht für die Elektromobilität.

Das KIT verwendet eine Vanadium-Redoxflussbatterie, die eine Gesamtleistung von 200 kW aufbringt und eine Energie von 800 kWh bereitstellt. Vanadium-

Redoxflussbatterien enthalten Vanadium in zwei Oxidationsstufen.¹⁷⁾

Unter den Techniken für Redoxflussbatterien scheinen die mit Vanadium die zuverlässigsten zu sein, da sie das gleiche Material in beiden Elektrolyten nutzen und daher Kreuzkontamination, also versehentliche Vermischung der Elektrolyte, nicht zu Problemen führen kann wie bei Redoxflusstechniken mit unterschiedlichen Elektrolytflüssigkeiten.¹⁸⁾

Die Stacks sind mit der Leistungselektronik verbunden, um die Leistung der einzelnen Stacks zu sammeln und für das Netz von Gleichstrom in Dreiphasenwechselstrom zu wandeln (Abbildung oben).

Gesetze, Vorschriften, Normen

Die Brandgefahr von Lithiumionenbatterien ist bekannt, doch die Erfahrung mit dieser Technik und deren weite Verbreitung machen einen sicheren Umgang möglich, wenn die Nutzer Vorgaben und Standards beachten.

Die Hauptgefahr der Redoxflusstechnik ist die Grundwassergefährdung durch den giftigen Vanadiumelektrolyten.

Um ein Speichersystem zu bauen oder zu installieren, sind EU-Richtlinien zu erfüllen und die Gesetze, die diese umsetzen. Zusätzlich müssen Nutzer den Stand der Technik berücksichtigen, um nicht persönlich für etwaige Schäden haftbar gemacht zu werden. Weitere und schärfere Anforderungen können vom Betreiber oder Versicherer sowie aus dem Baurecht kommen, aus der Feuerbeschau hervorgehen oder dem Arbeitsschutz dienen. Welche Anforderungen jeweils zu erfüllen sind, ist daher von Projekt zu Projekt verschieden und hängt von unzähligen Faktoren ab, etwa der Spannungslage einzelner Komponenten, der Speichertechnologie und nicht zuletzt von den Umgebungsbedingungen.

Die Tabelle zeigt die Vorgaben, welche die Speichersysteme am KIT erfüllen müssen. Die Vorgaben für das Lithiumionen- ähneln denen für das Redoxflussbatteriesystem; schließlich sind beide große elektrische Anlagen, und auch das Lithiumionenbatteriesystem verfügt über einen Flüssigkeitskreislauf, wenn auch um die Batterie zu kühlen. Was sich hingegen stark unterscheidet, ist der Aufwand, der zu betreiben ist, um Anlage oder Umgebung vor Gefahren zu schützen.



Den Beitrag verfassten Thorsten Grün (Foto), Michael Mast und Bernhard Schwarz. Grün leitet die Arbeitsgruppe Systemtechnik am Batterietechnikum – Elektrotechnisches Institut des Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Mast ist Experte für die Sicherheit von Lithiumionenbatteriesystemen und vertritt das KIT in Batterienormungsgremien. Schwarz ist Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Systemsteuerung und -analyse am Batterietechnikum. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf Steuerungssoftware für Photovoltaik-Speichersysteme sowie Performanceuntersuchungen stationärer Heim- und Großspeichersysteme.

Energiewandlungspfade und Wirkungsgrade

Die Energie, die ein Batteriespeicher vom Stromnetz aufnimmt oder ins Netz abgibt, unterliegt Umwandlungsprozessen. Komponenten, die den Gesamtwirkungsgrad beeinflussen, sind neben der Batterie die elektrischen Bauelemente wie Leistungselektronik und Transformatoren. Die Bemessungsspannung großer Batteriespeicher beträgt meist bis zu 1000 V, und diese werden mit Gleichstrom geladen und entladen. Dagegen liegt im Niederspannungsnetz Dreiphasenwechselstrom mit 400 V vor.

Selbstverständlich beeinflussen ebenso Zusatzkomponenten und Peripheriegeräte den Gesamtwirkungsgrad des Systems, darunter das Batteriemanagementsystem, Steuergeräte oder Klimaanlage.

Um die Performance eines Speichersystems zu bewerten und mit anderen Systemen zu vergleichen, durchlaufen die Lithiumionen- und Redoxflussbatterien in unserem Vergleich jeweils ein Referenzszenario. Um die energetischen Verluste zu ermitteln, werden an verschiedenen Stellen im System hierzu Daten wie Leistung und Temperatur aufgezeichnet. Das PV-Smoothing-Profil¹⁹⁾ ist dafür ein zehnstündiger Zyklus, den die Forschungseinrichtung des Energieministeriums der Vereinigten Staaten (Pacific Northwest National Laboratory, PNNL) herausgegeben hat. Er ist typisch für den Ausgleich schwankender Photovoltaikleistung.

Während sich die meisten Verluste über Leistungsdifferenzen be-

rechnen lassen, sind Verluste in den elektrochemischen Speichern nur durch die Bilanzierung der ein- und ausgespeicherten Energiemengen berechenbar. Dafür muss der jeweilige Energiespeicher am Ende der Bilanzierungsperiode im gleichen Zustand sein wie zu Beginn – vor allem den gleichen Ladezustand und die gleiche Temperatur haben.

Verluste vergleichen

Am KIT ist das Lithiumionenbatteriesystem beim Test mit dem PNNL-Profil effizienter als das Redoxflussbatteriesystem. Die Verluste betragen beim ersten etwa 30 kWh, beim zweiten mehr als 300 kWh. Zudem sind die Verluste auf die einzelnen Komponenten unterschiedlich verteilt:

Innerhalb des Lithiumionenbatteriesystems ist die Batterie an sich für zirka 20 Prozent der Verluste verantwortlich, den Großteil der Verluste verursacht die Leistungselektronik (70 Prozent). Die übrigen 10 Prozent sind Hilfsverbräuche, etwa für Mess- und Kühltechnik.

Beim Redoxflussbatteriesystem sind 57 Prozent der Verluste auf die elektrochemische Umwandlung in der Batterie zurückzuführen. Die Hilfsverbräuche haben mit zirka 24 Prozent den zweitgrößten Anteil. Der Rest geht in die Leistungselektronik und den Transformator. Dies zeigt, dass die Peripherie der Redoxflussbatterie mit ihren zusätzlichen Pumpen ein nicht zu vernachlässigender Faktor bei der Gesamteffizienz ist. <<

- 1) bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energie_wende.html (Stand 16.7.2020).
- 2) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende 2015, 108, t1p.de/sfph
- 3) T. Chen, Y. Jin, H. Lv et al. Transactions of Tianjin University 2020, 26(3), 208
- 4) H. C. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic, A. Jossen, Lithium-ion battery storage for the grid – A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids, 2017, 10(12)
- 5) researchinterfaces.com/lithium-ion-batteries-grid-energy-storage (Stand 16.7.2020)
- 6) L. F. Arenas, C. Ponce de León, F. C. Walsh, J. Electrochem. Energy Convers. Storage 2017, 11(6), 119
- 7) J. Noack, N. Roznyatovskaya, C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos, Storage&Smart Power Technical Briefing 2019, 2, 998
- 8) P. Alotto, M. Guarnieri, F. Moro, Renewable Sustainable Energy Rev. 2014, 29(1), 325
- 9) batterietechnikum.kit.edu/grossspeicher_im_elab2.php (Stand 16.7.2020)
- 10) batterietechnikum.kit.edu/817.php (Stand 16.7.2020)
- 11) elab2.kit.edu/index.php (Stand 31.7.2020)
- 12) R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. 2013, Springer Verlag Frankfurt
- 13) W. Jossen, A. Weydanz, Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, 2006, Reichardt Verlag München
- 14) M. Singh, J. Kaiser, H. Hahn, J. Electrochem. Soc. 2015, 162, A1196
- 15) M. J. Lain, J. Brandon, und E. Kendrick, Batteries 2019, 5(4), 64
- 16) P. Kurzweil, O. K. Dietlmeier, Elektrochemische Speicher: Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, Rechtliche Grundlagen, E-Book, 2015, Springer Vieweg Wiesbaden
- 17) A. Z. Weber, M. M. Mench, J. P. Meyers, P.N. Ross, J. T. Gostick, Q. Liu, J. Appl. Electrochem. 2011, 41, 1137
- 18) Á. Cunha, J. Martins, N. Rodrigues, F. P. Brito, Int. J. Energy Res. 2015, 39, 889
- 19) S. Conover, A. Ferreira, D. Crawford et al., Protocol for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Energy Storage Systems, Sandia National Laboratories and Pacific Northwest National Laboratories, Tech. Rep. 2016

AUF EINEN BLICK

Stärken und Schwächen von Lithiumionen- und Redoxflussbatteriesystemen ergeben sich durch deren Funktionsweise, den Systemaufbau und die Infrastruktur.

Lithiumionenbatterien haben einen Entwicklungsvorsprung gegenüber Redoxflussbatterien.

Redoxflussbatterien eignen sich nicht besonders gut für Elektromobilität, können bei anderen Anwendungen aber langlebiger sein und geringere Kosten verursachen.

	Anforderungen an das Batteriesystem
Gesetzliche Vorgaben	Elektrische Sicherheit, EMV, Batteriegesetz und Druckgeräteverordnung
Normative Vorgaben	Batteriesicherheitsnormen je nach Technologie
Baurechtliche Vorgaben	Gewässerschutz und Blitzschutz
Brandschutzvorgaben	Brandschutzkonzept und Aufsaltung auf die Brandmeldezentrale
Arbeitsschutzgesetz	Schutz des Personals bei Arbeiten vor Ort

Übersicht der Vorgaben und Anforderungen für Aufbau und Betrieb von Speichersystemen.