

Neue Batteriesysteme zwischen Forschung und Anwendung



ZSW
Dr. Michael A. Danzer
michael.danzer@zsw-bw.de

DLR
Prof. Dr. Andreas Friedrich
andreas.friedrich@dlr.de

Fraunhofer ISE
Dr. Matthias Vetter
matthias.vetter@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES
Patrick Hochloff
patrick.hochloff@iwes.fraunhofer.de

Prof. Dr. Clemens Hoffmann
Siemens AG
clemens.hoffmann@iwes.fraunhofer.de

FZ Jülich
Dr. Martin Finsterbusch
m.fensterbusch@fz-juelich.de

VARTA Storage GmbH
Dr. Alexander Hirnet
alexander.hirnet@varta-storage.com

Übersicht stationärer elektrochemischer Speichertechnologien

Elektrochemische Speicher verfügen typischerweise über Energiespeicherkapazitäten von 2 kWh – 20 MWh und typische Entladezeiten von wenigen Minuten bis zu wenigen Tagen. Damit zählen Batterien zu den Kurzfristspeichern mit einer kleinen bis mittleren Energiespeicherkapazität (anders als beispielsweise Druckluftspeicher, Wasserkraftwerke, Wasserstoff und synthetisches Erdgas).

Generell besitzen elektrochemische Speichersysteme u. a. diese Vorteile:

- Sie sind unabhängig von Geographie und Geologie.
- Sie können modular aufgebaut werden und sind in der Speichergröße adaptierbar.

Elektrochemische Speicher und Wandler lassen sich gemäß *Abbildung 1* anhand ihrer Speicher und Arbeitstemperaturen unterscheiden.

Lithium-Ionen-Systeme haben im Vergleich zu anderen heute verfügbaren Akkumulatoren eine höhere Leistungs- und Energiedichte sowie einen höheren elektrischen Wirkungsgrad.

Die Anforderungen, die marktseitig an elektrochemische Speicher gestellt werden, sind sehr hoch:

- geringe Investitions- und Betriebskosten
- hohe Energiedichte
- sehr hoher energetischer Wirkungsgrad
- lange Lebensdauer (15–20 Jahre)
- hohe Sicherheit und niedrige Selbstentladung

Entwicklungsziele – Batterie Roadmap 2020+ (ZSW)

In einer Batterie Roadmap 2020+ genannten Meta-Studie hat das ZSW die aktuellen Entwicklungsziele der Batterieforschung zusammengefasst (s. *Abbildung 2*).

Dabei sind zwei Dinge hervorzuheben: zum einen die technischen Grenzen, die der Optimierung der heute etablierten Lithium-Ionen-Systeme gesetzt sind und zum anderen der Technologiesprung hin zu neuen Systemen wie Lithium-Schwefel oder Lithium-Luft, der nötig ist, um diese Grenzen zu überwinden.

F&E für stationäre Batterietechnologien

Im Folgenden werden anhand von ausgewählten Beispielen die Entwicklungen an Batterietechnologien an den Instituten dargestellt.

F&E für Lithium-Ionen-Batterien (ZSW)

Die spezifische Energie (Wh/kg) von Akkumulatoren, $E = C \cdot U$, berechnet sich aus der Multiplikation der Zellspannung (V) und der spezifische Kapazität (Ah/kg).

Möchte man die spezifische Energie durch eine Auswahl an Aktivmaterialien erhöhen, ergeben sich daher zwei Möglichkeiten:

1. Erhöhung der Zellspannung
2. Erhöhung der spezifischen Kapazität.

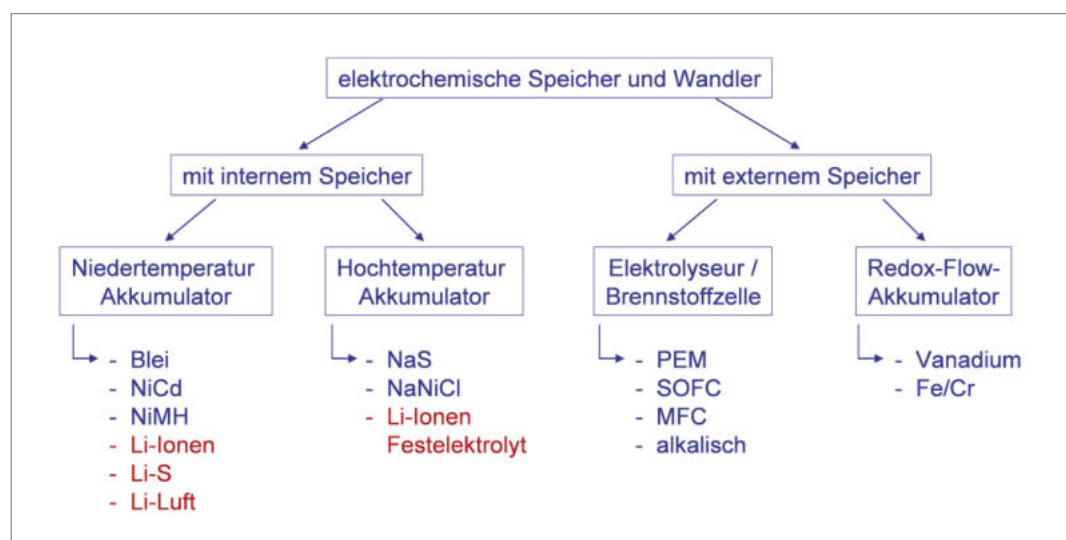


Abbildung 1
Übersicht elektrochemischer Speicher und Wandler
(Lithium-Ionen-Systeme in Rot hervorgehoben)

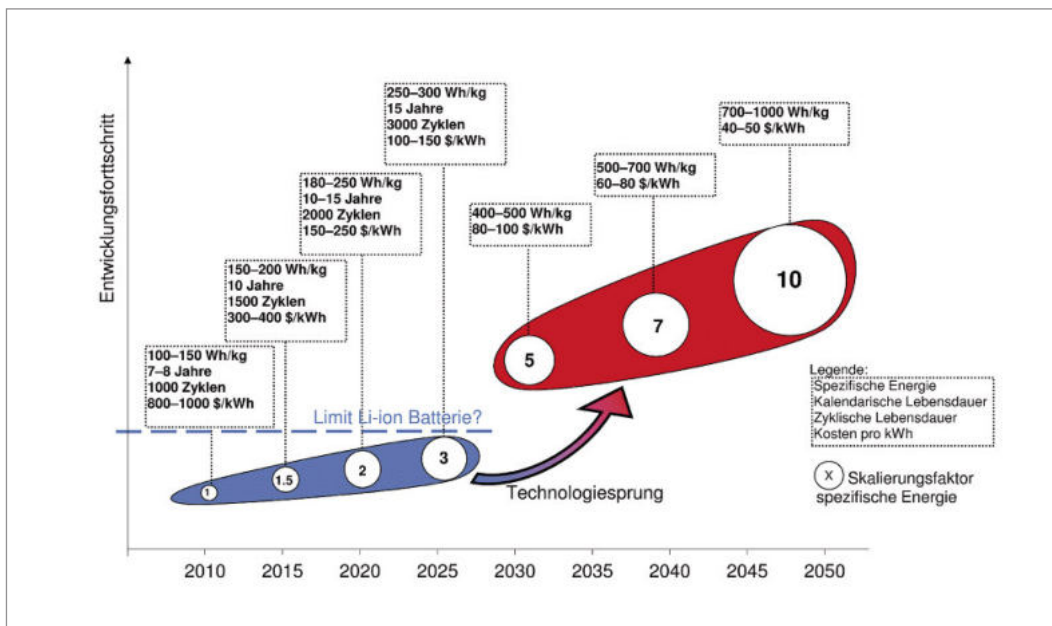


Abbildung 2
Entwicklungsziele der Batterieforschung: ZSW-Batterie Roadmap 2020+

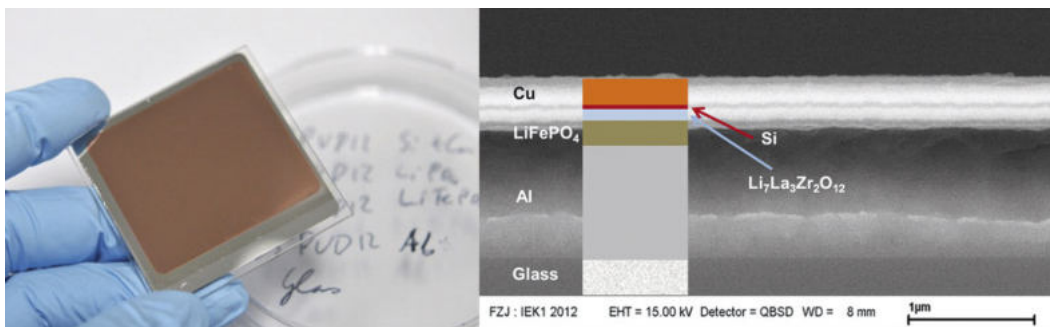


Abbildung 3
Festkörper-Dünnschicht-Li-Ionen-Zelle, hergestellt mittels PVD am FZ Jülich

In vielen Projekten am ZSW wird als neuartiges Kathodenmaterial ein Hochvoltspinel ($\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$) erforscht, bei dem die hohe Energiedichte, wie der Name es andeutet, im Wesentlichen durch ein erhöhtes Kathodenpotenzial erreicht wird.

In anderen Projekten steht weniger die Energiedichte als die Sicherheit der Zellen im Vordergrund der Entwicklungsziele. So wird z. B. als Anodenmaterial Lithium-Titanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) eingesetzt, um eine eigensichere Batterie zu entwickeln, die im Schadensfall kein Risiko (z. B. Brand, Explosion) darstellt.

Lithium-Ionen-Hochtemperatur-Batterie mit Festelektrolyt (FZ Jülich)

Das Forschungszentrum Jülich hat sich für die Entwicklung neuer Batterietechnologien am Vorbild der ZEBRA-Hochtemperatur-Batterie (NaNiCl_2) orientiert, die sich durch eine hohe Robustheit, Zuverlässigkeit und Zyklenfestigkeit auszeichnet. Problematisch ist bei der ZEBRA-Batterie die aufwändige Herstellung des röhrenförmigen Elektrolyten ($\text{Na}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$) und der Natrium-Gebrauch bei erhöhter Temperatur. F&E-Ziel ist es daher, Werkstoffe für intrinsisch sichere Batterien zu etablieren. Dazu werden bekannte Fest-

körper-Li-Ionenleiter für Anwendungen im Bereich 100–400 °C evaluiert.

Meilensteine der Arbeit sind dabei:

- günstigere Elektrodenmaterialien
- angepasste Elektrolyte
- dickere Elektroden
- größere Zellen
- optimiertes Processing

Als Ergebnis der Arbeiten ist in *Abbildung 3* eine Festkörper-Batterie mit Al- und Cu-Kontakten, LiFePO_4 -Kathode, $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ -Elektrolyt und Si-Anode als intrinsisch sichere Batterie dargestellt. Dabei erreicht der Festkörperelektrolyt bei Temperaturen von 300 °C eine beachtliche Leitfähigkeit von 10^{-1} S/cm.

Speicherkapazität und Zyklenstabilität von LiS-Batterien (DLR)

Die Batterieforschungsaktivitäten am DLR zu Li-Schwefel und Li-Luft-Batterien nehmen erwähnten Technologiesprung ins Visier. Motivation zur Forschung an LiS-Batterien ist die Optimierung der Zyklenstabilität durch Schwefel-MWNT-Komposite. Zur Erreichung dieses Ziels wird die Komposit-Synthese via Schwe-

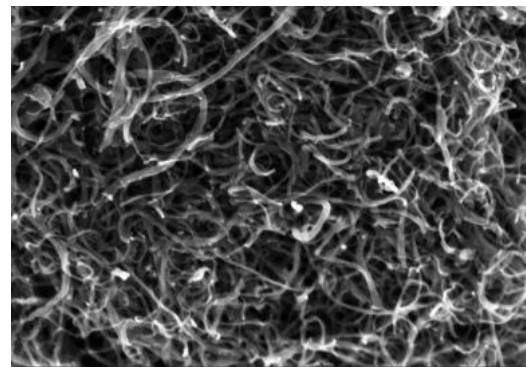
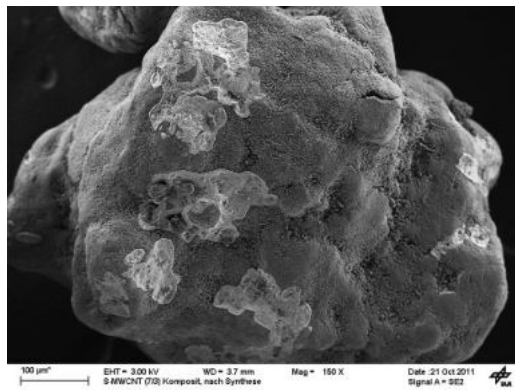


Abbildung 4
Schwefel-MWNT-
Komposite des DLR:
Typ A (links) und
Typ B (rechts)

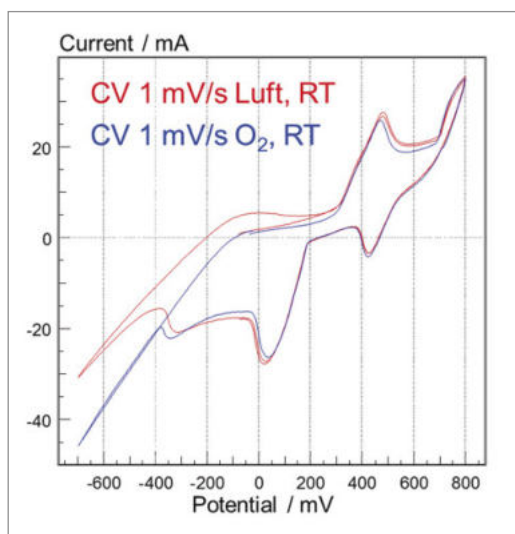


Abbildung 5
Cyclovoltammogramm
an mit Ag+LSCF
(Elektrolytseite) und
PTFE+Kohle (Gasseite)
beschichteten Rhodium-
Netzen in 1 N LiOH
(Potenzial gegen
Hg/HgO)

felschmelze bei 150 °C unter Ar-Atmosphäre durchgeführt und zwei Typen MWNT „A“ und „B“ verglichen. Dabei stellt sich heraus, dass aus MWNT A hergestelltes Komposit A nach 50 Zyklen über eine 50 % höhere Entladekapazität im Vergleich zum aus MWNT B hergestellten Komposit B verfügt.

Verminderung der Verluste von Lithium-Luft-Batterien (DLR)

Das zweite Forschungsprojekt am DLR hat sich zum Ziel gesetzt, die Verluste während des Lade-/Entladevorgangs von Lithium-Luft-Batterien zu reduzieren. Mittels Cyclovoltammogramm-Messungen (s. *Abbildung 5*) konnte die Reduktion der Verluste nachgewiesen werden.

F&E für stationäre Batteriesysteme

Im Folgenden werden anhand von ausgewählten Beispielen die Entwicklungen von Batteriesystemen an den Instituten dargestellt.

Modulares Design eines Lithium-Ionen-Batteriesystems (Fraunhofer ISE)

Die Architektur von Batteriesystemen unterscheidet sich wesentlich im Grad ihrer Modularität. Das Fraunhofer ISE hat ein Batteriesystemkonzept vorgestellt, das sowohl im Aufbau und der Verschaltung der Einzelzellen zu Batteriemodulen als auch in der Überwachung und der Steuerung der Batterie einen hohen Grad an Modularität aufweist (*Abbildung 6*).

Das modulare Design von Batteriesystemen und die Kommunikationsschnittstelle des Z-BMS ermöglicht eine einfache Integration in Energiesysteme und die Ankopplung an marktverfügbare Laderegler, Batteriewechselrichter sowie Energiemanagementsysteme. Das entwickelte Batteriemodul erreicht unter realistischen Nutzungsbedingungen (0,3 C, 27 °C) einen energetischen Wirkungsgrad von 95,2% und ermöglicht so eine effiziente dezentrale Speicherung von elektrischer Energie, beispielsweise von dezentralen gebäudeintegrierten PV-Anlagen.

Intelligentes Batteriemangement als Teil eines optimierten Energiemanagements (Fraunhofer ISE)

Zur Optimierung des Energiemanagements einer regenerativen Energieerzeugung mit stationärem Speicher wird am Fraunhofer ISE an standardisierten Lösungen, beispielsweise im Rahmen der CiA 454 (siehe www.can-cia.org), zur Kommunikation zwischen Energie- und Batteriemangement gearbeitet. Das modellbasierte Energiemanagement umfasst, wie in *Abbildung 7* dargestellt, ein Erzeuger- und Lastmanagement, einen optimierten Einsatz des Batteriesystems, die optimierte Regelung der Energieflüsse, ein modellbasiertes Batteriemangement inklusive SOC-Verlauf und -Vorhersage (SOC = State of Charge

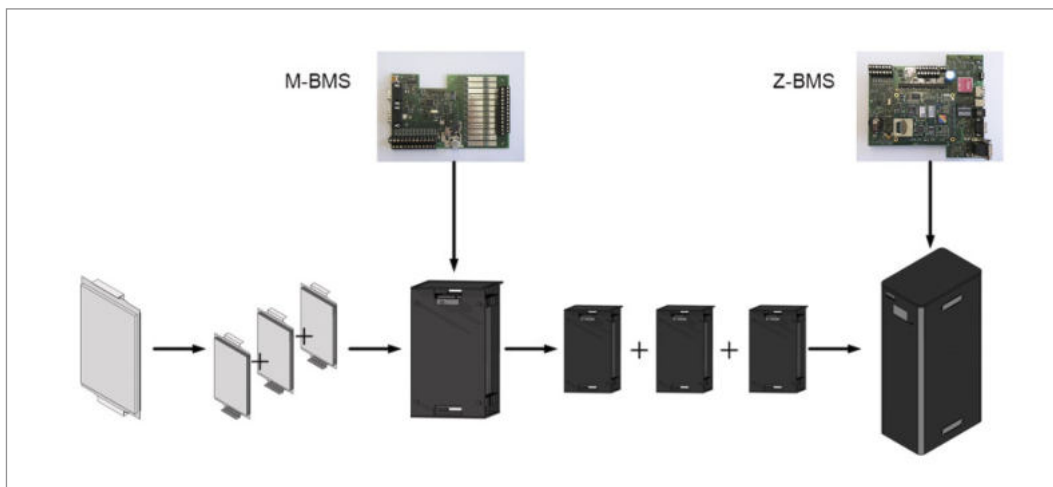


Abbildung 6
Modulares Design: von der Zelle über das Modul zum Batteriesystem mit modularer Architektur des Batteriemangements basierend auf dezentralen Modul-BMS (M-BMS) und einem Zentral-BMS (Z-BMS).
Quelle: Fraunhofer ISE

= Ladezustand), die Information über arbeitspunktabhängige Wirkungsgrade bis hin zur Information über die Alterung der Batterie.

Als Anwendungsfälle stationärer Batteriesysteme werden im Folgenden die Maximierung des Eigenverbrauchs von Solarstrom im Hausbereich und die Spannungsstabilisierung im Niederspannungsnetz betrachtet.

Maximierung des Eigenverbrauchs von Solarstrom (VARTA Storage)

VARTA Storage hat in Untersuchungen gezeigt (Abbildung 8), dass durch einen Batteriespeichersystem der Eigenverbrauch von Solarstrom in Abhängigkeit von der Speichergröße signifikant erhöht werden kann. Dazu wurde bei VARTA Storage ein Batteriespeicher namens Engion entwickelt (Abbildung 9), der bei 4 kW über Speichergrößen von 3,7–13,8 kWh verfügt und 3-phasig modular erweiterbar ist.

Spannungsstabilisierung im Niederspannungsnetz (VARTA Storage, Siemens)

Die prinzipielle Idee der Spannungsstabilisierung im Niederspannungsnetz mit dezentralen erneuerbaren Energieeinspeiseanlagen und dezentralen Lasten mittels eines Energiespeichers ist in Abbildung 10 dargestellt. Dabei wird die Batterie an den Ort der Leitung platziert, an dem die höchste Spannungsabweichung zu erwarten wäre:

- In Zeiten hoher Erzeugung puffert die Batterie elektrische Energie zwischen, so dass die Spannung in der Leitung die maximal zulässige Höchstgrenze nicht überschreitet.
- In Zeiten hoher Last gibt der Speicher die Energie wieder ab und kann so dazu beitragen, dass die Minimalspannung nicht unterschritten wird.

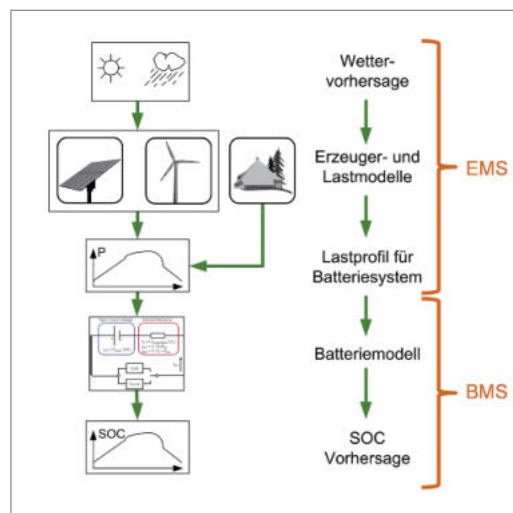


Abbildung 7
Schematische Darstellung eines intelligenten Batteriemangements als Teil eines optimierten Energiemanagements.
Quelle: Fraunhofer ISE

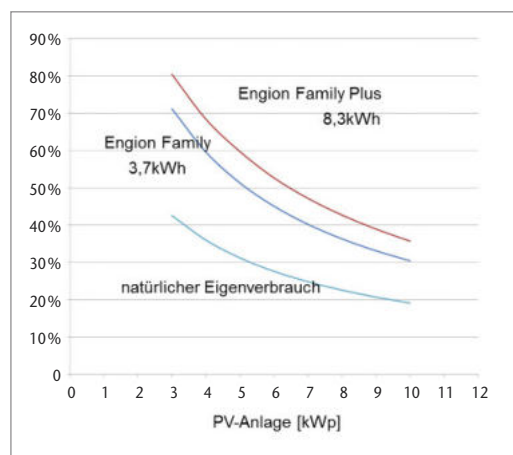


Abbildung 8
Eigenverbrauchserhöhung durch Speichereinsatz bei einem Jahresverbrauch von 4000 kWh.

VARTA Storage hat im Pilotprojekt „Spitzenspeicher Nr. 1“ zusammen mit der EnBW ODR den in Abbildung 11 dargestellten Speicher mit einer Leistung von 30 kW und einem Energiegehalt von 60 kWh entwickelt und ist damit gerade in der Erprobungsphase.



Abbildung 9
Batteriespeicher Englon
bei VARTA Storage:
4 kW, 3,7–13,8 kWh,
3-phasig, modular
erweiterbar

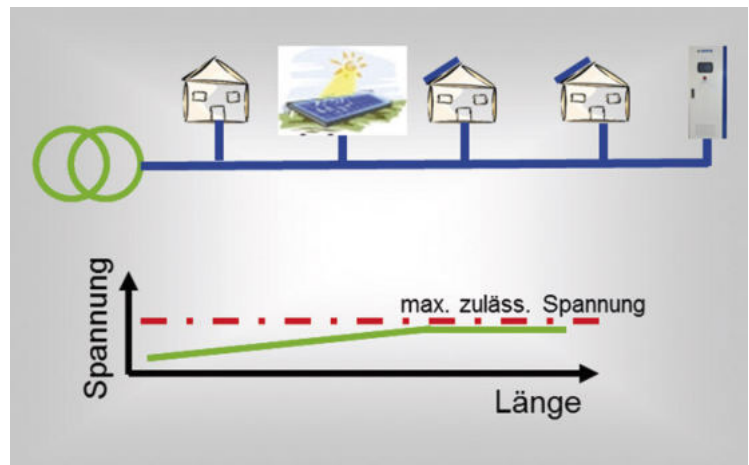


Abbildung 10
Spannungsstabilisierung
im Niederspannungs-
netz mit dezentralen
EEG-Anlagen und
Batterie



Abbildung 11
Pilotprojekt
Spitzenspeicher Nr. 1,
VARTA Storage &
EnBW ODR:
30 kW, 60 kWh

Die Wirksamkeit des Einsatzes von stationären Speichern im Niederspannungsnetz im Vergleich zur Kopplung jeder PV-Anlage mit einem eigenen Speicher hat Siemens simulationsbasiert anhand des Spannungsbands in einem Beispielnetz untersucht. Die Simulationsergebnisse in [Abbildung 12](#) zeigen deutlich, dass der Speichereinsatz an einem kritischen Ort (Quartierspeicher) für die Spannungshaltung effektiver ist als der gleichmäßig verteilte Einsatz. Dabei wurde die Größe der Speicher für eine Kapung der Leistungsspitze um 30% ausgelegt. Zudem wurde gezeigt, dass ein Blindleistungseingriff am selben Ort zusätzlich die Spannungshaltung verbessert.

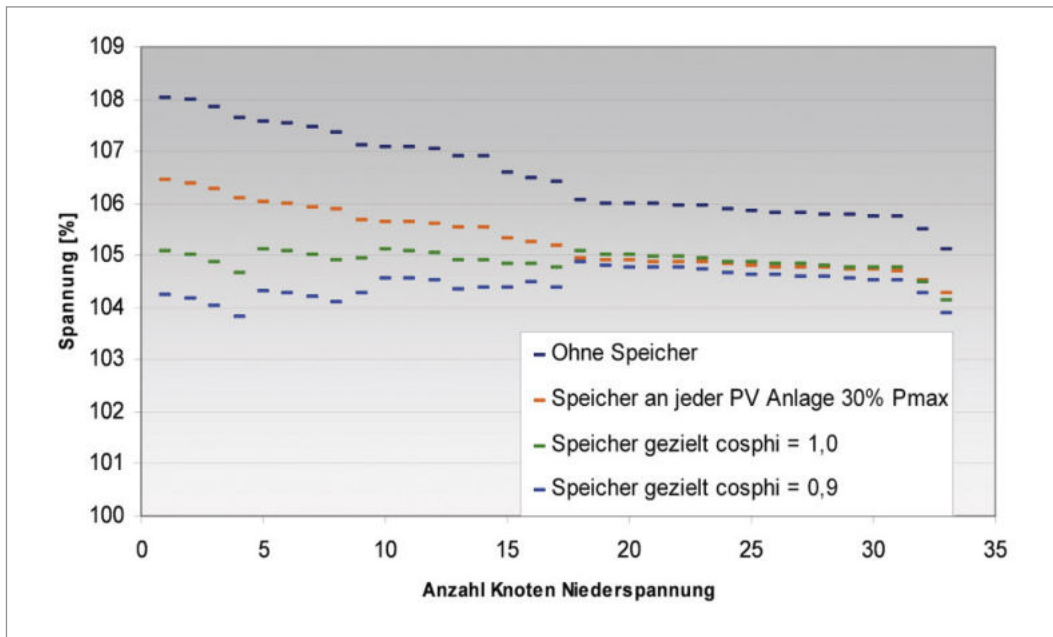


Abbildung 12
Simulationsergebnisse Spannungsband in einem Beispielnetz, relative Spannung über Anzahl der Knoten im Niederspannungsnetz



Abbildung 13
Siemens-Lilon-System

Siemens hat für den Einsatz in Niederspannungsnetzen das in *Abbildung 13* gezeigte Siemens-Lilon-System entwickelt und bereits damit begonnen, es in den Markt einzuführen.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass an den Forschungsinstituten des FVEE neue und verbesserte Speichertechnologien entwickelt und erforscht werden, die auf Batterietechnologien hoffen lassen, die sich durch geringe Kosten, hohe Energiedichte,

hohen energetischen Wirkungsgrad, lange Lebensdauer und hohe Sicherheit auszeichnen. Des Weiteren zeigt sich anhand der an den Instituten und bei den Industriepartnern entwickelten und untersuchten Systeme, dass sich erste Geschäftsmodelle für stationäre elektrochemische Speicher heraus kristallisieren. Momentan werden Batteriesysteme und Pilotanlagen entwickelt, aufgebaut und erprobt sowie erste Serienprodukte kommerziell angeboten. In der Gesamtheit der dargestellten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten wird damit die Eignung elektrochemischer Speicher als Kurzfristspeicher für die Energiewende demonstriert.