

forschung im fokus

[Flipped Mastery: Probleme lösen lernen]

Lehransatz in der akademischen Lehre | 8

[LogIKTram]

Nachhaltiger straßenbahnbasierter Gütertransport | 66

[Export Credits and the Climate Transition]

Klimafinanzierung für „Net Zero“-Ziele | 108



Elektrische Energiespeicherung mit Batterien und Brennstoffzellen

Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler

Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung am Institut für nachhaltige Energiesysteme (INES) der Hochschule Offenburg widmet sich der Batterie- und Brennstoffzellentechnik. Schwerpunkt ist die Modellierung und Simulation – von der Elektrochemie bis zur Zustandsdiagnose. Experimentelle Untersuchungen finden im vollausgestatteten Batterielabor Enerlab 4.0 statt. Ziel ist die verständnisgetriebene Entwicklung und Optimierung von Brennstoffzellen und Batterien.

The research group Electrical Energy Storage at the Institute of Sustainable Energy Systems (INES) at Offenburg University of Applied Sciences focuses on battery and fuel cell technology. Electrochemical energy storage and conversion play a key role in an energy economy with large amounts of solar and wind power; they are also key components of electromobility. We develop and apply multi-scale and multi-physics mathematical models. We furthermore carry out experimental cell characterization. Goal of the activities is to understand and improve fuel cells and batteries.



Die Forschungsgruppe

Die Speicherung von Energie mit elektrochemischen Wandlern ist ein integraler Bestandteil einer Energieversorgung mit hohem Anteil an Sonnen- und Windstrom sowie Kernkomponente der Elektromobilität. Zur elektrochemischen Energietechnik gehören Batterien, Brennstoffzellen und Elektrolyseure. Sie erlauben die gegenseitige Umwandlung von elektrischer Energie und chemischer Energie. Der hohe Wirkungsgrad der Umwandlung und die hohe Energiedichte chemischer Energieträger haben diese Technologien zu einem festen Bestandteil unseres alltäglichen Lebens werden lassen.

Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung ist am Institut für nachhaltige Energiesysteme (INES) der Hochschule Offenburg angesiedelt. Sie widmet sich im Schwerpunkt der Lithium-Ionen-Batterietechnik und ist auch im Bereich der Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellentechnik aktiv. Ziel ist die Verbesserung von Leistung, Lebensdauer, Energiedichte und Sicherheit. Die Aktivitäten werden im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten, Industriekooperationen sowie Doktorarbeiten und studentischen Arbeiten durchgeführt. Die Forschungsgruppe besteht aus etwa zehn akademischen und studentischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (Abbildung 1).

Abb. 1: Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung unter Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Bessler an der Hochschule Offenburg (4.v.l.).

Methoden und Ausstattung

Methodischer Schwerpunkt ist die Modellierung und Simulation. Die Forschungsgruppe entwickelt detaillierte Modelle („digitale Zwillinge“), um virtuelle Experimente an Batterien und Brennstoffzellen durchzuführen. Die Verwendung von Computersimulationen erlaubt dabei eine verständnisgetriebene Entwicklung unter Einsparung von Kosten und Zeit. Modelle reichen von der Elektrode bis zum System und von der Elementarkinetik bis zum Wärmetransport. Zur Methodik zählt auch die Entwicklung von numerischer Simulationssoftware, insbesondere der hauseigene Code DENIS (“Detailed Electrochemistry and Numerical Impedance Simulation”). Die Gruppe verwendet außerdem die Simulationscodes MATLAB für semiempirische Modellierung, SIMULINK für Systemsimulationen, COMSOL für die numerische Strömungsmechanik und CANTERA für die Auswertung elektrochemischer Reaktionsmechanismen.

Experimente werden im institutseigenen, vollausgestatteten Batterielabor durchgeführt (Abbildung 2). Das Labor stellt eine umfangreiche in-operando und post-mortem Diagnostik für Batteriezellen oder auch Fotovoltaikzellen zur Verfügung. Es können Leistungs-, Zyklen- und Alterungstests unter definierten thermischen Randbedingungen ebenso durchgeführt werden wie Charakterisierungen von Zellkapazität, Innenwiderstand und Impedanz, die Öffnung von Lithium-Ionen-Zellen und die Post-Mortem-Diagnostik von Elektroden und anderen Zellbestandteilen. Die Ausstattung umfasst:

- Batteriezyklierer für verschiedene Zelltypen für Maximalströme zwischen 0,5 A und 600 A
- Elektrochemische Impedanzspektrometer (EIS)
- fünf Temperaturprüfschränke verschiedener Größen mit Sicherheitsausstattung für Lithium-Ionen-Batterien und Bleibatterien
- Glovebox zum Arbeiten unter Schutzgasatmosphäre
- Ausstattung zum Öffnen kommerzieller Lithium-Ionen-Zellen und Ernten von Zellkomponenten
- Probenpräparation für Rasterelektronenmikroskopie, Lichtmikroskopie und chemische Analytik

Dieses Labor wurde im Rahmen des Projekts Enerlab 4.0 – Diagnostisches Batterie- und Photovoltaiklabor für Energiefragestellungen der Industrie 4.0 unter Finanzierung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung aufgebaut.

Abb. 2: Batterielabor am INES: Im Vordergrund ist die Glovebox zur Öffnung und Präparation von Batterien zu sehen, im Hintergrund Temperaturprüfschränke. Bild: Mehmet Yagci, Hochschule Offenburg



Alterung und Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien

Die immer noch unzureichende Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien stellt die Automobilindustrie vor große Herausforderungen. Trotz stetig zunehmender Verkaufszahlen von batterieelektrischen Fahrzeugen ist unklar, welche langfristigen Gewährleistungsrisiken bezüglich defekter Batterien bestehen. Noch höhere Ansprüche werden an Heimspeicher gestellt: Die Lebensdauer sollte mindestens 20 Jahre betragen, aber die Produkte sind noch zu kurz auf dem Markt, um dies beurteilen zu können. In mehreren Forschungsprojekten werden daher Alterungsmechanismen von Lithium-Ionen-Batterien erforscht. Das Graduiertenkolleg SiMET – Simulation mechanischer, elektrischer und thermischer Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Hier arbeitet das INES unter anderem an mikromechanischen Modellen der Batterieelektroden: Lade- und Entladezyklen führen zu Volumenausdehnungen der Elektrodenbestandteile, welche langfristig die Elektrode zerstören können. Das Projekt Betriebsgrenzen von Schnellladung wird von dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz finanziert. Eine schnelle Aufladung der Batterie ist insbesondere für Elektroautos wichtig, um auch längere Fahrstrecken mit nur kurzen Ladepausen zu ermöglichen. Jedoch leidet die Lebensdauer der Batterie unter vielen Schnellladevorgängen. Um dies besser zu verstehen,

hat die Forschungsgruppe das sogenannte Lithium-Plating als schädliche Nebenreaktion in ein mathematisches Modell einer Lithium-Ionen-Zelle eingebaut. Damit lässt sich die Alterung der Batterie vorhersagen. Ein Ergebnis dieser Berechnungen ist in Abbildung 3 dargestellt. Je schneller geladen werden soll und je niedriger die Batterietemperatur ist, desto schneller altert die Batterie.

Zustandsdiagnostik: SOC und SOH

Die Anzeige des Ladezustands (englisch: state of charge, SOC) ist für die Benutzer von Batterien von höchster Wichtigkeit. Heute wird standardmäßig die SOC-Bestimmung von einem in die Batterie integrierten Mikrocomputer durchgeführt. Die Ergebnisse sind allerdings oft ungenau, insbesondere bei gealterten Zellen. In diesem Fall wäre auch die Anzeige von Gesundheitszustand (englisch: state of health, SOH) wünschenswert. Deshalb wurde ein neues Verfahren zur Bestimmung von SOC und SOH von Lithium-Ionen-Batterien entwickelt und patentiert. Es beruht auf der Auswertung von Spannungs- und Strommessungen mit einem mathematischen Batteriemodell. Das Verfahren ist genauer und robuster als Standardverfahren, die auf Ladungszählung beruhen, und es ist numerisch einfacher umzusetzen als andere modellbasierte Verfahren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4a-c gezeigt. Das neue Verfahren ist auch bei gealterten Zellen zuverlässig und erlaubt zusätzlich die Bestimmung des Gesundheitszustands.

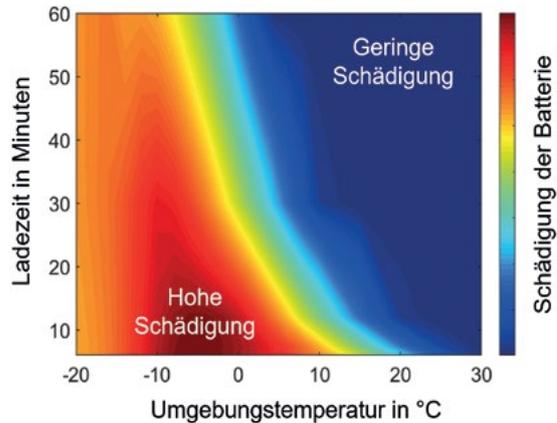


Abb. 3: Vorhersage der Batteriealterung bei Schnellladung für verschiedene Außentemperaturen. Der rote Bereich bedeutet schnelle Alterung.

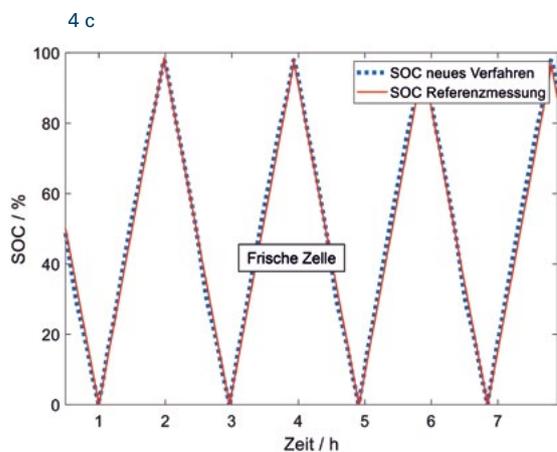
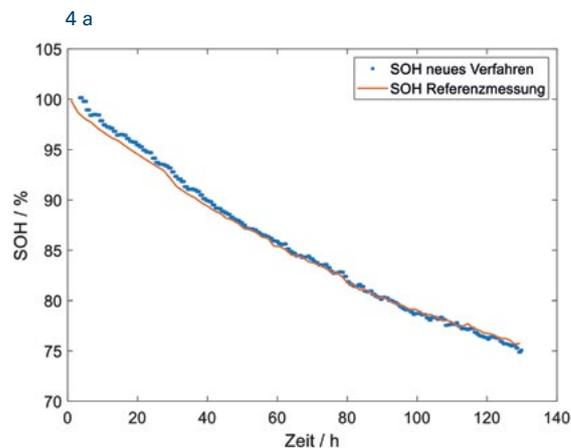
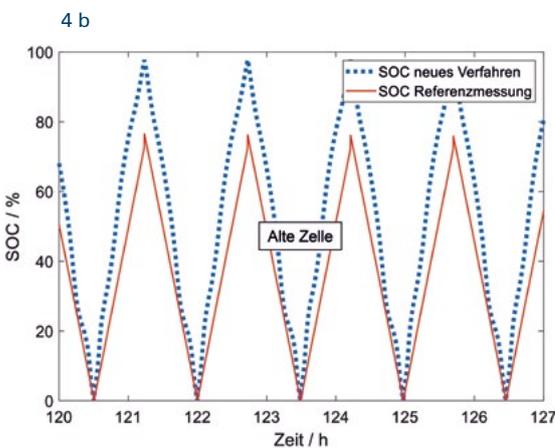


Abb. 4 a-c:

Ergebnisse des neuen Verfahrens zur Zustandsbestimmung für eine Lithium-Ionen-Batterie für Elektromobilität. Unten links: Ladezustand SOC einer frischen Zelle. Unten rechts: Ladezustand SOC einer gealterten Zelle. Den Ergebnissen des neuen Verfahrens sind Messungen durch Ladungszählung gegenübergestellt. Oben rechts: Gesundheitszustand SOH, als Funktion der Zyklierungsdauer.

Brennstoffzelle

Brennstoffzellen und Wasserstoff gelten aufgrund ihrer hohen Energiedichte als künftige Alternative zu Batterien für den Langstrecken- oder Schwerlastverkehr. Das Betriebsverhalten ist allerdings durch komplexe Transportvorgänge geprägt, weil Gase (Wasserstoff und Luft) von außen zugeführt und Wasser (dampfförmig und flüssig) abgeführt werden müssen. Im Projekt EPISTEL – Elektrochemische Druckimpedanzspektroskopie für die Charakterisierung von Transportvorgängen in elektrochemischen Zellen, das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziert wird, entwickelt die Gruppe eine neue Diagnosemethode für Brennstoffzellen, um diese Transportvorgänge zu analysieren. Hierfür wird ein dynamisch variierender Gasdruck als Messgröße herangezogen (Abbildung 5). Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit einem französischen Projektpartner, der Université de Lorraine, durchgeführt, der für die experimentellen Untersuchungen verantwortlich ist.

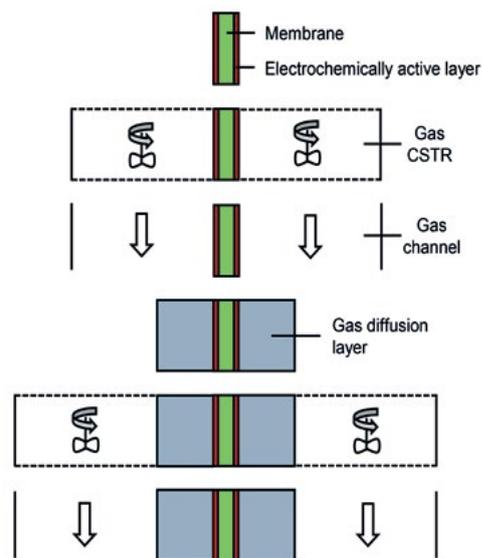


Abb. 5:

Verschiedene Transportsituationen in einer Brennstoffzelle. Anhand der zunehmenden Komplexität wird die neuartige EPIS-Diagnostik entwickelt.



Abb. 6:

Fotovoltaik-Teststand für das Mikro-PV Projekt: René Behmann vom Institut für nachhaltige Energiesysteme (Mitte) mit den Projektleitern Prof. Alfred Isele (links) und Prof. Dr. Wolfgang Bessler (rechts) auf dem Dachlabor der Hochschule Offenburg

AUTOR



Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler
 Professur für Prozesssimulations- und
 Optimierungsverfahren
 Institut für nachhaltige Energiesysteme
 wolfgang.bessler@hs-offenburg.de

Batterie im System: Balkonsolaranlage

Eine sogenannte Balkonsolaranlage ist eine kleine Fotovoltaik-(PV)-Anlage, die nur aus einem einzelnen Modul besteht. Diese Anlagen sind insbesondere interessant für Mieter, die durch einfache Montage auf Balkonen, Terrassen oder Fassaden die Möglichkeiten erhalten, an der Energiewende mitzuwirken. Im Projekt Mikro-PV-Anlage mit Batterie-Kleinspeicher, das von der badenova AG finanziert wird, entwickelt das INES einen Batteriespeicher für eine solche Anlage. Dadurch soll der Eigenverbrauch und damit die Wirtschaftlichkeit erhöht werden. Die Abbildung 6 zeigt das Dachlabor der Hochschule Offenburg, auf dem verschiedene Solarmodule und Wechselrichter getestet werden.

Zusammenfassung

Die Batterie- und Brennstoffzellentechnik spielt eine große Rolle in der stationären und mobilen Energieversorgung und damit für das Gelingen der Energiewende. Die Forschungsprojekte am Institut für nachhaltige Energiesysteme (INES) der Hochschule Offenburg behandeln aktuelle Fragestellungen wie die Batterielebensdauer oder die Brennstoffzellendiagnostik. Gemeinsam mit ihren Partnern aus Forschung und Industrie arbeitet das Institut an dem Ziel langlebiger, kostengünstiger und leistungsfähiger elektrischer Energiespeicher und -wandler.