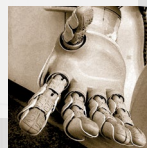


# forschung im fokus

Ausgabe Nr. 23 / 2020



Autonomie des Menschen  
versus autonome Systeme



Regio  
WIN<sub>20</sub>  
30  
RIZ Energie  
Regionales Innovationszentrum  
für Energietechnik

# Elektrische Energiespeicherung mit Batterien und Brennstoffzellen

Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler

Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung am Institut für Energiesystemtechnik (INES) der Hochschule Offenburg widmet sich der Batterie- und Brennstoffzellentechnik. Schwerpunkt ist die Modellierung und Simulation auf unterschiedlichen Skalen – von der Elektrochemie zum Energiesystem. In dem neuen Batterielabor Enerlab 4.0 finden Experimente statt. Ziel ist die verständnisgetriebene Entwicklung und Optimierung von Brennstoffzellen und Batterien.

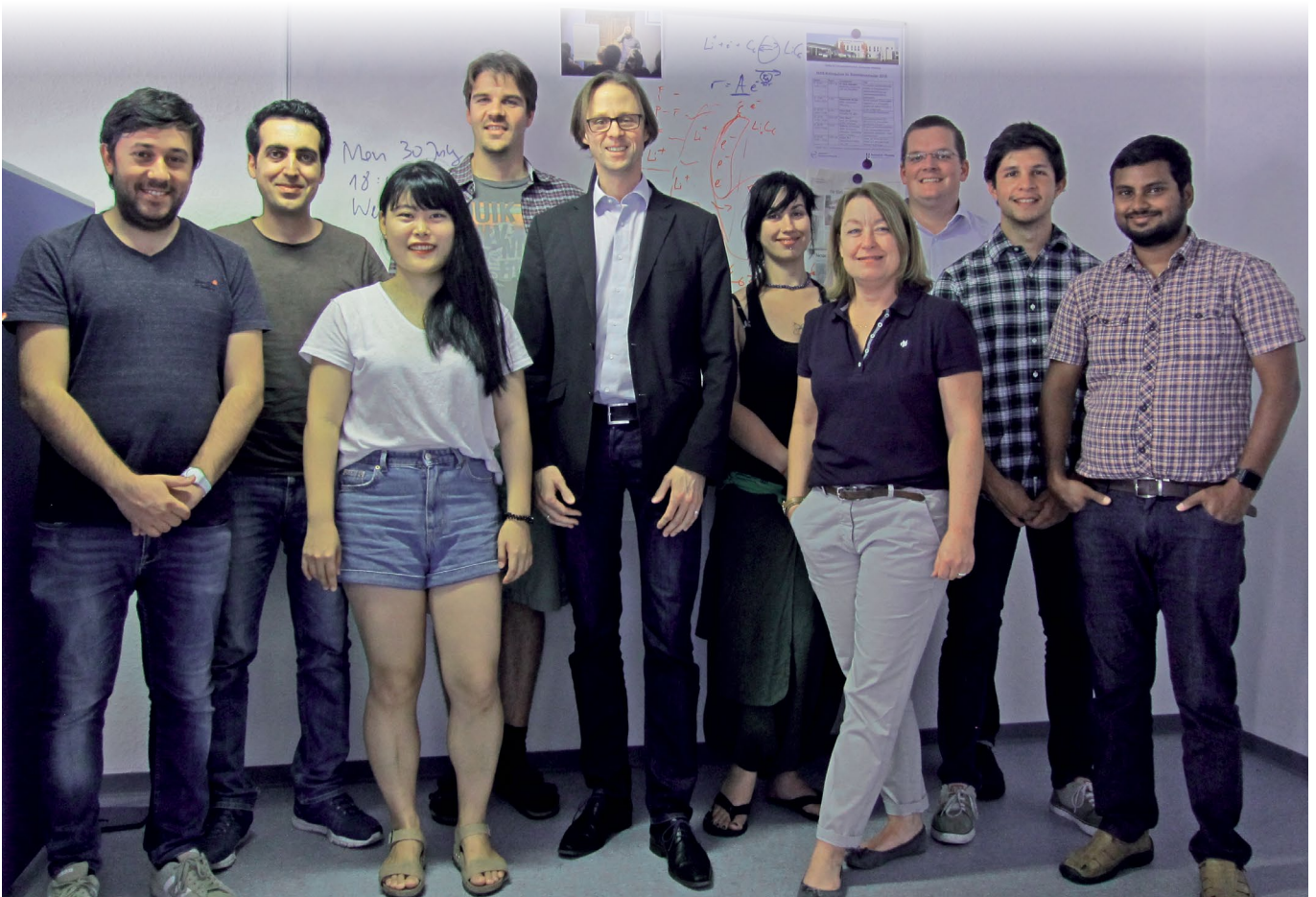
*The research group Electrical Energy Storage at the Institute of Energy Systems Technology (INES) at Offenburg University of Applied Sciences focuses on battery and fuel cell technology. Electrochemical energy storage and conversion play a key role in an energy economy with large amounts of solar and 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

Abb. 1:  
Forschungsgruppe  
Elektrische Energie-  
speicherung unter der  
Leitung von Prof. Dr.  
Wolfgang Bessler

Die Speicherung von Energie mit elektrochemischen Wandlern ist ein integraler Bestandteil einer Energieversorgung mit einem hohen Anteil an Sonnen- und Windstrom sowie Kernkomponente der Elektromobilität. Zur elektrochemischen Energietechnik gehören Batterien, Brennstoffzellen und Elektroly-

seure. Sie erlauben die gegenseitige Umwandlung von elektrischer und chemischer Energie. Der hohe Wirkungsgrad der Umwandlung und die hohe Energiedichte chemischer Energieträger haben diese Technologien zu einem festen Bestandteil unseres täglichen Lebens werden lassen.



Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung ist am Institut für Energiesystemtechnik (INES) der Hochschule angesiedelt. Wir widmen uns der Batterie- und Brennstoffzellentechnik. Schwerpunkt ist die Entwicklung detaillierter Modelle und Simulationsprogramme, um virtuelle Experimente an Batterien und Brennstoffzellen durchführen zu können. Die Verwendung von Computersimulationen erlaubt uns dabei eine verständnisgetriebene Entwicklung unter Einsparung von Kosten und Zeit. Parallel betreiben wir das Enerlab 4.0 – das „Diagnostische Batterie- und Photovoltaiklabor für Energiefragestellungen der Industrie 4.0.“ Hier stehen experimentelle Batterieteststände zur Zellcharakterisierung und Unterstützung der Modellierung zur Verfügung. Ziel ist die Verbesserung von Leistung, Lebensdauer, Energiedichte und Sicherheit elektrochemischer Wandler. 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 Mitarbeitenden (Abbildung 1).

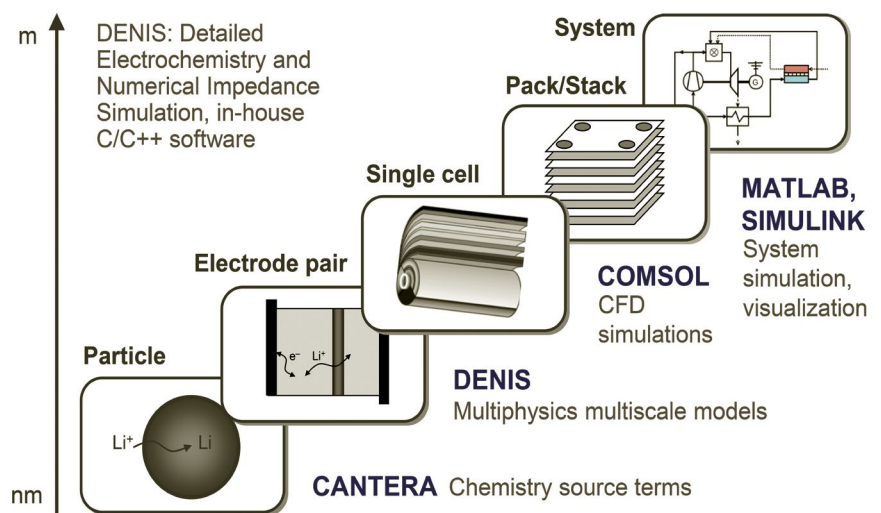
Wir widmen uns folgenden Forschungs- und Entwicklungsthemen:

- Lithium-Ionen-Batterien für stationäre und mobile Anwendungen mit Schwerpunkt auf Alterungsmechanismen, Lebensdauervorhersage und Wärmemanagement
- Zustandsdiagnostik (Lade- und Gesundheitszustand) von Batterien
- Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle und Wasserstofftechnologien
- neue Diagnosemethoden, wie die elektrochemische Druckimpedanzspektroskopie
- Energiesystemtechnik, insbesondere Photovoltaik-Batteriesysteme und Elektrofahrzeuge mit Schwerpunkt auf wechselseitiger Beeinflussung von System und Batteriezellen

## Methoden und Ausstattung

Methodische Klammer der vielseitigen Projekte ist die Multi-Skalen- und Multi-Physik-Modellierung (Abb. 2). Die Modelle reichen von der Elektrode bis zum System und von der Elementarkinetik zum Wärmetransport. Zur Methodik zählt auch die Entwicklung von numerischer Simulationssoftware, insbesondere unserem hauseigenen Code DENIS („Detailed Electrochemistry and Numerical Impedance

Simulation“) [1]. Wir verwenden außerdem die Simulationscodes MATLAB/SIMULINK für Systemsimulationen, COMSOL für die numerische Strömungsmechanik und CANTERA für die Auswertung elektrochemischer Reaktionsmechanismen.



„Im „Diagnostischen Batterie- und Photovoltaiklabor für Energiefragestellungen der Industrie 4.0.“ kurz Enerlab 4.0, werden in-situ und post-mortem Batterieuntersuchungen für dezentrale Energiespeicher und -erzeuger durchgeführt. Das Labor wurde 2019 in Betrieb genommen (Abb. 3). 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 (0,5 A - 600 A)
- Elektrochemische Impedanzspektrometer (EIS)
- Fünf Temperaturprüfschränke verschiedener Größen mit Sicherheitsausstattung für Lithium-Ionen- 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

Abb. 2: Multi-Skalen- und Multi-Physik-Modellierung von Batterien und Brennstoffzellen



Abb. 3:  
Das 2019 in Betrieb genommene Batterielabor Enerlab 4.0;  
Bild: Mehmet Yagci, HSO

## Exemplarische Projekte

Im Folgenden werden drei exemplarische Projekte aus der Forschungsgruppe vorgestellt. Das Graduiertenkolleg SiMET („Simulation mechanischer, elektrischer und thermischer Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien“) wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Eine Doktorandin und ein Doktorand fertigen im Rahmen dieses Projekts in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ihre Promotionen an. Ziel der Arbeiten ist es, ein vertieftes Verständnis der elektrochemischen Vorgänge in den Batterieelektroden zu gewinnen. Unter anderem untersuchen wir die Batteriealterung bei Schnellladung. Eine schnelle Aufladung der Batterie ist insbesondere für Elektroautos wichtig, um auch längere Fahrtstrecken mit nur kurzen Ladeпаusen zu ermöglichen. Jedoch leidet die Lebensdauer der Batterie unter vielen Schnellladevorgängen. Um dies besser zu verstehen, haben wir 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 unserer Berechnungen ist in Abb. 4 dargestellt. Je schneller geladen werden soll und je niedriger die Batterietemperatur ist, desto schneller altert die Batterie.

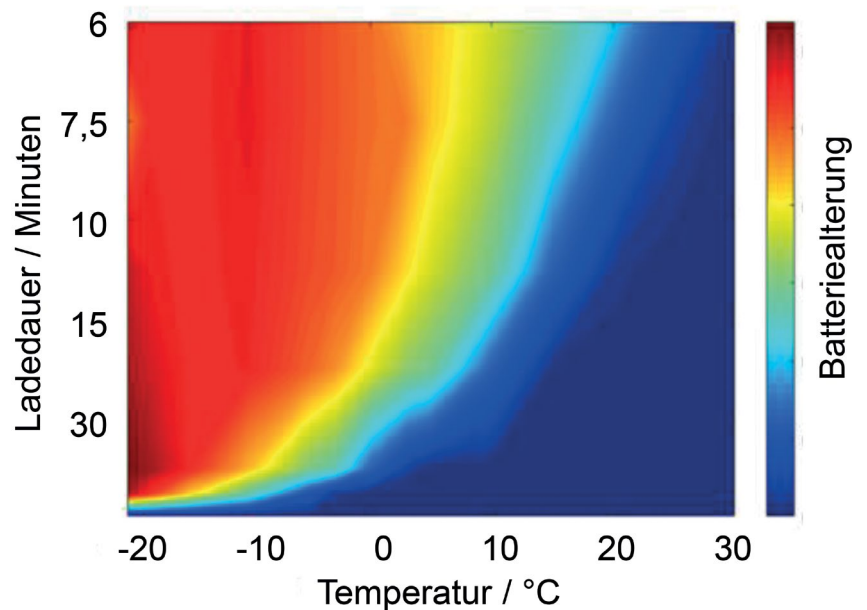


Abb. 4:  
Berechnung der Batteriealterung bei Schnellladung für verschiedene Außentemperaturen. Der rote Bereich bedeutet schnelle Alterung.

Im Projekt LIBlife („Modellbasierte Gesundheitsdiagnostik von Lithium-Ionen-Batterien“) fördert das Land Baden-Württemberg die Entwicklung von Ladezustands- und Alterungszustandsanzeigen von Heimspeicherbatterien. Heimspeicher werden immer mehr für die Speicherung von selbst erzeugtem Solarstrom eingesetzt. Die Lebensdauer ist allerdings noch unklar: Sie sollte mindestens 20 Jahre betragen, aber die Produkte sind erst zu kurz auf dem Markt, um dies beurteilen zu können. Bisher haben diese Batterien nur eine Anzeige für den Ladezustand. Mit unseren neu entwickelten Algorithmen kann auch der Alterungszustand bestimmt werden. Dies ist anspruchsvoll, da die Bestimmung im laufenden Betrieb erfolgen soll. Außerdem soll mit dem gewonnenen Wissen die Restlebensdauer der Batterie vorhergesagt werden. Dies hilft den beteiligten Unternehmen, ihre Speicher zu verbessern und prädiktiv warten zu können. In Abb. 5 ist gezeigt, wie im Rahmen des Projekts eine Lithium-Ionen-Batteriezelle geöffnet wird, um deren innere Bestandteile zu untersuchen.

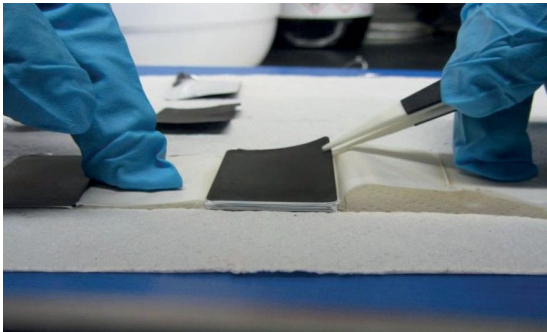


Abb. 5:  
Die Bestandteile einer Lithium-Ionen-Batterie werden entnommen, um sie im Mikroskop untersuchen zu können  
Bild: Mehmet Yagci, HSO

Im Projekt EPISTEL („Elektrochemische Druckimpedanzspektroskopie für die Charakterisierung von Transportvorgängen in elektrochemischen Zellen“) wird eine neue Diagnosemethode für Brennstoffzellen entwickelt. Brennstoffzellen 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. In unserem Projekt entwickeln wir eine Methode, um diese Transportvorgänge zu analysieren. Hierfür wird ein dynamisch variierender Gasdruck als Messgröße herangezogen (Abb. 6). Das Projekt wird in

Zusammenarbeit mit einem französischen Projektpartner, der Universität de Lorraine, durchgeführt, der für die experimentellen Untersuchungen verantwortlich ist.

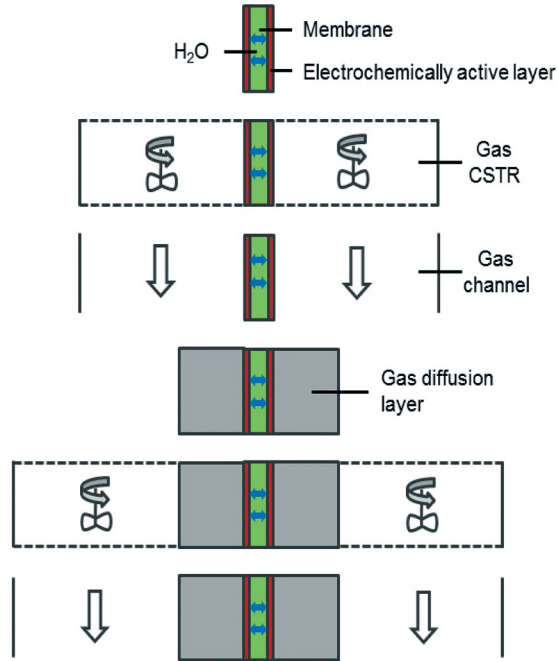


Abb. 6:  
Verschiedene Transportsituationen in einer Brennstoffzelle. Anhand der zunehmenden Komplexität wird die neuartige EPIS-Diagnostik entwickelt.

## Zusammenfassung

Die Batterie- und Brennstoffzellentechnik spielt eine zunehmende Rolle in der stationären und mobilen Energieversorgung. Die Forschungsprojekte am Institut für Energiesystemtechnik (INES) der Hochschule Offenburg behandeln aktuelle Fragestellungen wie die Batterielebensdauer oder die Brennstoffzellendiagnostik. Gemeinsam mit unseren Partnern aus Forschung und Industrie arbeiten wir an dem Ziel langlebiger, kostengünstiger und leistungsfähiger elektrischer Energiespeicher und -wandler.

### AUTOR



Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler  
Fakultät M+V, Institut INES,  
Professur für Prozesssimulations- und  
Optimierungsverfahren, Forschungsgruppe  
Elektrische Energiespeicherung  
wolfgang.bessler@hs-offenburg.de