Ultraschallmessung und Modellierung von magnetohydraulischen Strömungen in Zink-Slurry-Batterien

L. Feierabend[1*], C. Kupsch[2], R. Nauber[2], S. Burgmann[1], L. Büttner[2], B. Oberschachtsiek[1], J. Czarske[2], A. Heinzel[1]

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) GmbH, Duisburg (1),
Professur für Mess- und Sensorsystemtechnik, TU Dresden (2),
l.feierabend@zbt-duisburg.de(*)

Bedarf für Energiespeicherung mit hoher Kapazität:

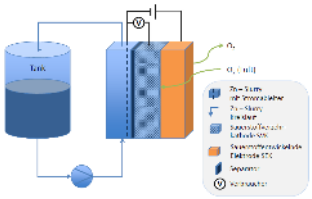
- Tertiäre Netzregelung bei steigendem Anteil der erneuerbaren Energien
- Dezentrale Stromversorgung
- Energiemanagement von Industrieanlagen
- Elektromobilität

Hohes Potential von Zink-Luft-Batterien:

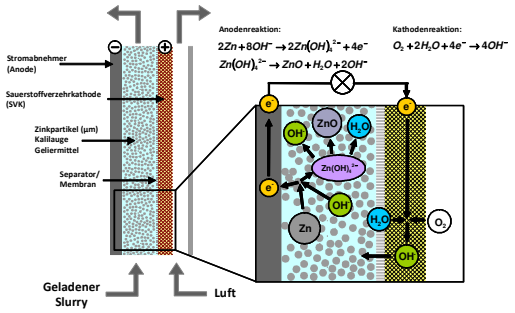
- Hohe Energiedichte: bis zu dreimal höher als bei Li-Ionen-Akkus
- Hohe Verfügbarkeit, geringe Kosten der aktiven Materialien

Hydraulisch wiederaufladbare Zn-Luft-Batterie

- Trennung von Leistung und Kapazität (vgl. Flow-Batterie und Brennstoffzelle)
- Hohe aktive Oberfläche (mikroskopische Zinkpartikel im Elektrolyten)
  - Hohe Leistungsdichten möglich (bei ausreichender Kontaktierung!)
- Bewegte Elektrodenfläche (Partikeloberfläche)
  - Vermeidung von Shape-Change-Effekten
  - Potential für hohe Zyklenstabilität



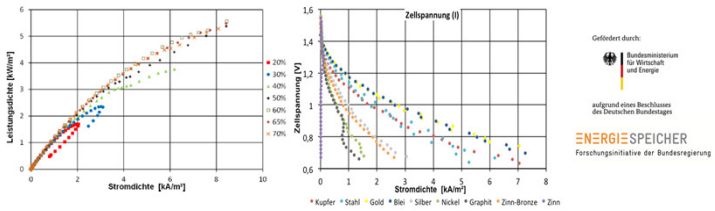
Schema einer hydraulisch wiederaufladbaren Zn-Luft-Batterie (Quelle: Universität Duisburg-Essen)



Schema einer Zink-Slurry-Entladezelle

Stand der Technik:

- Bisher weltweit keine sekundären Zink-Luft-Batterien mit ausreichender Zyklenstabilität und gleichzeitig technisch relevanter Leistungsfähigkeit demonstriert
- Aufwendige Versuche erlauben nur begrenzte Parametervariation
- Bisher nur integrale Messungen der elektrischen Zellperformance möglich
- In einem gemeinsamen BMWi-Projekt (ZnPLUS, FKZ 03ESP217C) mit u.a. der Universität Duisburg-Essen konnten hohe Leistungsdichten demonstriert werden (> 5 kW/m²)



Einfluss des Zinkgehalts und der Stromableitermaterialien auf die Performance einer durchströmten Zink-Luft-Zelle (Quelle: Universität Duisburg-Essen)

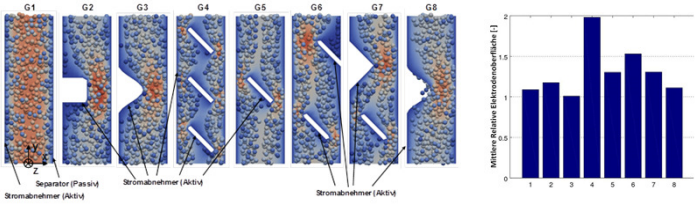
- Detaillierte Zusammenhänge zwischen komplexer Zweiphasenströmung und Reaktionsmechanismen auf der Anodenseite noch nicht hinreichend erforscht:
  - Lokale Strömungsvariation und inhomogene Durchmischung kann starken Einfluss auf die Zellperformance, Zyklenfestigkeit und Entladetiefen haben
  - Intransparente Zinkpaste: etablierte (laser-)optische Strömungsmessmethoden nicht anwendbar

Ziel des Forschungsvorhabens:

- Methodenentwicklung zur detaillierten Untersuchung und Verbesserung von durchströmten, sekundären Zink-Luft-Batterien:
  - Hochauflösender Ultraschall-Messsensor für intransparente Suspensionsströmungen
  - Simulationsmodelle zur Untersuchung der gekoppelten Transportphänomene und Reaktionsmechanismen im Anodenkanal
- Vertiefung des Grundlagenverständnisses der Prozesse auf der Anodenseite
- Entwicklung von Auslegungsrichtlinien für durchströmte Zn-Slurry-Anoden

Vorarbeiten am ZBT:

- Strömungssimulation zur Untersuchung der Zweiphasenströmung des Slurrys: CFD-DEM-Methode, nicht-Newtonsches Fließverhalten, Partikelkontaktierung

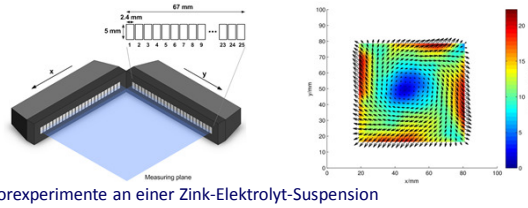


3D-CFD-DEM-Simulation eines strukturviskosen Elektrolyten mit 15 Vol-% Partikelbeladung (monodispers, sphärisch) zur Untersuchung der aktiven Elektrodenoberfläche (Zielgröße: gesamte mit dem Stromableiter in Kontakt stehende Partikeloberfläche)

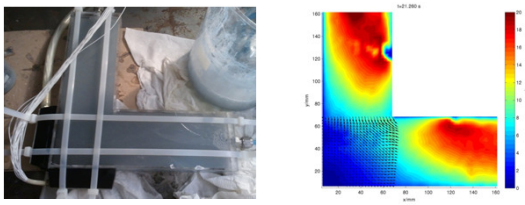
- µPIV-Messung im Mikrokanal der Slurryströmung zur Überprüfung der Simulation

Vorarbeiten an der MST:

- Entwicklung eines Ultraschall-Doppler-Velozimetrie-Messsystems für homogene Metallschmelzen

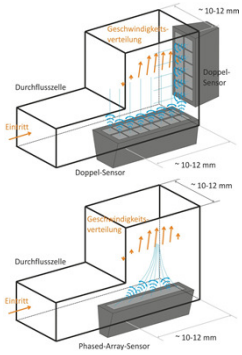


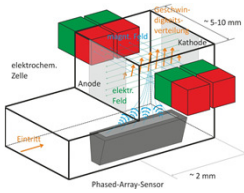
- Erste Vorexperimente an einer Zink-Elektrolyt-Suspension



Arbeitsplan:

- Strömungsmessung und –simulation des komplexen Zweiphasen-Fluids (Zinkpaste)
  - Verwendung einer reinen Durchflusszelle als Referenz
  - Verwendung der vorhandenen CFD-DEM-Methode
  - Verwendung eines makroskopischen, linearen Ultraschall-Doppler-Velozimetrie-Messsystems
  - Abgleich der CFD-DEM-Strömungssimulation mit der makroskopischen UDV-Messung
- Entwicklung und Validierung eines hochauflösenden, fokussierenden UDV-Messsystems
  - Validierung an der bereits vermessenen und simulierten Durchflusszelle
- Entwicklung eines 3D-Simulationsmodells für durchströmte Zn-Luft-Batterien
  - CFD-DEM-Methode als Basis
  - Stofftransport, Energietransport, Ladungstransport
  - Elektrochemische Reaktionen an den bewegten, kontaktierenden Zink-Partikeln
  - Einfluss von Magnetfeldern auf Stoff-, Impuls- und Ladungstransport
  - Vereinfachte Kathodenmodellierung
- Strömungsmechanische und elektrochemische Untersuchung einer Zn-Slurry-Batteriezelle
  - Strömungsmessung mithilfe des neu entwickelten, hochauflösenden UDV-Messsystems
  - Messung von Zell-Leistungsdaten/Kennlinien
  - Strömungsmechanische und elektrochemische Simulation mithilfe des neuen Softwaremodells
  - Untersuchung des Einflusses von Magnetfeldern auf die lokalen Strömungsphänomene und die elektrochemische Leistung





ALLIANZ INDUSTRIE FORSCHUNG
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Das Forschungsvorhaben IGF 19108BG (Laufzeit 01.04.2016 - 30.09.2018) wird im Programm zur Förderung der "Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)" vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über die AiF finanziert.