

Festkörperbatterien im Höhenflug – Analyse und Simulation ihrer thermischen Besonderheiten für die Luft- und Raumfahrt

Christopher Mauersberger^{1,*}, Per Hakon Pedersen Finne², Alexander Kunz¹, Andreas Jossen¹

¹ Technische Universität München (TUM), School of Engineering and Design, Department of Energy and Process Engineering, Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik, Arcisstr. 21, 80333 München, Deutschland

² Technische Universität München (TUM), School of Natural Sciences, Department of Chemistry, Lehrstuhl für Technische Elektrochemie, Arcisstr. 21, 80333 München, Deutschland

* Korrespondenzautor: chris.mauersberger@tum.de

Motivation und Einführung

- Elektrisches Fliegen bringt neue Herausforderungen mit sich, z.B. Gewichthsoptimierung sowie Thermomanagement beim Laden oder bei hohen Entladeraten zum Start [1-3]
- Festkörperbatterien sind vielversprechend hinsichtlich Energiedichte und thermischer Sicherheit, daher potenzielle Kandidaten für elektrische Kurzflüge [1,4]
- Hohe Betriebstemperaturen können Zellperformance und nutzbare Energie steigern sowie Kühlaufwand verringern, gehen aber häufig mit schnellerer Alterung einher [5-7]. Bieten sulfidische Festkörperbatterien hier bessere Eigenschaften?

Zentrale Ergebnisse

- Betriebstemperatur für Zellperformance und -alterung sulfidischer Festkörperbatterien ist wesentlich, Betriebsstrategien müssen für geringere Alterung jedoch angepasst und optimale Temperaturen ermittelt werden
- Wärmestrom ist abhängig von Betriebstemperaturen und Drücken, bei höheren Betriebstemperaturen sinken Überspannungen und somit Wärmedissipation
- Höhere Betriebstemperaturen und niedrigerer Aufwand für Thermomanagement führen zu potenziell höherer Energiedichte und somit Vorteilen im elektrischen Flug

Elektrochemisches Hochtemperaturverhalten

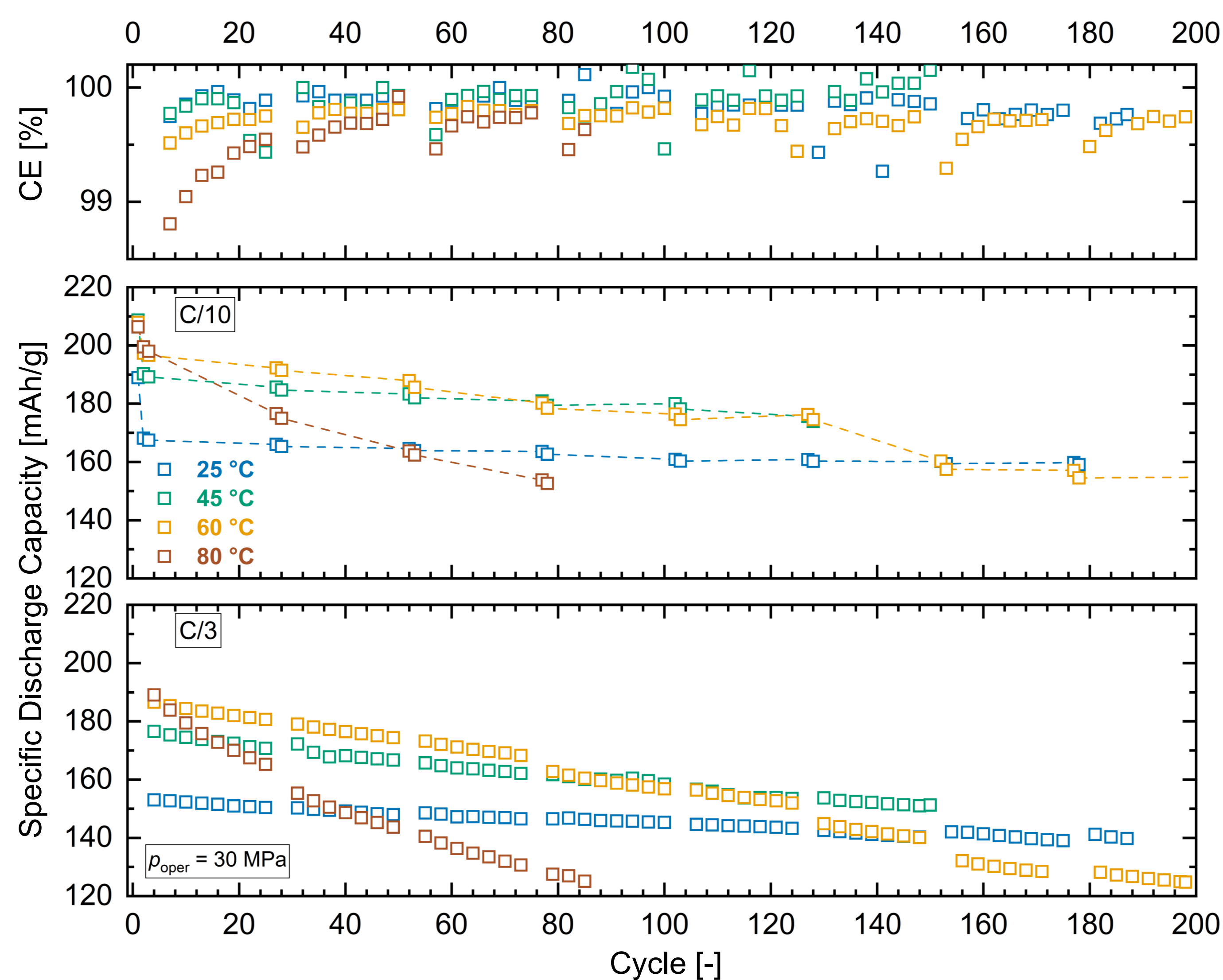


Abbildung 1 – Coulombsche Effizienz (CE) und spezifische Entladekapazität pro Gramm Kathodenaktivmaterial sulfidischer Festkörperpouchzellen für Temperaturen von 25 °C, 45 °C, 60 °C und 80 °C nach Zyklisierung mit Entladeraten von C/10 und C/3. Zellchemie: InLi|LPSC|LPSC|NMC82. Nennkapazität: 3.4 mAh. Elektroden Durchmesser: 1.2 cm. Zyklisierungsdruck: 30 MPa. Separatordicke: ca. 600 µm. (Ent-)Ladeschlussspannung: 2.6 V bzw. 4.2 V vs. Li/Li*.

Kalorimetrische Messungen

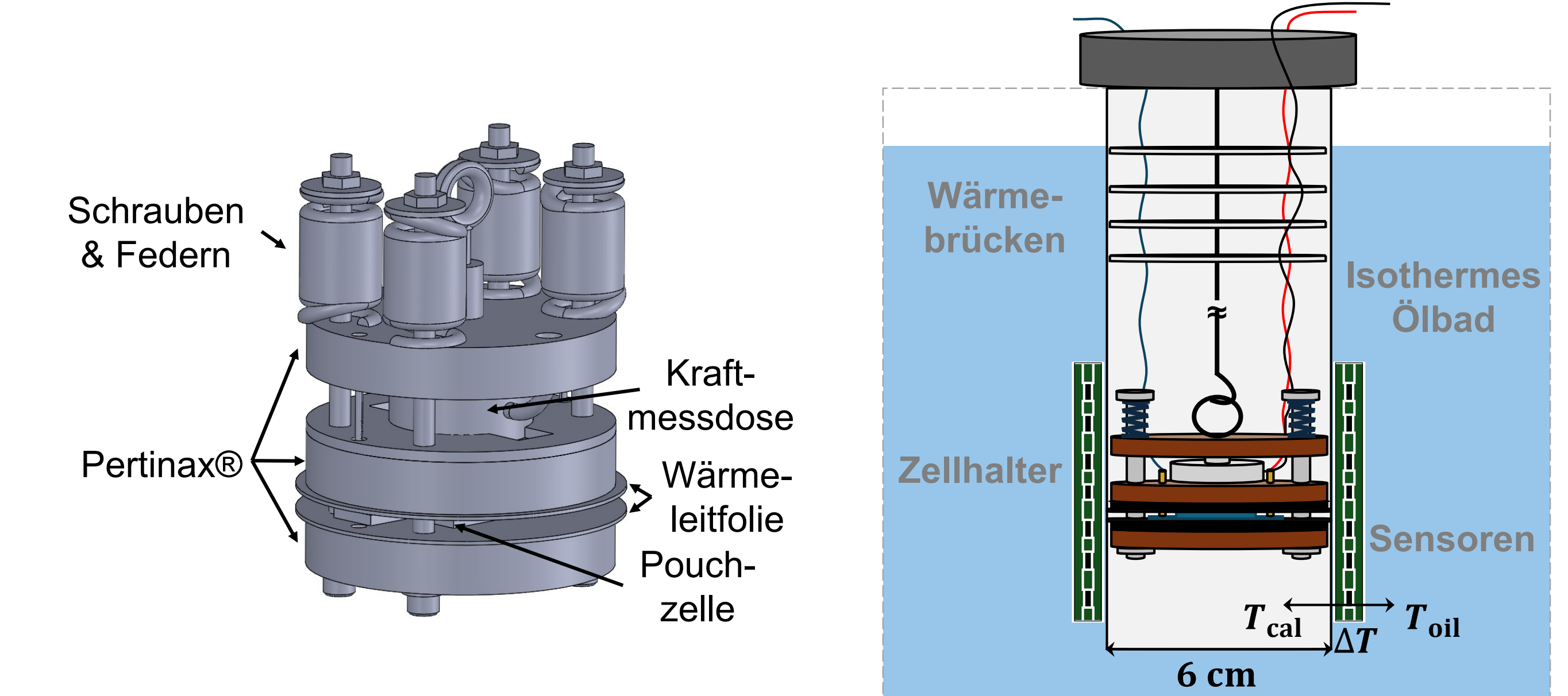


Abbildung 2 – Modell des Zellhalters (links) zur Ermöglichung der kalorimetrischen Messungen der sulfidischen Festkörperzelle bei Drücken von 30 MPa. Schematische Darstellung (rechts) des Zellhalters innerhalb des Kalorimeters.

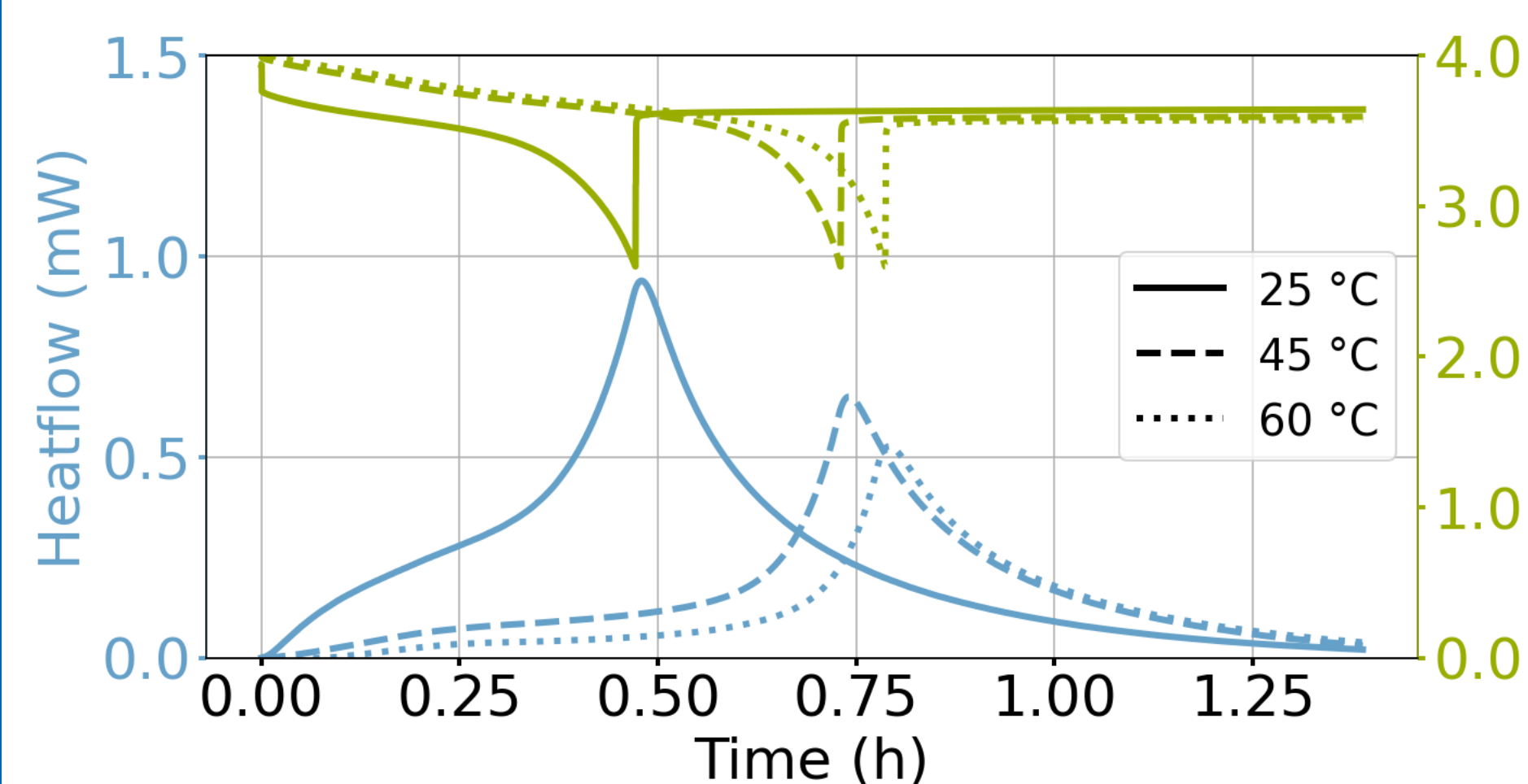


Abbildung 3 – Ergebnisse der kalorimetrischen Messungen für Entladung mit 1 C der sulfidischen Festkörperzelle für Temperaturen von 25 °C, 45 °C und 60 °C.

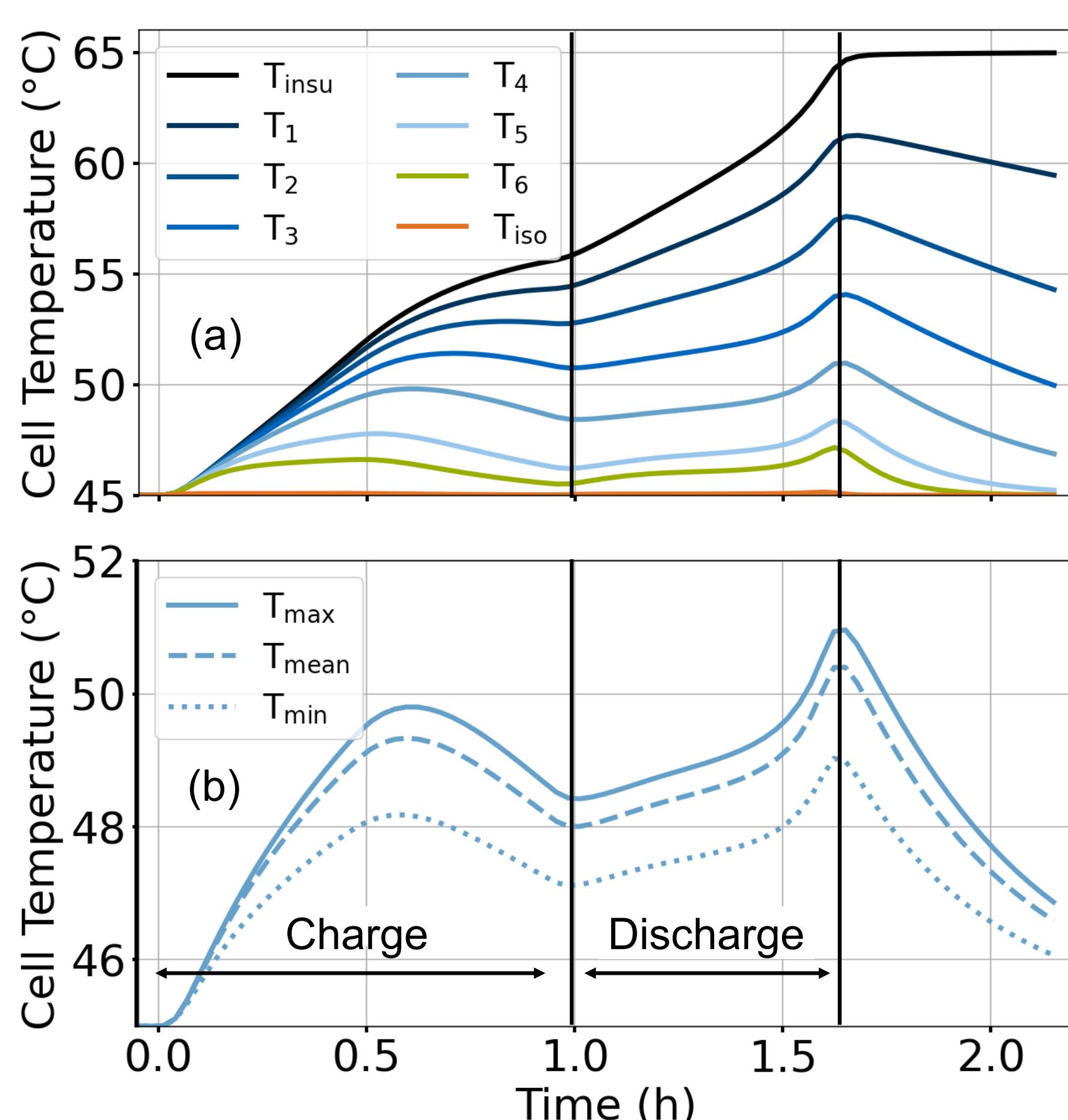
Zelle: InLi|LPSC|LPSC|NMC82
Nennkapazität: 3.2 mAh.
Elektroden Durchmesser: 1.2 cm.
Zyklisierungsdruck: 30 MPa.
Separatordicke: ca. 600 µm.
Entadeschlussspannung: 2.6 V.

Thermische Simulation

Abbildung 4 – (a) Simulierte maximale Zelltemperaturen mit skalierten kalorimetrischen Messungen als Eingangsgröße für Laden und Entladen bei 1 C von hochskalierter 6 Ah Festkörperzelle.

Umgebungstemperatur: 45 °C.
 T_{iso} : isotherme Randbedingung.
 T_{insu} : thermische Isolierung.
Kühlung mit T_1 : 20 mW/K, T_2 : 50 mW/K,
 T_3 : 100 mW/K, T_4 : 200 mW/K,
 T_5 : 500 mW/K, T_6 : 1000 mW/K.

(b) Maximale, minimale und durchschnittliche Zelltemperatur T_{max} , T_{mean} und T_{min} während Laden und Entladen einer skalierten 6 Ah Pouchzelle mit 1 C zur Identifizierung thermischer Gradienten. Umgebungstemperatur: 45 °C. Kühlleistung: 200 mW/K.



Diskussion und Ausblick

- Zyklisierung sulfidischer Festkörperbatterien bei erhöhten Temperaturen ist sinnvoll, wenn Alterung durch veränderte Betriebsstrategien verlangsamt werden kann, z.B. durch Vermeidung hoher Spannungen und CV-Phasen [8]
- Kalorimetrische Messungen an Laborzellen sind mit speziell entwickeltem Zellhalter auch unter Aufbringung hoher Zyklisierungsdrücke möglich (> 30 MPa)
- Höhere Betriebstemperaturen führen zu verringerten Überspannungen und Wärmeflüssen sowie größerer nutzbarer Kapazität, optimale Temperaturen sind abzuwägen
- Thermische Simulationen zeigen potenziell geringeren Kühlaufwand aufgrund höherer erlaubter Temperaturen, daher sind höhere Energiedichten auf Modulebene möglich
- Skalierbarkeit von Laborzellen auf großformatige Zellen ist zu untersuchen, Simulation realitätsnaher Flugprofile und Identifizierung thermischer Gradienten ist fortzuführen
- Ermöglicht der Höhenflug von Festkörperbatterien in der Forschung also den wirklichen elektrischen Höhenflug?

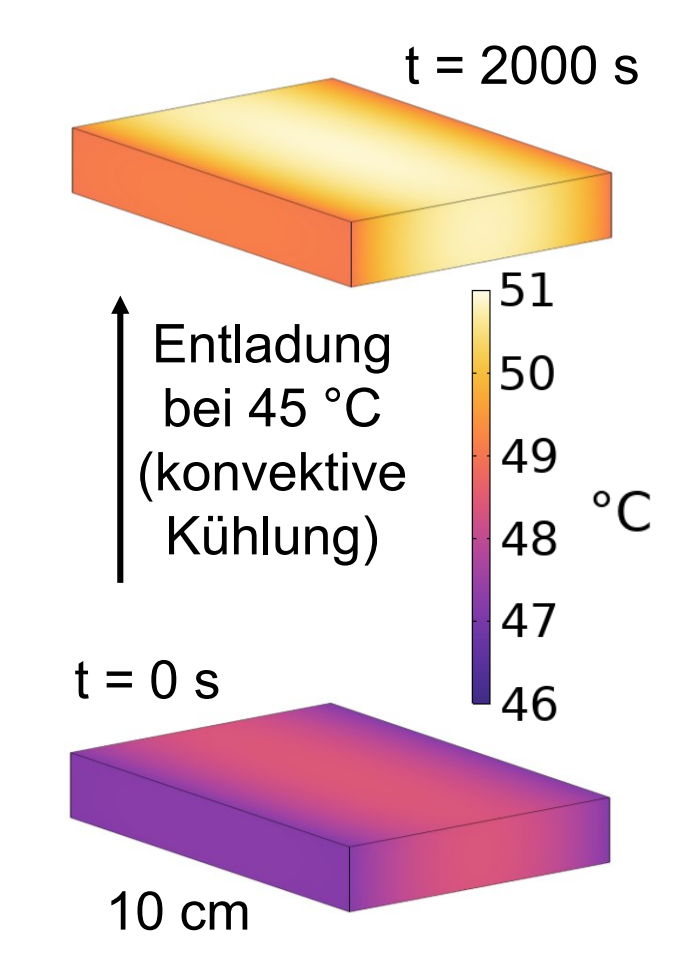


Abbildung 5 – Thermische 3D-FEM-Simulation der 1 C-Entladung einer auf 6 Ah skalierten Festkörperzelle bei Umgebungstemperatur von 45 °C.

Danksagung

Diese Arbeit wurde finanziell vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unter der Fördernummer 03XP0597B (FB2-SAFE) unterstützt. Das Projekt wird vom Projektträger Jülich betreut.

Gefördert durch:

