THERMISCHES MANAGEMENT
SCHLÜSSEL FÜR SICHERE UND ZUVERLÄSSIGE BATTERIESPEICHER

©Fraunhofer ISE/Foto: Guido Kirsch

Dr. Matthias Vetter

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

eMobilConvention
Fachkongress für Elektromobilität

Wiesbaden, 28. Mai 2019

www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Fraunhofer ISE

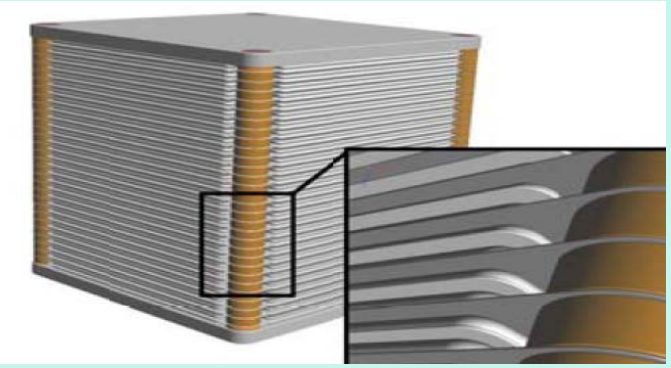
AGENDA

- Vorstellung der Batterie F&E am Fraunhofer ISE
- Lithium-Ionen Batterien – Alterung:
  - Typisches Verhalten
  - Klassifizierung
  - Beispielhafte Testergebnisse
  - Auswirkungen in der Anwendung
- Thermisches Management:
  - Bedeutung
  - Batteriezellen – Thermisches Verhalten
  - Betriebsführung
- Zusammenfassung und Ausblick

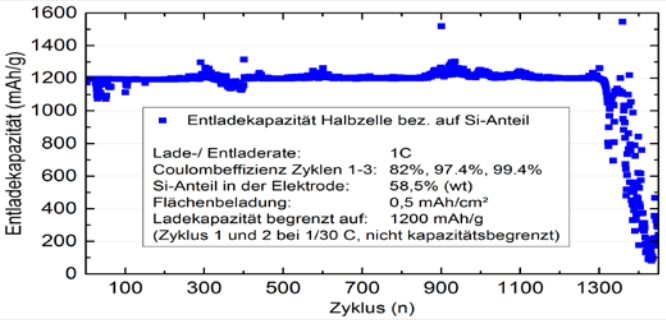
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

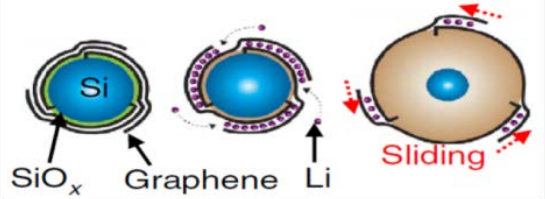
Batteriezellen
Aktuelle F&E Schwerpunkte des Fraunhofer ISE

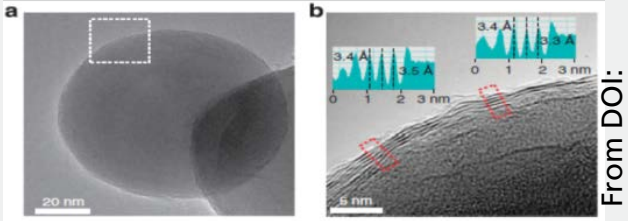
Wasserbasierte Batterien für stationäre Anwendungen



Siliziumbasierte Anoden als *Drop-In Replacement* für Lithium-Ionen Batteriezellen

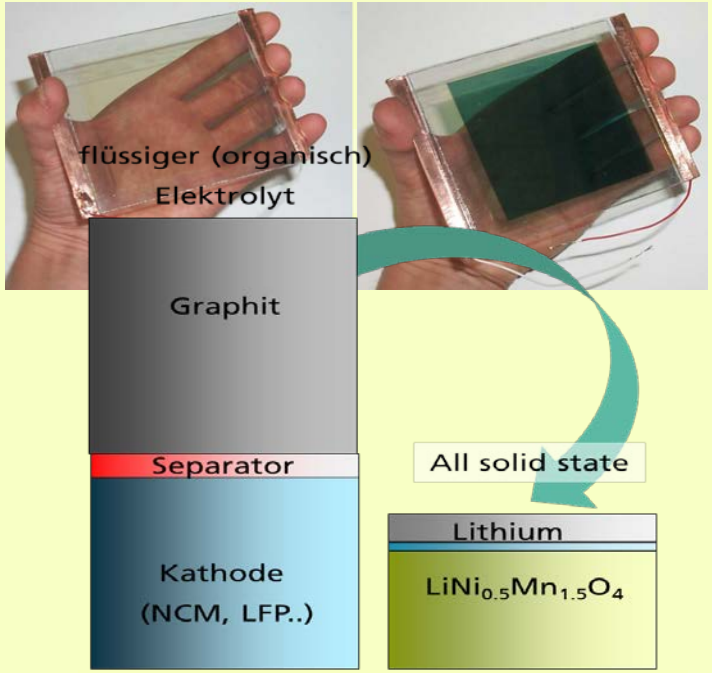






From DOI: 10.1038/ncomms8393

Neue Materialien und Prozesstechnologie für *Solid State* Batterien



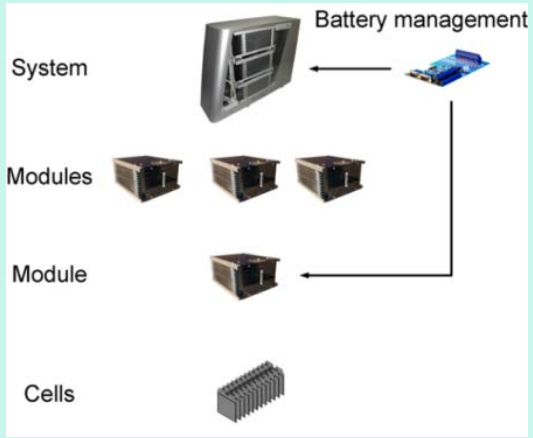
Bis zu 300 Wh/kg **~ 650 Wh/kg**

Bis zu 850 Wh/l **~ 1700 Wh/l**

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Batteriesysteme und Anwendungen
F&E und Dienstleistungen des Fraunhofer ISE

Batteriesystemtechnik
Von der Zelle zum System



- Zellcharakterisierung
- Modul- und Systemdesign
- Batteriemanagement
- Thermisches Management
- Algorithmen für die Zustands-bestimmung u. Lebensdauerprognose
- Optimierte Lade- und Betriebsführungsstrategien

Speicheranwendungen
Systemauslegung, Integration und Qualitätssicherung

Foto: CSIRO. Off-grid power supply for SKA1 low radio telescope.

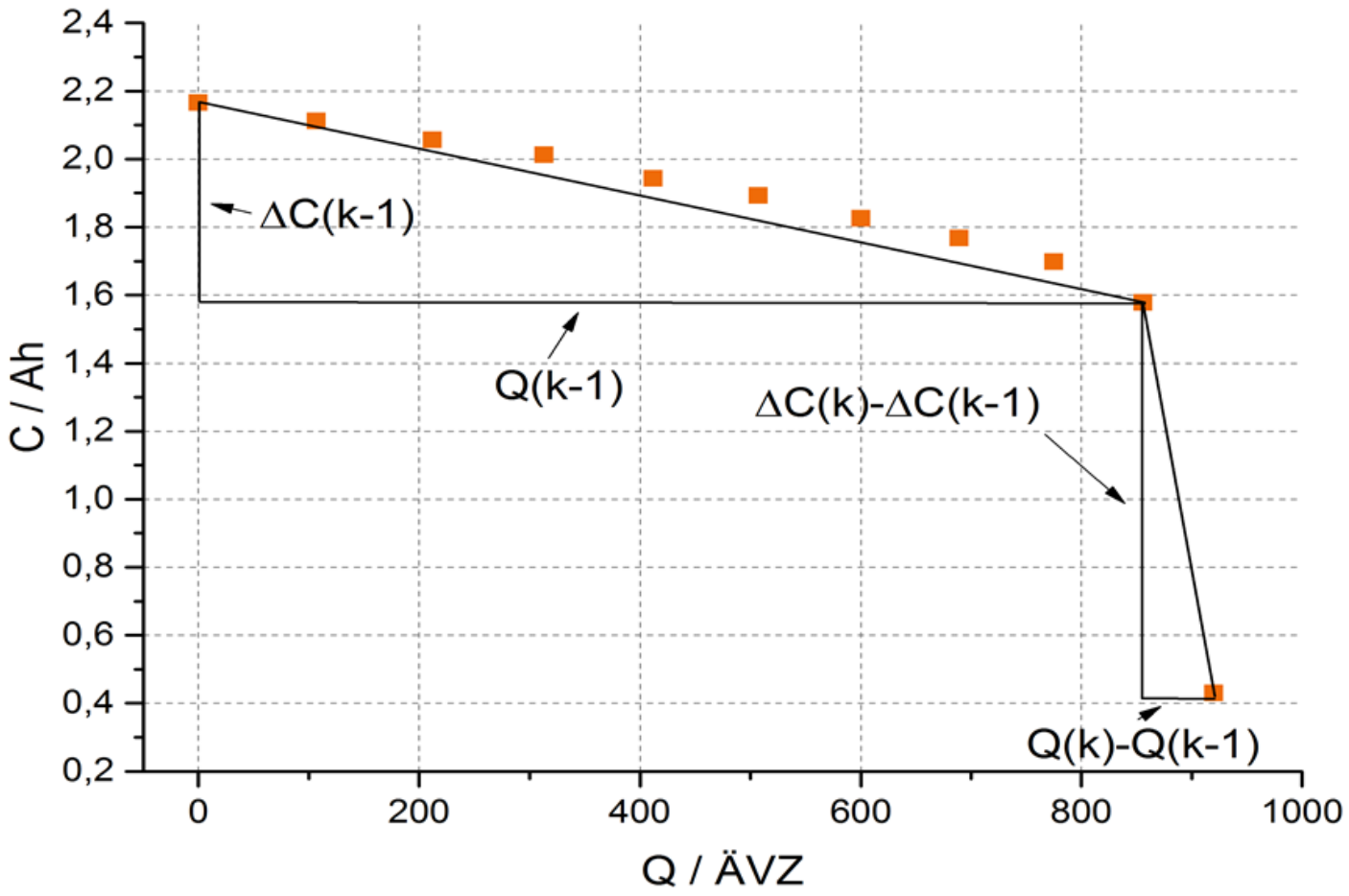
- Beratung während der Planungsphase
- Systemdesign und Systemanalyse
- Simulationsbasierte Speicherauslegung
- Erarbeitung von Spezifikationen
- Energiemanagementsysteme
- Feldprüfungen und Inbetriebnahmetests
- Monitoring

Testen und Prüfen
Elektrisch, thermisch, mechanisch

- Sicherheit: Komponenten, Systeme inklusive der funktionalen Sicherheit
- Alterung: Kalendarisch, zyklisch
- Performance: Effizienz und Effektivität
- Zuverlässigkeit: Berücksichtigung von Betriebsbedingungen sowie Systemverhalten mit gealterten Komponenten

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Lithium-Ionen Batterien
Alterung – Typisches Verhalten



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Lithium-Ionen Batterien
Alterung – Klassifizierung

Kalendarische Alterung

- Lagerung bei bestimmten Temperaturen
- Zersetzung von Materialien ist spannungsabhängig
- Zersetzung der Materialien folgt dem Arrhenius Gesetz

$$k = A * e^{\frac{-E_A}{RT}}$$

→ **Niedrigere Temperaturen und niedrigere Spannungen → Geringere Alterung**

Zyklische Alterung

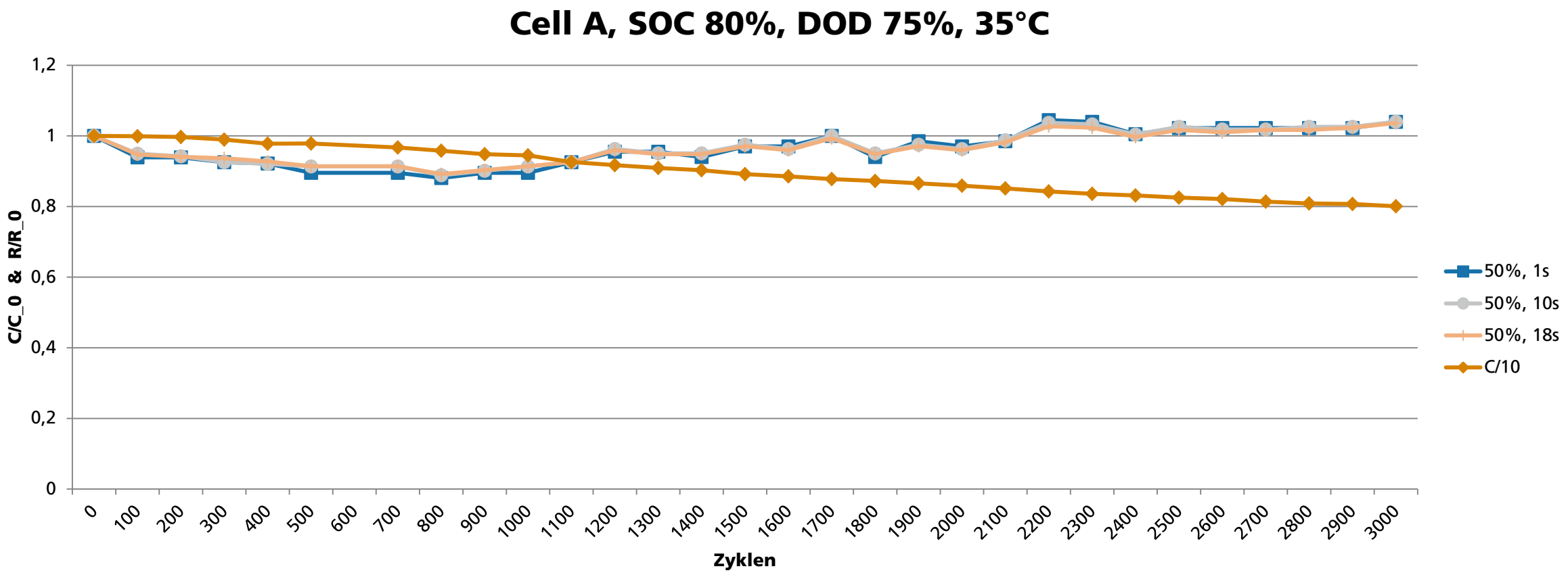
- Während zyklischer Alterung auch kalendarische Alterung
- Zersetzung von Materialien abhängig von mehreren Parametern
  - Temperatur
  - Art der Zyklen / Teilzyklen
  - Spannung
  - ….

→ **Keine einfache Antwort**

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Lithium-Ionen Batterien

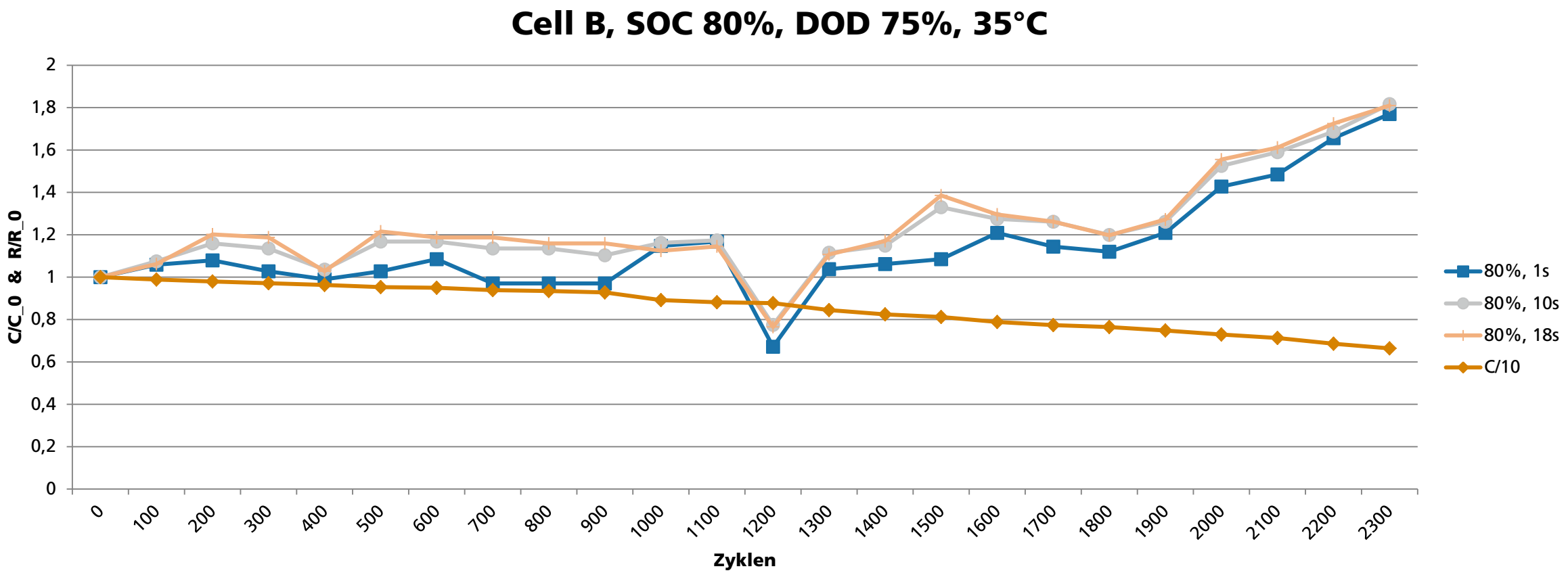
Alterung – Beispielhafte Testergebnisse



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Lithium-Ionen Batterien

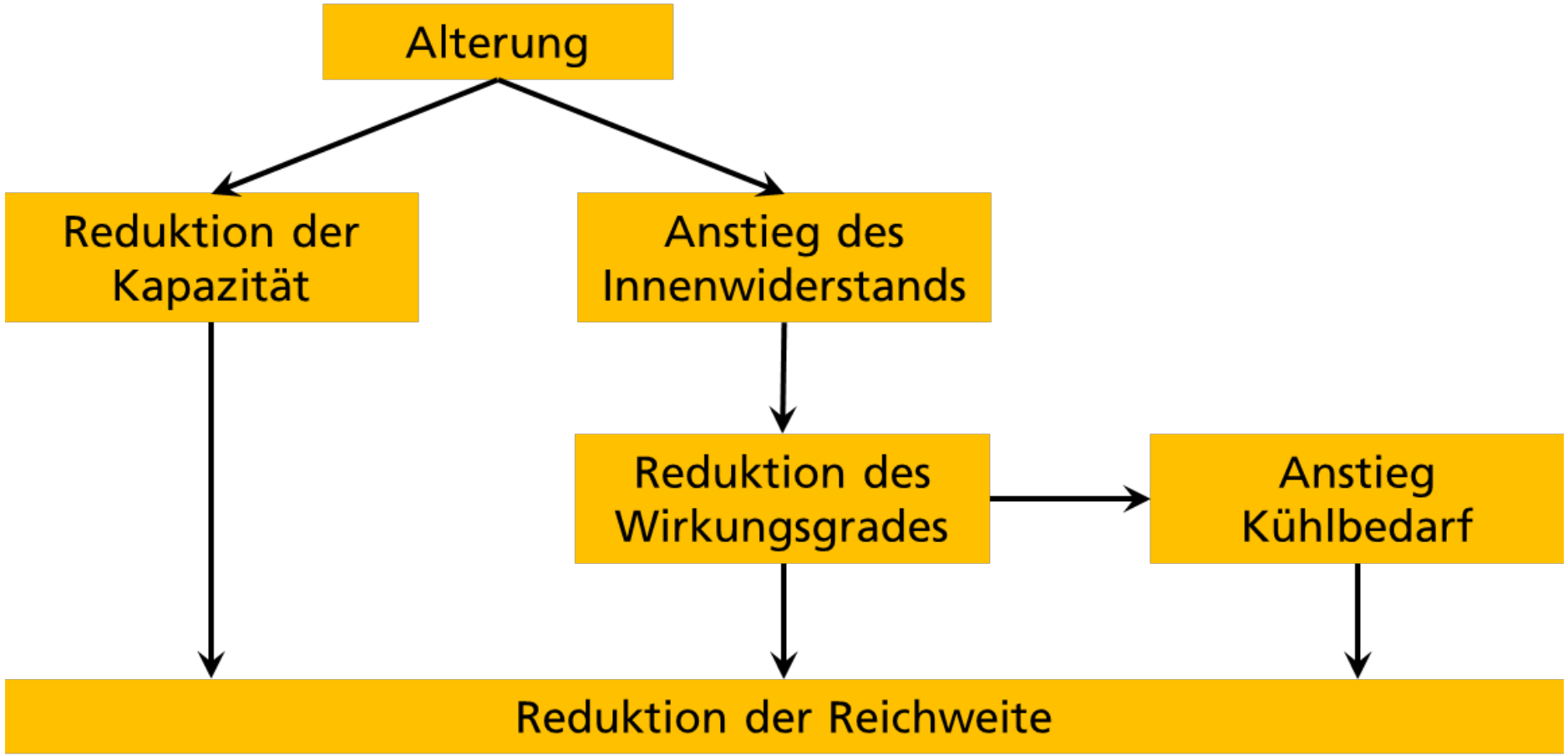
Alterung – Beispielhafte Testergebnisse



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

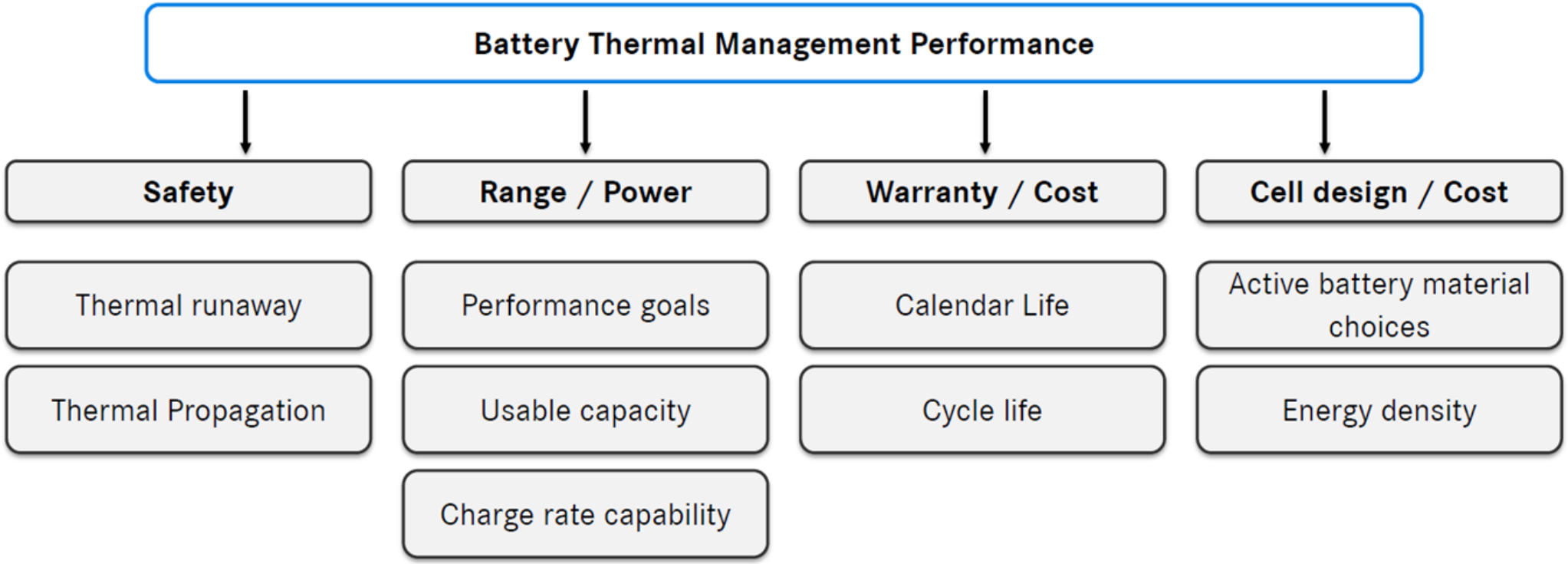
Lithium-Ionen Batterien

Alterung – Auswirkungen in der Anwendung



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management
Bedeutung



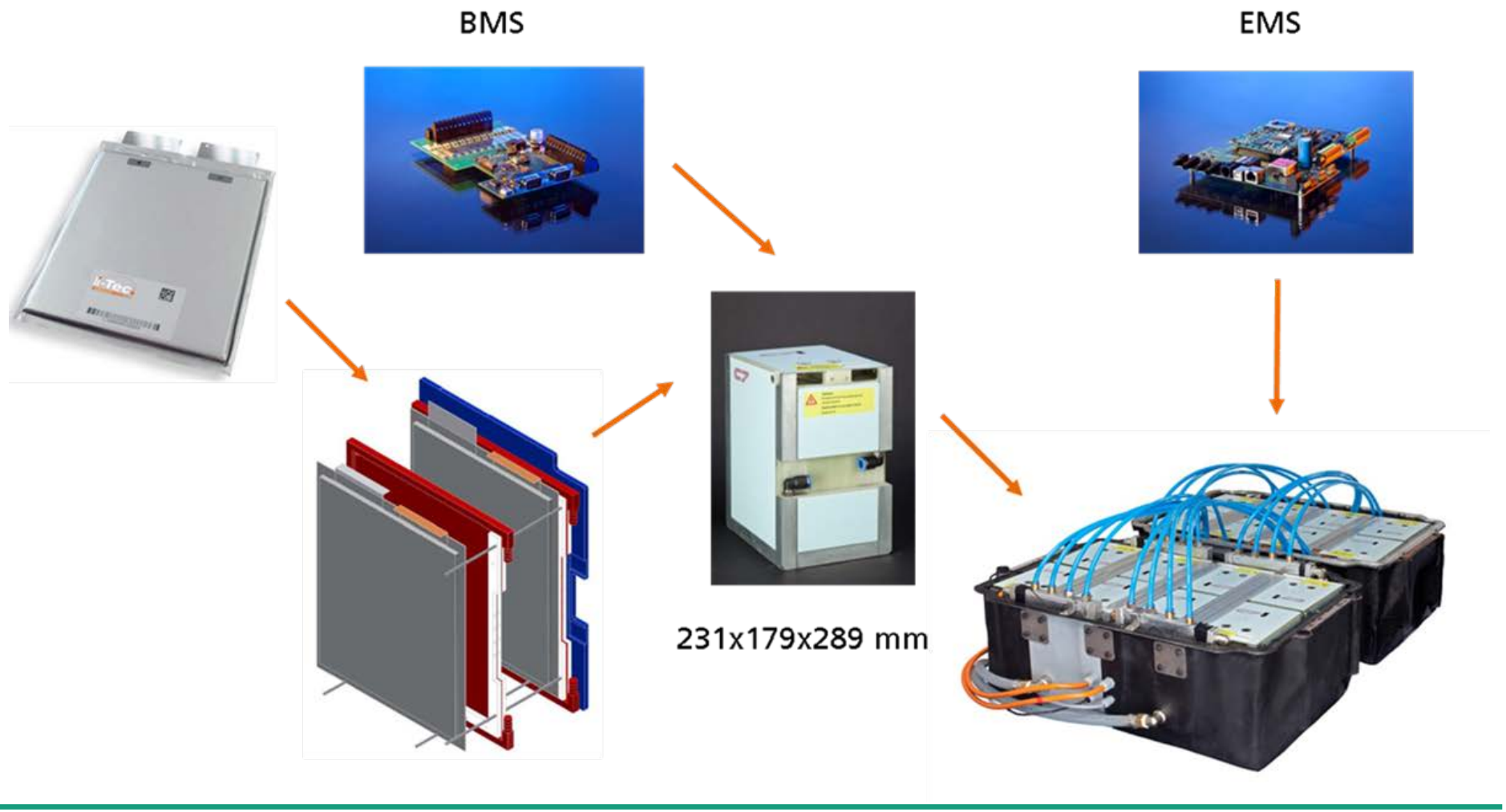
Thermal Management of the EV/PHEV battery is one of the central design issues with great impact on vehicle performance and customer experience.

Quelle: T. Glossmann: Advancing Battery Technology for Mercedes-Benz Applications, 2017.

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

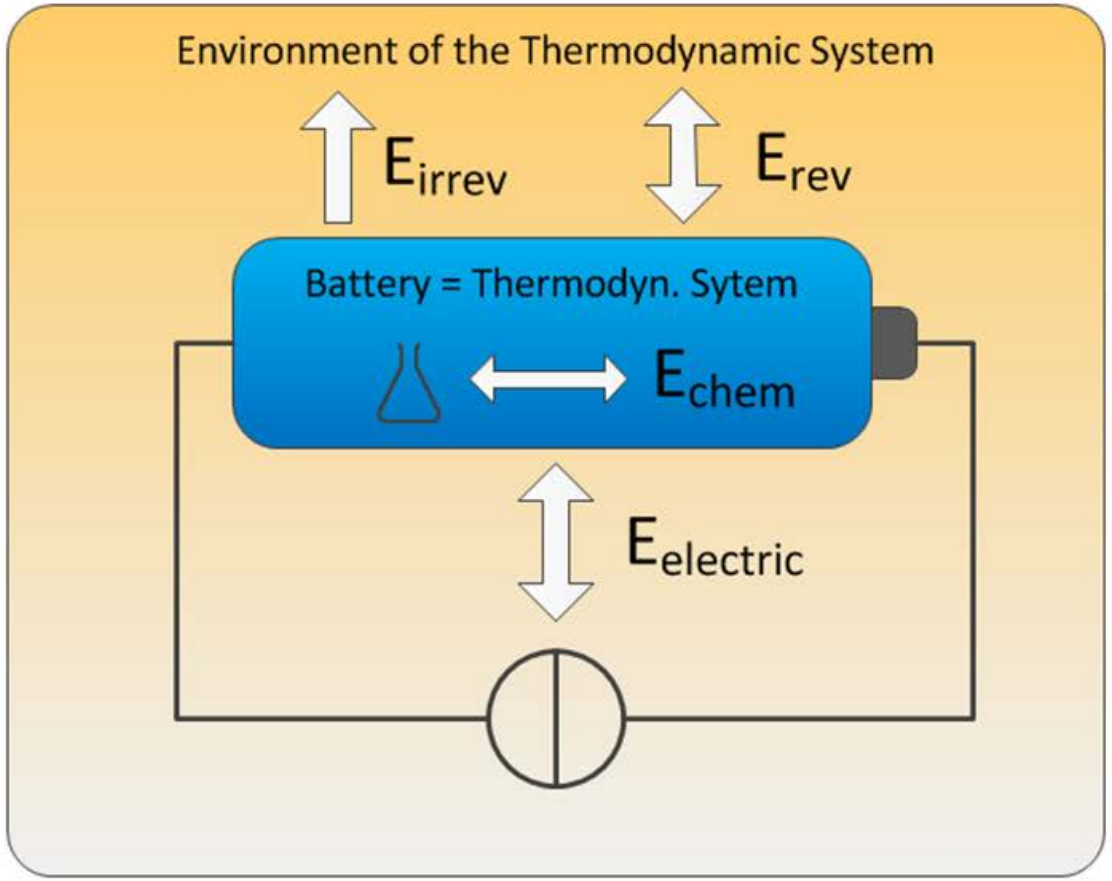
Beispielhafter Aufbau eines modularen Batteriesystems



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

Batteriezellen – Thermisches Verhalten

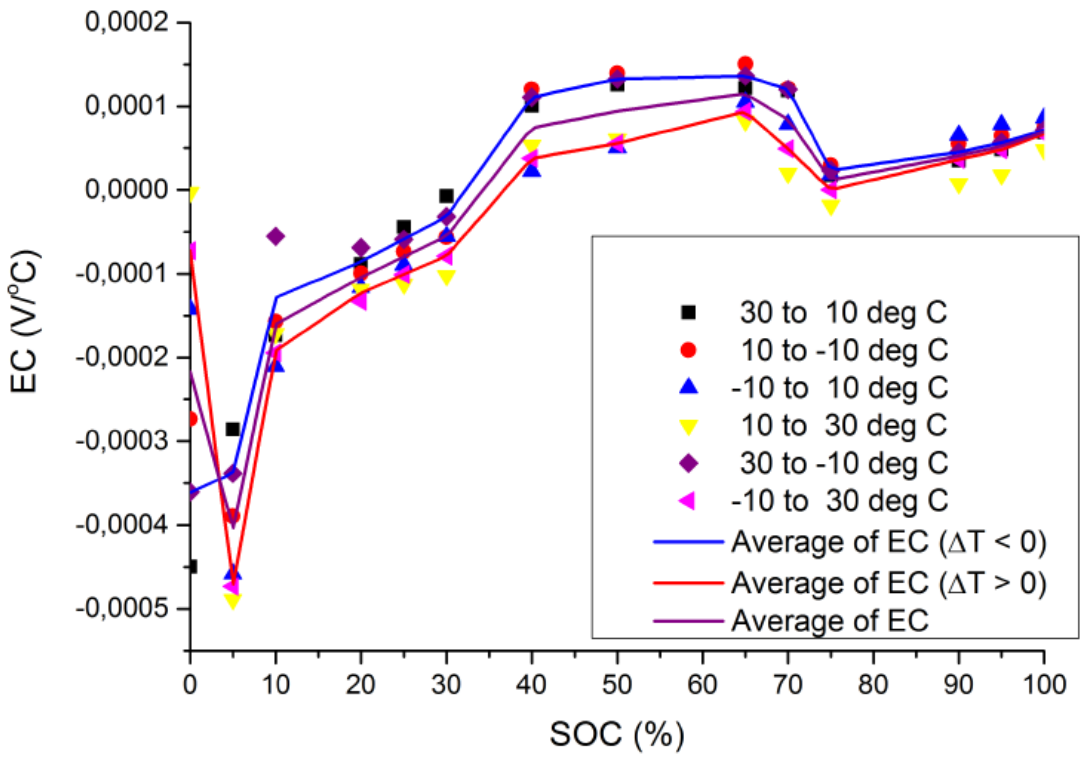


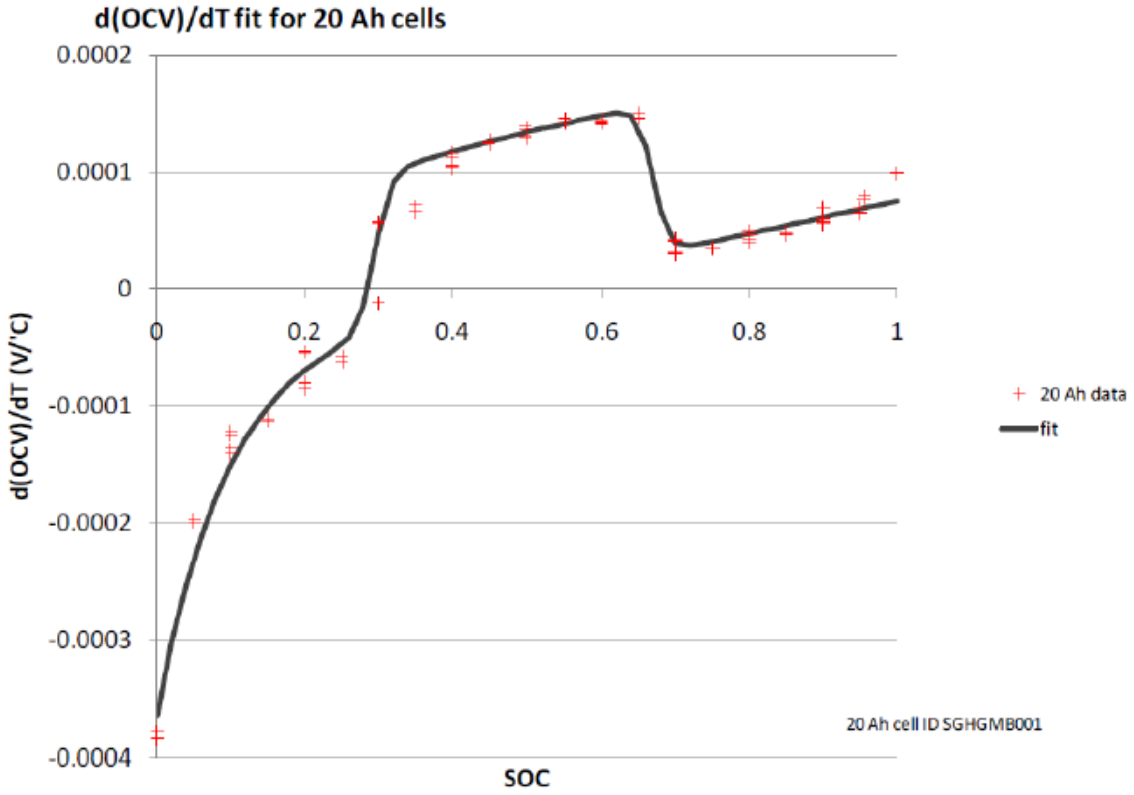
$$dQ/dt = \underbrace{I^2 \cdot R_{total}}_{\text{Irreversibel}} + \underbrace{I \cdot T \cdot dU_{OCV} / dT}_{\text{Reversibel}}$$

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management
Batteriezellen – Thermisches Verhalten

- Entropiekoeffizient





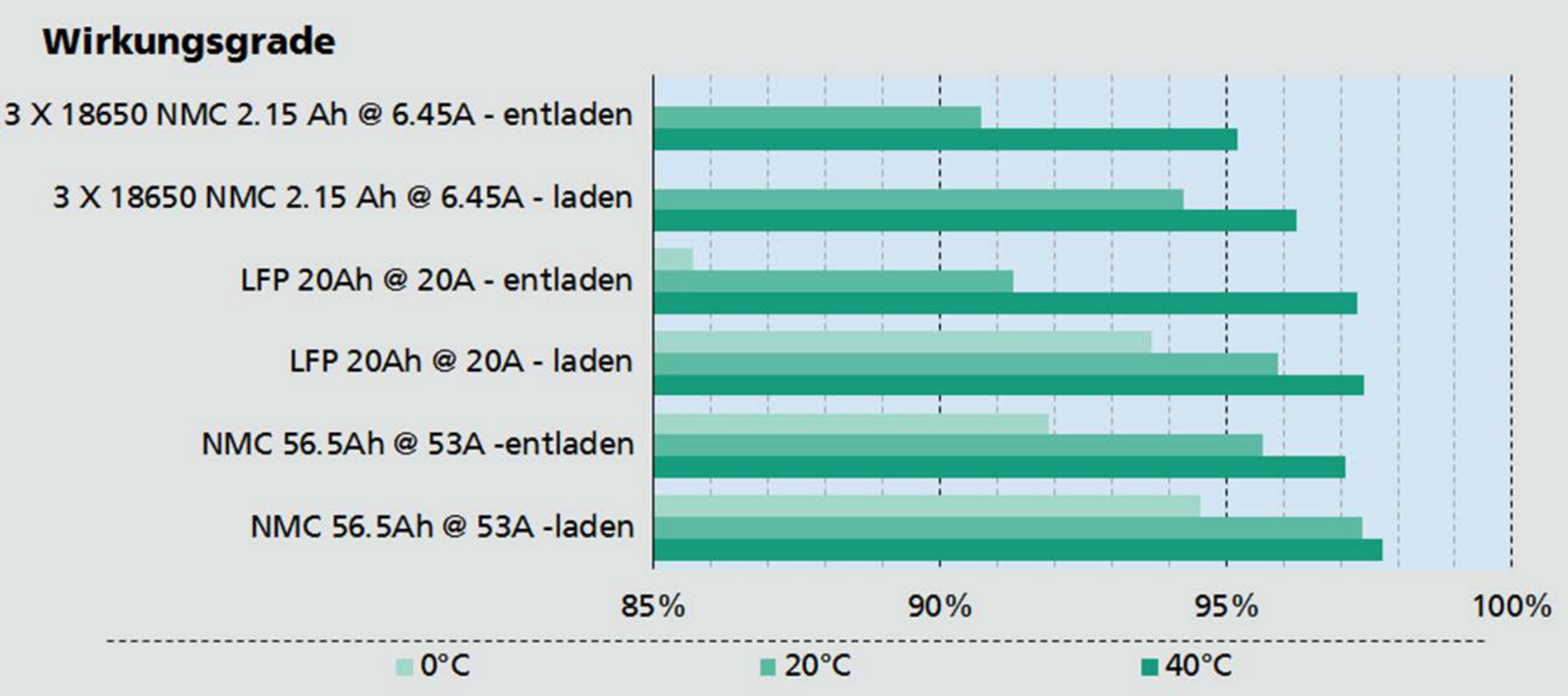
Entropic coefficient from A123 Systems data sheet.

Quelle: Battery Pack Design, Validation, and Assembly Guide using A123 Systems AMP20M1HD-A Nanophosphate Cell – 07.02.2014 – A123 Systems – Online.

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management
Batteriezellen – Thermisches Verhalten

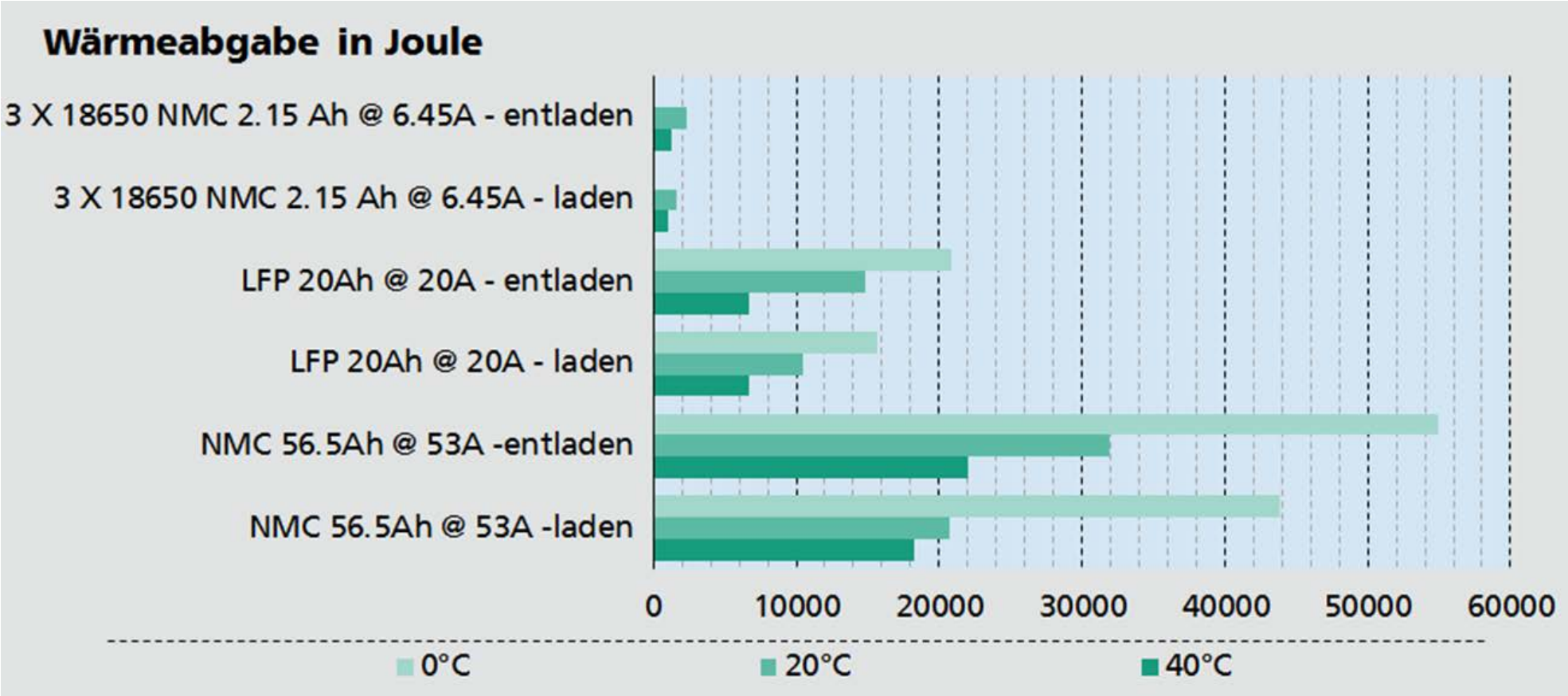
- Untersuchungen an verschiedenen marktverfügbaren Lithium-Ionen Batteriezellen



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management
Batteriezellen – Thermisches Verhalten

- Untersuchungen an verschiedenen marktverfügbaren Lithium-Ionen Batteriezellen

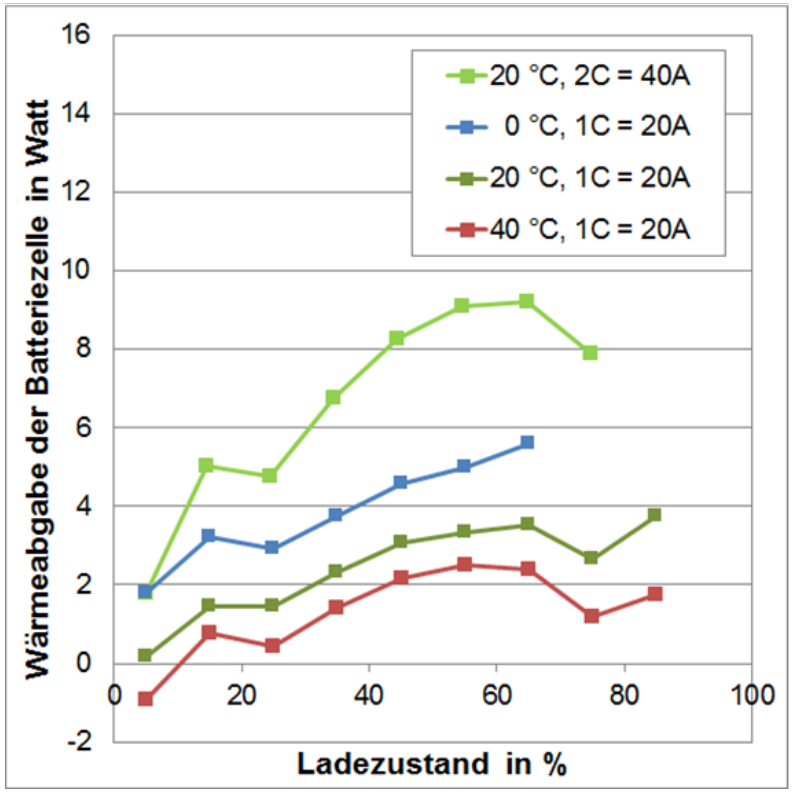


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

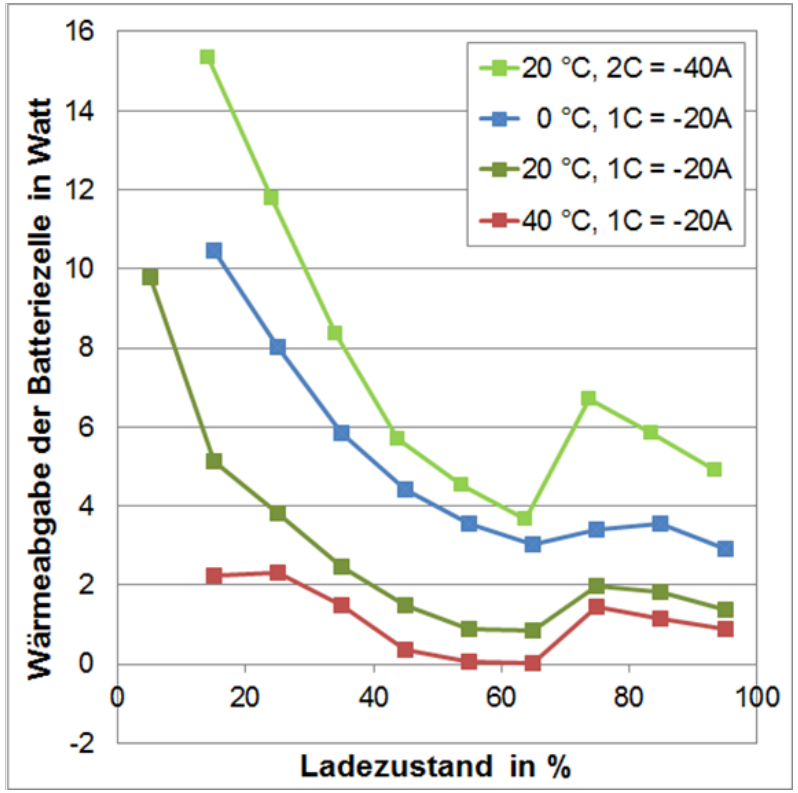
Thermisches Management
Batteriezellen – Thermisches Verhalten

- Untersuchungen an verschiedenen marktverfügbaren Lithium-Ionen Batteriezellen – Beispiel: 20 Ah Pouch-Bag, Graphit / $LiFePO_4$

Laden



Entladen

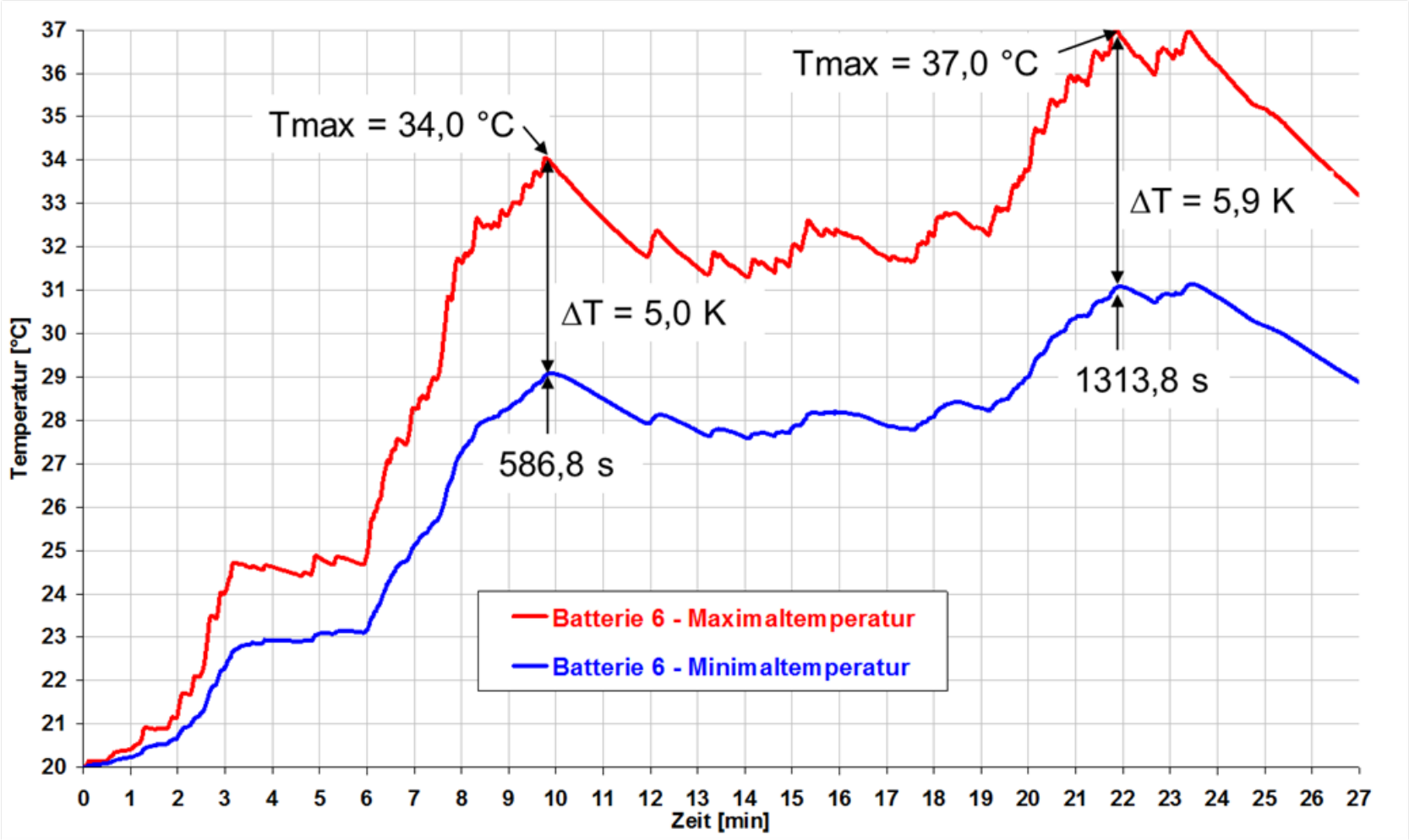


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

Batteriezellen – Thermisches Verhalten im System

- Inhomogene Temperatur-verteilung mit großen Differenzen im System
- Unterschiedliche Alterung der (sehr) vielen Zellen



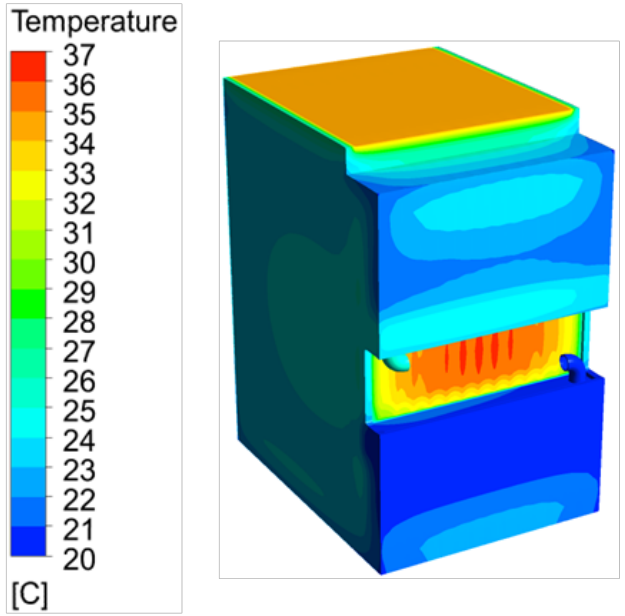
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

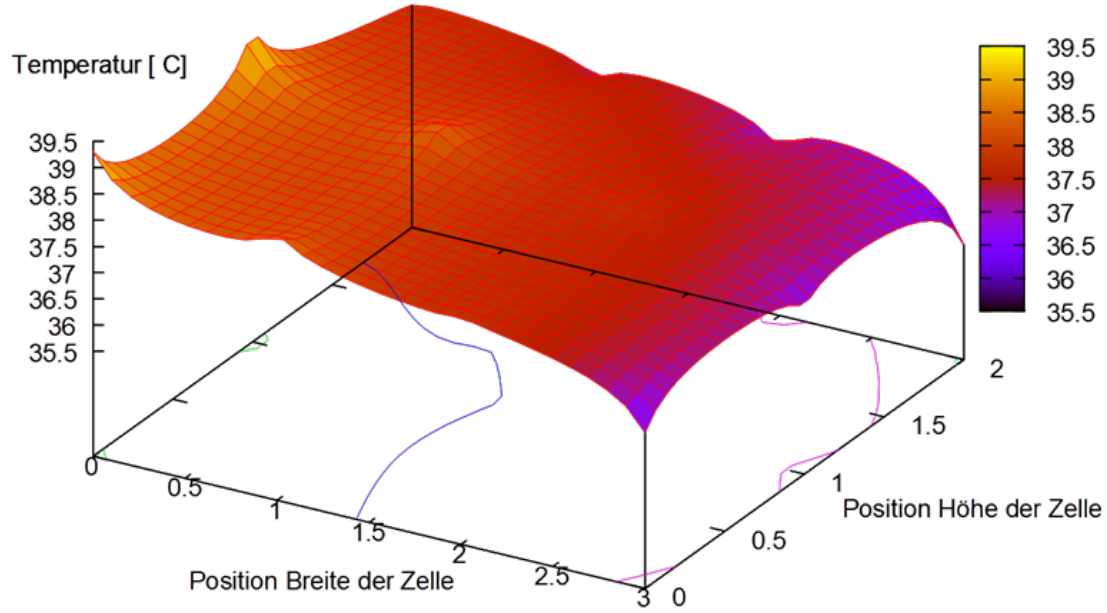
Batteriezellen – Thermisches Verhalten im System

- Inhomogene Temperaturverteilung v.a. in großformatigen Zellen
- Inhomogene Alterung:
  Nicht nur die absolute Temperatur sondern auch große Temperaturdifferenzen besitzen Einfluss auf die Alterung einer Zelle

Temperaturverteilung im Modul



Oberflächentemperatur Zelle 6 bei 30 W Wärmeleistung und Temperatur des Kühlmediums von 25 °C



© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

Betriebsführung – Simulationsbasierte Entwicklung und Optimierung

Elektrisches Ersatzschaltbild
(Temp, C-Rate, Zeit, DOD, SOC)

Verifizierung durch EIS, Impulstest und Last-profiltest mittels Batteriezelltester

Elektr. Modell

Wärmeberechnung
(Temp, C-Rate, SOC, R, dU/dT)

Therm. Modell

Joule´sche + entropische Wärme, Wärmekapazität

Verifizierung durch Kalorimetrie

Parameter-gesteuerter C-Verlust + Ri-Anstieg
(Temp, C-Rate, Zeit, DOD, SOC)

Alterungs-modell

Verifizierung durch Zyklentests und kalendarische Alterung

EV Modell

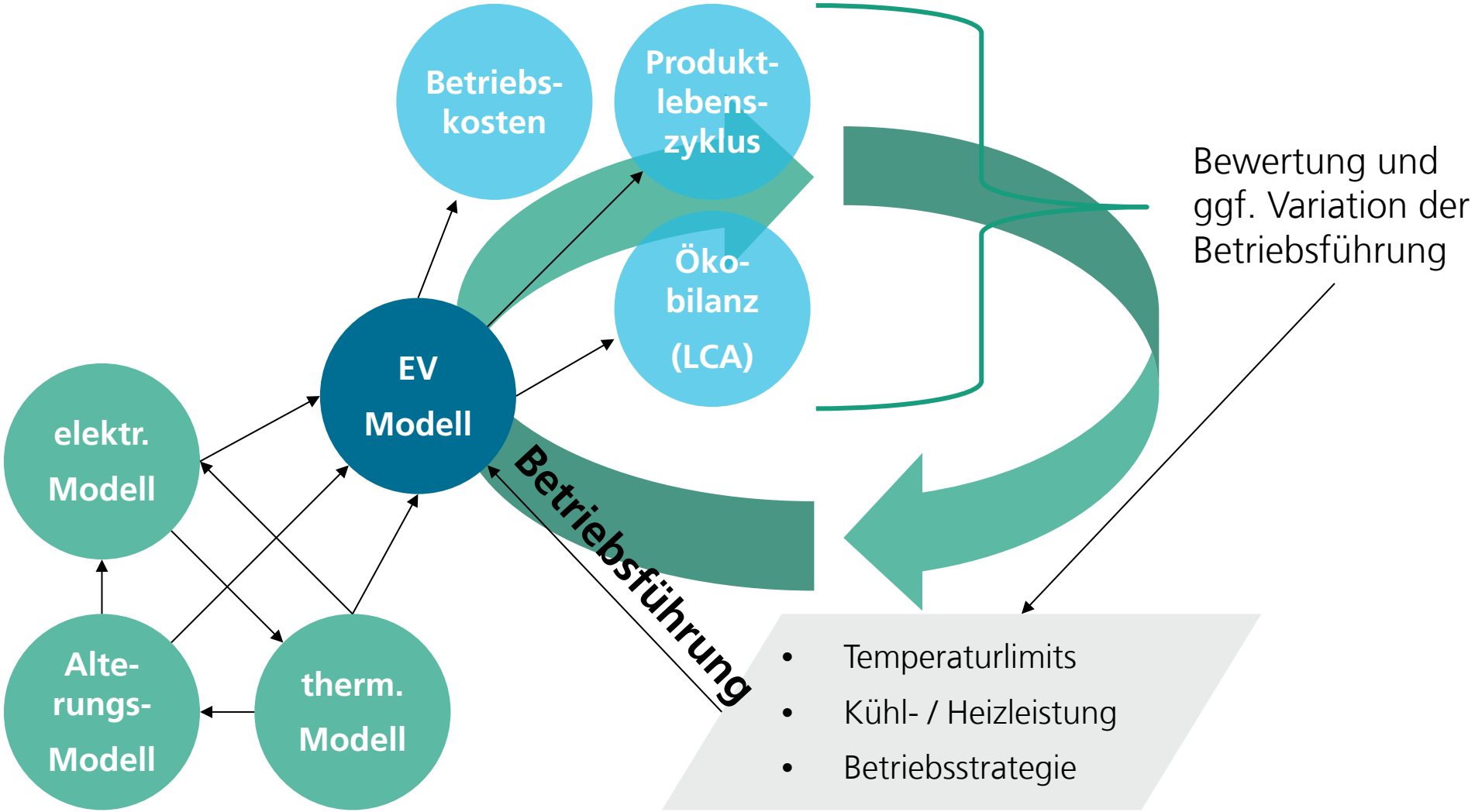
Lastprofil + therm. Fahrzeugmodell
($Temp_{Umgebung}$, Design)

Verifizierung durch Testfahrten und CFD-Simulation

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

Betriebsführung – Simulationsbasierte Entwicklung und Optimierung

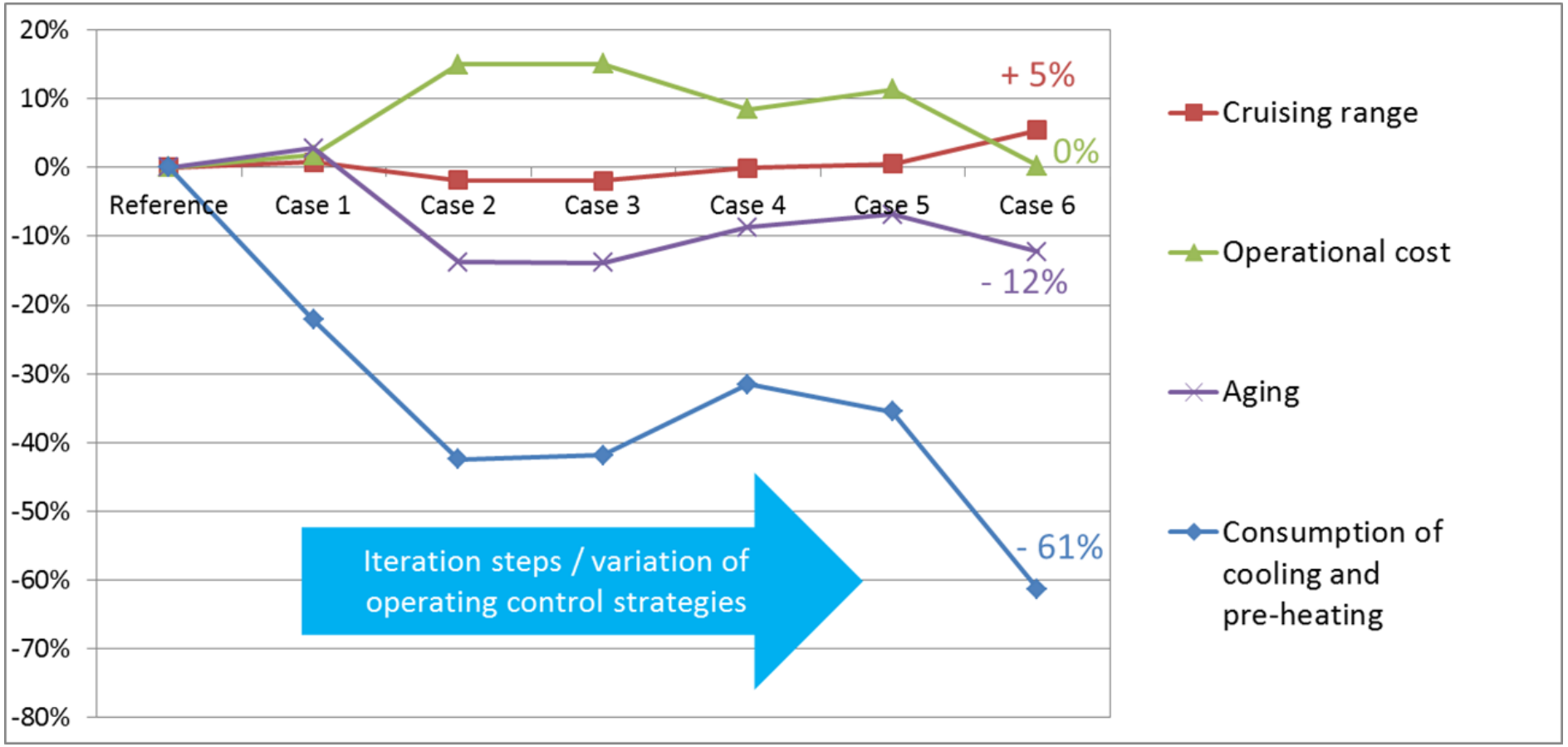


© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Thermisches Management

Betriebsführung – Simulationsbasierte Entwicklung und Optimierung

- Beispiel Elektrofahrzeug: Steigerung der Lebensdauern von Batteriezellen bei gleichzeitiger Erhöhung der Reichweite



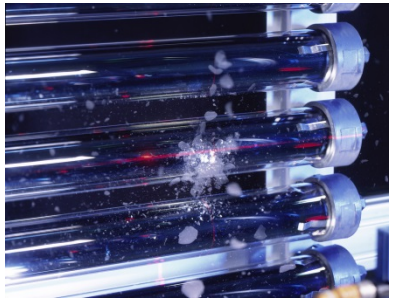
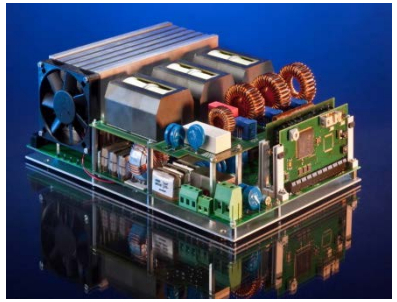
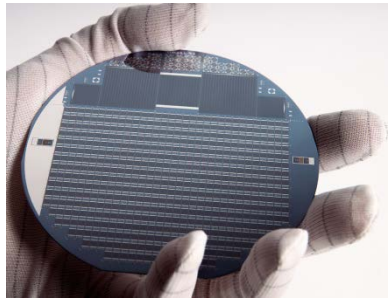
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Fraunhofer ISE

Zusammenfassung und Ausblick

- Alterung von Lithium-Ionen Batteriezellen:
  - → Auf Systemebene sind mehrere Effekte zu berücksichtigen
- Thermisches Management – Auslegung:
  - → Basis für die Sicherheit und Zuverlässigkeit eines Batteriesystems
  - → Erfolgt applikationsspezifisch
  - → Muss das Verhalten gealterter Batteriezellen berücksichtigen → Anstieg des Innenwiderstands
  - → Homogene Temperaturverteilung auf Zell- und Systemebene stellt eine große Herausforderung dar (insbesondere unter Berücksichtigung der Kosten) → Inhomogene Alterung
- Thermisches Management – Betriebsführung
  - → Simulationsbasierte Optimierung auf Basis von Systemmodellen (elektrisch, thermisch, Alterung und Einbindung in die Anwendung)
  - → Durch optimierte Betriebsführungsstrategien lassen sich die Lebensdauern von Batteriezellen steigern, bei gleichzeitiger Erhöhung der Reichweiten von Elektrofahrzeugen

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !!!

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr. Matthias Vetter

www.ise.fraunhofer.de

matthias.vetter@ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL