

---

# THERMISCHES MANAGEMENT AUF BASIS KALORIMETRISCHER MESSUNGEN

---



**Adrian Heuer,**  
Maximilian Bruch,  
Dr. Michael Heck,  
Lluís Millet Biosca

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

E-Monday Netzwerkveranstaltung  
München, 14.05.2018

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

# AGENDA

- Vorstellung ISE - Batterielabor
- Thermische Betriebsführung
- Funktionsweise Kalorimeter
- Messergebnisse und Diskussion
- Zusammenhänge und Berechnung
- Verifizierung der Ergebnisse
- Bedeutung für die Anwendung



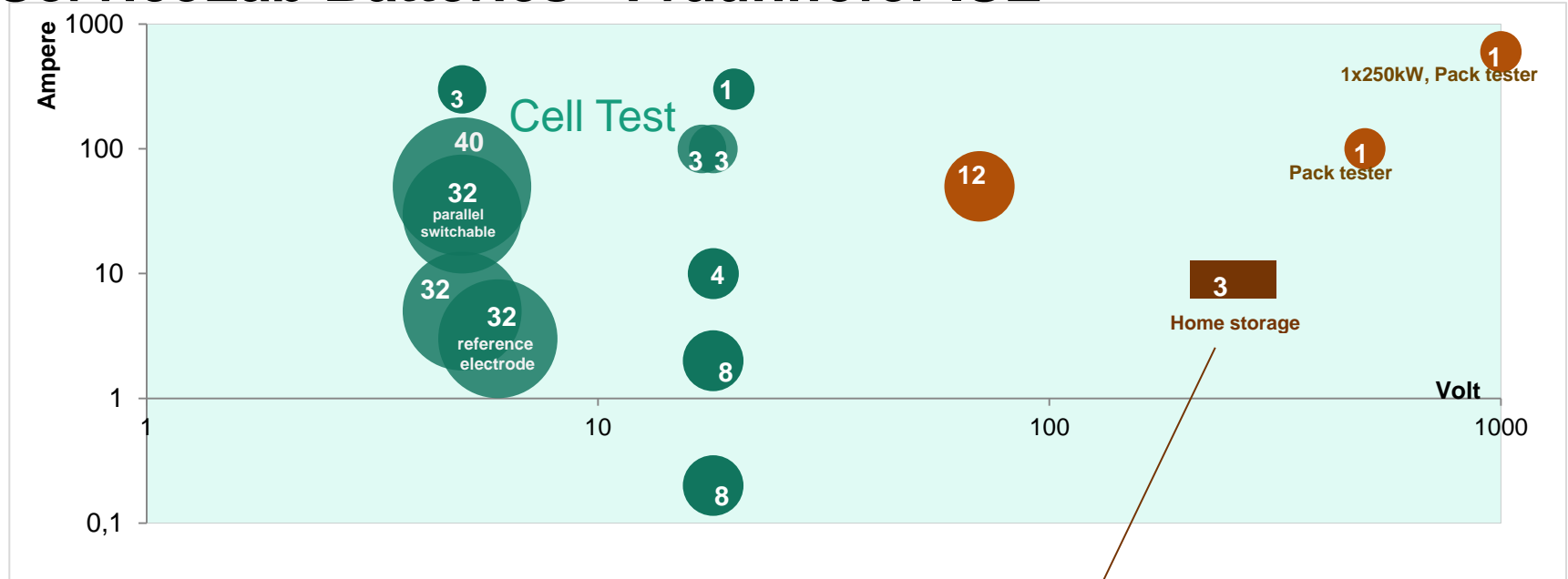
# Group

## Battery Engineering

- Battery testing
- Development of battery systems
- Development of electronics and software for battery management
- Battery monitoring
- State of charge estimation
- State of health estimation (capacity)
- Charging and operating control strategies
- Concepts for safety
- Modeling and simulation
- Technical and economical system analyses (e.g. life cycle cost)
- Main focus: lithium-ion, lead-acid, redox-flow



# ServiceLab Batteries - Fraunhofer ISE



## Additional:

- 4 channels impedance spectroscopy 1μHz – 4,5kHz
- 14 Climate and temperature chambers
- Glovebox
- Battery calorimeter
- 193 test circuits



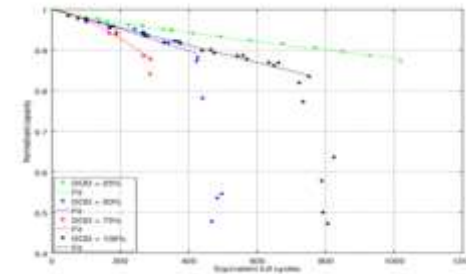
# Battery Technology

## Ageing investigation of lithium-ion cells

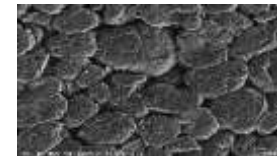
### Research Question

Ageing characterization and life time prediction based on calendar and cycle life test

- Cell characterization by applying Ageing, Performance and Safety tests
- Characterization with 190 + test circuits
- Parametrization of ageing depended battery models
- Post Mortem Analysis of cells
- Ageing prediction depending on load and temperature profile



Fresh



linear



non-linear  
aging stage

# Product Design and Implementation

## Consulting and certification

### Research Question

How to ensure safety and quality of battery systems in mobile and stationary application

- Strategic partnership between VDE and ISE
- Seamless support from product design to Implementation
- Feasibility study and simulation
- Certification of products and installations



# EU-Projekt JOSPEL

- Main objective is the reduction of power demand for car climatization of at least 50% (<1.250 W) and the reduction of component cooling of at least 30%
- Increasing the battery lifetime of 15 % along with energy reduction of 12 %
- Thermal characterization and modelling leads to optimized operating strategy



The JOSPEL project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement n° 653851.



# AGENDA

- Vorstellung ISE - Batterielabor
- Thermische Betriebsführung
- Funktionsweise Kalorimeter
- Messergebnisse und Diskussion
- Zusammenhänge und Berechnung
- Verifizierung der Ergebnisse
- Bedeutung für die Anwendung





# Thermische Betriebsführung

- Ziel
  - Strategie für die Klimatisierung eines Batteriesystems, welche die Effizienz des Systems steigert und Batteriealterung reduziert.
  
- Methoden
  - Zellauswahl
  - Rahmenbedingungen (Umgebungstemp., Systemgröße, Belastungsprofil)
  - Eigenschaften der Zelle (Performance, Alterung)
  - Auslegung von Kühl- und Heizsystem sowie thermische Verbindung
  - Festlegung von Parametern (Solltemperatur, Grenzen) und Strategien (Vorkonditionierung im E-Auto)
  - Simulation / Test / Umsetzung / Monitoring

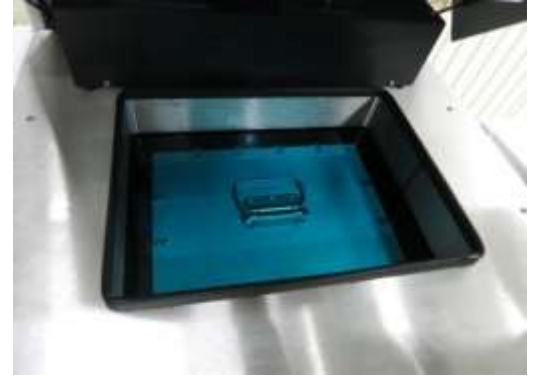
# Thermische Betriebsführung

- Zellauswahl
  - Kühlbarkeit z.B. gutes Oberflächen zu Volumen Verhältnis, Zellhülle
  - Effizienz, Innenwiderstand (Leistungs- vs. Energiezellen)
  - Herstellerangaben zu Temperaturgrenzen (Betrieb/Lagerung)

# Thermische Betriebsführung

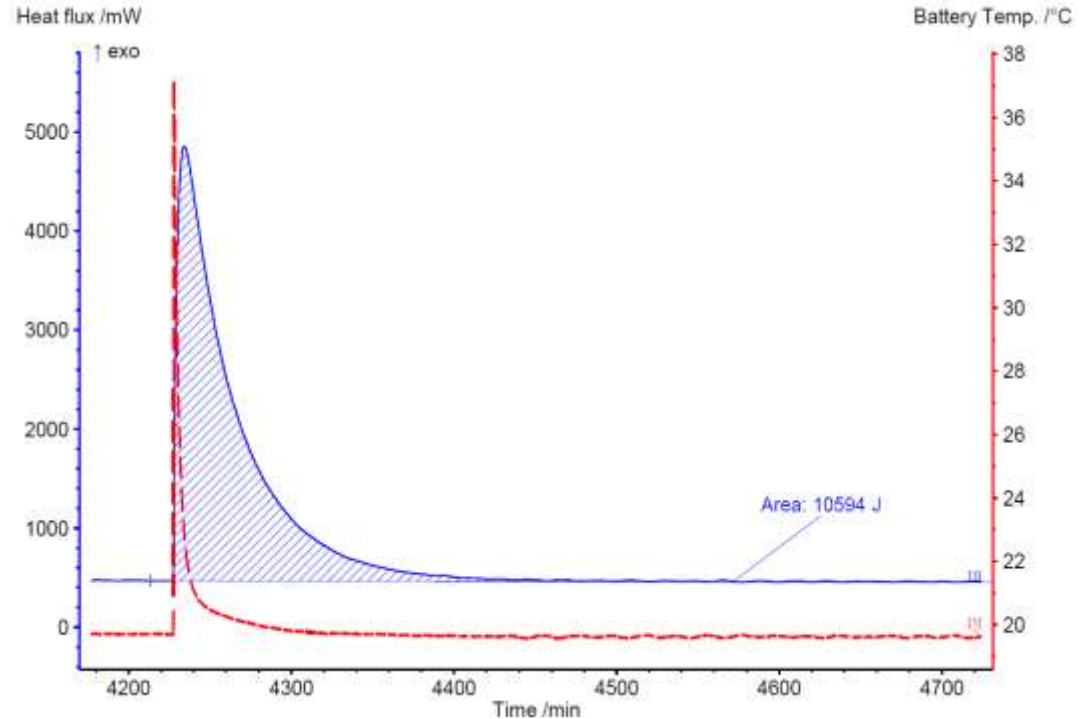
- Rahmenbedingungen
  - Klima im Einsatzort
  - Systemgröße, Platzangebot, etc.
  - Belastung
    - Stationärer Speicher
    - Mobile Anwendung

# Funktionsweise Kalorimeter



# Funktionsweise Kalorimeter

- $Q = 10\,594 \text{ J}$
- $dT = 40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 20 \text{ K}$
- $m = 493 \text{ g}$
- $c_{p \text{ bat}} = 1\,074 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Wasser =  $4\,182 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Eisen =  $452 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Beton =  $880 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

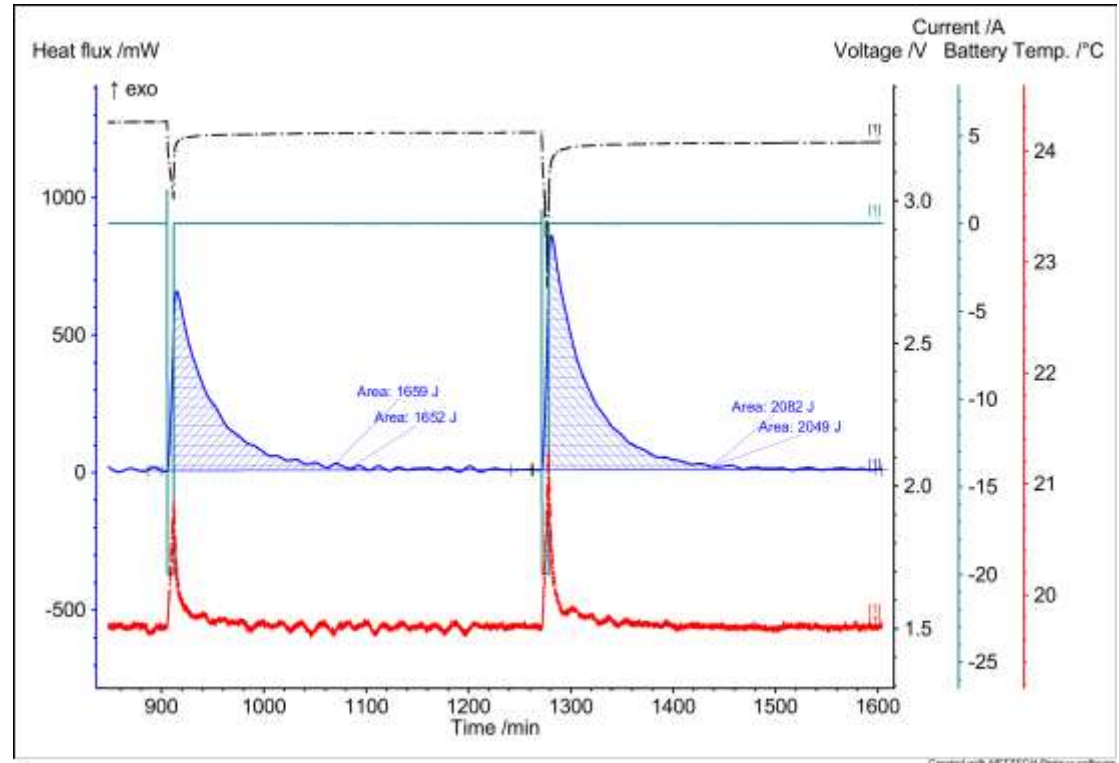


# Funktionsweise Kalorimeter

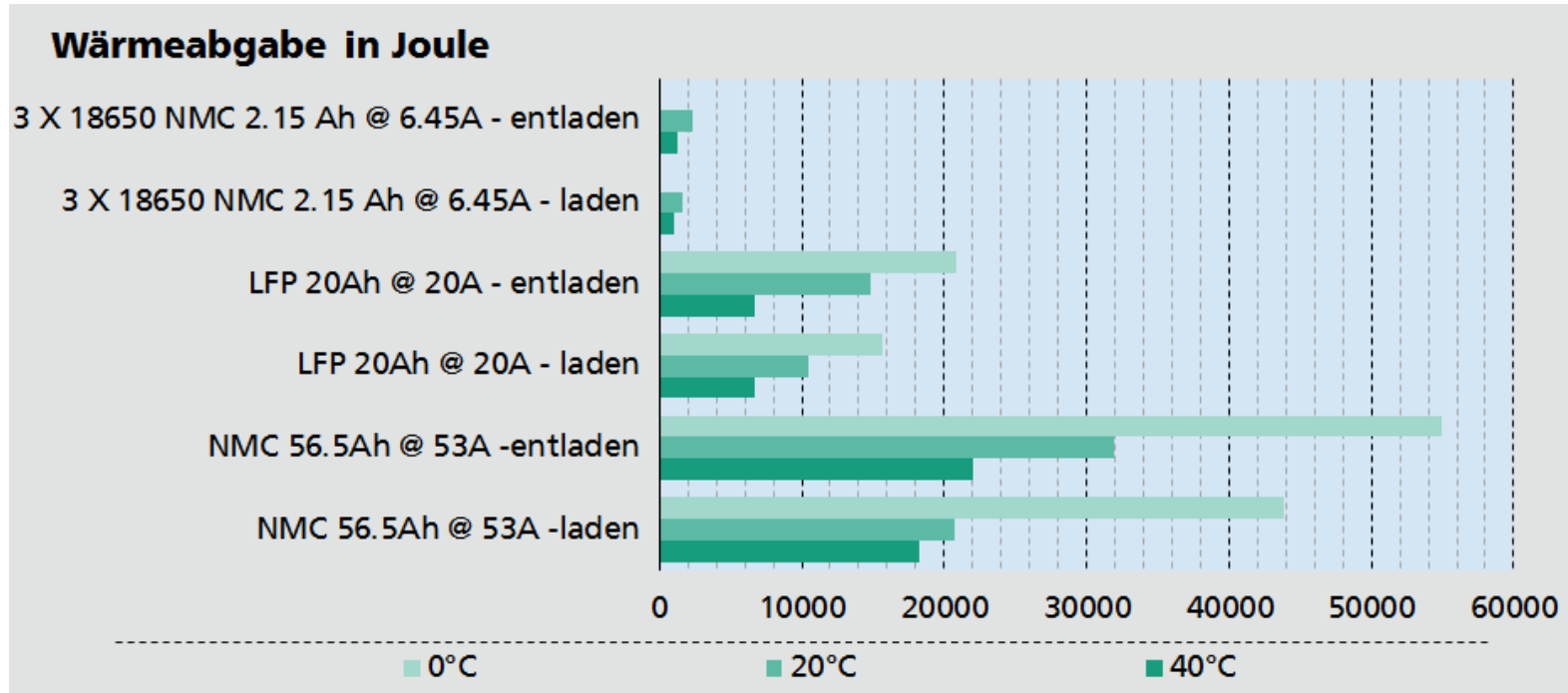
- 2x -1C für 6 min.
- 20 Ah LFP



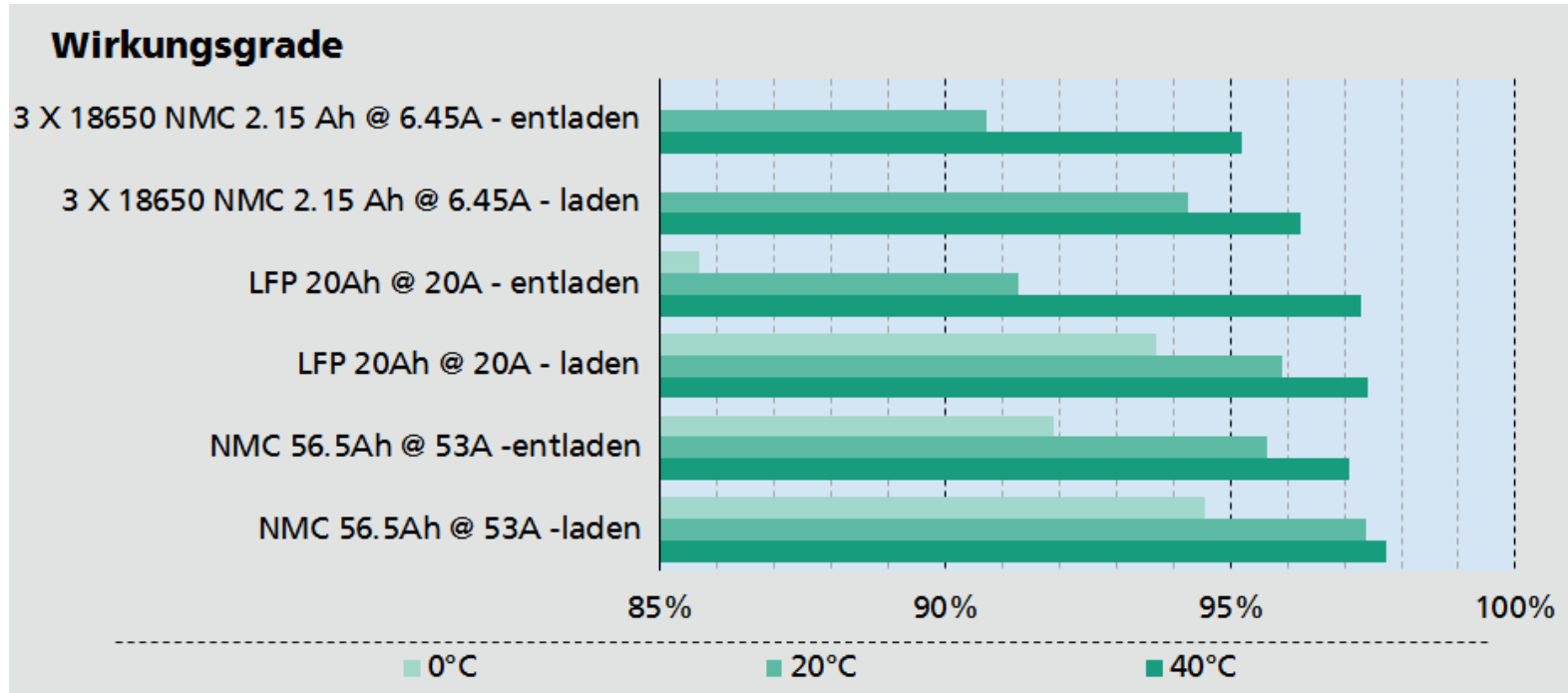
[www.a123systems.com]



# Messergebnisse und Diskussion

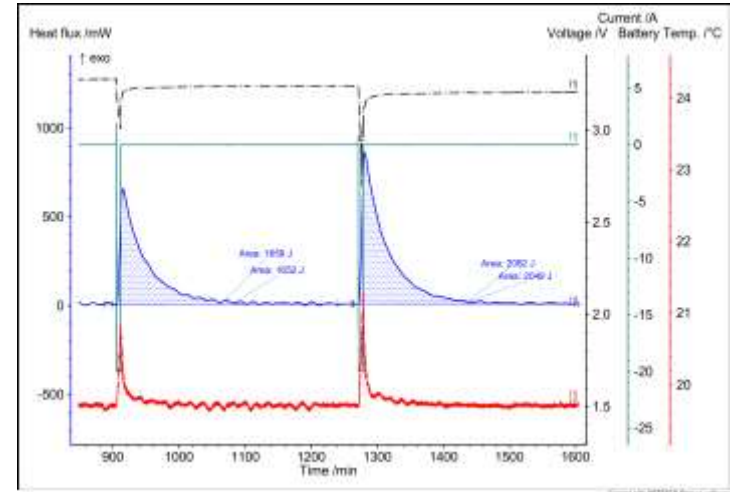
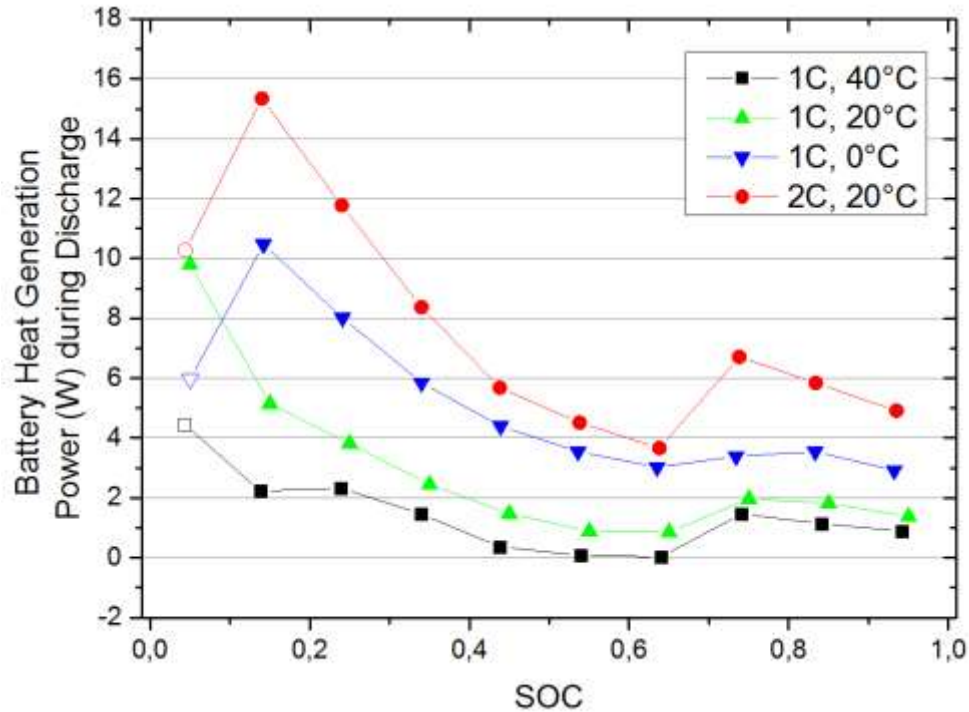


# Messergebnisse und Diskussion

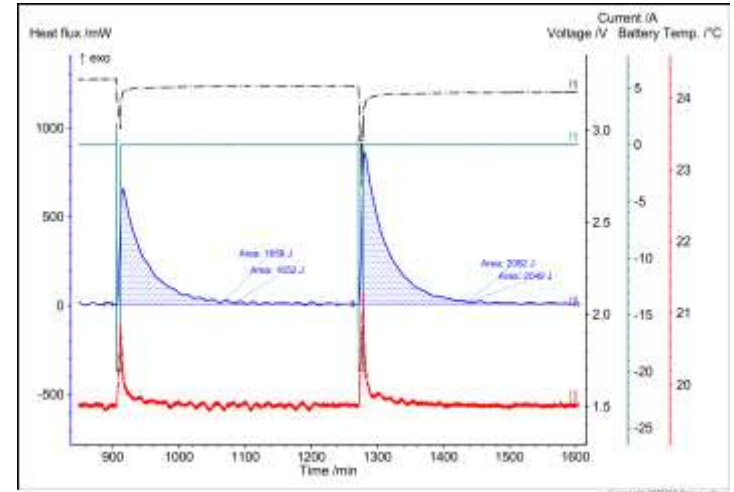
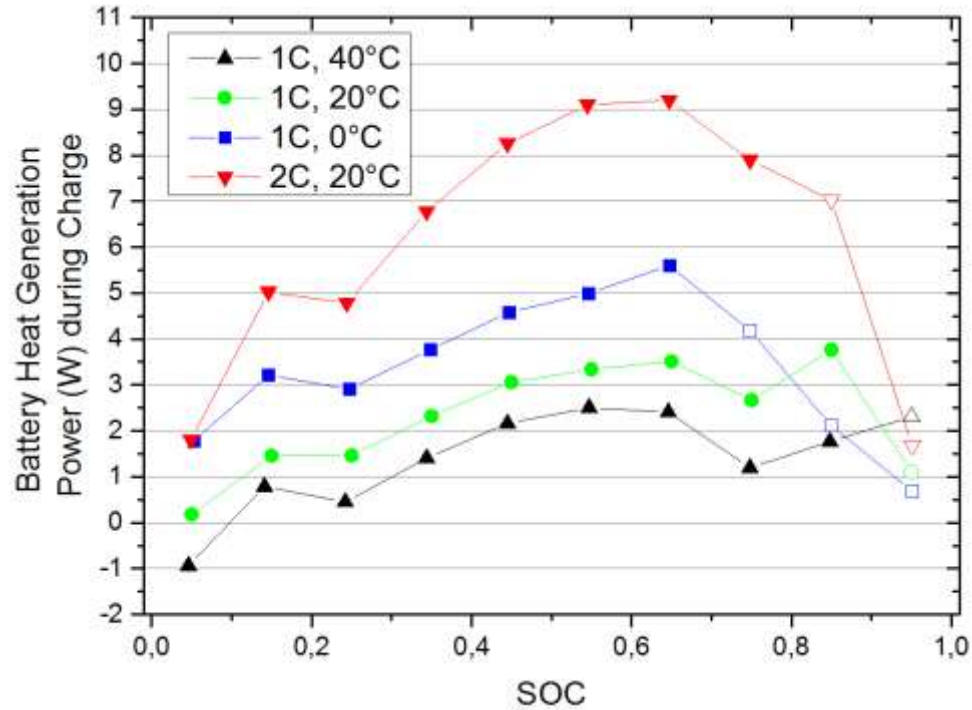




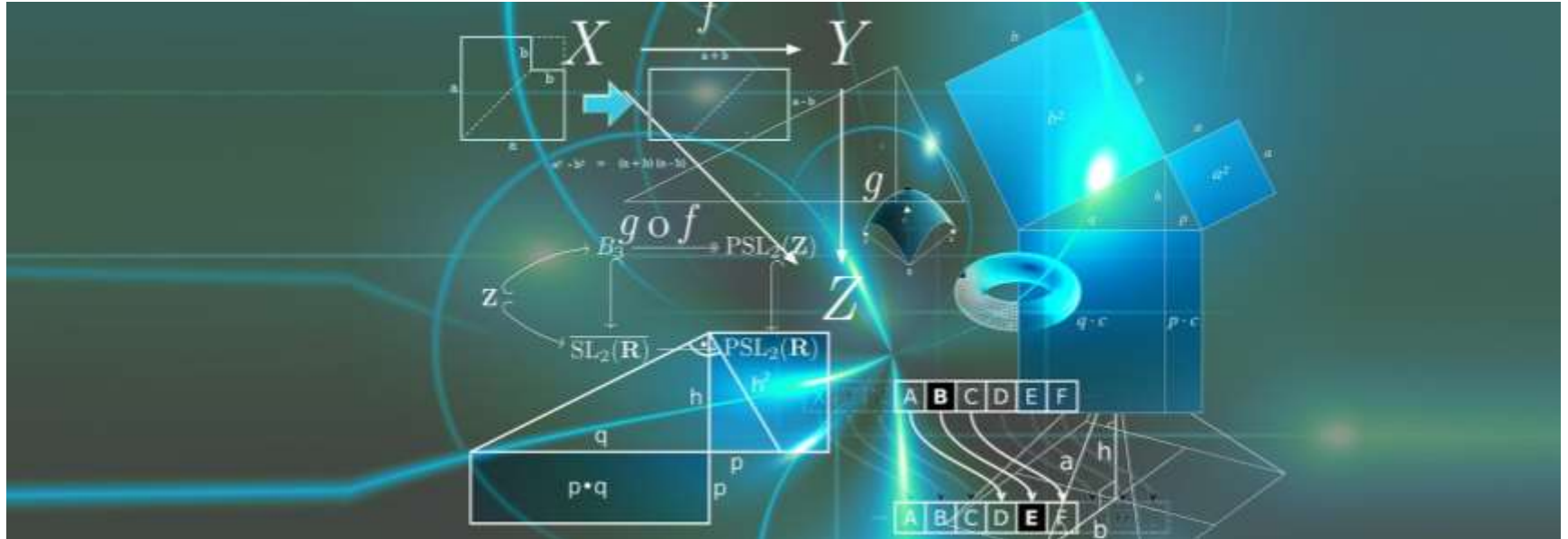
# Messergebnisse und Diskussion



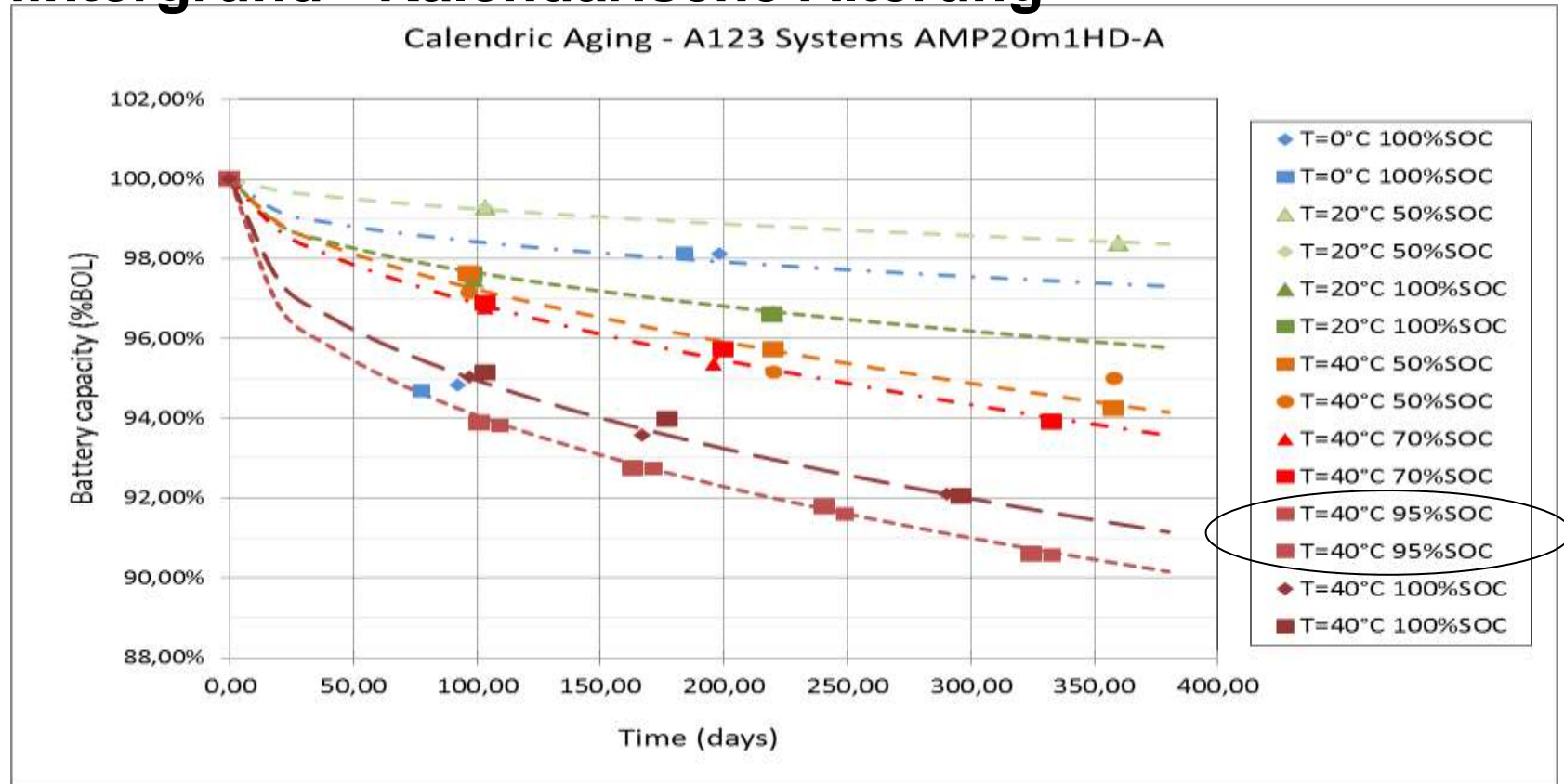
# Messergebnisse und Diskussion



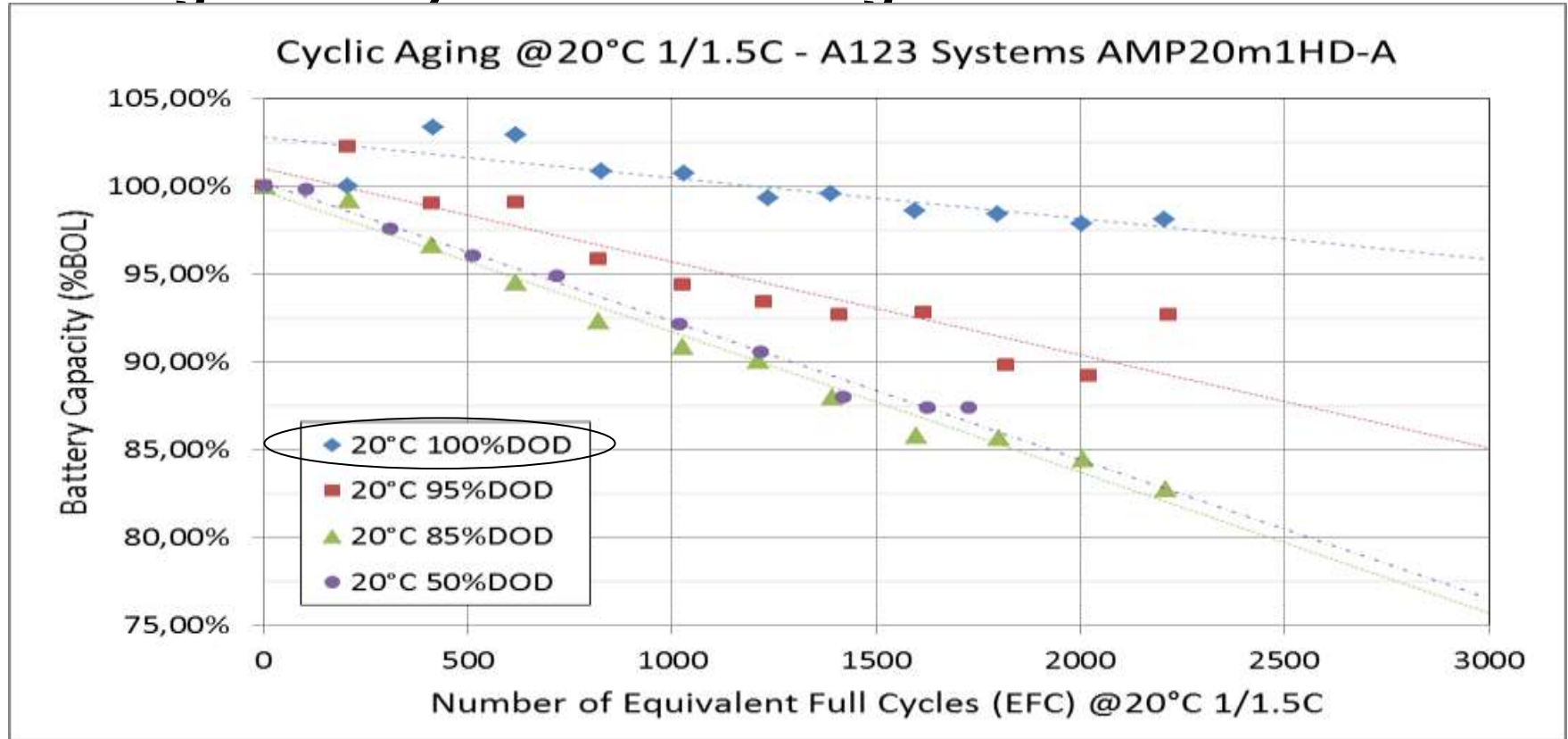
# Zusammenhänge und Berechnung



# Hintergrund - Kalendarische Alterung



# Hintergrund - Zyklische Alterung



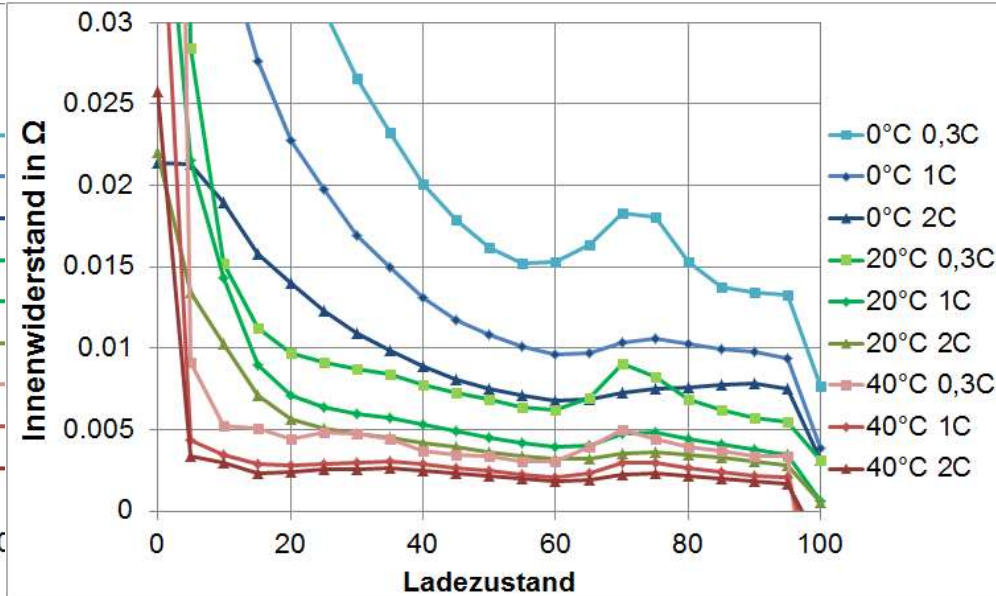
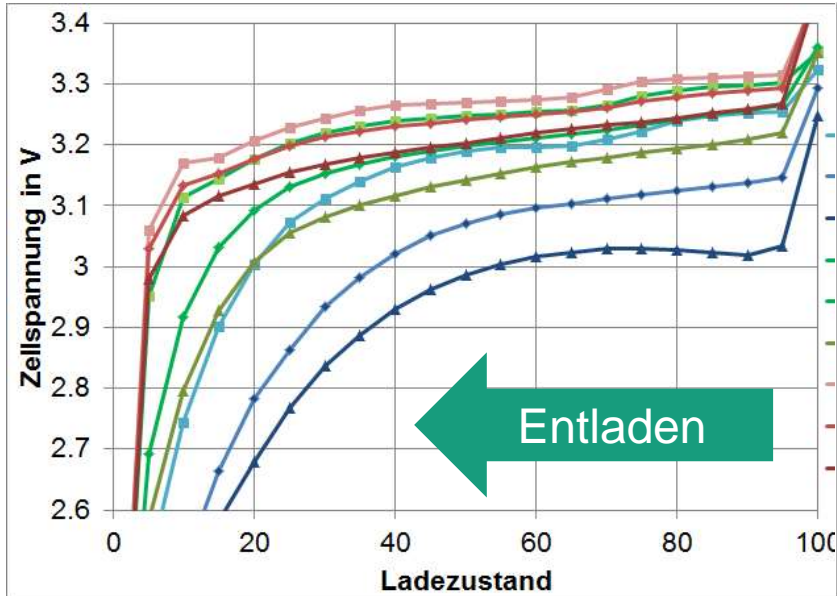
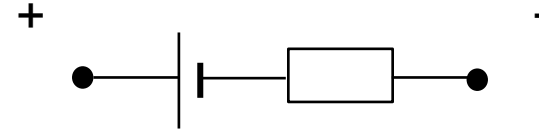
# Zusammenhänge und Berechnung

- Formel nach Bernardi et al. :

$$\begin{array}{l} q_{\text{gen}} = I \cdot \Delta U \quad + \quad I \cdot T \cdot \overbrace{dU/dT}^{\text{Entropie Koeffizient}} \quad [W] \\ q_{\text{gen}} = \underbrace{I^2 \cdot R_{\text{total}}}_{\text{irreversible Wärme}} \quad + \quad \underbrace{I \cdot T \cdot dU/dT}_{\text{reversible Wärme}} \quad [W] \\ \text{(Joulesche Wärme)} \quad \quad \quad \text{(Entropische Wärme)} \end{array}$$

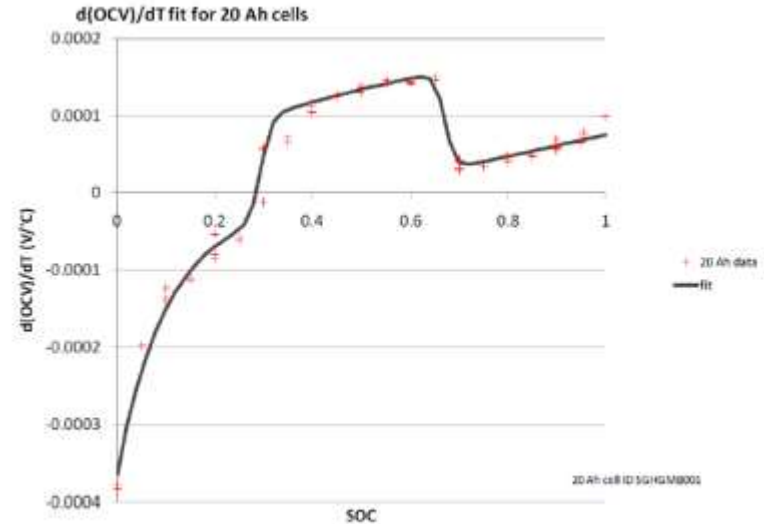
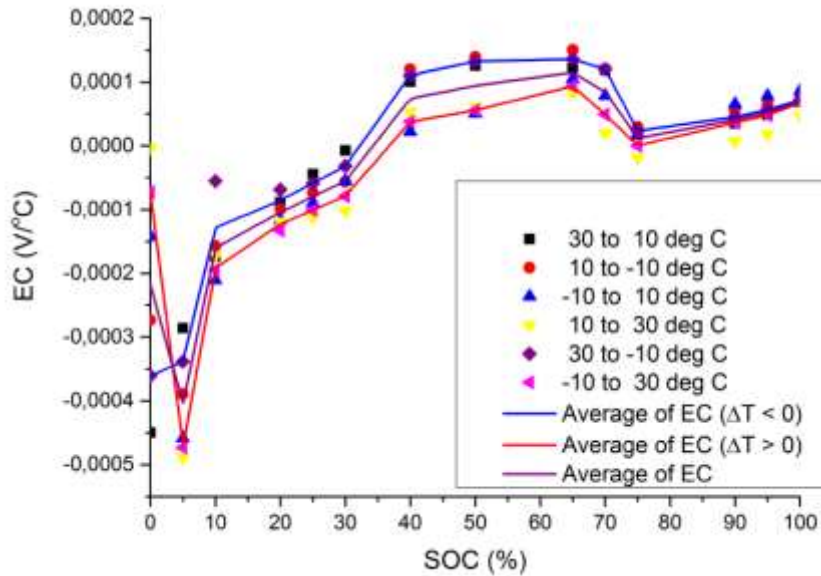
# Zusammenhänge und Berechnung

■ Innenwiderstand



# Zusammenhänge und Berechnung

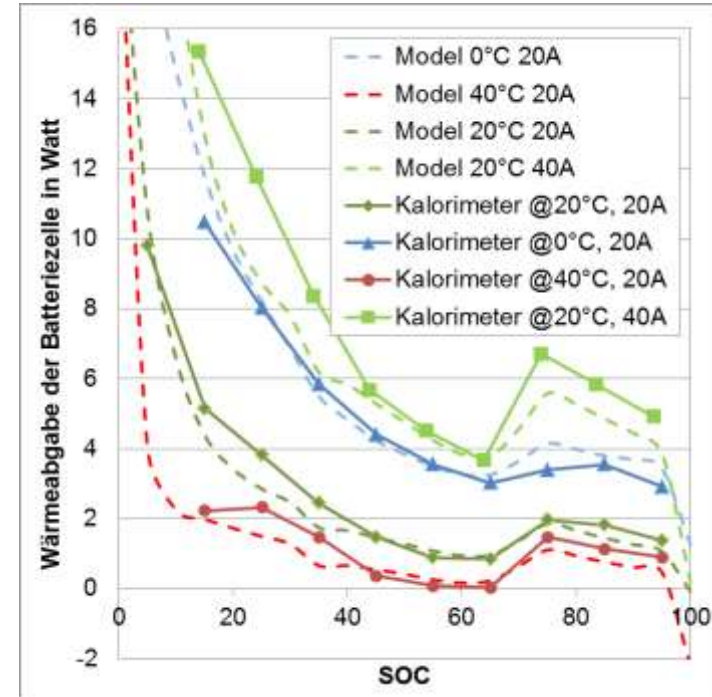
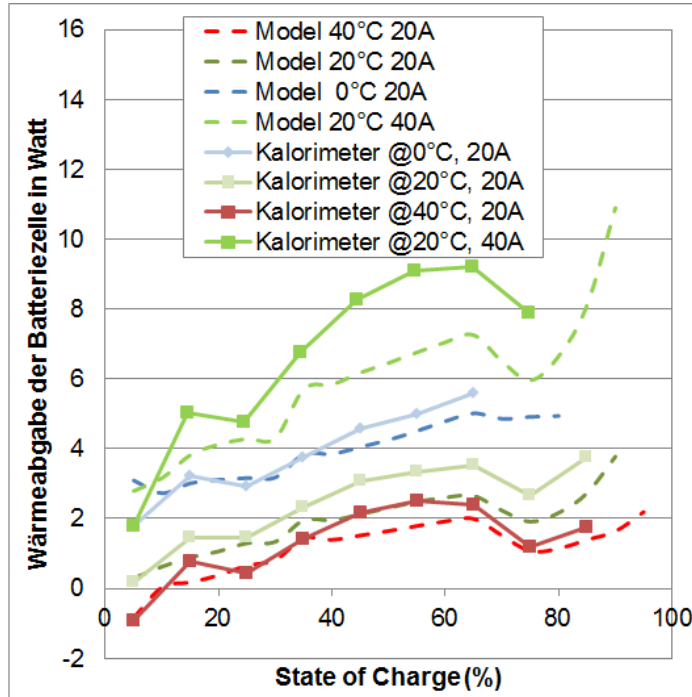
## ■ Entropie Koeffizient



Rechte Abbildung: [ Battery Pack Design, Validation, and Assembly Guide using A123 Systems AMP20M1HD-A Nanophosphate Cell – 07.02.2014 – A123 Systems - Online ]



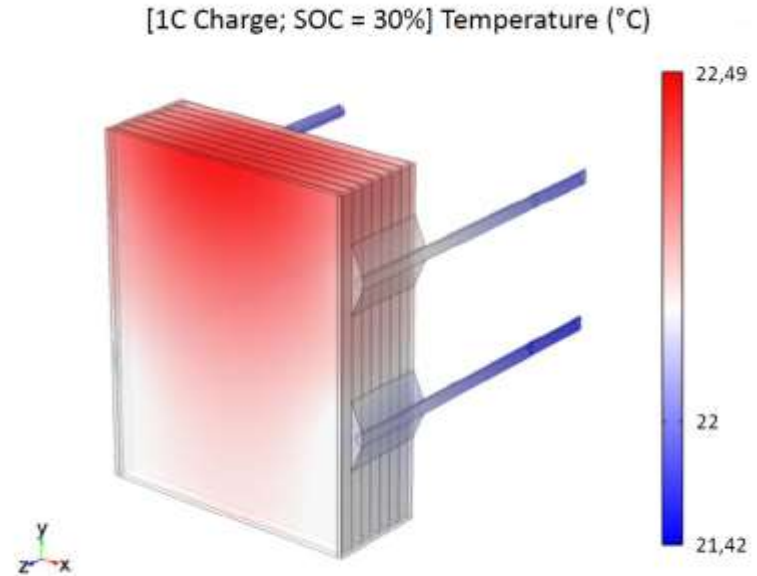
# Verifizierung der Ergebnisse



# Bedeutung für die Anwendung

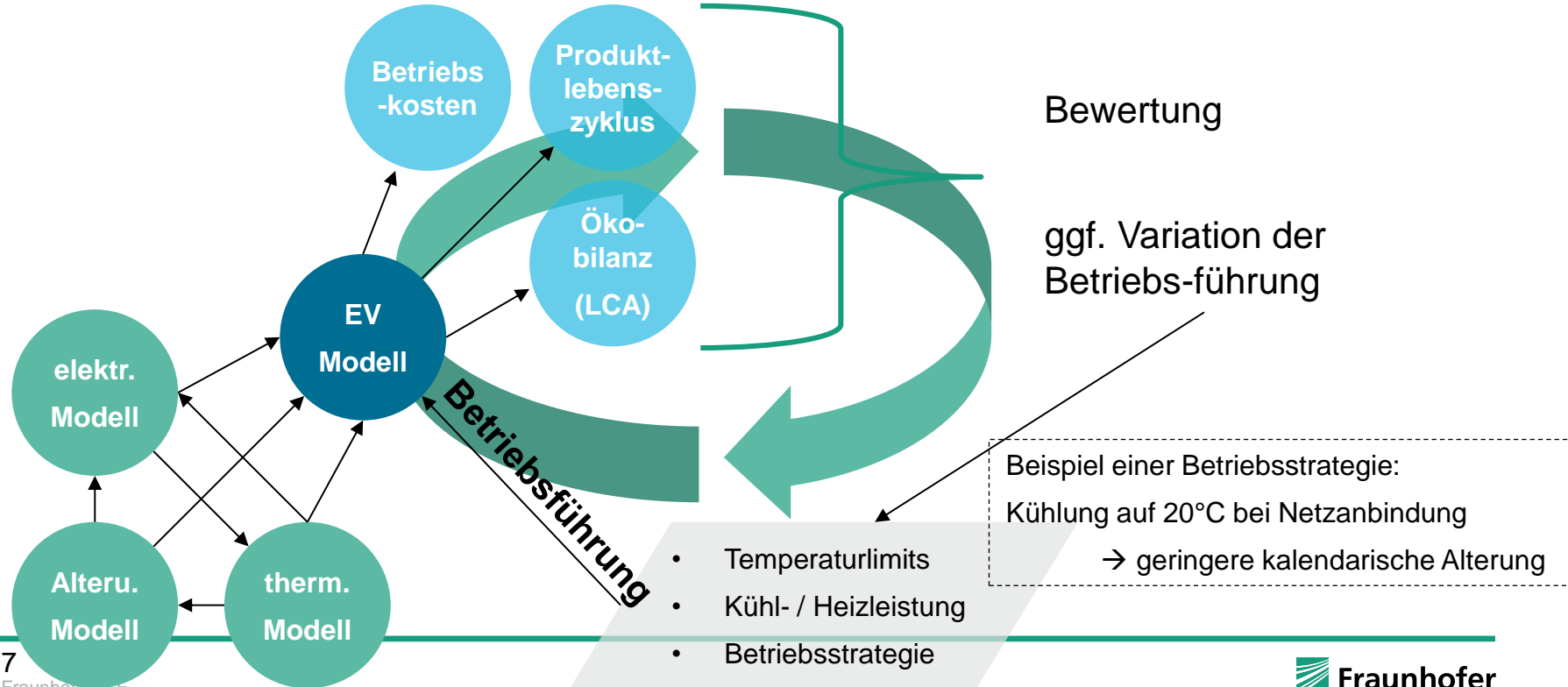
Ziel: langsame Alterung + hohe Effizienz

- Thermisches Management
  - Richtige Auslegung der Heiz- & Kühlleistung
  - Vorkonditionierung der Batterietemperatur
  - Betrieb warm / Standby kalt (evtl. sogar Kühlung)
  - Prognostizierte Klimatisierung



# Thermische Betriebsführung

## ■ Festlegung von Parametern und Strategien



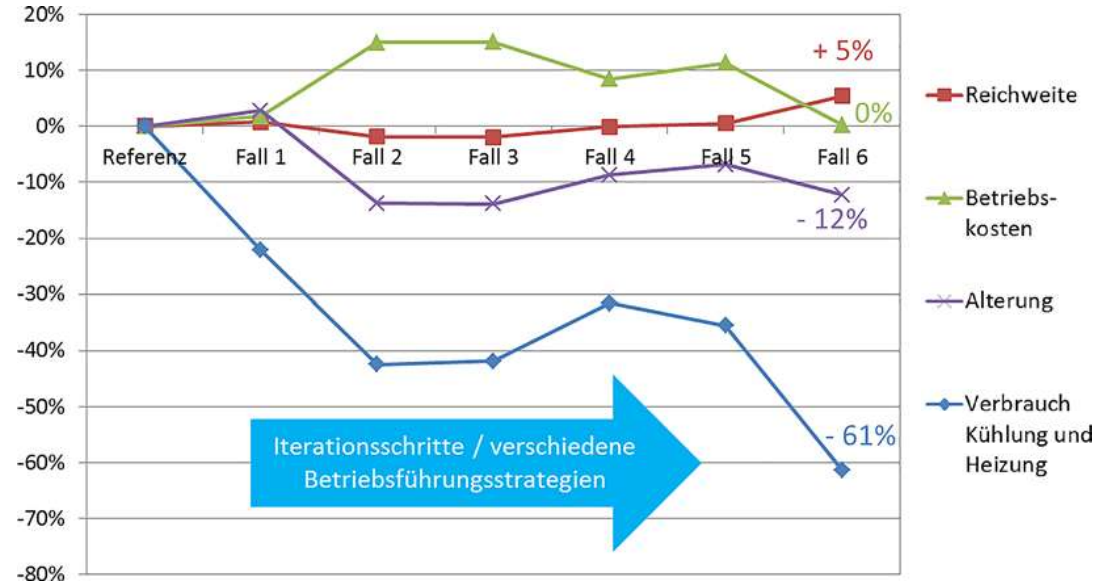
# Thermische Betriebsführung

## Projekt JOSPEL

- Strategien / Betriebsführung bspw.:
  - Vorkonditionieren der Batterie
  - Standby Kühlung
  - Verschiedene Temperaturgrenzen
  - ...
- Zielgrößen
  - Energieverbrauch während der Fahrt in kWh
  - Relativer Verbrauch kWh / 100 km
  - Betriebskosten € / 100 km
  - Alterung SOH (state of health)
  - Lebensdauer [Jahre]
  - Lebensdauer [km total]

# Thermische Betriebsführung

- Beispiel für Einfluss des (thermischen) Managements
  - Verschiedene Strategien und Betriebsparameter
- Ergebnis
  - Mehrere profitable Szenarien
  - Szenario 6:
    - gleicher Gesamtenergieverbrauch
    - leicht geringe Alterung
    - geringerer Energieverbrauch während der Fahrt → größere Reichweite



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Adrian Heuer, Maximilian Bruch

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

[adrian.heuer@ise.fraunhofer.de](mailto:adrian.heuer@ise.fraunhofer.de)