

# Aktuelle Entwicklungen in der Batterie-Forschung

Prof. Dr.-Ing. Julia Kowal TU Berlin

EET | Power Hour | 25. Juni 2024



## Vorstellung

### Prof. Dr.-Ing. Julia Kowal

- 1999-2004 Studium Elektrotechnik RWTH Aachen
- 2010 Promotion RWTH Aachen, Prof. Dr. Sauer
- 2010-2013 Abteilungsleitung „Modellierung, Analytik und Lebensdauerprognose von Batterien“ RWTH Aachen
- Seit März 2014 TU Berlin, Elektrische Energiespeichertechnik



# Vorstellung Fachgebiet Elektrische Energiespeichertechnik

## Vermessung von Batterien

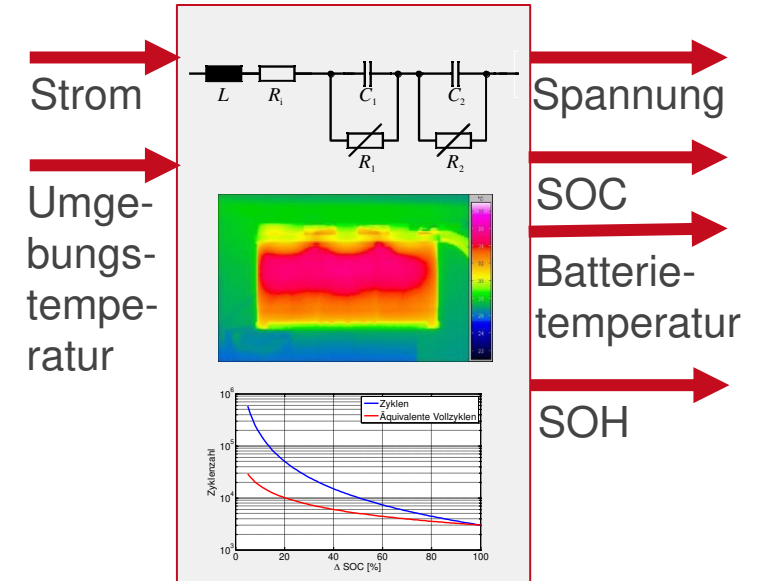
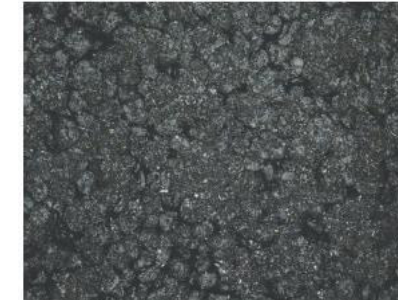
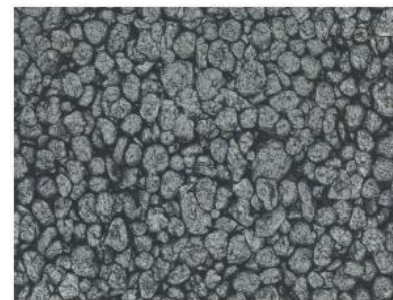
- Untersuchung des Verhaltens  
→ welche Prozesse treten auf?
- Parametrierung der Modelle
- Entwicklung von Messmethoden

## Entwicklung von Simulationsmodellen

- Elektrisches und thermisches Verhalten
- Lebensdauervorhersage
- Bestimmung des Ladezustands

## Chemische und physikalische Analyse

- Oberflächenanalyse
- (begrenzt) Materialanalyse



## Vorstellung Battery Circuit Berlin - Beteiligte



**Prof. Dr.-Ing.  
Franz Dietrich**

[f.dietrich@tu-berlin.de](mailto:f.dietrich@tu-berlin.de)

Institute for Machine Tools  
and Factory Management

Chair of  
Handling and Assembly  
Technology Research



**Prof. Dr.  
Aleksander Gurlo**

[gurlo@ceramics.tu-berlin.de](mailto:gurlo@ceramics.tu-berlin.de)

Institute for Material Science  
and technology

Chair of  
Advanced Ceramic Materials



**Prof. Dr.-Ing.  
Roland Jochem**

[Roland.Jochem@tu-berlin.de](mailto:Roland.Jochem@tu-berlin.de)

Institute for Machine Tools  
and Factory Management

Chair of  
Quality Science



**Prof. Dr.-Ing.  
Julia Kowal**

[Julia.Kowal@tu-berlin.de](mailto:Julia.Kowal@tu-berlin.de)

Institute of Energy and  
Automation Technology

Chair of  
Electrical Energy Storage  
Technology



**Prof. Dr.-Ing.  
Dirk Oberschmidt**

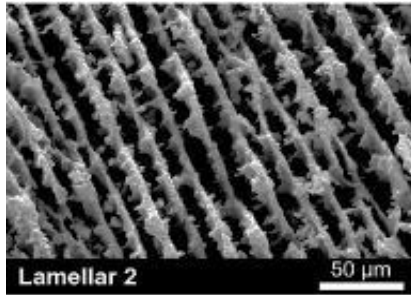
[dirk.oberschmidt@tu-berlin.de](mailto:dirk.oberschmidt@tu-berlin.de)

Institute for Machine Tools  
and Factory Management

Chair of  
Micro and Precision Equipment

**... and colleagues!**

# Vorstellung Battery Circuit Berlin - Kompetenzen



## Material Synthesis Lab

- ▶ Synthesis and material concepts
- ▶ Characterization - Ex-situ, in-situ, operando
- ▶ Raw material Recycling

## Coin Cell Lab

- ▶ Assembly / disassembly
- ▶ Chemical Analytics
- ▶ Post-mortem Inspection

## Pilot Production Line

- ▶ High-throughput stacking
- ▶ Electrode joining
- ▶ Cell housing / filling
- ▶ Cell sealing / Degassing

## Electrical Lab

- ▶ Impedance Spectroscopy
- ▶ Temperature chambers

## Assembly/Disassembly

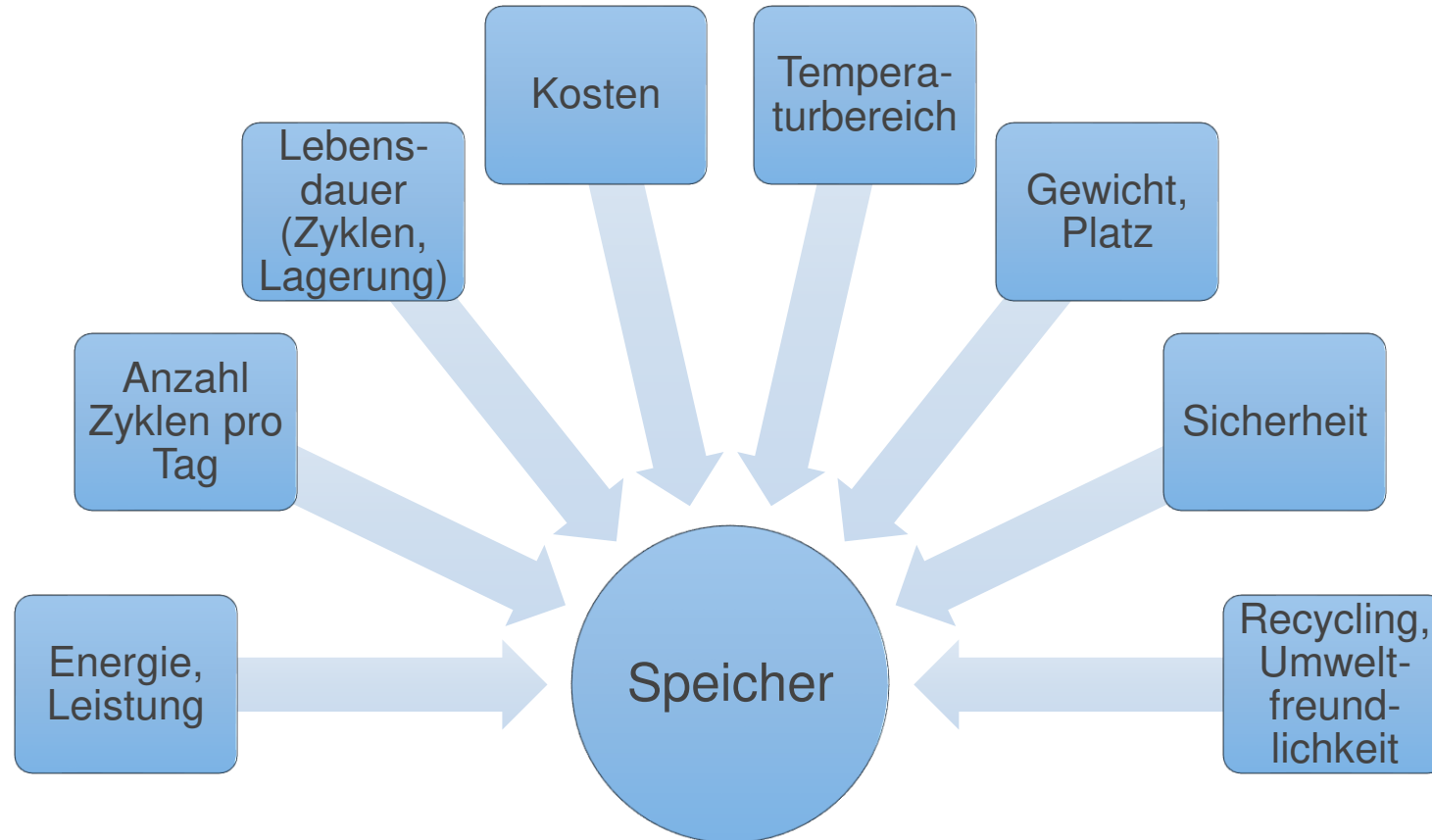
- ▶ Battery module assembly
- ▶ Wiring / BMS assembly
- ▶ Servicing & Disassembly

## Agenda

- Vorstellung Fachgebiet Elektrische Energiespeichertechnik
- Vorstellung Battery Circuit Berlin
- Neue Batterietechnologien → Natrium-Ionen-Batterien
- Neue Erkenntnisse in der Systemtechnik → Vermeidung von Alterung im Betrieb
- Ausblick



# Warum neue Batterietechnologien?



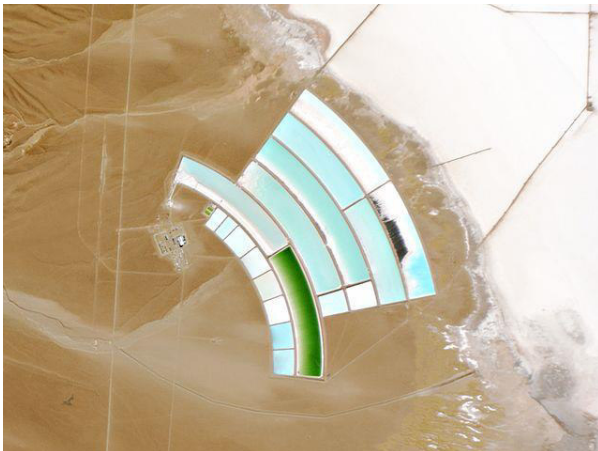
- Viele Anforderungen an Batterien
- Herausforderungen insbesondere:
  - Energie-/Leistungsdichte
  - Kosten
  - Sicherheit
  - Recycling/Umweltfreundlichkeit

## Problematik Rohstoffe

### Beispiel Lithium

Größter Anteil aus Salzseen in Südamerika

- Hoher Wasserverbrauch in wasserarmen Gegenden
- Abbau benötigt viel Chemie



Salar de Olaroz Lithium Mine, Argentina by Planet Labs.jpg

### Beispiel Cobalt

Größter Anteil aus Minen im Kongo

- Menschenunwürdige Abbaubedingungen, Kinderarbeit
- Giftig und umweltfeindlich



Coltan-Mine bei Rubaya. Bild: MONUSCO/Sylvain Liechti/CC BY-SA-2.0

- verbesserte Abbaubedingungen
- Bestmögliche Ausnutzung von Batterien und Recycling
- Suche nach Alternativen ohne Cobalt, z.B.  $\text{LiFePO}_4$  oder Reduktion: NCM 111 zu 811, 611, 532
- Natrium-Ionen-Batterien

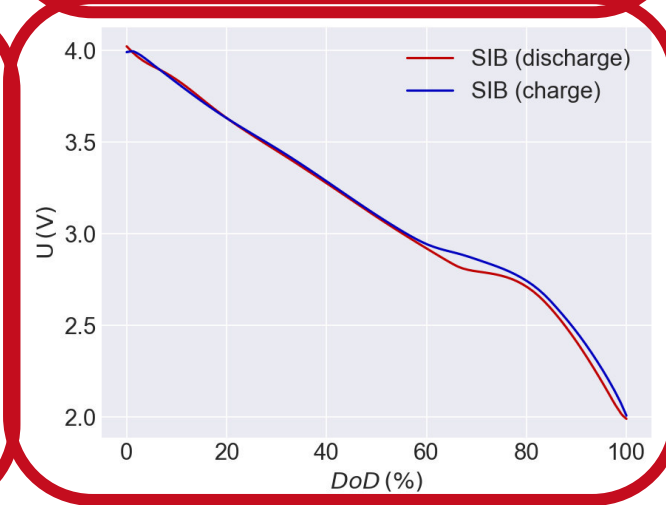
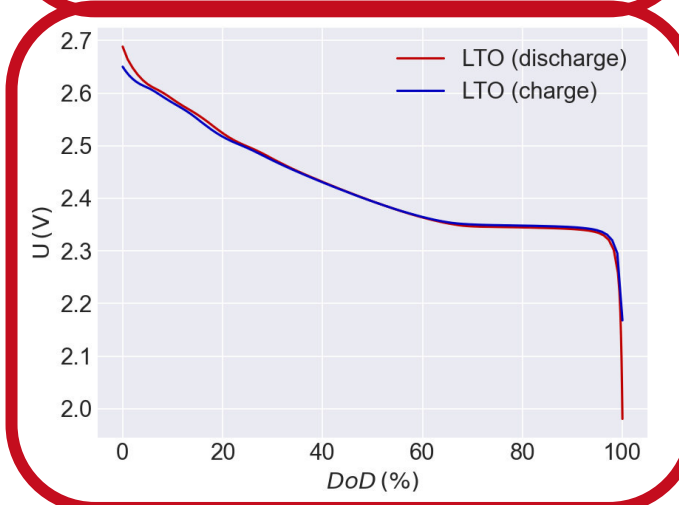
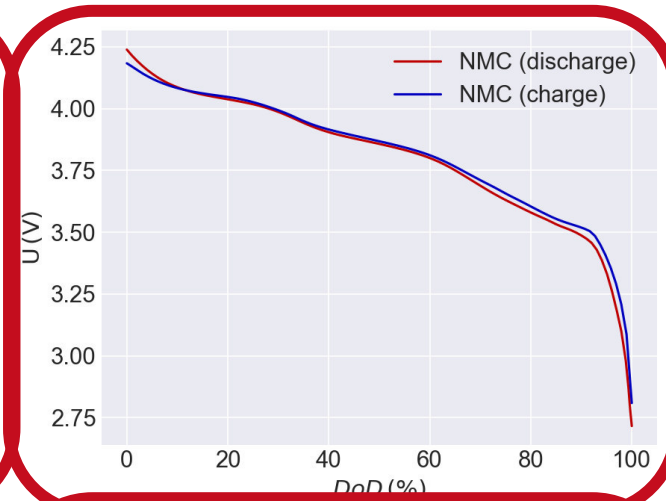
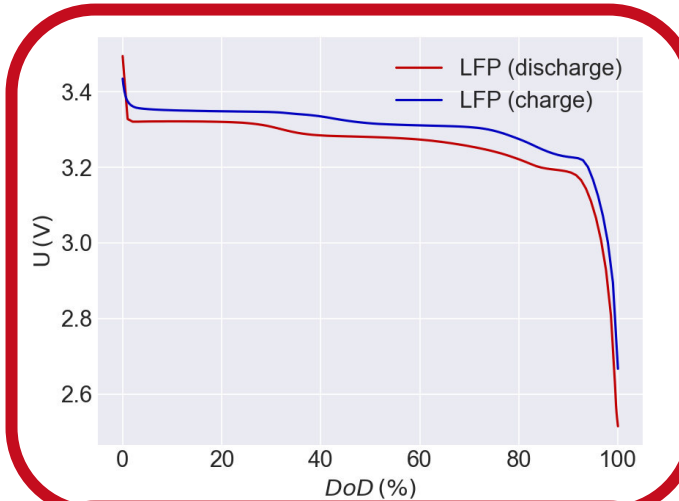


## Vergleich von Natrium-Ionen- und Lithium-Ionen-Zellen

- Erste kommerziell freiverfügbare SIB Zelle
  - Metall-Schichtoxid-Kathode (NMF)
  - Hard Carbon Anode
- Einordnung anhand dreier Lithium-Zelltechnologien
  - Graphit-NMC
  - Graphit-LFP
  - LTO-LCO
- 18650 Format
  - Gleicher Hersteller (Hakadi, CN)
  - Je 1500 mAh Kapazität



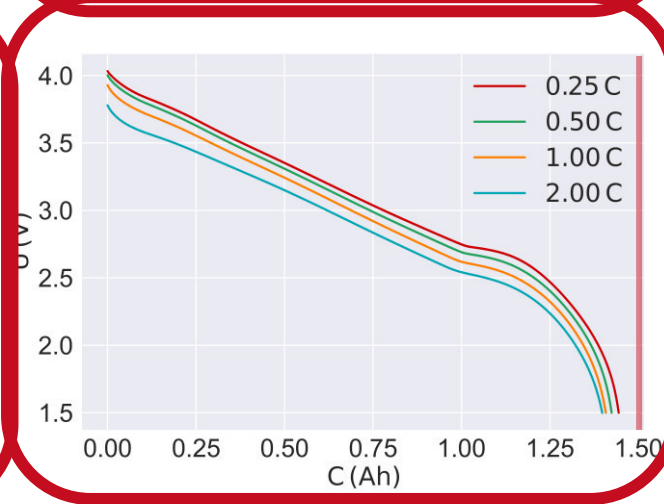
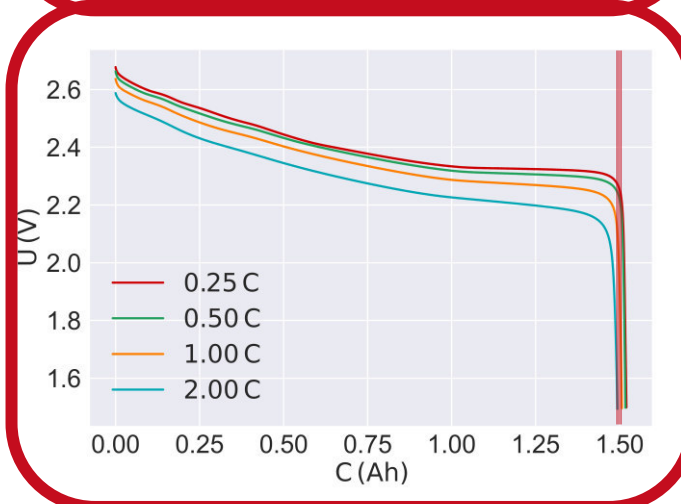
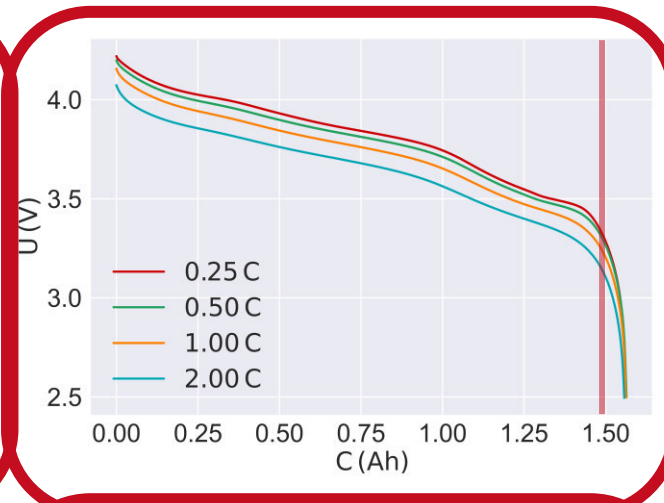
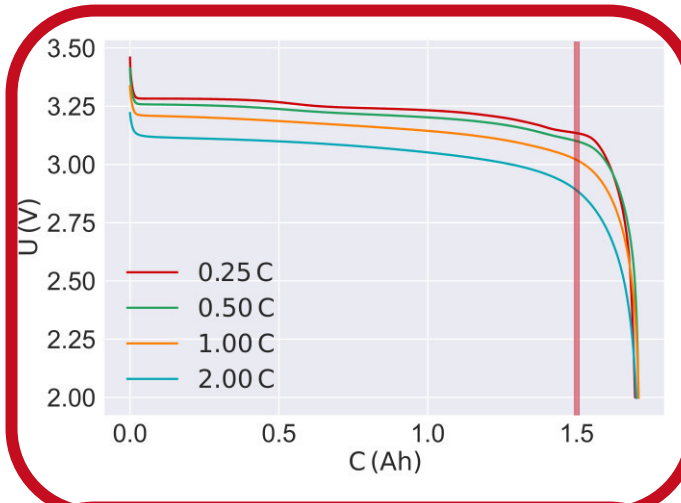
# Ergebnisse: Elektrische Vermessung



- Ruhespannungskurven (iOCV)
- LFP
  - Flache OCV
  - Hysterese
- NMC
  - Nahezu keine Hysterese
- LTO
  - Keine Hysterese
  - Geringe Gesamtspannung
- SIB
  - Großer Spannungsbereich

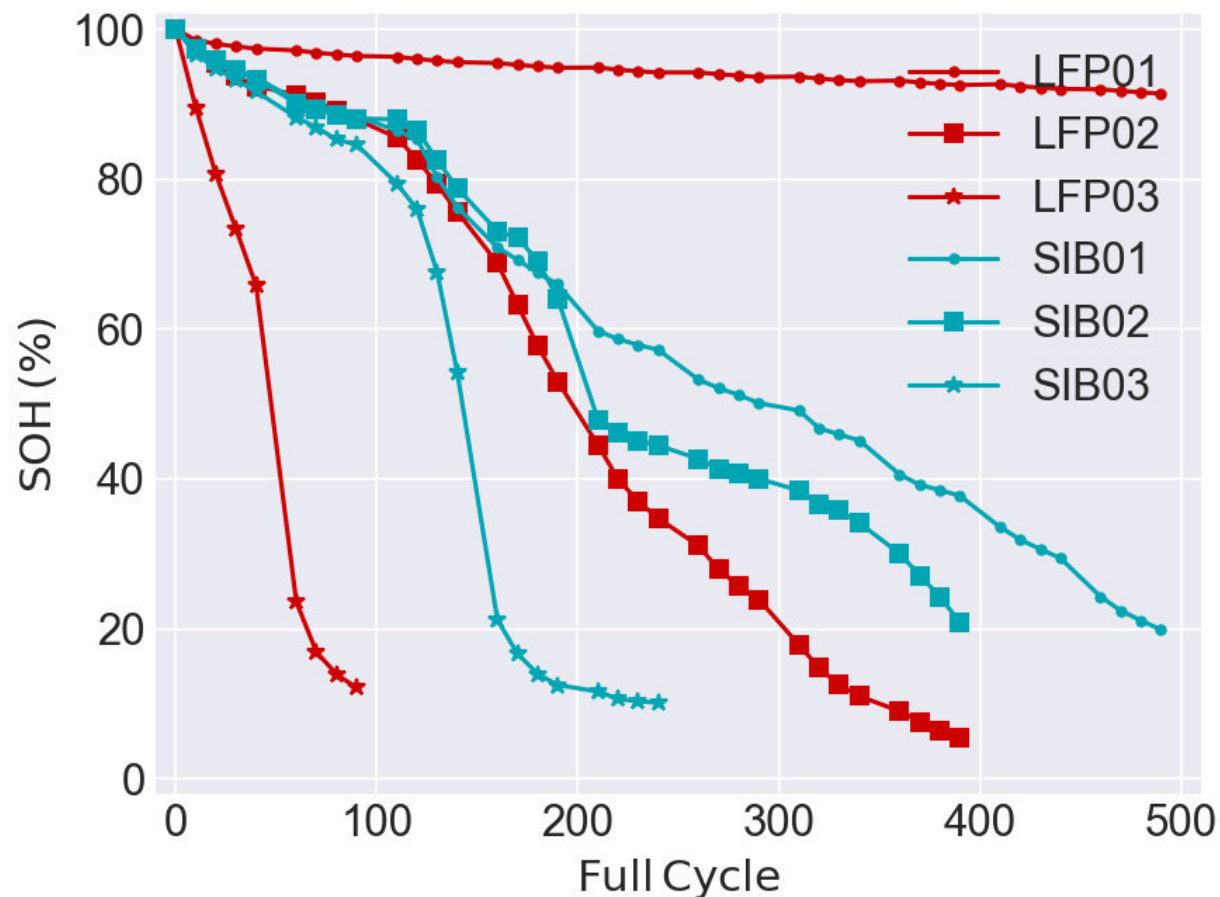
Quelle: D. Droese, A. Schlösser, M. Otto, P. Luc, D. Evans, J. Kowal, Einordnung kommerzieller Na-Ionen Batteriezellen anhand aktueller Li-Ionen Technologien  
 Veröffentlichung in Vorbereitung, präsentiert bei Advanced Battery Power 2024, Münster und LEVI Symposium 2024

# Ergebnisse: Elektrische Vermessung



- Entladeverhalten
- LFP
  - Kaum Stromabhängigkeit
  - Kapazität höher
- NMC
  - Kaum Stromabhängigkeit
- LTO
  - Geringe Stromabhängigkeit
- SIB
  - Hohe Stromabhängigkeit
  - Kapazität geringer

## Ergebnisse: Alterungsverhalten



- Alterung bei 25°C bis EOL
  - CC Ladung bei 1C
  - CC Entladung bei 3C
- Kapazitätsbestimmung CCCV
- Alterung nach 500 Vollzyklen:
  - NMC: 92% - 93% SOH
  - LTO: 96% - 97% SOH
  - LFP: 0% - 91% SOH
  - SIB: 0% - 20% SOH

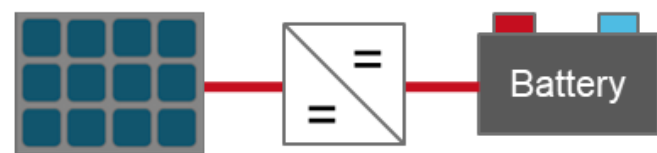
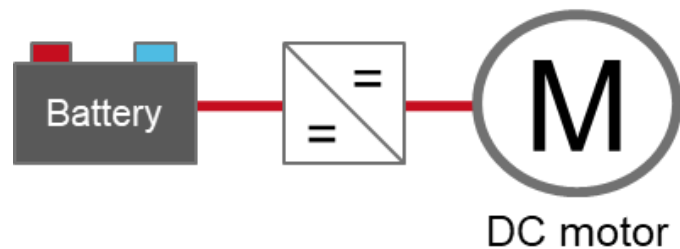
# Agenda

- Vorstellung Fachgebiet Elektrische Energiespeichertechnik
- Vorstellung Battery Circuit Berlin
- Neue Batterietechnologien → Natrium-Ionen-Batterien
- **Neue Erkenntnisse in der Systemtechnik → Vermeidung von Alterung im Betrieb**
- Ausblick

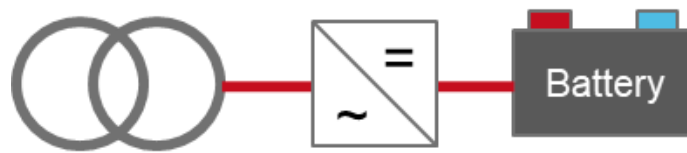
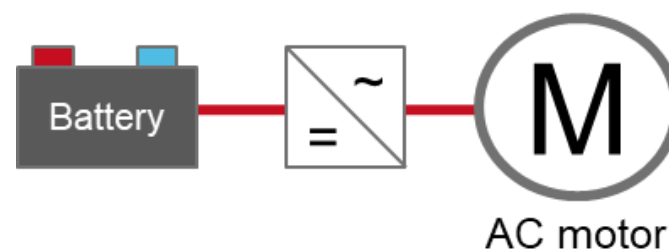


## Einfluss von Leistungselektronik auf die Alterung

### DC Last oder Ladung

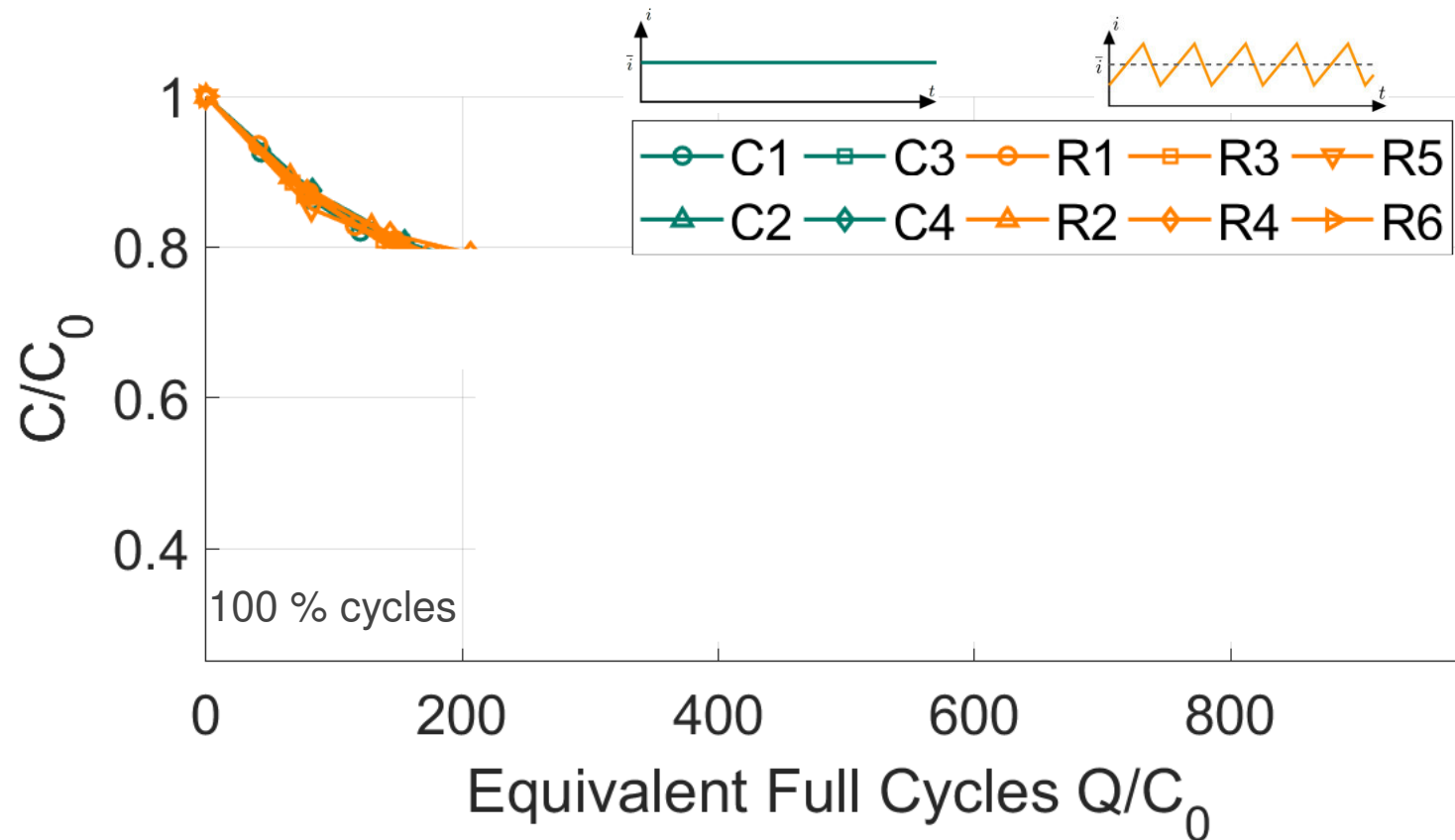


### AC Last oder Ladung



- Batterien werden fast immer mit Leistungselektronik betrieben!
- Kondensatoren filtern die hochfrequenten Pulse
- Wie groß ist der Einfluss auf die Alterung?

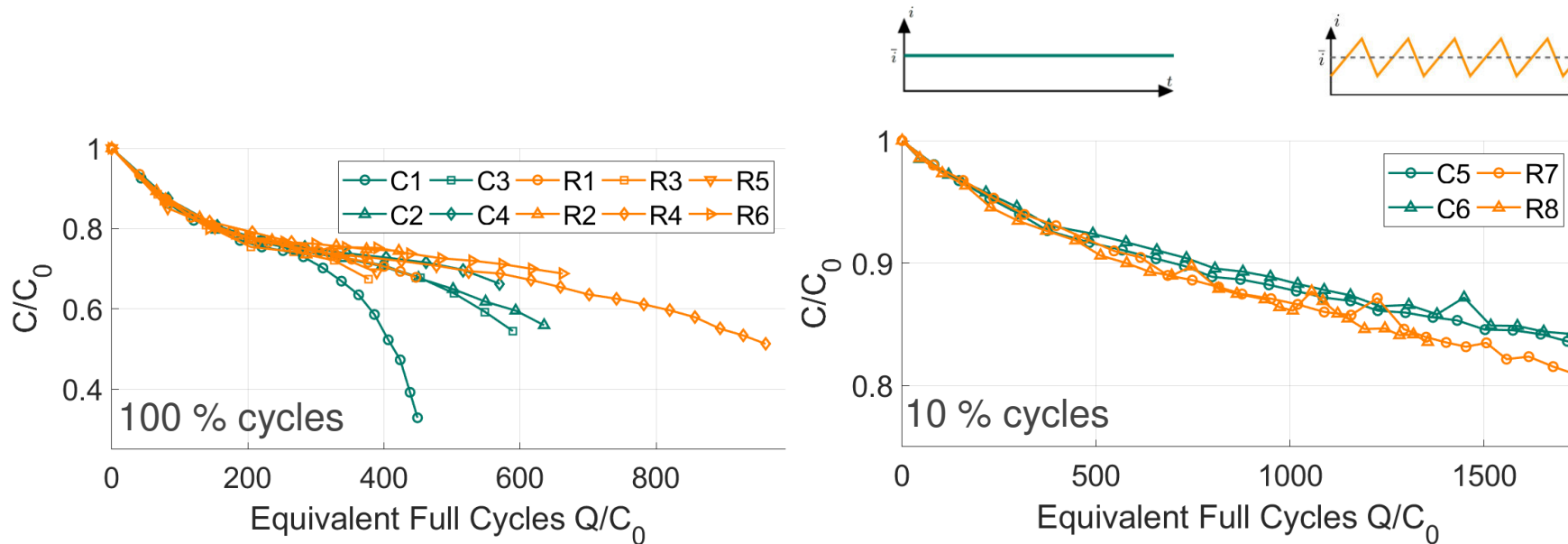
# Einfluss von Leistungselektronik auf die Alterung



- Fast kein Unterschied bis ca. 80 %
- Unter 80 % schnellerer Abfall ohne Rippel, mehr Ausfälle mit Rippeln

Pablo K. P. Ferraz Dissertation, TU Berlin, 2019

# Einfluss von Leistungselektronik auf die Alterung



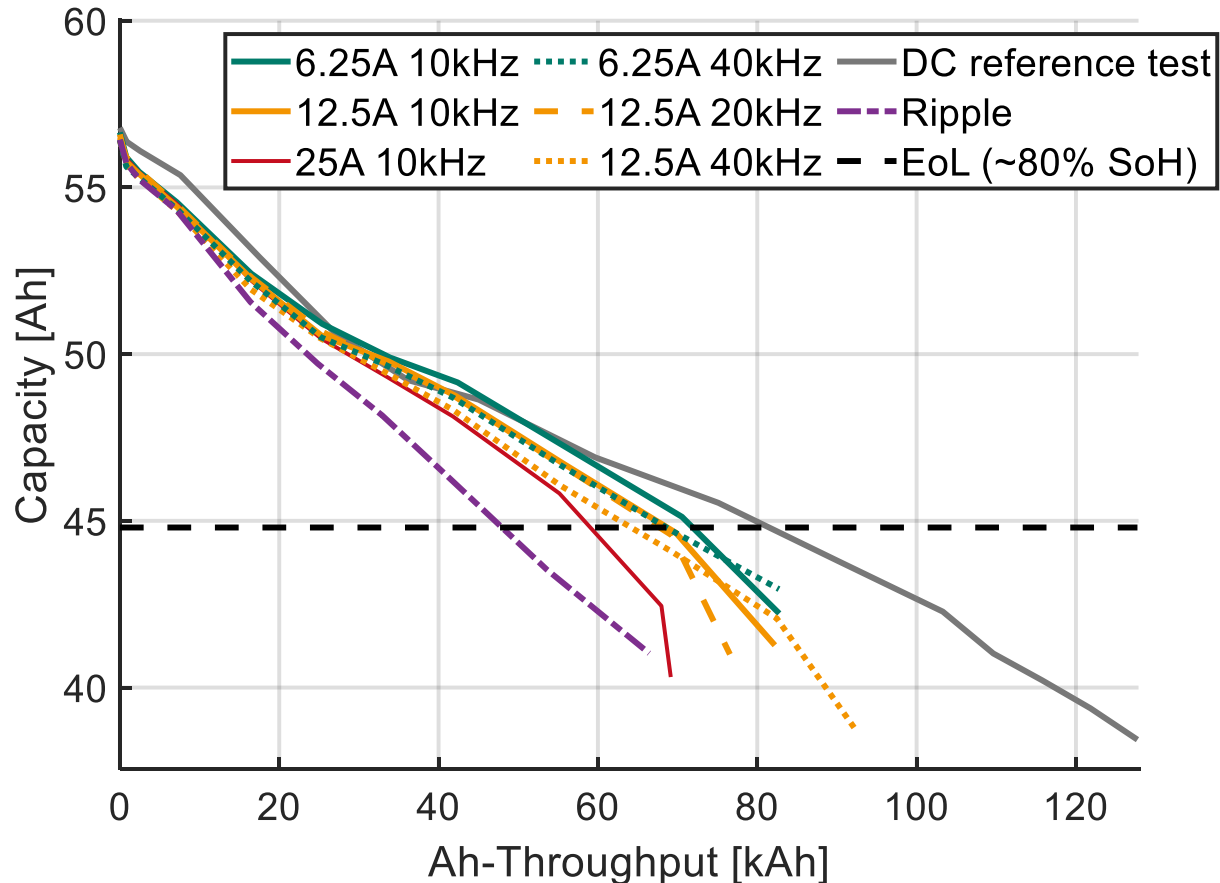
Größerer Einfluss bei kleinen Zyklen, auch über 80 %

→ Einfluss von Rippeln ist schwächer als Zyklisierung

→ Kleine Rippel, um ihren Einfluss zu untersuchen

Pablo K. P. Ferraz Dissertation, TU Berlin, 2019

# Einfluss von Leistungselektronik auf die Alterung



## Ergebnis:

- Verstärkte Alterung mit überlagertem AC-Signal
- Amplitude hat mehr Einfluss als Frequenz
- Mehrere Frequenzen sind schlimmer als eine

## Zusätzlich:

- Erhöhte Variabilität
- Größere Wahrscheinlichkeit für Ausfälle

## Aber:

- Die Testbedingungen sind verstärkt im Vergleich zur Realität
- Vermutlich erst relevant für Zweitnutzung

Goldammer, E.; Gentejohann, M.; Schlüter, M.; Weber, D.; Wondrak, W.; Dieckerhoff, S.; Gühmann, C. & Kowal, J. (2022). The Impact of an Overlaid Ripple Current on Battery Aging: The Development of the SiCWell Dataset. *Batteries*, 8(2), 11. All measurements open-access available: <https://iee-dataport.org/open-access/sicwell-dataset>

## Zusammenfassung und Ausblick

- Materialforschung nach wie vor sinnvoll für Verbesserungen  
→ Kosten, Energie-/Leistungsdichte, Umweltfreundlichkeit
- Natrium-Ionen-Batterien verfügbar, aber noch schlechtere Leistungsfähigkeit
- Betrieb von Batterien kann optimiert werden, wenn das Alterungsverhalten gut verstanden wird  
→ Beispiel Einfluss von Leistungselektronik
- Weitere Themen sind z.B. Lithium-Plating, Thermal Runaway



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**