

19.09.2024, IAA Transportation, Hannover

FRÜHWARNSYSTEM FÜR EV-BATTERIEN

Prädiktion des Thermischen Durchgehens von Lithium-Ionen-Speichern

Markus Schweizer-Berberich¹, Tim Tichter²

¹ Vitesco Technologies

² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

vitesco
TECHNOLOGIES

 **BAM**
Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

www.bam.de

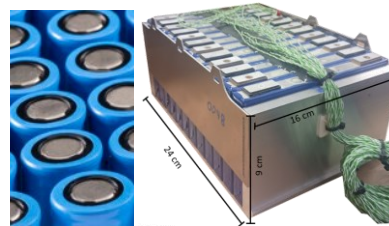
www.vitesco-technologies.com

Lithium-Ionen-Batterien und Elektromobilität

Gesetzliche Vorgaben für den Transport

- *UN 3090 Lithium-Metall-Batterien*
- *UN 3091 Lithium-Metall-Batterien in oder mit Ausrüstungen verpackt*
- *UN 3480 Lithium-Ionen-Batterien*
- *UN 3481 Lithium-Ionen-Batterien in oder mit Ausrüstungen verpackt*
- *UN 3171 batteriebetriebenes Fahrzeug oder Gerät*
- *UN 3166 Hybridfahrzeug*
- *UN 3536 Lithium-Batterien, in Güterbeförderungseinheiten*

Lithiumbatterien — BG Verkehr (bg-verkehr.de)



Transport von
Li-Zellen, Modulen,
Packs unverbaut



Transport von
Batterien



im Endgerät



Lithium-Ionen-Batterien und Elektromobilität

Risiken im Betrieb

- Steigende Anzahl elektrisch betriebener Fahrzeuge führt zu mehr absoluten Schadensfällen.

➔ Negative Medienresonanz

Reports Incheon Aug. 1st, 2024

[Fire breaks out in electric vehicle after explosion in Incheon - The Korea Times](#)

[MB chief in South Korea to meet residents after EV fire damaged property | Reuters](#)

[Mercedes, BMW Reveal Battery Makers Amid Fire Fears in Korea - Bloomberg](#)

[South Korea urges automakers to disclose EV battery brands after fires | Reuters](#)

Videos Incheon Aug. 1st, 2024

[Global EV Sales Up 31% At 1.35 Mn Units; Mercedes Benz EV Catches Fire Sparking Safety Concerns! \(msn.com\)](#)

General

[Electric Car Fires: What You Need To Know \(youtube.com\)](#)

Statistics on car fires

[Gas vs. Electric Car Fires \[2024 Findings\] | AutoinsuranceEZ.com](#)

[Highway Vehicle Fires \(2014-2016\) \(fema.gov\)](#)

[Car Fire Statistics - Updated August 2024 | Honest John](#)

Elektrofahrzeuge brennen seltener als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor

National Transportation Safety Board (NTSB), Bureau of Transportation Statistics (BTS), and government recall data from [Recalls.gov](#).

Brände von E-Autos - Herausforderungen

- Ist es ein Batteriebrand, oder ein „regulärer Fahrzeugbrand“?
- Ist die Batterie Auslöser des Brandes?
- Steht ein so genanntes „**Thermisches Durchgehen**“ (TD) unmittelbar bevor?

VITESCO TECHNOLOGIES

ELEKTRISCHE LÖSUNGEN FÜR EINE SAUBERE UMWELT

ELECTRONIC CONTROLS

Control functions e.g. torque demand and energy mgmt.

ELECTRIC MACHINE

Electric propulsion and energy recuperation.

INVERTER

Control, efficiency and performance of the e-machine.

CONVERTER

Supply the power net and low voltage consumers.

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS)

Ensure optimum conditions and charging of battery.

THERMAL MANAGEMENT

Assuring optimum thermal efficiency of the system.

HIGH VOLTAGE SOLUTIONS

- > Battery Electric Vehicles
- > Plug-In Hybrids

50-100% CO₂ saving¹ 

MASTER CONTROLLER



HYBRID TRANSMISSION CONTROLS & ACTUATORS



ELECTRIC AXLE DRIVE SYSTEM (inverter, electric machine, reducer)



HIGH VOLTAGE DC/AC INVERTER



INTEGRATED HIGH VOLTAGE BOX (on-board-charger + DC/DC converter)



HIGH VOLTAGE DC/DC CONVERTER



48V BELT STARTER GENERATOR (integrated inverter and electric machine)



Air-cooled 12kW peak



Hybrid-cooled 15kW peak



Liquid-cooled 15-25kW peak

48V DC/DC CONVERTER



BATTERY MGMT. CONTROL



BATTERY JUNCTION BOX



CELL MONITORING UNIT



HV, CURRENT MONITOR



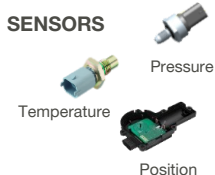
PUMPS



VALVES



SENSORS



THERMAL RUNAWAY MULTI SENSOR



¹ "Tank to wheel" saving potential versus combustion vehicle based on WLTP (World Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure)

Das FrühLiBatt-Projekt

Früherkennung des Thermischen Durchgehens

Fünf-Minuten Vorwarnzeit

Batteriemanagementsysteme müssen 5 Minuten vor einer durch TD bedingten Gefährdung der Insassen eine Warnung abgeben.

GTR20, UN-R100/03, FMVSS No. 305a

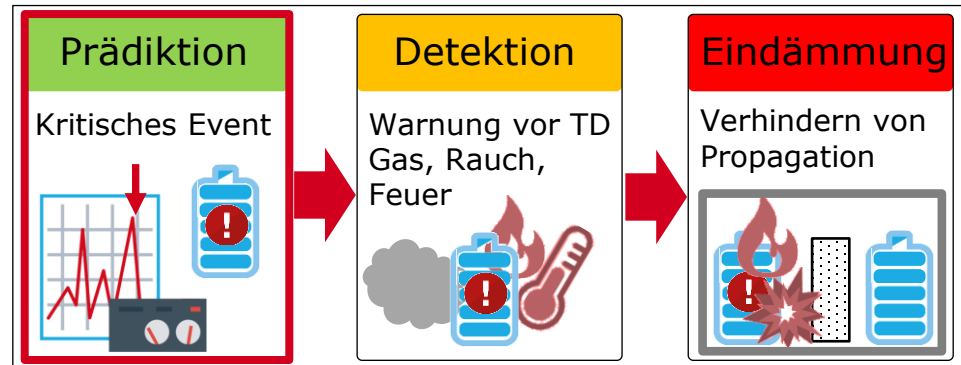


**Zeitfenster für
Warnung und
Maßnahmen
werden aktuell
diskutiert**

Thermisches Durchgehen (TD)

Eine unkontrollierte Kettenreaktion, die zu einer starken Wärmeentwicklung mit Flambbildung und/oder Explosion des Batteriespeichers führt.

→ **Signifikantes Schadenszenario**



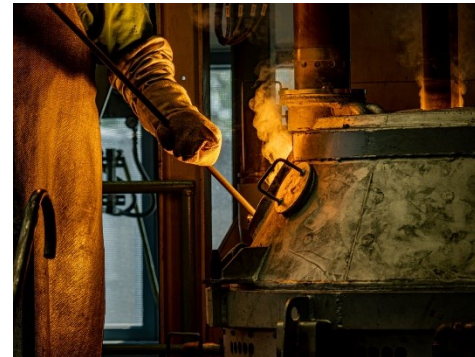
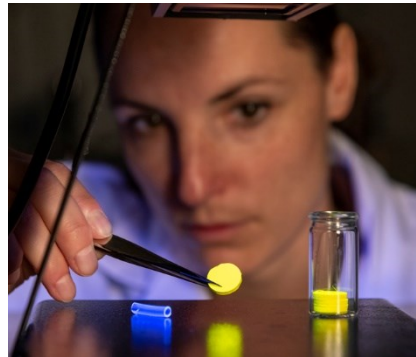
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Aufgaben im Bereich Gefahrguttransport und Batterien



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Unsere Mission:
Sicherheit in
Chemie und Technik



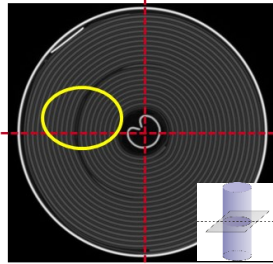
Das Batterie- und Zelltestzentrum der BAM

Elektroanalytik, Schädigungsversuche und Alterungsstudien

Diagnostik auf Zellebene und Packebene

Schädigungsversuche

Großversuche



Multimodale Charakterisierung auf Zellebene und Verbundebene (Bildgebend + analytisch)

Schädigungs-/Zerstörungsversuche an Zellen, Zellverbänden und Modulen

- Risikomanagement und Bewertung
- Sichere Handhabung und Transport defekter Batterien
- Gefährdungsbeurteilung für Batterien
- Verstehen des TD-Mechanismus



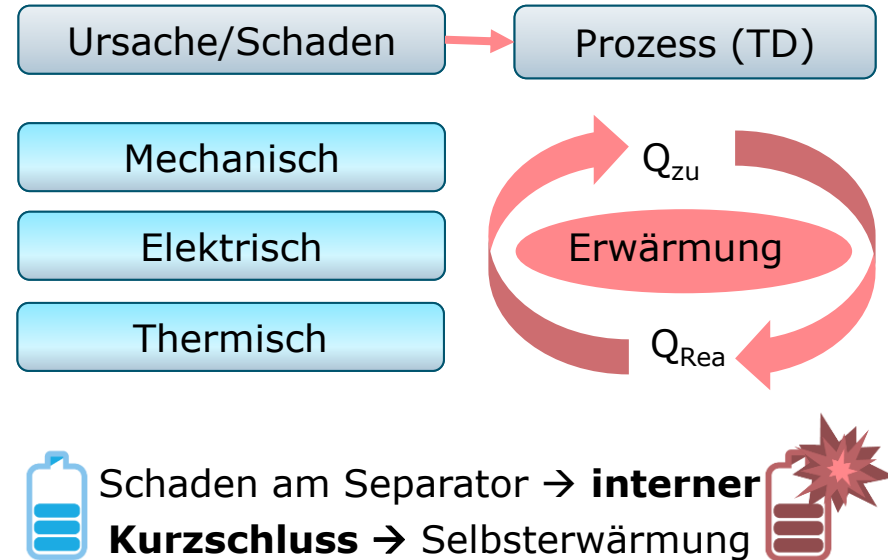
Exemplarische Projekte:

- CoolBatt (Tiefemperaturpassivierung von LIB für sicheren Transport)
- **FrühLiBatt (TD-Früherkennung)**
- SEE-2L (Sicherheit von 2nd-Life EES)

Das FrühLiBatt-Projekt

Früherkennung des Thermischen Durchgehens von LIBs

Ablauf Thermisches Durchgehen



Experimentelle Anforderungen

- Es sind Schädigungsprotokolle zu definieren, die **reproduzierbar** zu einem **zeitversetzten TD** bei einem **normalen Betrieb** der Zellen führen.
- Schädigungen müssen **realitätsnahe Situationen** abbilden, um einen **Bezug zur Endanwendung** zu haben.
- **Robuster Versuchsaufbau** für Schädigungsversuche an Zellen aus dem **Automotive**-Bereich

Das FrühLiBatt-Projekt

Mögliche Schadensbilder, die zu einem TD führen können

Szenarien, die zu Schäden an LIB führen (insb. am Separator)



- Produktionsfehler (schlechter Separator, Kontamination, fehlerhafte Schweißkontakte)



- Wärme/Kälte im Wechsel
- Exposition zu Feuchtigkeit



- Alterung (Kalendarisch)
- Alterung (Zyklisch)
- Dendritenwachstum



- Fehlnutzung (Externer Kurzschluss, Überladung, Überentladung)



- Mechanische Belastung (Vibration, Impakt, Penetration, Risse)



Gewählt für Experimente:
Tiefentladung, Überladung,
Thermische Exposition

Das FrühLiBatt-Projekt

Gewählte Schadensbilder in Bezug zur Anwendung

Tiefentladung

Ursache

- Energiespeicher ist tiefentladen, z.B. durch Selbstentladung



Auswirkung

- Zellspannung sinkt unter ein kritisches Niveau. Elektroden und Stromabnehmer zersetzen sich → Degradation

Überladung

Ursache

- BMS mit falscher Zellchemie betrieben
- Laderegulung defekt/ falsches Ladegerät
- Dysbalance von Spannungsniveaus in Parallelschaltungen



Auswirkung

- Kathodenzersetzung, Sauerstofffreisetzung

Thermischer Stress

Ursache

- Defekte Schweißkontakte
- Wachsende Innenwiderstände



Auswirkung

- Erwärmung bei Stromfluss durch höhere Kontaktwiderstände

Elektroanalytische Messmethode

Früherkennung des Thermischen Durchgehens von LIBs

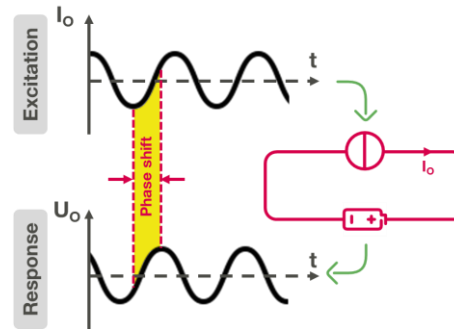
Messtechnische Anforderungen

- **Nichtinvasive Charakterisierung** auf Zell- und Batterieverbund-Ebene
- In bestehende BMS-Lösungen **zu integrieren**
- **Hohe Sensitivität** auf zellinterne Änderungen

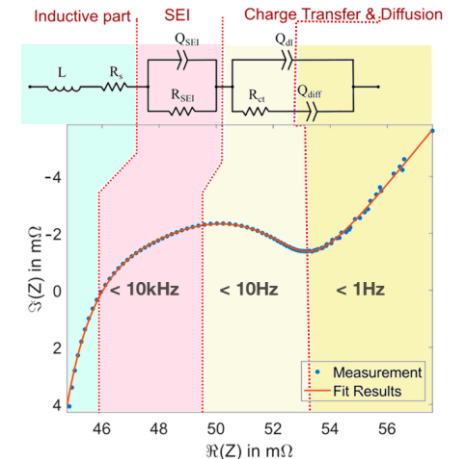
EIS: Elektrochemische Impedanzspektroskopie

EIS als grundlegende analytische Technik

Anregung mit kleiner U/I - Amplitude



Messen des komplexen Widerstands



Proben und Prüfmuster

Hochleistungszellen

C = 20 Ah, prismatisch:

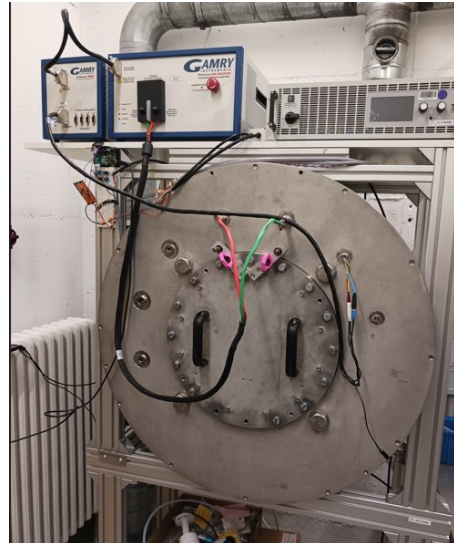
- 12xNMC111
- 12xNMC532
- 12xNMC622



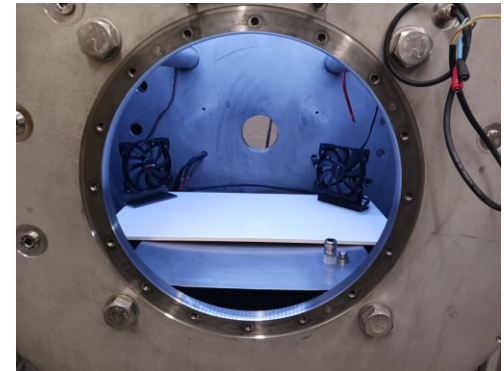
NMC = $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$
= Lithium Nickel Mangan Kobalt Oxid

Kathodenchemie: Trend zu
geringerem Kobaltanteil

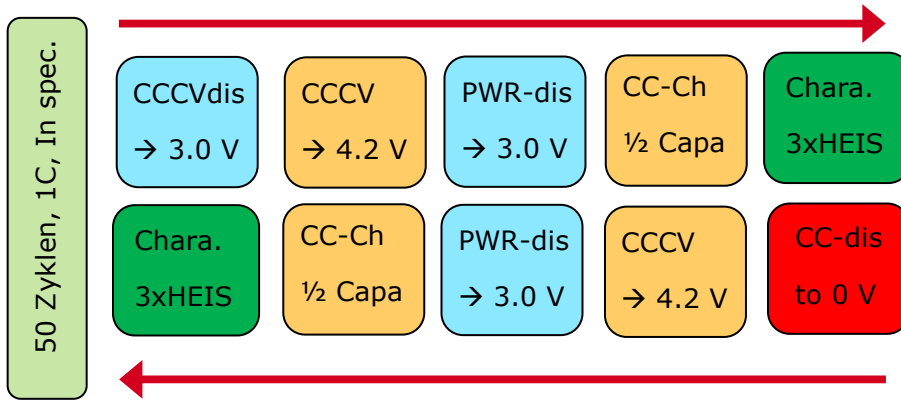
Prüfstandgestaltung



250 L Autoklav, ausgelegt
bis zu 10 bar Überdruck

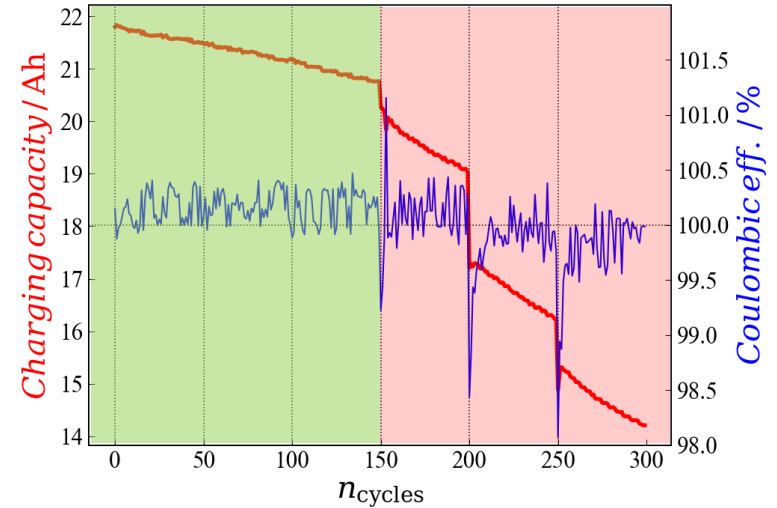


Schädigungsprotokoll Tiefentladung



■ In spec. Charakterisierung

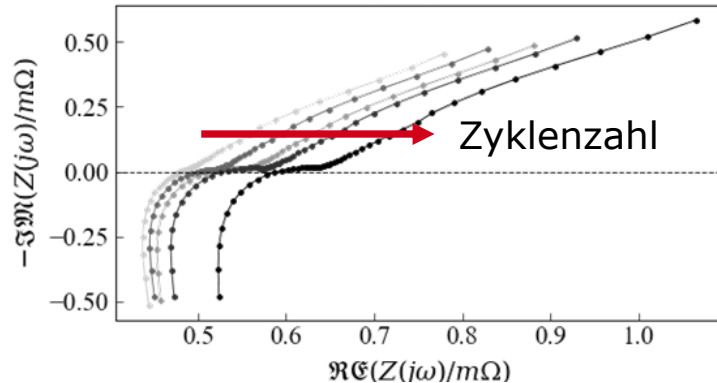
■ In spec. Charakterisierung +
Tiefentladung



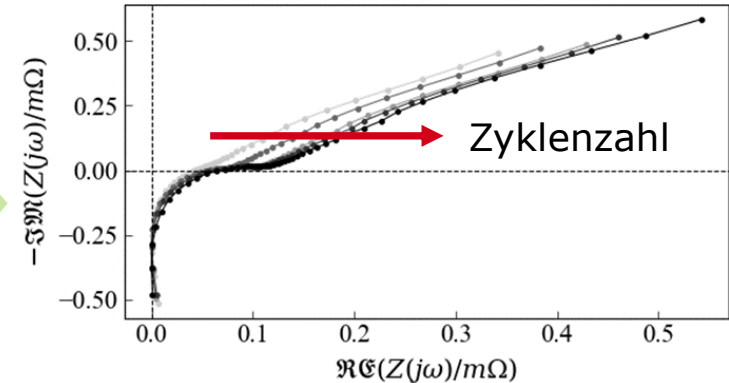
Beschleunigte Degradation der Zellen

Impedanzuntersuchungen

Ergebnisse bei Tiefentladung



Offset-
korrektur



- Transformation der EIS-Daten erlaubt zeitskalenaufgelöste Darstellung von Prozessen
- Keine neuen Prozesse durch Tiefentladung

- Beschleunigte Degradation
- Kein Thermisches Durchgehen bei mehrfacher Tiefentladung
- Andere Schädigungsart nötig

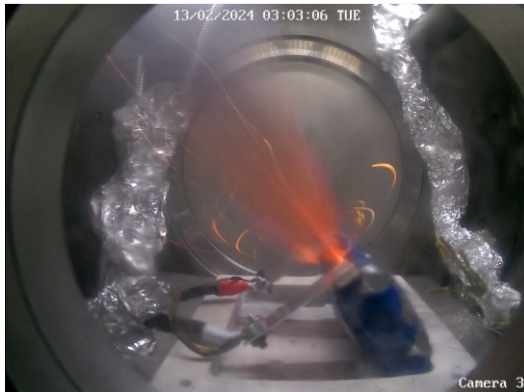
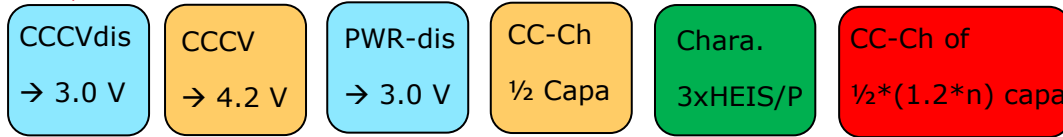
Schadigungsprotokoll Überladung

NMC111, 20 Ah, Hochleistungszelle

n += 1

Start

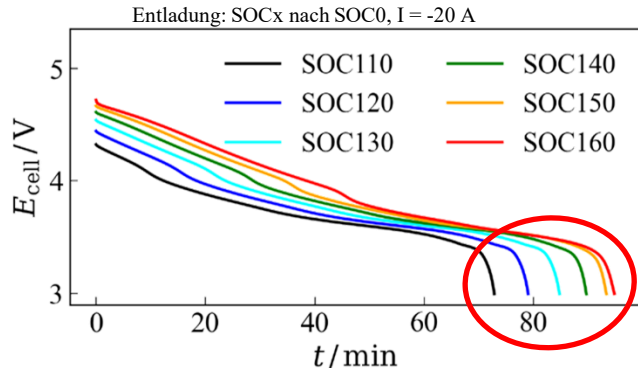
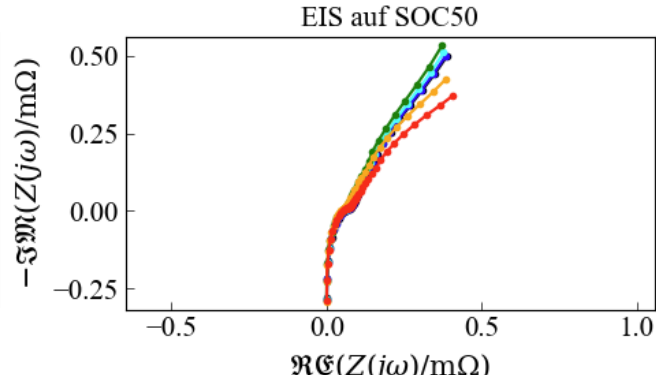
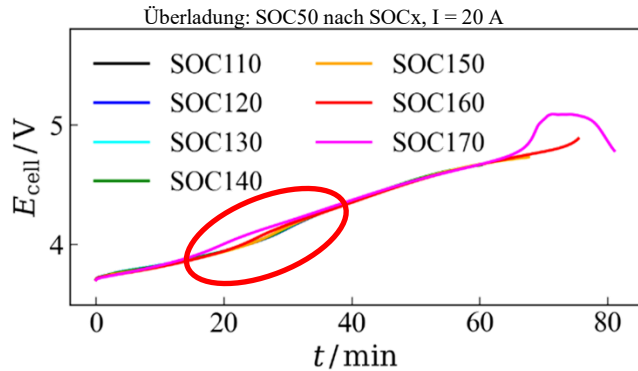
n = 1



**TR nach Ldg.
auf SOC 170
→ Aber NICHT
direkt!**

Impedanzuntersuchungen

Ergebnisse bei Überladung



Irreversible Schäden
ab SOC 150

EIS sensitiver als
Lade/Entladeprofile

Transformierte Form
von EIS hat höhere
Auflösung

Graduelle Detektion
von Schädigungen
möglich

Zusammenfassung/Ergebnisse



- EIS zeigt Hinweise auf Schädigung vor eigentlichem TD
- Unterschiedliche Schädigung führt zu spezifischen Merkmalen im EIS
- Geeignetes Auswerteverfahren identifiziert, um die Merkmale zu ermitteln



- Methode zur Schädigung für ein systematisches und zeitversetztes TD ist schwierig
- Präzise Laborlösungen verfügbar, allerdings noch keine Implementierung in einem Batterie Management System

Prädiktion eines TD (anstelle später erfolgreicher Detektion)
ist für bestimmte Schädigungsarten möglich

Vielen Dank!

FRÜHWARNSYSTEM FÜR EV-BATTERIEN

Prädiktion des Thermischen Durchgehens von Lithium-Ionen-Speichern

Markus Schweizer-Berberich, Tim Tichter

Besuchen Sie Vitesco Technologies auf dem Schaeffler-Stand
in Halle 12 / A40

vitesco
TECHNOLOGIES

 **BAM**
Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung