

19.09.2024, IAA Transportation, Hannover

# FRÜHWARNSYSTEM FÜR EV-BATTERIEN

Prädiktion des Thermischen Durchgehens von Lithium-Ionen-Speichern

Markus Schweizer-Berberich<sup>1</sup>, Tim Tichter<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vitesco Technologies

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

**vitesco**  
TECHNOLOGIES

 **BAM**  
Bundesanstalt für  
Materialforschung  
und -prüfung

[www.bam.de](http://www.bam.de)

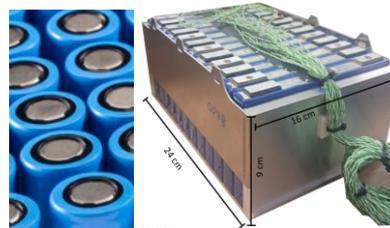
[www.vitesco-technologies.com](http://www.vitesco-technologies.com)

# 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 \(bg-verkehr.de\)](https://www.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. 1<sup>st</sup>, 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. 1<sup>st</sup>, 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% CO<sub>2</sub> saving<sup>1</sup> 

### 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



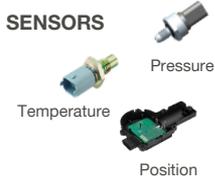
### PUMPS



### VALVES



### SENSORS



### THERMAL RUNAWAY MULTI SENSOR



<sup>1</sup> "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

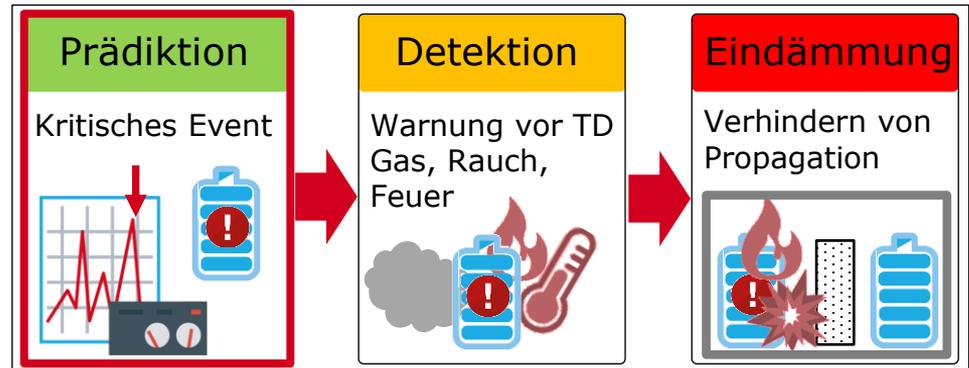


**Zeitfenster für  
Warnung und  
Maßnahmen  
werden aktuell  
diskutiert**

### Thermisches Durchgehen (TD)

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

→ **Signifikantes Schadenszenario**



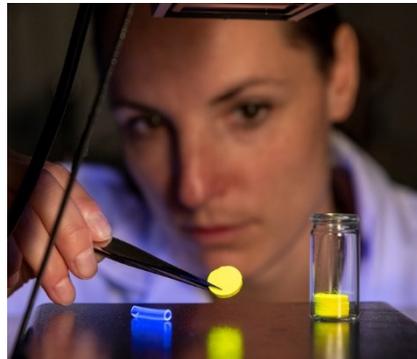
# Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

## Aufgaben im Bereich Gefahrguttransport und Batterien



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

Unsere Mission:  
Sicherheit in  
Chemie und Technik



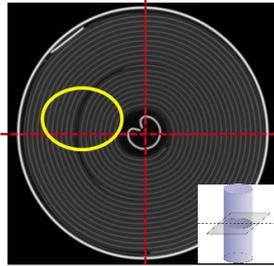
# Das Batterie- und Zelltestzentrum der BAM

## 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



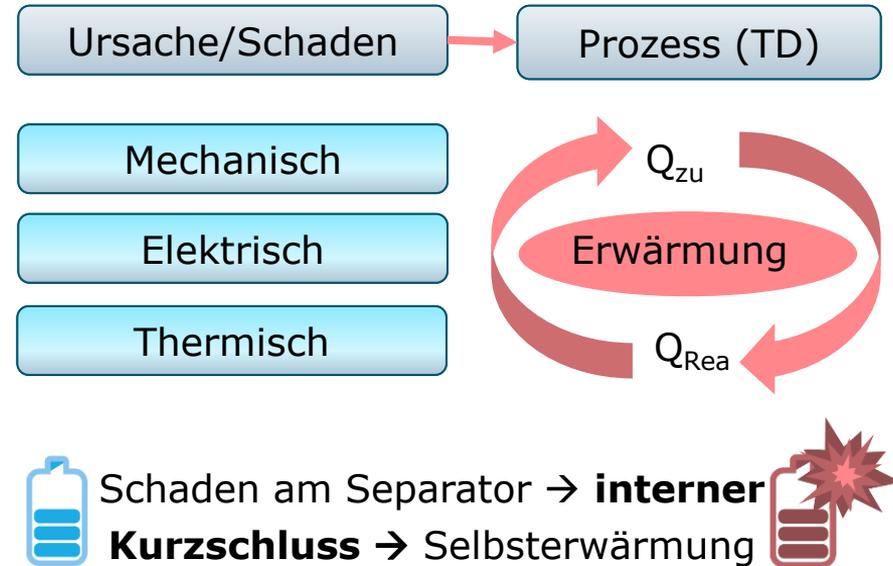
### Exemplarische Projekte:

- CoolBatt (Tieftemperaturpassivierung von LIB für sicheren Transport)
- **FrühLiBatt (TD-Früherkennung)**
- SEE-2L (Sicherheit von 2<sup>nd</sup>-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

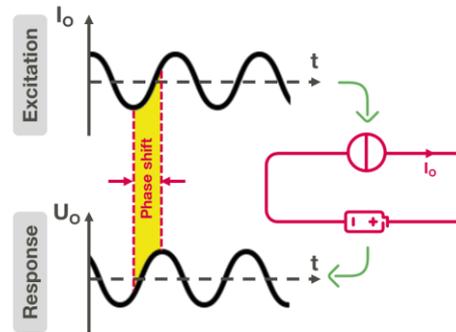
### Messtechnische Anforderungen

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

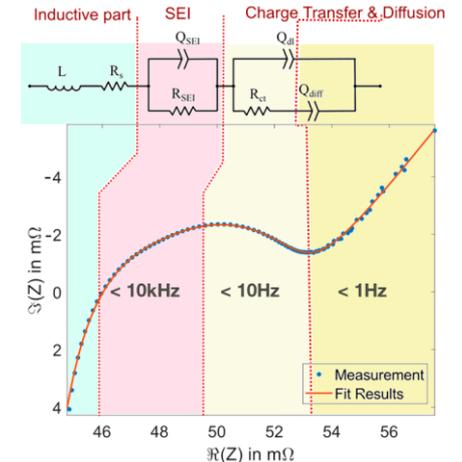
**EIS: Elektrochemische Impedanzspektroskopie**

### 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



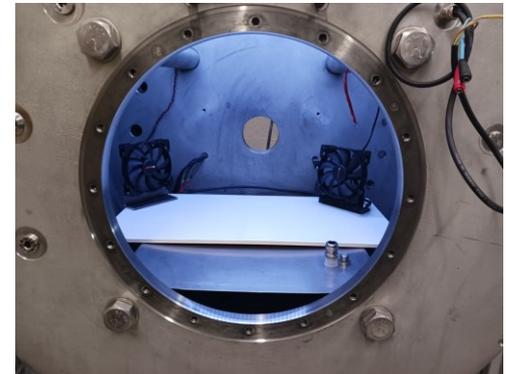
NMC =  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$   
= Lithium Nickel Mangan Kobalt Oxid

Kathodenchemie: Trend zu  
geringerem Kobaltanteil

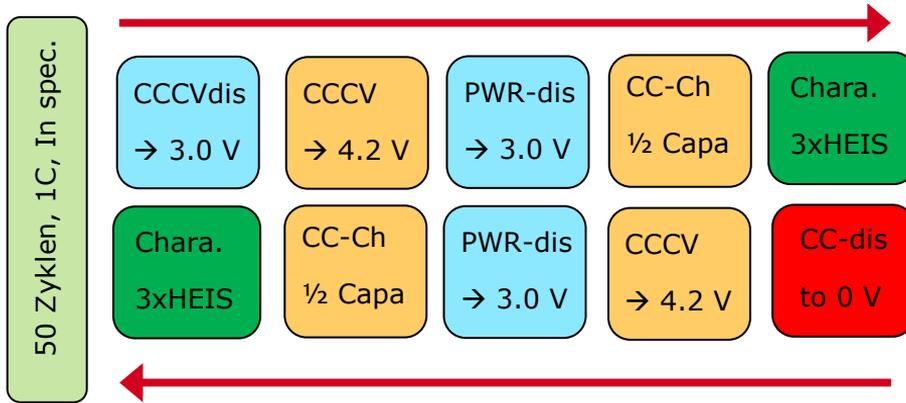
## Prüfstandgestaltung



250 L Autoklav, ausgelegt  
bis zu 10 bar Überdruck

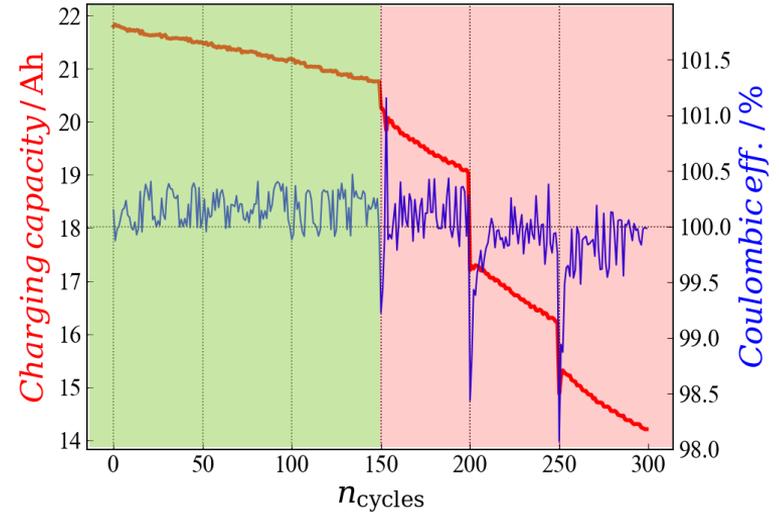


# Schädigungsprotokoll Tiefentladung



In spec. Charakterisierung

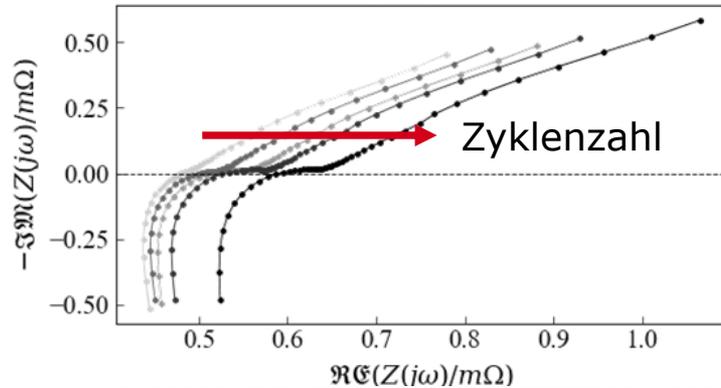
In spec. Charakterisierung +  
Tiefentladung



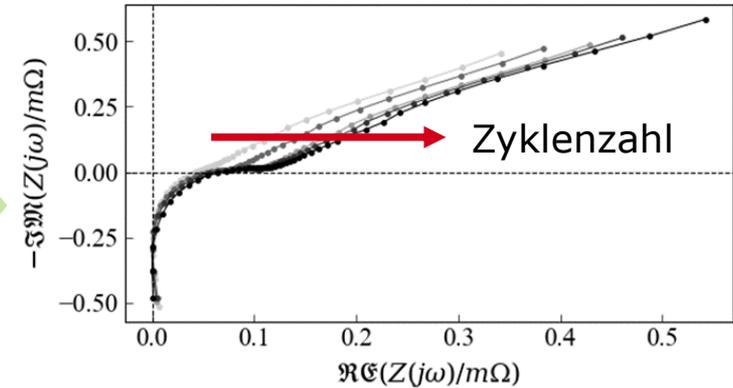
Beschleunigte Degradation der Zellen

# 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

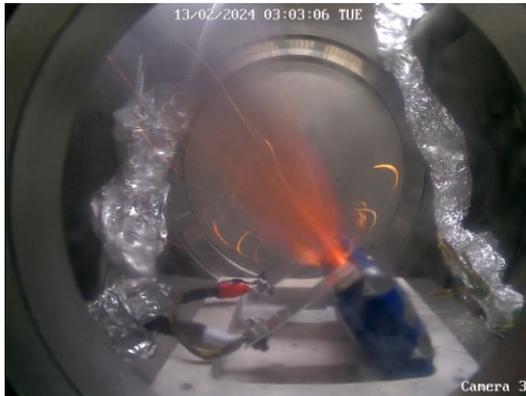
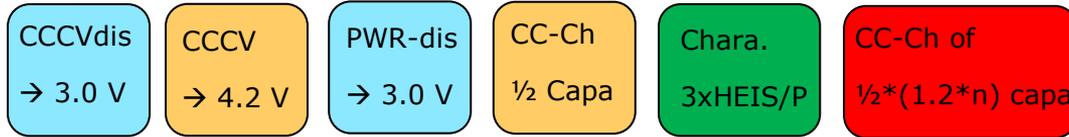
# Schadigungsprotokoll Überladung

NMC111, 20 Ah, Hochleistungszelle

n += 1

Start

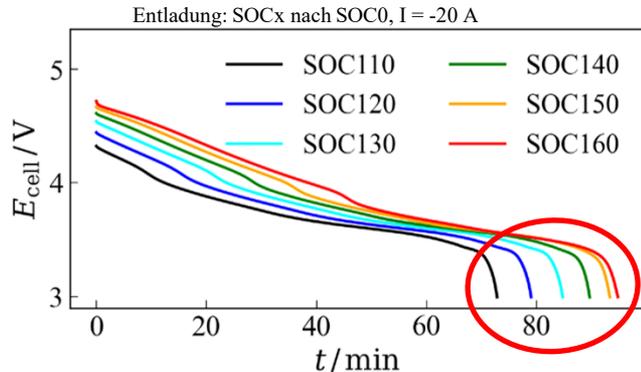
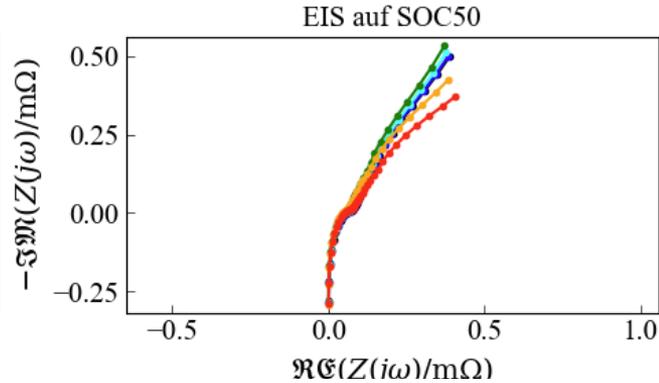
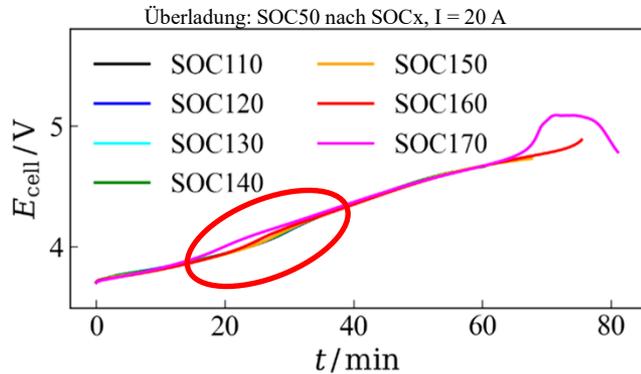
n = 1



**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