

13.05.2025

# **LITHIUM UND NATRIUM IONEN BATTERIEN: Eine Frage der Sicherheit**

Aktuelle und zukünftige Herausforderungen für die Kreislaufwirtschaft

Dr.-Ing. Nils Böttcher

3.1 Sicherheit von Gefahrgutverpackungen und Batterien  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

# Motivation

Batterie Brandversuch auf dem BAM TTS



# Unsere Standorte in Berlin und Brandenburg



Standort  
Fabbeckstraße



Standort Adlershof



Stammgelände Lichterfelde



Testgelände Technische  
Sicherheit, Horstwalde

# Unser Auftrag: Sicherheit in Technik und Chemie

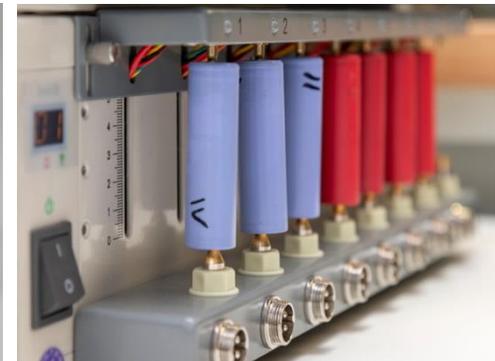


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



**Bundesanstalt für  
Materialforschung und  
-prüfung (BAM)**

Ressortforschungsanstalt



# Gesetzliche Aufgaben der BAM im Bereich Batterien

Die BAM ist die zuständige Behörde in Deutschland gemäß § 8 GGVSEB u.a. für:

- Prüfung und Zulassung von Gefahrgut-verpackungen
- Transport von Lithium (LIB) & Natrium-Ionen (SIB) Batterien

BAM beteiligt sich u.a. an

- United Nations (UN) Arbeitsgruppen „Einstufung von Lithium-Batterien nach Gefährlichkeit“
- und „Repair“



Mindestanforderung (LIB & SIB) im UN Manual of tests criteria 38.3

# Sicherheit von Batterien

## Der Thermal Runaway (TR)

### Intakte Lithiumbatterien sind sicher

(Produktionsfehler ca. 1:10 Mio.)

### Gefahren durch Schäden und Defekte

- Auslaufen (relative selten)
- Ausgasen/Aufblähen
- Hochspannung (24/36V E-bike, 400V EV)
- Brand
  - Hohe Temperaturen
  - Flammen und Feuer
  - Toxische Rauchgase
  - Entzündung der Rauchgase



Brand in Lagerhalle für Lithiumbatterien, 20.08.2024<sup>[1]</sup>

**Worstcase:** Übergreifen eines TR auf benachbarte Zellen/Batterien

→ Z.B. Wohnungsbrände und Großereignisse

[1] <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/kaiserslautern/brand-lithium-ionen-batterien-hoehfroeschen-suedwestpfalz-feuer-100.html>

# BAM – Aktivitäten zu Elektrischen Energiespeichern und –umwandlung

## Kompetenzen

- Grundlagenforschung bis zur Anwendung und Erfüllung hoheitlicher Aufgaben
- Labormaßstab bis Realmaßstab
- Politikberatung und Regelwerksentwicklung
- Einstellung auf Zukunftstrends (Natrium-Ionen-, Feststoff-, und Redox-Flow-Batterien)



## Mission:

**Sicherheit und Nachhaltigkeit zukünftiger E-Technologie**

## Low Temperature Tomographic In-Situ Studies in Energy Research

N. Böttcher<sup>a</sup>, S. Dayani<sup>a</sup>, H. Markötter<sup>a</sup>, J. Krug von Nidda<sup>a</sup>, G. Bruno<sup>a</sup>, A. Schmidt<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

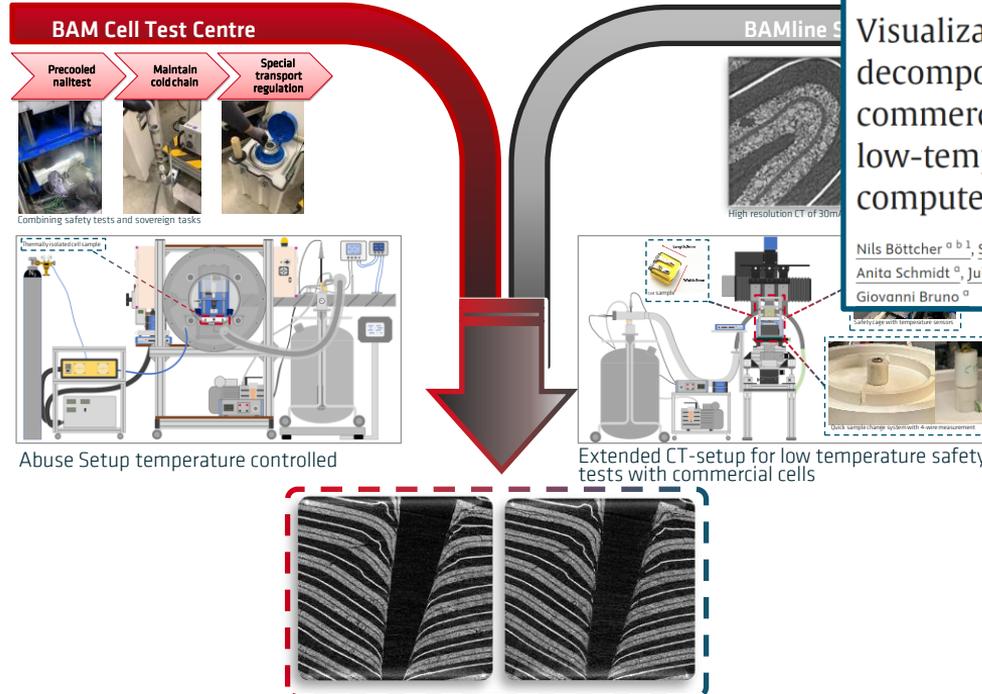
### Challenge: Visualization of abuse mechanisms leading to Thermal Runaway (TR) in Li-ion cells

- Low temperature abuse tests at the *BAM Cell Test Centre* suppresses TR
- High resolution low temperature Operando SXCT<sup>1</sup> now available at *BAMline*
- Synergies at BAM enable in-depth analysis of the safety behavior of batteries



TR impact of 500mAh pouch cell

<sup>1</sup> Synchrotron X-ray Computer Tomography



Journal of Power Sources  
Volume 623, 15 December 2024, 235472



### Visualization of stepwise electrode decomposition in a nail penetrated commercial lithium-ion cell using low-temperature synchrotron X-ray computed tomography

Nils Böttcher<sup>a, b, 1</sup>, Shahabeddin Dayani<sup>a, 1</sup>, Henning Markötter<sup>a</sup> ✉, Anita Schmidt<sup>a</sup>, Julia Kowal<sup>b</sup>, Yan Lu<sup>c, d</sup>, Jonas Krug von Nidda<sup>a</sup> ✉, Giovanni Bruno<sup>a</sup>

# Highlight - SusEnMat

## RESEARCH ARTICLE

### The Tetrapyrrolic Motif in Nitrogen Doped Carbons and M-N-C Electrocatalysts as Active Site in the Outer-Sphere Mechanism of the Alkaline Oxygen Reduction Reaction

Davide Menga, Jian Liang Low, Ana Guilherme Buzanich, Beate Paulus, and Tim-Patrick Fellinger\*

Postdoc (MIT) → Antragsteller ERC Starting Grant 2025

Development and fundamental understanding of precious-group-metal-free electrocatalysts is hampered by limitations in the quantification of the intrinsic activity of different catalytic sites and understanding the different reaction mechanisms. Comparing isomorphous nitrogen-doped carbons, Zn-N-Cs and Fe-N-Cs with the common tetrapyrrolic motif, a catalyst-independent outer-sphere rate-determining step in the alkaline oxygen reduction reaction is observed. Density functional theory (DFT) simulations on tetrapyrrolic model

and application in a wide range of relevant electrochemical reactions.<sup>[1]</sup> Especially regarding the oxygen reduction reaction (ORR) in proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs), they have reached promising initial activity, comparable to state-of-the-art Pt-based electrocatalysts.<sup>[2]</sup> Even though they are approaching system-relevant sta-

## • Elektrokatalyse

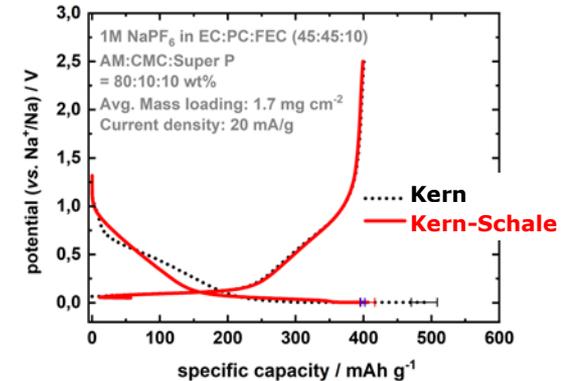
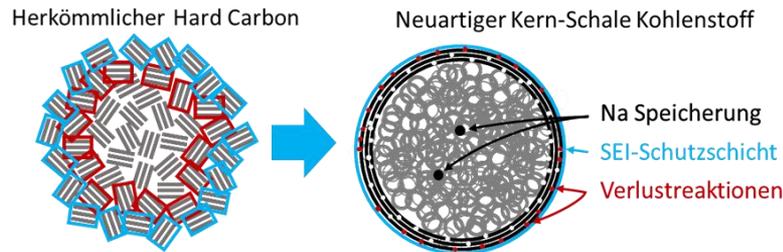
Publikation in J. Advanced Energy Materials (IF=27.8)

Aufklärung des Mechanismus der O<sub>2</sub>-Reduktion für M-N-Cs in alkalischen Brennstoffzellen

→ Wegweisend für materialchem. Verbesserungen

## • Energiespeicherung

Erfolgreiche Umsetzung des Kern-Schale-Konzepts Für neuartige Anoden für nachhaltige Na-Ionen-Batterien

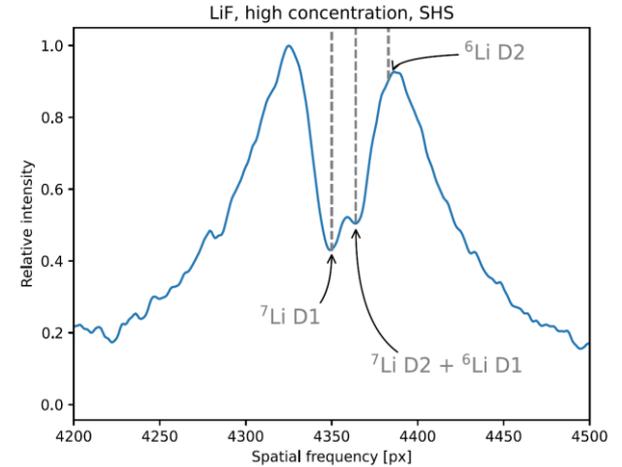


→ C<sub>rev</sub> bis 470 mAh/g, ICE >80%

# Bis zur Prozessreife: Materialcharakterisierung von Batterien am Fließband



Bestimmung von Elementgehalten durch Isotopen



## Laserplasmen:

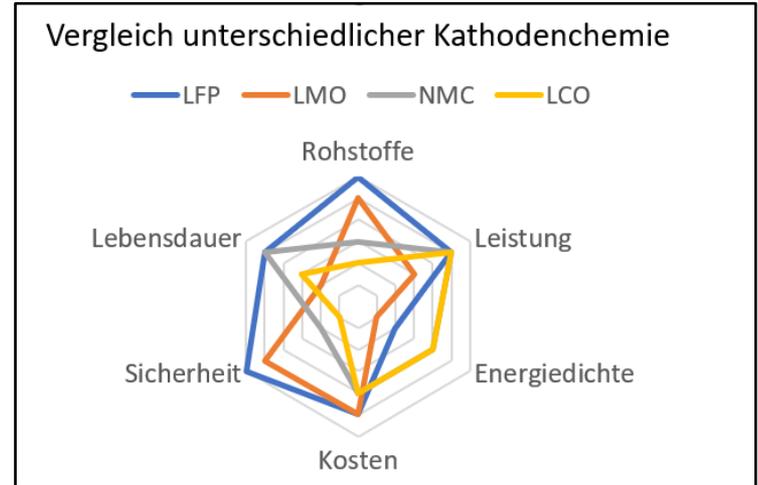
Analytik wird komplizierter  
Auswertung dennoch möglich  
(Fraunhofer-Linien)  
-> Isotopie

# Batterie ist nicht gleich Batterie

- Unterschiedliche Größe/Masse/  
Energieinhalt/Energiedichte
- Unterschiedliche Zellgeometrie/Gehäuse
- Primär / sekundär  
(Li-Metall/Li-Ionen/Na-Ionen)
- Unterschiedliche Zell-Chemie  
(insb. Kathode, Anode, Elektrolyt)
- Ladezustand (SoC)

⇒ unterschiedliches Verhalten beim TR  
von unreaktiv bis selbstentzündlich (Defekte, Beschädigungen)

⇒ **Klassifizierung von LIBs nach Gefährlichkeit => UN TDG IWG**



Darstellung beispielhaft / schematisch

# Problem: Verwertung von alten Batterien

## Praxisbeispiel aus dem Supermarkt



- LIB = Gefahrgut Klasse 9 (Co, Ni, LiPF<sub>6</sub>, Elektrolyt, ...).
- Brandereignisse beim Transport von Altbatterien und Altgeräten.



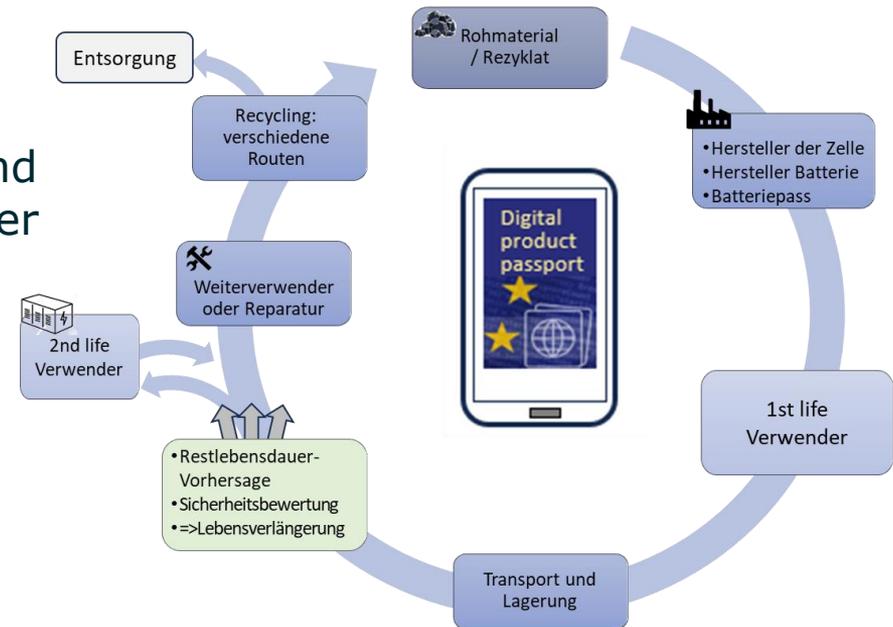
Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Sortenreinheit

BattVO fordert Recyclingquoten

# Batteriepass für effizienteren Batteriekreislauf

## Höhere Sortenreinheit und längere Lebensdauer

- Verlängerung 1st life durch Vorhersage Lebensdauer, Restlebensdauer, -sicherheit
- Ressourcenschonung: längeres 2nd life ermöglichen durch Kenntnis der Sicherheit (SOS)
- Rezyklateinsatz erhöht Nachhaltigkeit, reduziert Ressourcenabhängigkeit
- Rezyklatquoten wie nachweisbar? Realisierung durch Analytik oder „Materialpass“



- **Neue Batterie Technologien im Markt**
  - Natrium Ionen Batterien als alternative für Lithium Ionen Batterien?
- **Sicheres Recycling von Batterien**
  - Vermeidung von Bränden auf Wertstoffhöfen
- **Verwendung von Rezyklat bei der Herstellung neuer Batterien**
  - Sortenreinheit und Nachverfolgbarkeit von Stoffströmen (Materialpass?)
- **Ressourceneffiziente Verwendung von Batterien**
  - Ziel ist es ein langes und sicheres Batterieleben zu ermöglichen

13.05.2025

**Vielen Dank!**

Dr.-Ing. Nils Böttcher

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

**T** +49 30 8104-3123

**M** Nils.Boettcher@bam.de