



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Thermal Runaway in Lithium-Ionen-Zellen

Wissentransferveranstaltung 02

NAVI-BAT

29.07.2026 14:00 – 15:30 Online





Agenda





Allgemeine Infos

- ✓ Die Veranstaltung wird aufgezeichnet.
- ✓ Fragen gerne gleich in den Chat schreiben.
- ✓ Teilnehmerfragebögen erhalten Sie über das ESF+ Portal an Ihre Mailadresse
- ✓ Teilnahmebescheinigungen erhalten Sie im Nachgang an die
Wissenstransferveranstaltungen



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Begrüßung - Projektmitarbeiter



Prof. Dr. Christina Toigo
Professorin für
Energiespeicher
+49 (0)8531 - 91404411
christina.toigo@haw-landshut.de



Shuangxiu.Li
Wissenschaftlicher
Mitarbeiterin
+49 (0)8531 – 914044 46
Shuangxiu.Li@haw-landshut.de



Robert Hahn
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
+49 (0)8531 - 91404413
Robert.Hahn@haw-landshut.de



Christian Koch
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
+49 (0)8531 - 91404433
Christian.Koch@haw-landshut.de



Zhongkui Lyu
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
+49 (0)8531 – 91404416
Zhongkui.Lyu@haw-landshut.de





Ziel des Tags

Am Ende des Tages verstehen wir:

- ✓ Wie ein Thermal Runaway **entsteht** und was ihn auslöst
- ✓ Wie Sicherheit bereits im **Zell-Design** verankert wird
- ✓ Wie Sicherheit validiert wird – und wo die **Grenzen** liegen
- ✓ Was die Zelle im Ernstfall selbst **leisten** kann



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



14:05 - 14:

Begstellung NAVI-BAT





Hintergrund

- Reduzierung der Abhängigkeit von kritischen Ressourcen
- Unterstützung lokaler Zulieferstrukturen
- Weiterentwicklung von lokalem Know-How
- Intensiver Wissenstransfer zwischen Forschung, Industrie und Anwendung
- Gemeinsame Weiterentwicklung von Batterietechnologien



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Was ist NAVI-BAT?

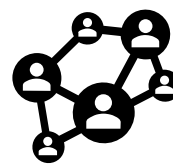
Navigationshilfe durch die Batterie-Wertschöpfung – Wissenstransfer für KMU und Endanwender



01.10.2025 – 30.09.2028



ESF+
€1.068.876



Brücke
Wissenschaft ↔ Industrie

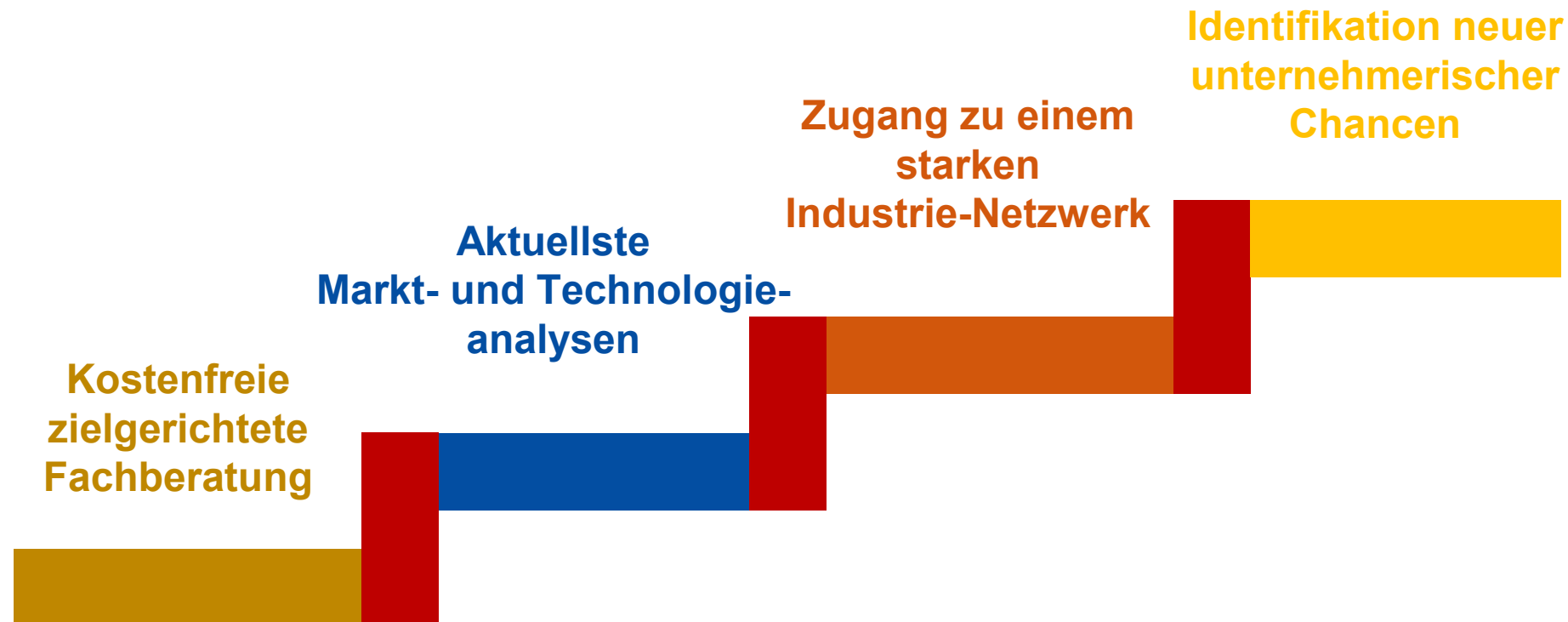


AP
5 WT-Events/Jahr
2 NT/Jahr





Was bietet NAVI-BAT den Unternehmen?





Projektplan für 2026-2027

Anstehende Veranstaltungen - kostenfrei

Datum	Dauer	Thema	Form	Ort	Anmeldung
29.07.2026	14:00-15:30	Thermal Runaway in Lithium-Ionen-Zellen	Wissentransferveranstaltung	Online	Anmelden
17.09.2026	14:00-15:30	Lithium-Batterien: Aufbau, Funktion & Fertigung	Wissentransferveranstaltung	Online	Anmelden
24.09.2026	14:00-17:00	Networking-Event mit Hands-on – eigene Pouch-Zelle im Team aufbauen	Netzwerktreffen	Ruhstorf	Anmelden
29.10.2026	14:00-15:30	Natrium-Ionen-Batterie – Kathoden- & Anodenmaterialien & Forschungstrends	Wissentransferveranstaltung	Online	Anmelden
26.11.2026	14:00-15:30	Solid-State-Batterie: Herausforderung und Chancen	Wissentransferveranstaltung	Online	Anmelden
20.01.2027	14:00-15:30	Wie entwickelt sich Keramik als Technologie für Batterien?			
24.02.2027	14:00-15:30	Kathodenmaterialien für Natrium-Ionen-Batterien und deren Herstellung	Wissentransferveranstaltung	Online	Anmelden
17.03.2027	14:00-15:30	Technologien, Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Hard-Carbon-Anodenmaterialien	Wissentransferveranstaltung	Online	Anmelden

Weitere interessante Austauschthemen? Gerne teilen — einfach hier über den [Fragebogen](#)





Wir brauchen auch Ihre Unterstützung

Notwendige Dokumente

Kooperationsvereinbarung



EUROPÄISCHE UNION
EUROPEAN SOCIAL FUND



Bayerisches Staatsministerium
für Wissenschaft und Kunst

ESF IN BAYERN
WIR INVESTIEREN IN MENSCHEN

Kooperationsvereinbarung

zwischen

Hochschule	
------------	--

und

Name des Unternehmens:	
Adresse:	
Name des Ansprechpartners mit Mailadresse:	

Hiermit bestätigen wir, dass wir am durch den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF+) geförderten STEP-Projekt

Teilnehmendenfragebogen

Bayerische Staatsregierung



Europäischer Sozialfonds Plus
(ESF+)

Muster-Fragebogen für Teilnehmende

Aktion S2

Fassung vom 01.01.2025



Arbeit
Inklusion
Coaching
Energie
Erziehung
Ausbildung



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Teilnehmendenfragebogen – Einladung zum Onlinefragebogen

Einladung zum Onlinefragebogen



Esf Bavaria 2021 Produktion <esfby2021-produktion@pass-consulting.com>

An Hahn Robert

Antworten Allen antworten Weiterleiten

Mi 29.07.2026 11:06

Guten Tag ,

Sie erhalten diese Nachricht, weil Sie sich zum Projekt „NAVI-BAT: Navigationshilfe durch die Batterie-Wertschöpfung“ angemeldet haben. Der Projektträger „HAW Landshut“ hat bisher nur Ihre E-Mailadresse in ESF-Bavaria 2021 erfasst. Für die Teilnahme an einem durch den Europäischen Sozialfonds (ESF) geförderten Projekt sind weitere Angaben erforderlich. Bitte ergänzen Sie unter diesem Link Ihre persönlichen Angaben und beantworten Sie die Fragen zu Ihrem Status vor dem Eintritt in die Maßnahme:

<https://www.esf-bavaria.de/esf/#/individualdata/dlgindtnonline?progoid=1598736&uuid=822148a2-0fc6-4186-80e1-a4e02794a91c&isEditPhase=true&calledfrombuttonfrompreproject=false>

Die Daten werden nach dem Speichern auch für den Projektträger sichtbar.

Bitte beachten Sie die beiliegenden Datenschutzhinweise.

Der Link ist maximal zwei Monate gültig. Unabhängig davon müssen Ihre Daten innerhalb von vier Wochen nach dem Eintritt in die Maßnahme erfasst sein.

Bitte verwenden Sie bei der Erfassung Ihrer Daten einen der unterstützten Browser. Dies sind Mozilla Firefox, Google Chrome und Edge.

Es wird empfohlen dies an einem PC oder Laptop durchzuführen. Auf mobilen Geräten können Probleme bei der Darstellung und der Eingabe entstehen.

Bei Fragen zu der Erfassung der Daten wenden Sie sich bitte zunächst an den Projektträger.

Mit freundlichen Grüßen

ESF Bavaria 2021

Die Absendemail „**esfby2021-produktion@pass-consulting.com**“ sieht verdächtig nach SPAM aus, kommt aber aus dem Verwaltungsportal des Fördergebers!





Teilnehmendenfragebogen – Einladung zum Onlinefragebogen

Einladung zum Onlinefragebogen



Esf Bavaria 2021 Produktion <esfby2021-produktion@pass-consulting.com>

An ○ Hahn Robert

↩ Antworten ↶ Allen antworten ➔ Weiterleiten ...

Mi 29.07.2026 11:06

Datenschutzhinweise

Sie nehmen an einem Projekt teil, das mit Mitteln des Europäischen Sozialfonds Plus (ESF+) mitfinanziert wird. Das Bayerische Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales (ESF-Verwaltungsbehörde) setzt das ESF+ Programm in Bayern im Auftrag der Bayerischen Staatsregierung um. Daneben sind beteiligt das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus, das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, das Zentrum Bayern Familie und Soziales sowie die Bezirksregierungen.

Diese Informationen machen transparent, wie wir mit personenbezogenen Daten von Teilnehmenden im Rahmen von ESF+ -geförderten Projekten umgehen. Damit werden die Informationspflichten aus den Art. 12 bis 14 der Verordnung (EU) 2016/679 (Datenschutz-Grundverordnung) erfüllt. Der Schutz von personenbezogenen Daten genießt einen sehr hohen Stellenwert. Deshalb erfolgt die Verarbeitung von personenbezogenen Daten im Einklang mit den gesetzlichen Bestimmungen.

1. Kontaktdaten der Ansprechpersonen:

Bayerisches Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales

ESF-Verwaltungsbehörde

Winzererstraße 9

80797 München

E-Mail: esf@stmas.bayern.de

Tel.: 089/1261-1063

Datenschutzbeauftragter im Bayerischen Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales

Winzererstraße 9

80797 München

E-Mail: datenschutz@stmas.bayern.de

Tel.: 089/1261-01

Die Absendemail „esfby2021-produktion@pass-consulting.com“ sieht verdächtig nach SPAM aus, kommt aber aus dem Verwaltungsportal des Fördergebers!





**Kostenfreie,
zielgerichtete
Fachberatung**

**Aktuellste Markt- und
Technologieanalysen**

**Zugang zu einem
starken
Industrie-Netzwerk**

**Identifikation neuer
unternehmerischer
Chancen**

Rohstoffe

Zellproduktion

System-Fertigung

Anwendung

Recycling

Regionale Rohstoffe für
Batteriematerialien
(Lignin, Cellulose, Silizium)

Fortgeschrittene
Beschichtungstechnologien
(elektrochemische
Komponenten)

Smarte Sensorik
(Prozessmonitoring &
Qualität)

Cybersecurity,
Grünstromspeicher,
Heimspeicher

mechanisch, thermisch,
hydrometallurgisch
Behandlung

Technologiekompetenzen für KMU
Bi-direktionaler Wissenstransfer zwischen Hochschule und Unternehmen



Willkommen zur weiteren Beratung !
Besuchen Sie unsere [Website](#) oder kontaktieren Sie Ihren [Ansprechpartner](#)!





Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



14:20 - 15:30

Schulung & Austausch Vorstellung NAVI-BAT





Speakers



Christian Koch

- **Vortrag 1: Anatomie des Thermal Runaways**
- **Vortrag 4: Cell-Level-Safeguards**



Prof. Dr. Christina Toigo

- **Vortrag 2: Prävention durch Zell-Design & Material**



Georg Koch

- **Vortrag 3: Validierung & Zelltests in der Praxis**



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Anatomie des Thermal Runaway

Vortrag 1

NAVI-BAT

Christian Koch · ca. 15 Minuten





Über mich

- Name: Christian Koch
- Position: Technischer Mitarbeiter
- Kontakt: Christian.Koch@HAW-Landshut.de
- Werdegang:
 - Dipl. Ing. (FH) Maschinenbau
 - Derzeit Studium Applied Research in Engineering Sciences an der HAW Landshut
- Warum dieses Thema:
 - Anwender, selbst von dieser Thematik betroffen
 - Zuständig für Sicherheitstests am TZE





Ziel & Ablauf

In den nächsten 15 Minuten:

1

Was ist ein
Thermal Runaway?

2

Die drei
Auslöser

3

Die Kettenreaktion
im Inneren

4

Fazit &
Übergabe

Ziel: Am Ende können Sie Auslöser erkennen, den Ablauf erklären und Gegenmaßnahmen einordnen.



Warum ist das Thema relevant?

VW ID.3 / ID.4 / ID.5 / ID.Buzz

2026

**94.031 Fahrzeuge weltweit
zurückgerufen**

Fehlausgerichtete Elektroden (Zulieferer SK Battery) – Risiko für Thermal Propagation zwischen Zellen; reale Brandfälle in den USA seit 2024

Quelle: KBA-Rückrufmeldung; WardsAuto, Automotive News (2026)

Samsung Galaxy Note7

2016

≈ 2,5 Mio. Geräte zurückgerufen

Zwei unabhängige Zell-Fertigungsfehler (Elektroden-Deformation bzw. Schweißgrate) durchstoßen Separator; Kosten für Samsung ca. 5,3 Mrd. USD

Quelle: Samsung-Untersuchungsbericht (2017); UL / Exponent / TÜV Rheinland

Lithium-Ionen-Brände in New York City

2023

268 Brände, 18 Todesfälle

Meist nicht zertifizierte E-Bike-/E-Scooter-Akkus – Thermal Runaway durch minderwertige Separatoren

Quelle: FDNY (NYC Fire Department)

Ob Auto, Smartphone oder E-Bike – die Ursache liegt oft auf Zellebene: Ein Zellfehler löst Thermal Runaway aus.

Akkubrand – Nur eine Statistik?

Abbrand eines eigenen Akkus

2024

Abbrand eines geladenen 1050mAh
4S Akkus vor dem Flug beim
Handling

Ursache vermutlich Fertigungsfehler:

- Fehlausgerichtete Elektroden
- Beschädigter Separator

Oder Beschädigung durch frühere Überlastung.



Tattu R-LINE 1050mAh 4S Akku

Foto: www.rotorama.com



Abbrand des Modellflug-Akkus

Foto: eigene Aufnahme, 2024



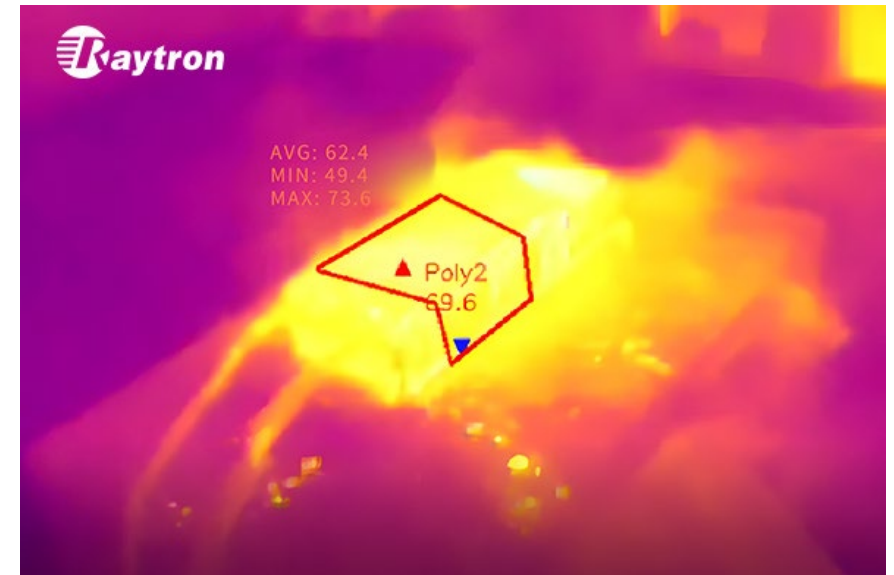
Was ist ein Thermal Runaway?

Unkontrollierte, selbstverstärkende Kettenreaktion in der Zelle

Wärmeerzeugung übersteigt die Wärmeabfuhr –
die Zelle heizt sich selbst auf

Auslöser: mechanisch, elektrisch oder thermisch

Folge: Temperaturanstieg, Gasbildung, im Extremfall Brand



IR-Aufnahme einer Batterie

Foto: www.raytrontek.com



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Was ist ein Thermal Runaway?



Geöffnete 18650-Zelle

Foto: Rudolf Simon



Panasonic NCR18650B

Foto: akkushop.de



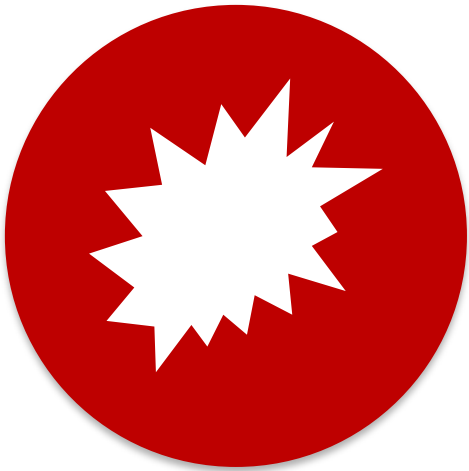
18650-Zelle nach Thermal Runaway

Foto: eigene Aufnahme, 2026





Auslöser 1/3: Mechanisch



Deformation, Perforation oder Crash

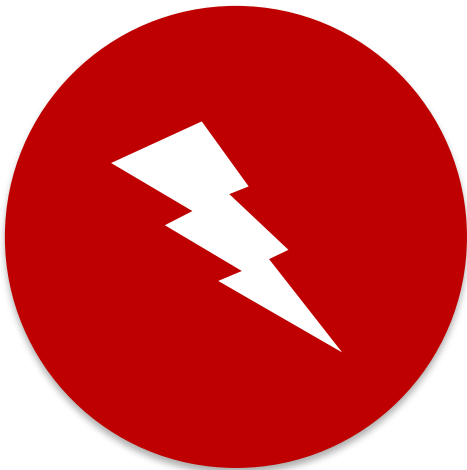
→ interner Kurzschluss zwischen Anode und Kathode

Typische Ursachen: Unfall, Fertigungsfehler, äußere Gewalteinwirkung

Mechanische Beschädigung ist der häufigste Auslöser bei Transport, Handling und Unfällen.



Auslöser 2/3: Elektrisch



Überladung, Tiefentladung oder externer Kurzschluss

→ hohe Ströme, Plating, starke Erwärmung

Typische Ursachen: BMS-Fehler, defekte Ladeelektronik, Fertigungsmängel

Ein sauber ausgelegtes BMS kann viele elektrische Auslöser bereits im Ansatz verhindern.





Auslöser 3/3: Thermisch



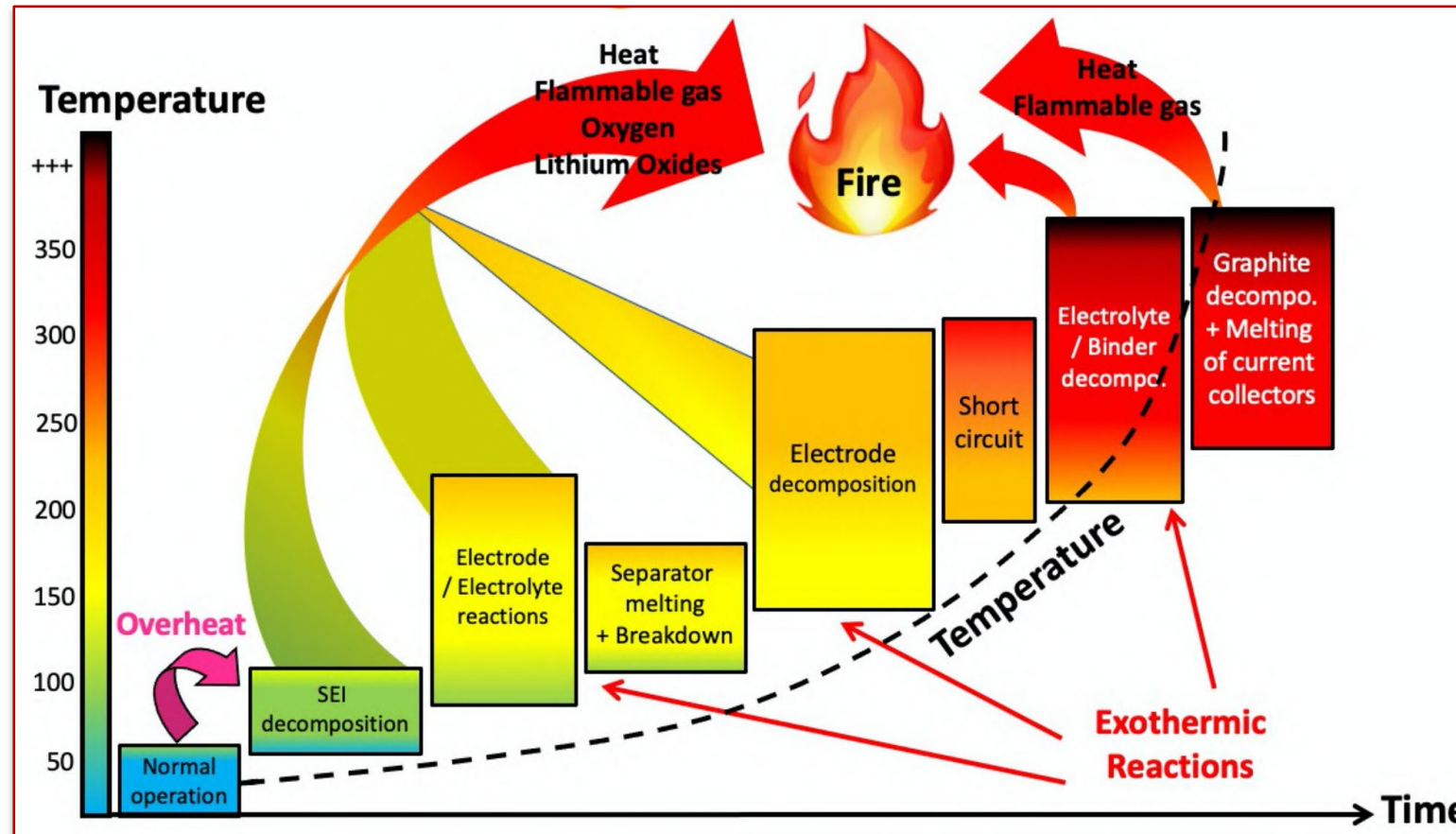
Externe Erwärmung oder Wärmeübertrag von Nachbarzellen

→ Zelle überschreitet kritische Temperatur

Typische Ursachen: Brand in der Nähe, anliegende Leistungselektronik, Propagation

Eine Zelle ist selten allein – Wärme kann von einer Nachbarzelle oder Leistungselektronik eingespeist werden.

Die Kettenreaktion im Inneren



Quelle: CREPIM – Thermal Runaway Phases



Zusammenfassung & Überleitung

- Thermal Runaway = selbstverstärkende Kettenreaktion nach mechanischem, elektrischem oder thermischem Auslöser
- Fünf Reaktionsstufen: SEI → Anode → Separator → Kathode → Elektrolyt

Offene Frage:

- Wie verhindert man den Start dieser Kette?



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Prävention durch Zell-Design und Materialien

Vortrag 2

NAVI-BAT

29.07.2026 14:00 – 15:30 Online





Rückblick Vortrag Christian Koch

Ein Thermal Runaway ist meist das Ende einer Fehlerkette

—> Auslöser können mechanische, elektrische, thermische Faktoren sein, ebenso wie interne Kurzschlüsse

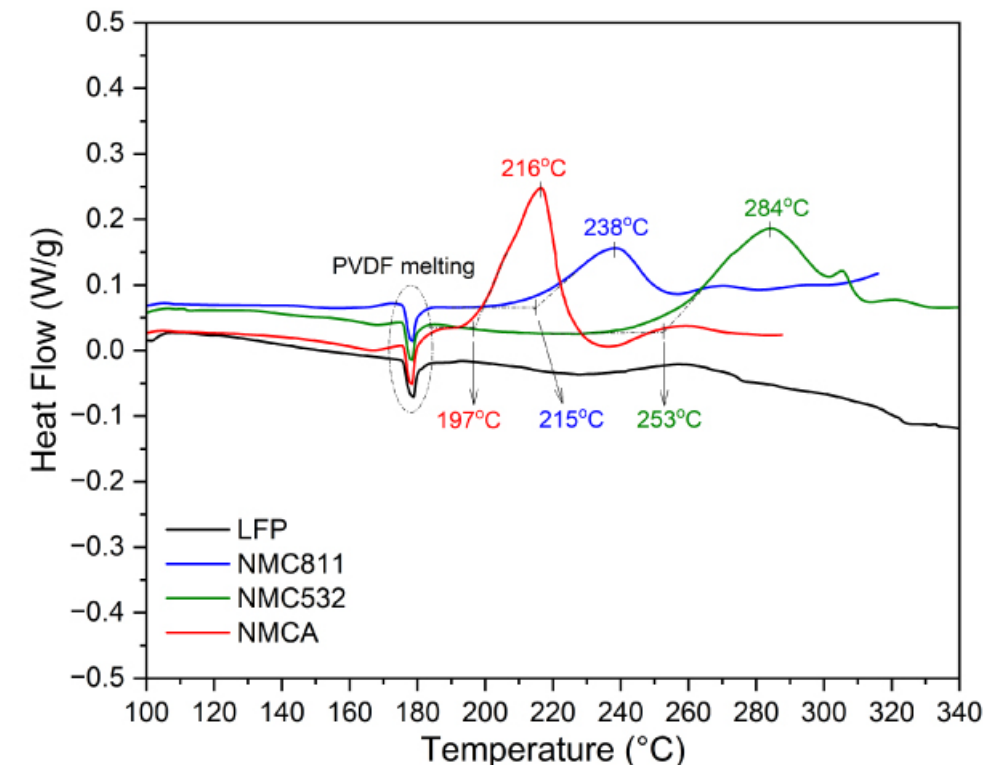
Ob es dann wirklich zu einem kritischen Ereignis kommt, hängt wesentlich vom Zell-Design, den verwendeten Materialien und der Fertigungsqualität ab

Materialauswahl als erste Sicherheitsbarriere

Kathodenmaterial:

Beeinflusst maßgeblich die thermische Stabilität einer Zelle

- **Lithiumeisenphosphat, LiFePO_4 , LFP:** recht hohe thermische Stabilität, wenig Freisetzung von Sauerstoff bei hohen Temperaturen
- **Nickelreiche NMC- (Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid) oder NCA- (Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid) Materialien** ermöglichen hohe Energiedichten, reagieren aber empfindlicher auf hohe Ladezustände und Temperaturen

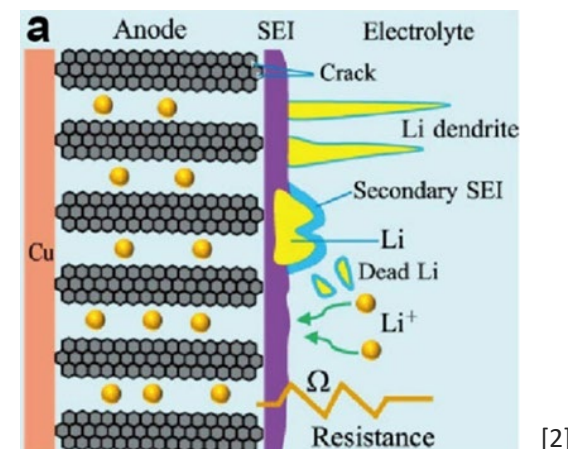
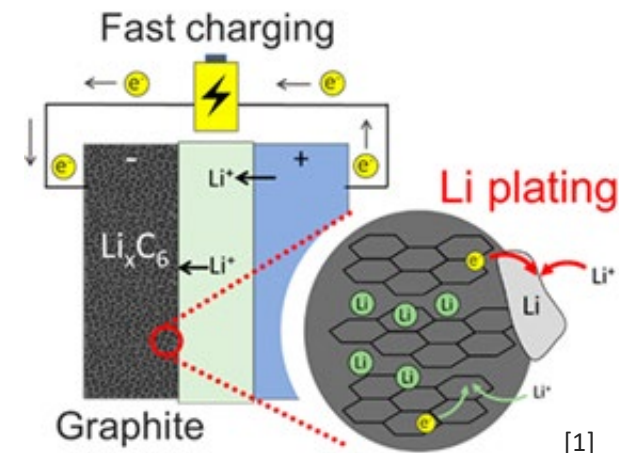


Materialauswahl als erste Sicherheitsbarriere

Anodenmaterial:

Graphit als Standard-Anodenmaterial in Lithium-Batterien

- Im Normalfall wandern Li^+ -Ionen in die Graphitschichten und werden dort eingelagert
- Beim Schnellladen kann es sein, dass die Lithium-Ionen nicht schnell genug in den Graphit eingelagert werden – es lagert sich metallisches Lithium an der Anodenoberfläche ab (zudem begünstigt durch niedrige Temperaturen!)



Quellen: [1] Konz et al, Detecting the onset of Lithium Plating and Monitoring Fast Charging Performance with Voltage Relaxation, ACS Energy Letters (2020)

[2] Lui et al, Lithium-Ion Batteries under Low-Temperature Environment: Challenges and Prospects, MDPI Materials (2022)



Materialauswahl als erste Sicherheitsbarriere

Elektrolyt:

Der klassische organische Elektrolyt ist brennbar UND bildet in Kontakt mit Wasser (Luftfeuchtigkeit ist hier ausreichend!) aggressive und korrosive Reaktionsprodukte wie z.B. Flußsäure HF



Mögliche Sicherheitsstrategien sind:

- Konsequente Vermeidung von Feuchtigkeit während der Herstellung, Befüllung und Zellauslagerung
- Flammhemmende oder schwer entflammbare Lösungsmittel
- Additive (Schutz vor Überladung, Reduktion von Gasbildung)

[2]





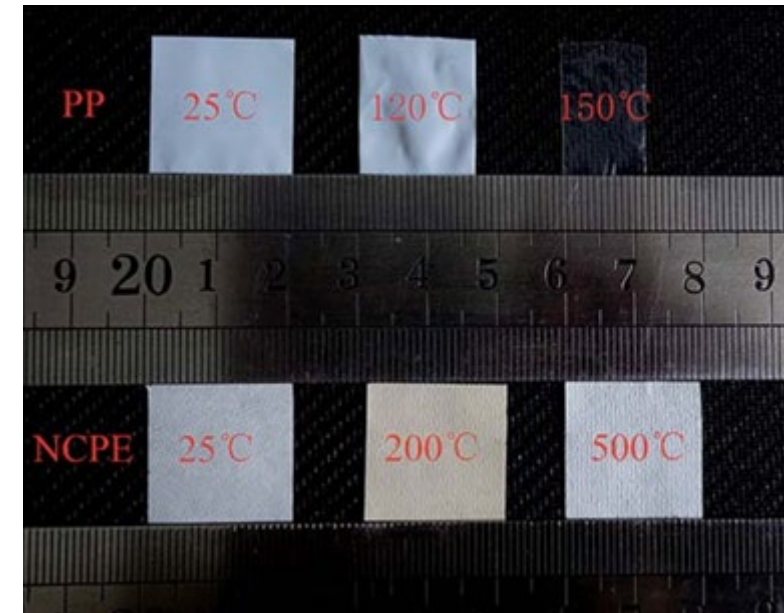
Materialauswahl als erste Sicherheitsbarriere

Separator:

Der Separator verhindert den direkten elektrischen Kontakt zwischen Anode und Kathode, muss aber den Ionentransport ermöglichen

Wichtigste Anforderungen:

- gleichmäßige, aber möglichst geringe Dicke
- Hohe mechanische Festigkeit
- Geringe Schrumpfung bei Wärme
- Gute Benetzbarkeit durch den Elektrolyten
- Keine lokalen Schwachstellen



[2]



Quelle: Zhang et al, Nanocomposite polymer membrane derived from nano TiO₂-PMMA and glass fiber nonwoven: high thermal endurance and cycle stability in lithium ion battery applications, Journal of Materials Chemistry A (2015)

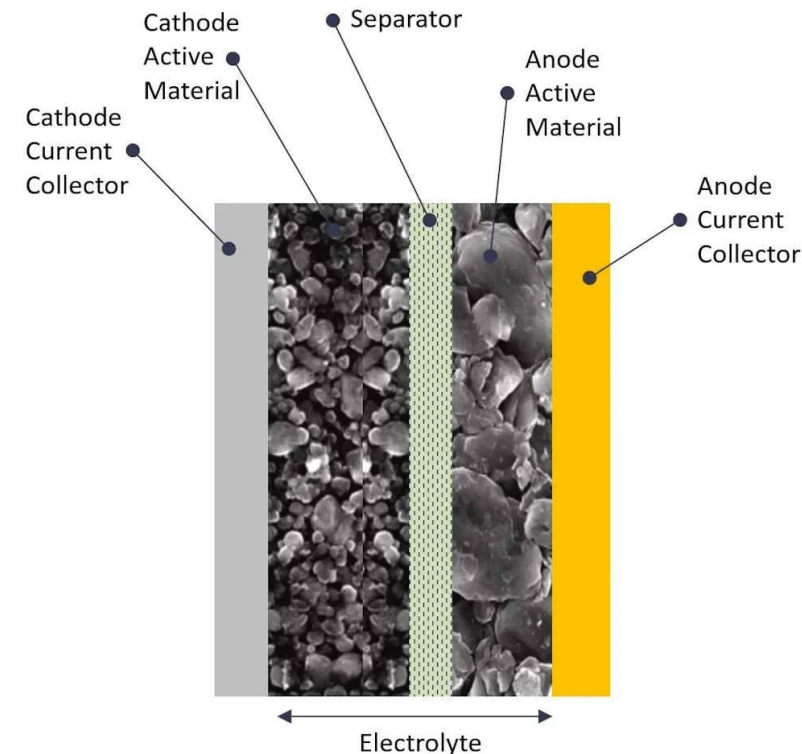
Materialauswahl als erste Sicherheitsbarriere

Keramisch beschichteter Separator:

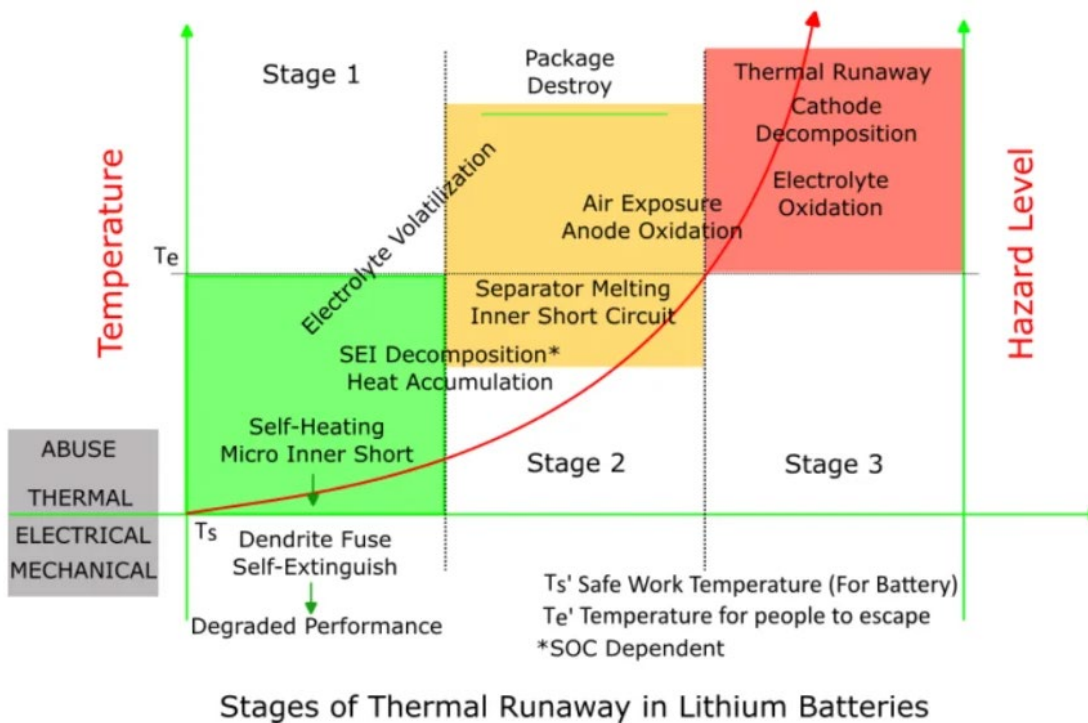
Beschichtungen, z.B. mit Aluminiumoxid oder Boehmit können...

- Die thermische Stabilität erhöhen
- Schrumpfung reduzieren
- Mechanische Widerstandsfähigkeit verbessern
- Die Benetzbarkeit beeinflussen

Ebenso sind zellulose- bzw. „papierbasierte“ Separatoren möglich; sie weisen typischerweise eine höhere Temperaturbeständigkeit auf.



Wo liegen die kritischen Temperaturlevel?



Stufe 1: basierend auf Fehlbelastung (mechanische Beschädigung, interner Kurzschluss, Überladung, Erwärmung)

Stufe 2: Reaktionen beschleunigen (sich selbst):
Elektrolytzerersetzung, Separator erweicht oder schrumpft
—> direkter Kontakt zwischen Anode und Kathode
—> innerer Kurzschluss —> zusätzliche Wärme

Stufe 3: Abführung der erzeugten Wärme nicht mehr möglich. Schneller Temperaturanstieg —> Thermal Runaway

Quelle: <https://www.porvent.com/wp-content/uploads/2023/04/Stages-of-thermal-runaway-in-lithium-batteries-1024x581.png>

...wie sieht es nun mit Natrium-Ionen Batterien aus??

Ein Großteil der Materialien lässt sich sehr gut von Lithium-
auf Natrium-Batterien übertragen

(...deshalb auch der Begriff „drop-in-Technologie“!)

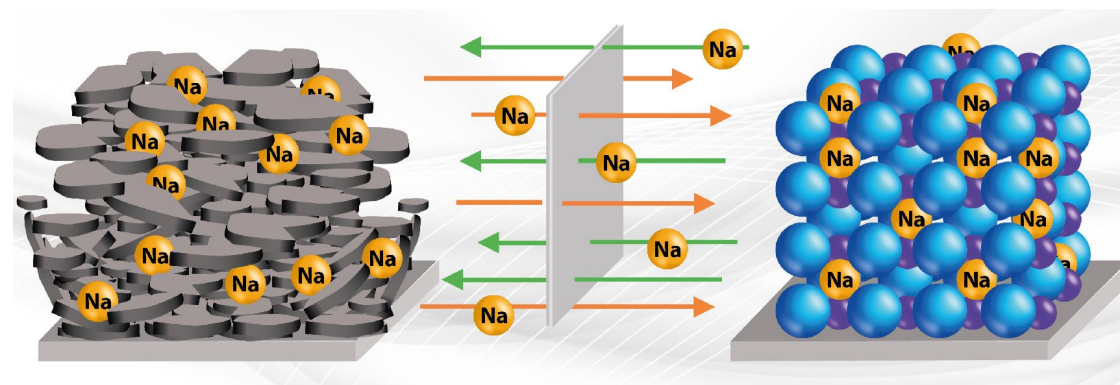
Kathodenmaterialien:

Ähnlich wie in LIBs: Schichtoxide, Polyanionische Materialien, Preußisch
Blau Analoga

Anodenmaterialien: Hard Carbon anstelle von Graphit als DAS Material

Elektrolyt: oft angelehnt an LIB-Chemie: NaPF_6 , NaClO_4 , NaTFSI

Separator: oft angelehnt an LIB-Chemie

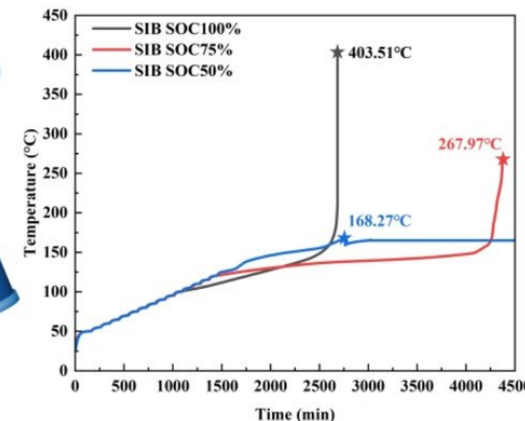
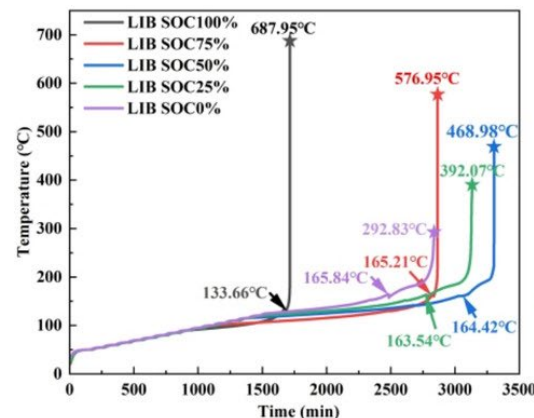


...kann ein Thermal Runaway auch mit Natrium-Ionen Batterien passieren??

Ja!

Auch Natrium-Ionen Batterien durchlaufen diese Stufen des Thermal Runaway. Sie können – je nach Materialkombination – thermische Vorteile aufweisen und besitzen insgesamt eine etwas geringere Energiedichte.

Na_xTMO vs. NMC:



Quelle: Guo et al, Thermal runaway hazard assessment of sodium-ion and lithium-ion batteries under different state-of-charge conditions, Journal of Energy Storage (2025)



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Validierung & Zelltests in der Praxis

Vortrag 3

NAVI-BAT

Georg Koch





Über mich

- Name: Georg Koch
- Position: externer Berater, Lehrbeauftragter an der HS-Landshut
- Kontakt: georg@koch-ush.de
- Werdegang: Dipl. Ing. (FH) Elektrotechnik,
Elektronikentwicklung,
langjährige Erfahrung mit Zellqualifikation
und Zelltest von Lithium-Ionen-Zellen (0,5Ah – 60Ah)
- Warum dieses Thema:
 - Spannend, trotz großer Erfahrung ist man nie vor Überraschungen sicher





Ziel & Ablauf

In den nächsten 15 Minuten:

1

Warum Validierung?

Der Fall Samsung Note 7

2

Teststufen

Von der Zelle zum Fahrzeug

3

Testarten im Detail

Mechanisch, elektrisch, thermisch

4

Grenzen & Ausblick

Was Standardtests nicht zeigen

Merksatz: Kein Sicherheitselement (Vortrag 4) wird verbaut, ohne vorher durch genormte Tests validiert zu sein.

Warum ist Validierung wichtig?

2006: Dell und HP rufen weltweit 5,9 Millionen Laptops nach Akkubränden zurück

Ursache: Fertigungsfehler beim Zell-Lieferanten Sony

2013: 3-monatiges Flugverbot für Dreamliner nach zwei Batteriebränden

Ursache: Fertigungsfehler der Zellen von GS Yuasa in Verbindung mit „robustem“ Ladeverfahren

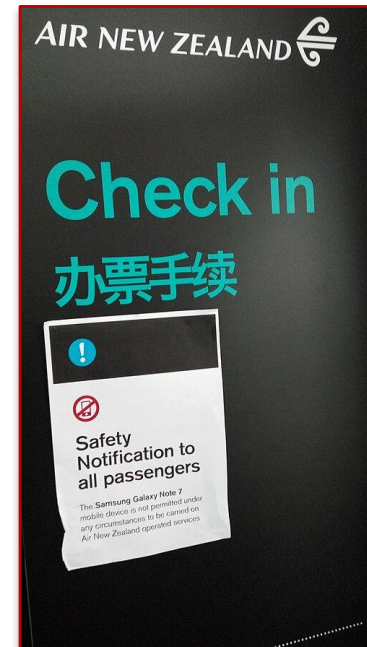
2016: Samsung ruft weltweit alle Galaxy Note 7 zurück – nach Akkubränden

Ursache: zwei unabhängige Fehler bei zwei verschiedenen Zell-Lieferanten

Lieferant A: Elektroden zu eng verbaut – interner Kurzschluss

Lieferant B: Fertigungsfehler am Separator und an der Isolierung

Merksatz: Auch etablierte Zellhersteller haben Validierungslücken – Kosten für Samsung: 5,3 Mrd. USD.



Flugverbot für das
Galaxy Note 7 (Flughafen
Shanghai, 2017)

Foto: Haha169, CC BY-SA 4.0,
Wikimedia Commons



Brennender Dell-Laptop, 2006

Foto: Alpi, MacTechNews



Ausgebrannte
Bordbatterie
Dreamliner

Foto: NTSB



Teststufen: Zelle bis Fahrzeug / Gerät



Merksatz: Jede Stufe prüft andere Fehlerbilder – Zelltests allein reichen nicht aus (siehe Vortrag 4: Grenzen der Zell-Level-Maßnahmen).

Mechanische Tests

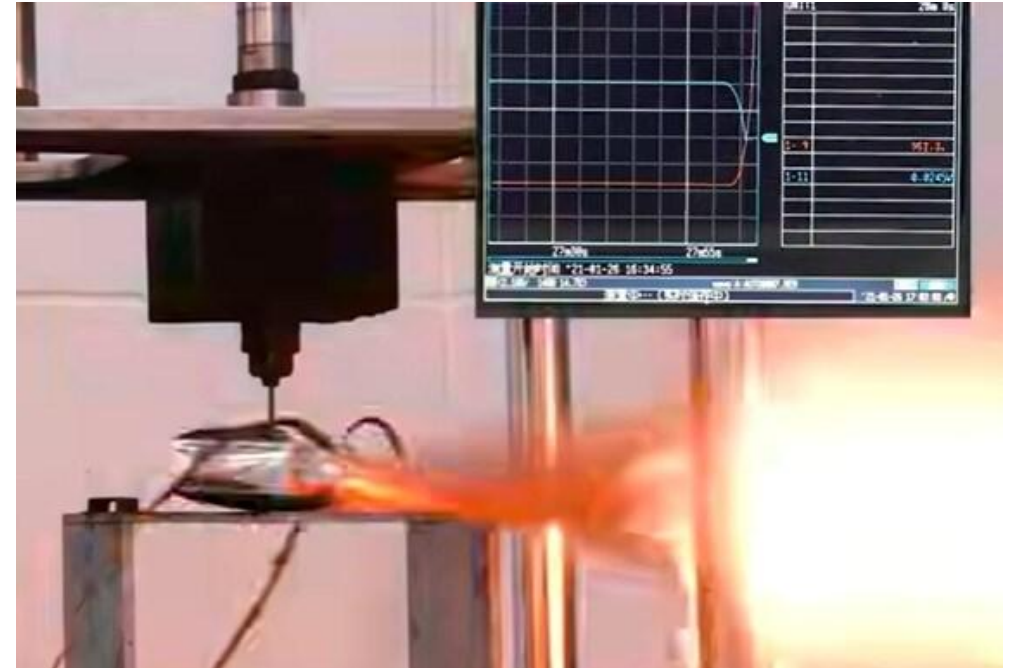
Nail Penetration: ein Nagel ($\varnothing$ 3 - 5 mm, 20° - 60° Spitze), Kegel oder Pyramide, el. leitend oder isolierend, durchdringt die Zelle oder dringt definiert tief ein, Geschwindigkeit und Eindringtiefe variieren je nach Norm (0,01 - 80 mm/s)

Simuliert: einen internen Kurzschluss – der mechanische Auslöser

Crush Test: definierte Kraft presst die Zelle zusammen, bis Gehäuse und Separator versagen

Impact Test: Zellgehäuse wird mit definiert aufliegendem Zylinder und Impuls deformiert

Bestehen-Kriterium: Definition entsprechend der Testnorm, oft nach EUCAR Level 0 - 7



Nageltest an einer NMC-Zelle

Foto: Focus Online / BYD



UN 38.3 im Überblick

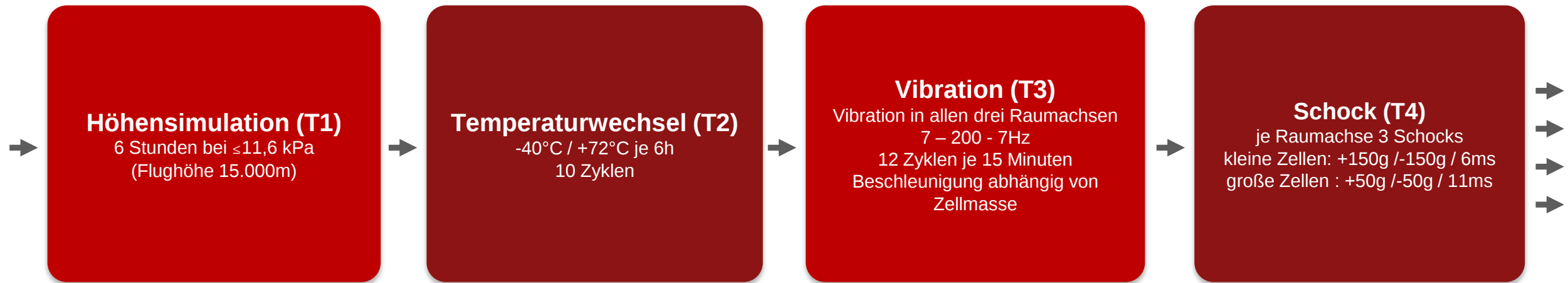
(notwendig für Transportgenehmigung von Zellen, Modulen und Speicher)
(Beispiel für kleine Zellen $\leq 500\text{g}$)





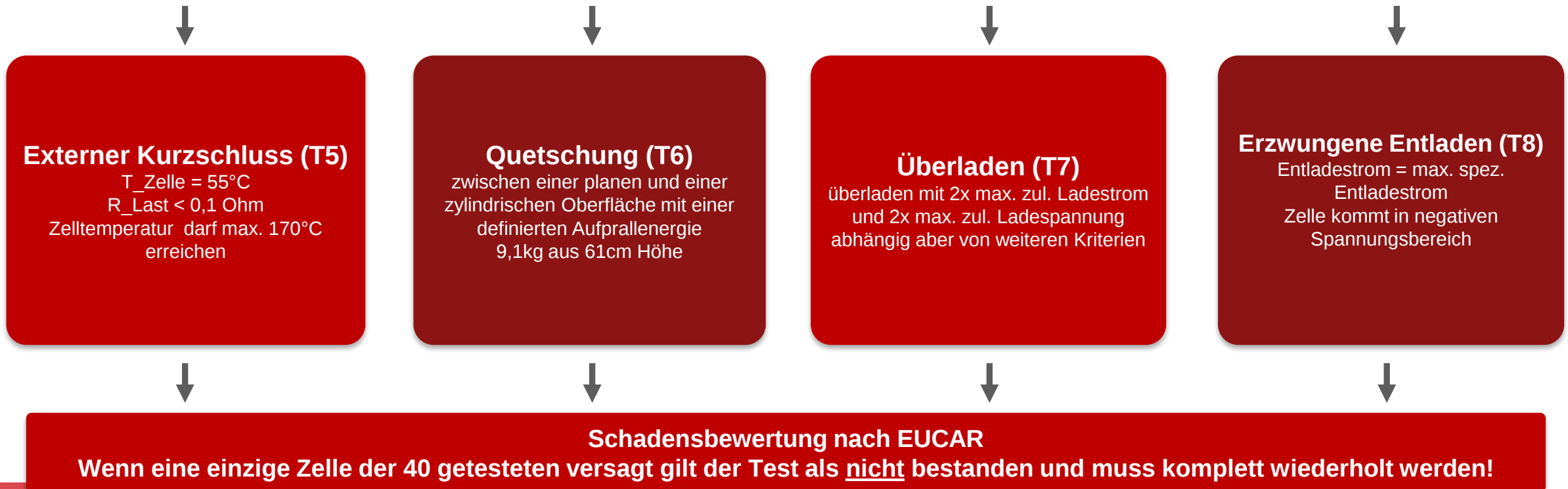
Tests am Beispiel der UN 38.3 (Transport):

nicht zerstörende Test:



Tests am Beispiel der UN 38.3 (Transport):

zerstörende Test:



Schadensbewertung nach EUCAR:

Table 2. EUCAR Hazard Levels and Descriptions

Hazard Level	Description	Classification Criteria & Effect
0	No effect	No effect. No loss of functionality.
1	Passive protection activated	No defect; no leakage; no venting, fire, or flame; no rupture; no explosion; no exothermic reaction or thermal runaway. Cell reversibly damaged. Repair of protection device needed.
2	Defect/Damage	No leakage; no venting, fire, or flame; no rupture; no explosion; no exothermic reaction or thermal runaway. Cell irreversibly damaged. Repair needed.
3	Leakage $\Delta \text{mass} < 50\%$	No venting, fire, or flame*; no rupture; no explosion. Weight loss $< 50\%$ of electrolyte weight (electrolyte = solvent + salt).
4	Venting $\Delta \text{mass} \geq 50\%$	No fire or flame*; no rupture; no explosion. Weight loss $\geq 50\%$ of electrolyte weight (electrolyte = solvent + salt).
5	Fire or Flame	No rupture; no explosion (i.e., no flying parts).
6	Rupture	No explosion, but flying parts of the active mass.
7	Explosion	Explosion (i.e., disintegration of the cell).

Test bestanden

Test nicht bestanden

* The presence of flame requires the presence of an ignition source in combination with fuel and oxidizer in concentrations that will support combustion. A fire or flame will not be observed if any of these elements are absent. For this reason, we recommend that a spark source be used during tests that are likely to result in venting of cell(s). We believe that "credible abuse environments" would likely include a spark source. Thus, if a spark source were added to the test configuration and the gas or liquid expelled from the cell was flammable, the test article would quickly progress from level 3 or level 4 to level 5.



Thermische Tests & ARC-Kalorimetrie

ARC-Kalorimetrie (Accelerating Rate Calorimetry): misst Wärmeentwicklung unter adiabatischen Bedingungen

T1: Onset-Temperatur

Beginn der Selbsterhitzung
(vgl. SEI-Zersetzung, Vortrag 1)



T2: TR-Onset

Reaktion wird
selbstverstärkend, unumkehrbar



T3: Maximaltemperatur

höchste gemessene
Zelltemperatur

Merksatz: Die Temperaturschwellen aus Vortrag 1 (z. B. 80–120 °C für die SEI-Zersetzung) stammen genau aus solchen ARC-Messungen – keine Schätzwerte, sondern gemessene Kennwerte.



Thermischer Stabilitätstest

nach IEC 62619 (bis 85°C), IEC62133 (bis 130°C), IEC62660 (bis 130°C)

T1: Starttemperatur 25°C

Temperatur wird kontinuierlich
oder in 5K-Stufen pro Zeiteinheit
bis zur Zieltemperatur erhöht

T2: Maximaltemperatur
wird für definierte Zeit gehalten
10 – 30 Minuten

Die Auswirkung auf die Zelle / Batterie wird wieder nach EUCAR bewertet



Grenzen der Standardtests

Standardtests prüfen Einzelfälle – nicht jede Kombination aus Fertigungstoleranz und Nutzung

Der Fall Note 7 zeigt: Zellen können Zertifizierung bestehen und trotzdem im Feld versagen

Serienstreuung wird durch Stichproben nur eingeschränkt erfasst

Fertigungsqualität: Sauberkeit und Präzision sind extrem wichtig,
Qualität kann nicht in fertiges Produkt hinein getestet werden!

Reale Nutzung (Temperatur, Alterung, jahrelange mechanische Belastung) übertrifft oft die Testbedingungen

Merksatz: Validierung ist notwendig, aber nie absolut – kontinuierliches Feld-Monitoring bleibt Teil der Sicherheitsstrategie.



Zusammenfassung & Ausblick

Validierung beginnt bei der Zelle **(UN 38.3, IEC 62133-2)** und geht bis zum Fahrzeug **(SAE J2464, ISO 12405)**

ARC-Kalorimetrie liefert die Temperaturkennwerte

Kein Test ersetzt **kontinuierliches Monitoring im Feld**

Ausblick: Die hier validierten Sicherheitsmechanismen – PTC, CID, Venting und Shutdown-Separator – werden im nächsten Vortrag im Detail vorgestellt.



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Cell-Level-Safeguards: Reaktive Maßnahmen

Vortrag 4

NAVI-BAT

Christian Koch · ca. 15 Minuten





Rückblick: Die Kettenreaktion

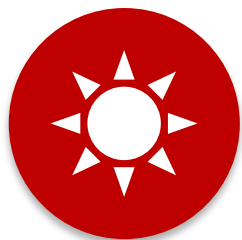
Aus Vortrag 1:



Frage: Wie schützt die Zelle sich selbst und ihre Umgebung, *bevor oder nachdem* ein Thermal Runaway eintritt?

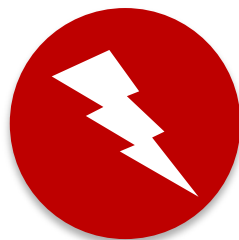


Sicherheitselemente in der Zelle



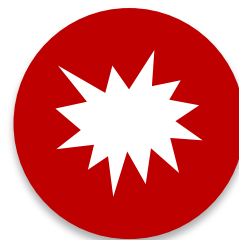
PTC-Element

reversibler Widerstandsschutz bei
Überstrom und -temperatur



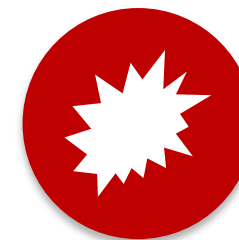
CID

irreversible Stromunterbrechung
bei Überdruck



Safety Vent

kontrollierte Druckentlastung
(Berstscheibe)



Shutdown-Separator

schmilzt bei Grenztemperatur,
blockiert Ionenfluss

Alle vier wirken reaktiv – sie greifen erst, wenn der Ernstfall bereits begonnen hat.



PTC-Element



Ein PTC-Element schützt reversibel gegen kurzzeitige Überlastung – aber wirkungslos gegen einen inneren Kurzschluss.



CID – Current Interrupt Device



CID ist die letzte elektrische Notbremse – irreversibel, aber zuverlässig bei Überdruck in der Zelle.



Venting-Design

Berstscheibe: öffnet bei definiertem Grenzdruck

Ziel: kontrollierte Gasableitung statt unkontrolliertem Bersten

Venting-Kanäle: leiten Gas von Nachbarzellen und Elektronik weg

Typisch: mehrere Venting-Öffnungen im Deckel der Zelle

Ziel: Gas kontrolliert ableiten – nicht die Zelle unkontrolliert bersten lassen.



Zellkappe mit Venting-Rille (18650-Zelle)

Foto: Rudolf Simon



Mehrere Zellen im Batteriepack (BMW i3)

Foto: Rudolf Simon



Pouchzelle

Foto: www.evlithium.com/



Einbaudetails der Schutzmaßnahmen

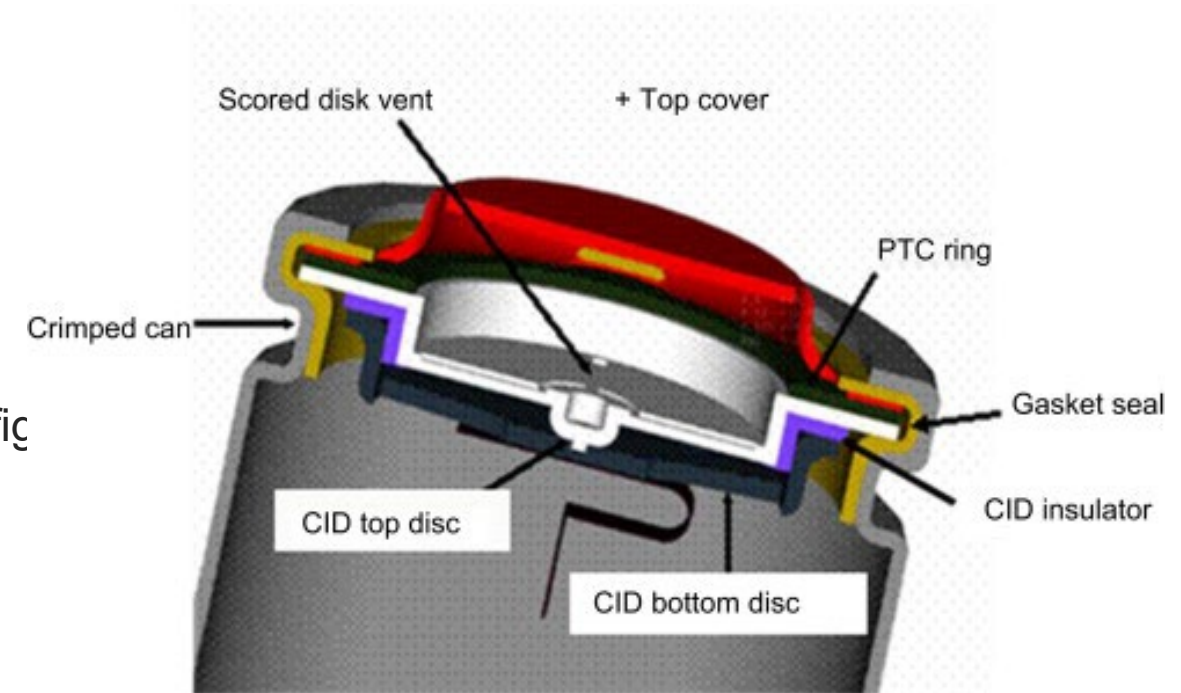
Einbau der drei vorgestellten Schutzmechanismen im Zelldeckel einer Rundzelle:

PTC-Element: Ausgeführt als Scheibe im Zelldeckel

CID-Element & Venting:

Membran zwischen Zellinnerem und Umgebung löst dreistufig aus:

1. Abreißen der Kontaktfahne zur Kathode -> Isolierung
2. Öffnen der Zelle um Druck abzubauen und Zellkomponenten im Inneren zu halten
3. Nachgeben des kompletten Zellkopfes um unkontrolliertes Aufplatzen der Zelle zu verhindern.



Zellkappe im Schnitt

Foto: www.batterydesign.net/



Shutdown-Separator im Detail

Mehrschichtige Polymerfolie zwischen Anode und Kathode:

Normalzustand

Poren offen –
Ionen fließen ungehindert



Grenztemperatur (ca. 130 °C)

Poren schmelzen und schließen sich –
Ionenfluss gestoppt

Der Shutdown-Separator kann den Thermal Runaway stoppen, bevor er stattfindet, schädigt jedoch dabei die Leistungsfähigkeit der Zelle.

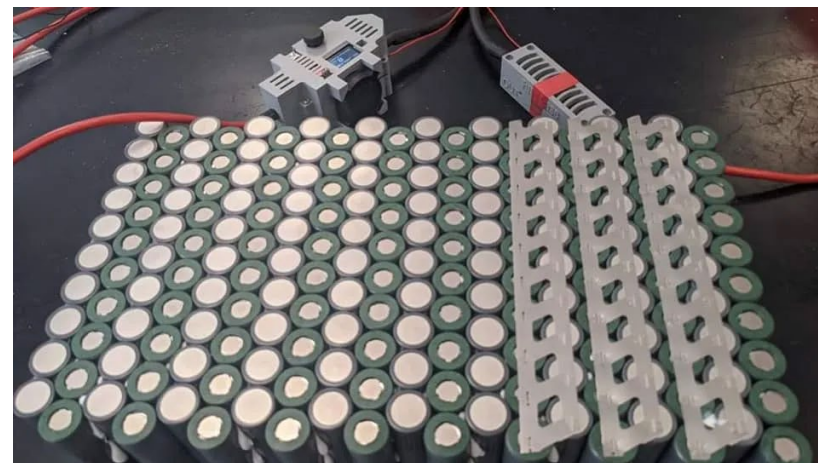


Grenzen der Zell-Level-Maßnahmen

Schützen **die einzelne Zelle** – nicht das ganze Pack

Verhindern nicht: Wärmeübertrag auf Nachbarzellen
(Propagation)

Kein Schutz vor **externer Beschädigung** oder Serienfehlern



Pack aus 18650er Rundzellen

Foto: www.gj.safdbattery.com/

Nächster Schritt: Zell-Schutz ist notwendig, aber nicht ausreichend – Modul- und Pack-Sicherheit ist Thema einer künftigen NAVI-BAT-Veranstaltung.

Grenzen der Zell-Level-Maßnahmen

Testablauf:

- Vorladen der Zelle auf Ladeschlussspannung (NMC: 4.2V)
- Umwickeln der Zelle mit Heizdraht
- Überladen der Zelle in Testkammer
- CID löst aus
- Auslösen des Thermal Runaways mittels Überhitzung (30-40W Heizleistung)



Testaufbau zum zerstörerischen Test einer Zelle

Foto: Eigene Aufnahmen, 2025



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Auswirkungen



Fotos: Eigene Aufnahmen, 2025





Zusammenfassung & Ausblick

PTC, CID, Venting und Shutdown-Separator schützen reaktiv auf Zellebene

Sie wirken erst, **wenn der Ernstfall bereits begonnen hat**

Zell-Level-Schutz ist die **ein Teil eines Sicherheitskonzept** – nicht der alleinige Garant

Ausblick: Modul- und Pack-Sicherheit (Kühlung, Abstände, Batteriemanagementsystem) – Thema einer künftigen NAVI-BAT-Veranstaltung.



Finanziert von der
Europäischen Union

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Für Fragen und Anregungen stehen wir Ihnen jetzt
gerne zur Verfügung!

