

19.09.2024

# **LITHIUM-IONEN-BATTERIEN: AKTUELLES AUS DER FORSCHUNG**

## Alterungsverhalten und Second Life

Philippa Scharpmann

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

# Motivation

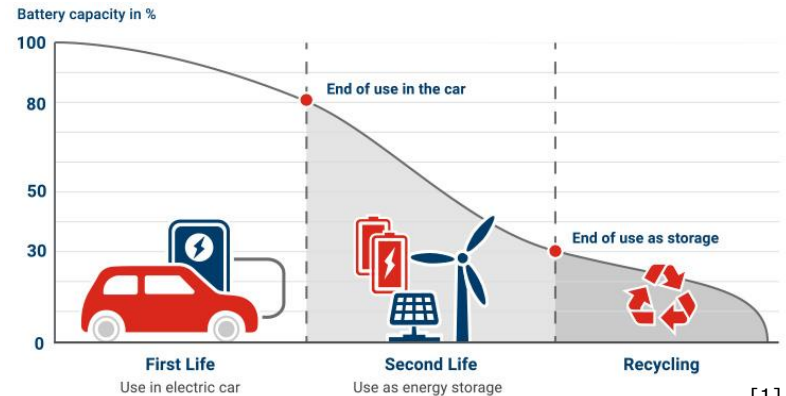
## Was passiert mit end-of-life Batterien?

**Alterung:** Die elektrochemischen Eigenschaften einer Batterie ändern sich mit der Zeit.

- Auswirkungen auf Kapazität, Leistung, Sicherheit
- Abhängig von Betriebsbedingungen (Temperatur, Stromstärke, Ladungszustand, usw.)

Was passiert mit alten, gebrauchten Batterien?

1. Wiederaufbereitung
2. **Second Life**
3. Recycling



**Wie kann man abschätzen, ob eine Batteriezelle noch lange, zuverlässig und sicher in einer Second-Life-Anwendung betrieben werden kann?**

<sup>1</sup> Second-Life-Use for Batteries, EA Elektro-Automatik (<https://elektroautomatik.com>)

# Einsatz im Second Life

## Alterung und Stressfaktoren von Batterien

---

### Wie kann man abschätzen, ob eine Batteriezelle noch lange, zuverlässig und sicher in einer Second-Life-Anwendung betrieben werden kann?

- Sicherheits-/Charakterisierungstests entwickeln
- Batteriemodelle erstellen

→ Dafür werden viele, definiert gealterte Batteriezellen benötigt

→ Ansatz: Nachstellen der Batteriealterung unter Laborbedingungen

#### Stressfaktoren für beschleunigte Alterung



Mechanisch - Druck, physischer Schaden



Thermisch - Sehr hohe oder niedrige Betriebstemperaturen



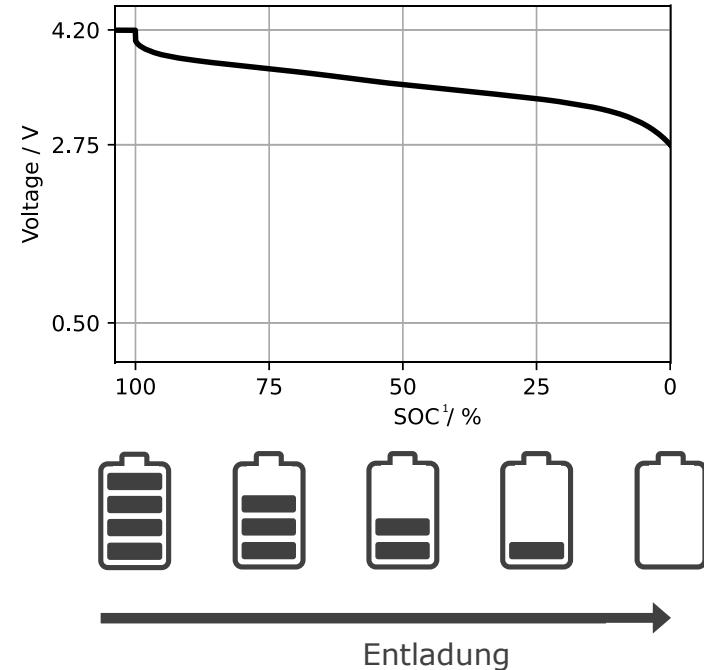
Elektrisch - Hohe Stromrate, Überladen, **Tiefenentladen**

# Beschleunigte Alterung

## Tiefenentladen

Beim Tiefenentladen wird die Batterie über die vom Hersteller empfohlene Entladeschlussspannung ( $U_{\min} = 2.75 \text{ V}$ ) hinaus entladen.

- 113 % der Batteriekapazität können entladen werden
- Es entstehen reversible und irreversible Schäden im Inneren der Batterie
- Sicherheitskritische Schäden (z.B. Auflösen des Kupferableiters) entstehen erst bei  $< 0.5 \text{ V}$



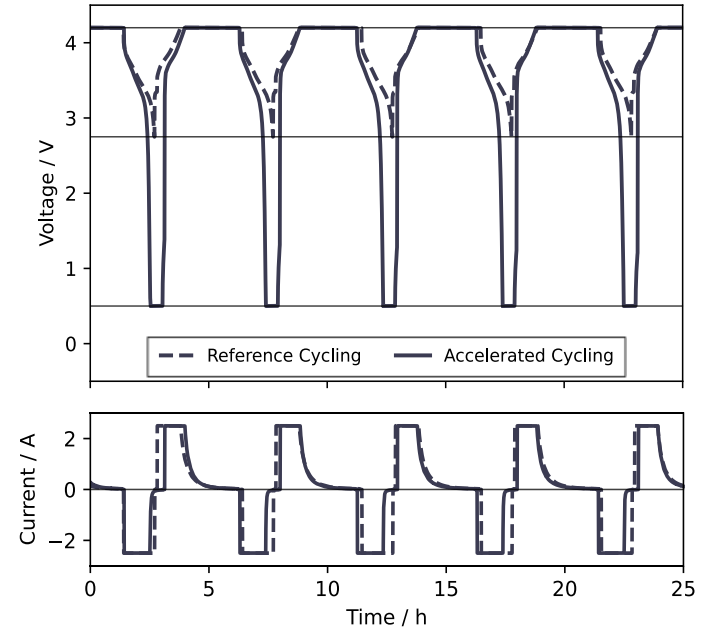
<sup>1</sup> SOC: „state of charge“, engl. für Ladezustand

# Beschleunigte Alterung

## Tiefenentladen

Beim Tiefenentladen wird die Batterie über die vom Hersteller empfohlene Entladeschlussspannung ( $U_{\min} = 2.75 \text{ V}$ ) hinaus entladen.

- 113 % der Batteriekapazität können entladen werden
- Es entstehen reversible und irreversible Schäden im Inneren der Batterie
- Sicherheitskritische Schäden (z.B. Auflösen des Kupferableiters) entstehen erst bei  $< 0.5 \text{ V}$
- Reversible Schäden können beim Laden wieder behoben werden

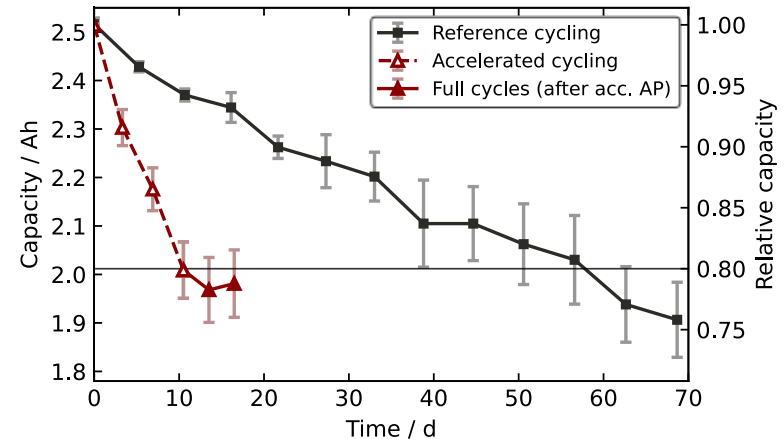


# Beschleunigte Alterung

## Ergebnisse

Durch wiederholtes, restriktives Tiefenentladen kann die Alterung einer Lithium-Ionen-Batterie stark beschleunigt werden.

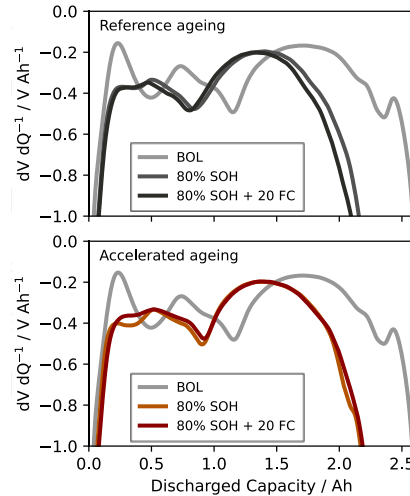
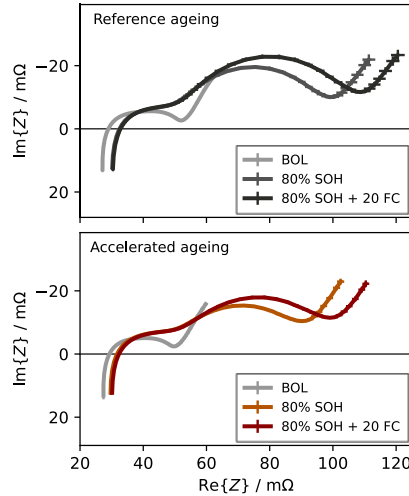
- Kapazität sinkt etwa 7x schneller
- Kein erhöhter Kapazitätsverlust bei „normalem“ Betrieb nach beschleunigter Alterung
- Elektrisches Verhalten nach beschleunigter Alterung ähnlich wie im „normalen“ Betrieb



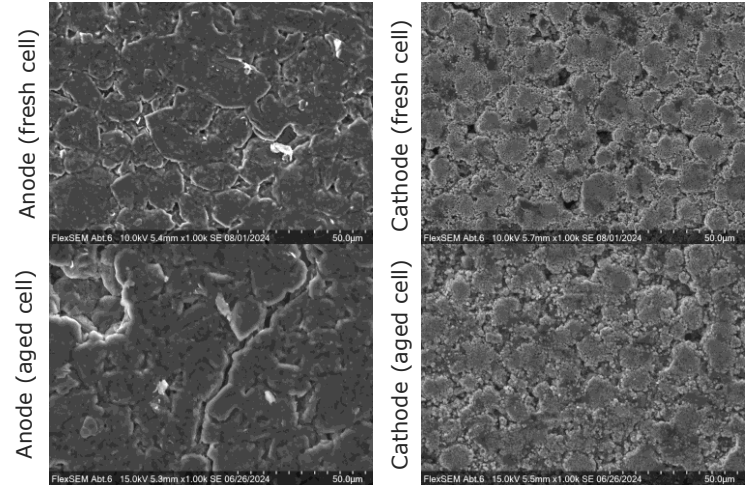
- Die Funktion der Batterie wird durch die Tiefenentladung nicht eingeschränkt.
- Es entstehen keine erkennbaren, nachhaltigen Schäden.

# Beschleunigte Alterung

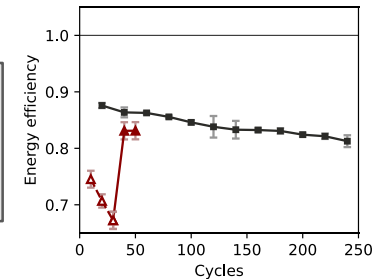
## Ergebnisse



Post-mortem analysis:  
Scanning electron microscope

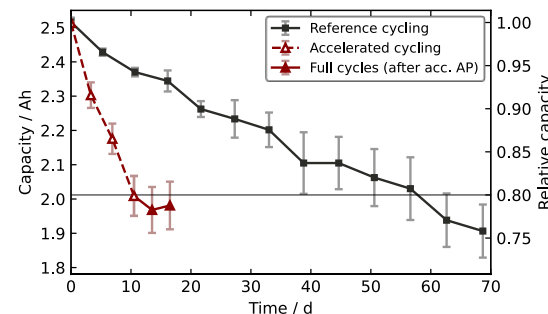
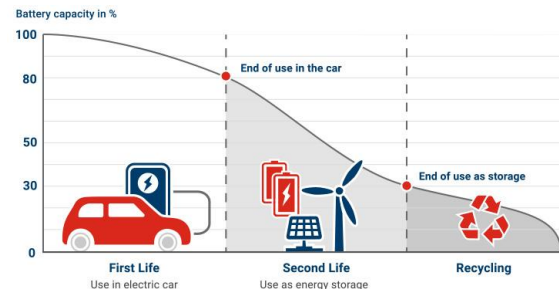


→ Die Funktion der Batterie wird durch die Tiefenentladung nicht eingeschränkt.  
→ Es entstehen keine erkennbaren, nachhaltigen Schäden.



## Alterungsverhalten und Second Life von Lithium-Ionen-Batterien

- Alterung: Änderung der elektrochemischen Eigenschaften einer Batterie mit der Zeit (Auswirkung u.a. Leistungsverlust)
- Gealterte Batterien können in einer Second-Life-Anwendung wieder eingesetzt werden.
  - Um einen zuverlässigen, sicheren Betrieb gewährleisten zu können, müssen zunächst entsprechende Testprotokolle entwickelt werden.
  - Hierfür werden definiert gealterten Batteriezellen benötigt.
- Elektrischer Stress (Tiefenentladen) während zyklischer Alterung führt zu 7x schnellerem Kapazitätsverlust
- Keine signifikanten Schäden oder Änderungen des elektrischen Verhaltens durch die beschleunigte Alterung





---

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Philippa Scharpmann

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

**T** +49 30 8104-4030

**M** philippa.scharpmann@bam.de

---