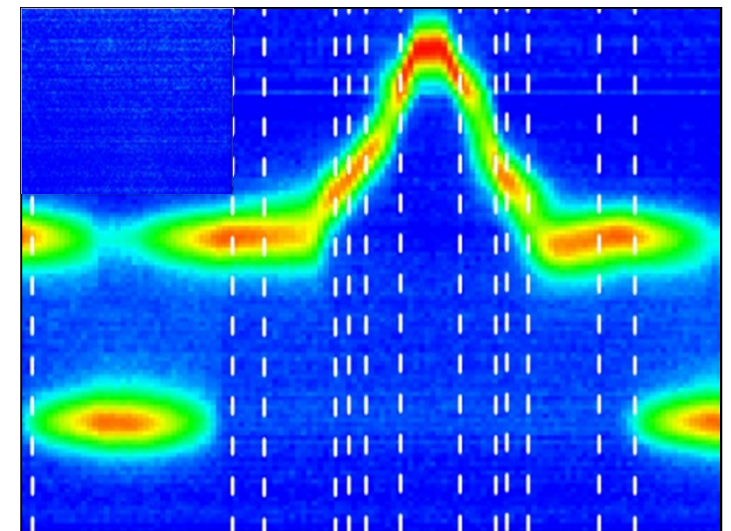
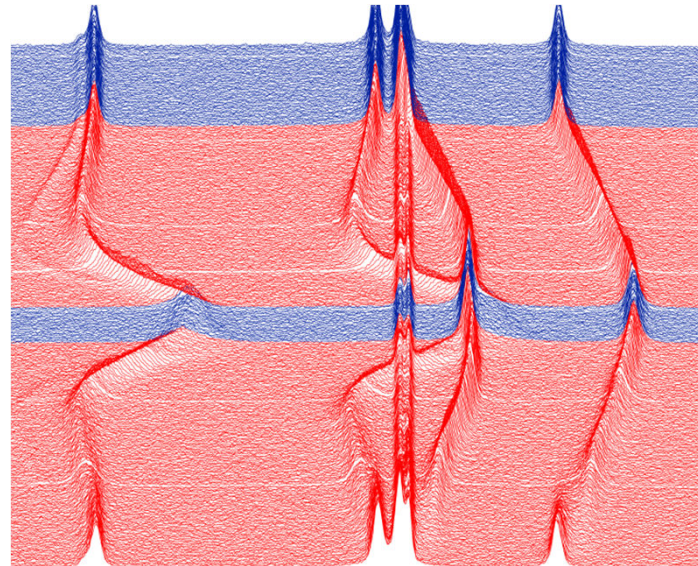
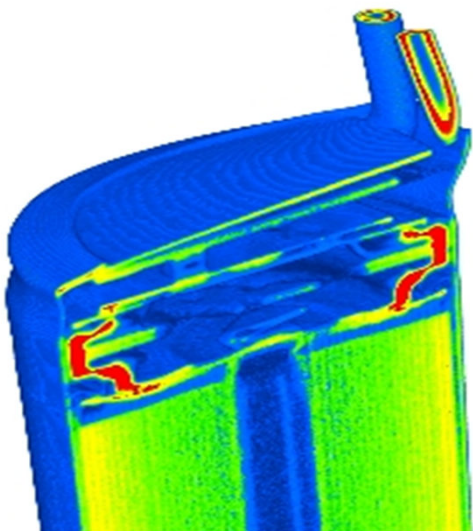


# Werkstoffwissenschaftliche Herausforderungen für Lithiumionenbatterien

**Prof. Helmut Ehrenberg**

INSTITUT für ANGEWANDTE MATERIALIEN – ENERGIESPEICHERSYSTEME & Anorganische Chemie



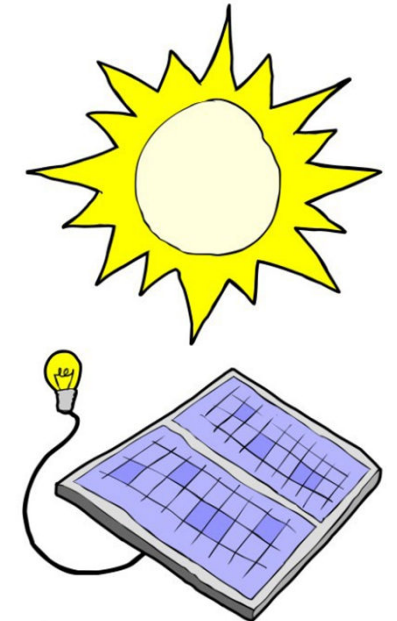
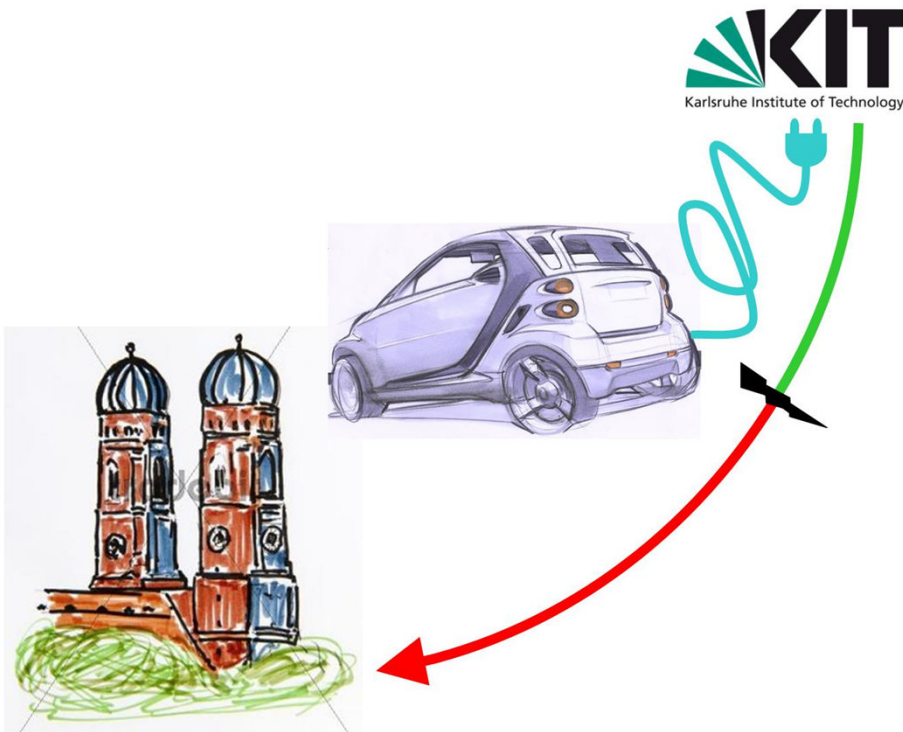
# Werkstoffwissenschaftliche Herausforderungen für Lithiumionenbatterien

**Prof. Helmut Ehrenberg**

INSTITUT für ANGEWANDTE MATERIALIEN – ENERGIESPEICHERSYSTEME (IAM-ESS)

- Werkstoffwissenschaftliche Herausforderungen in Li-Ionenbatterien
- Neue Materialien für Hochenergie- und Hochleistungsbatterien
- Forschungsstrategie
- Entwicklung von Charakterisierungsmethoden zur Lebensdauermodellierung

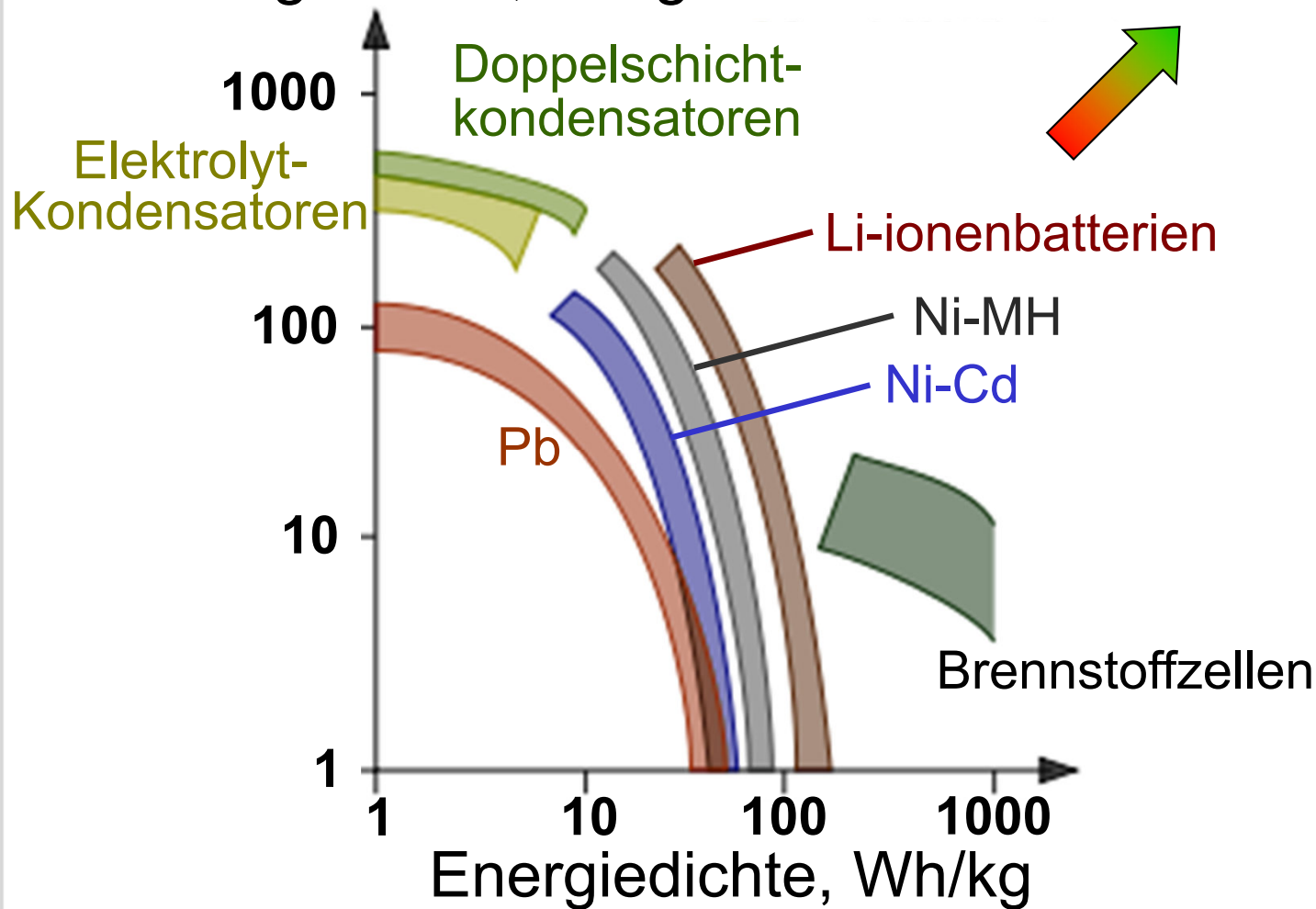
- ... Energiesicherheit bei erneuerbaren Quellen
- ... Elektromobilität





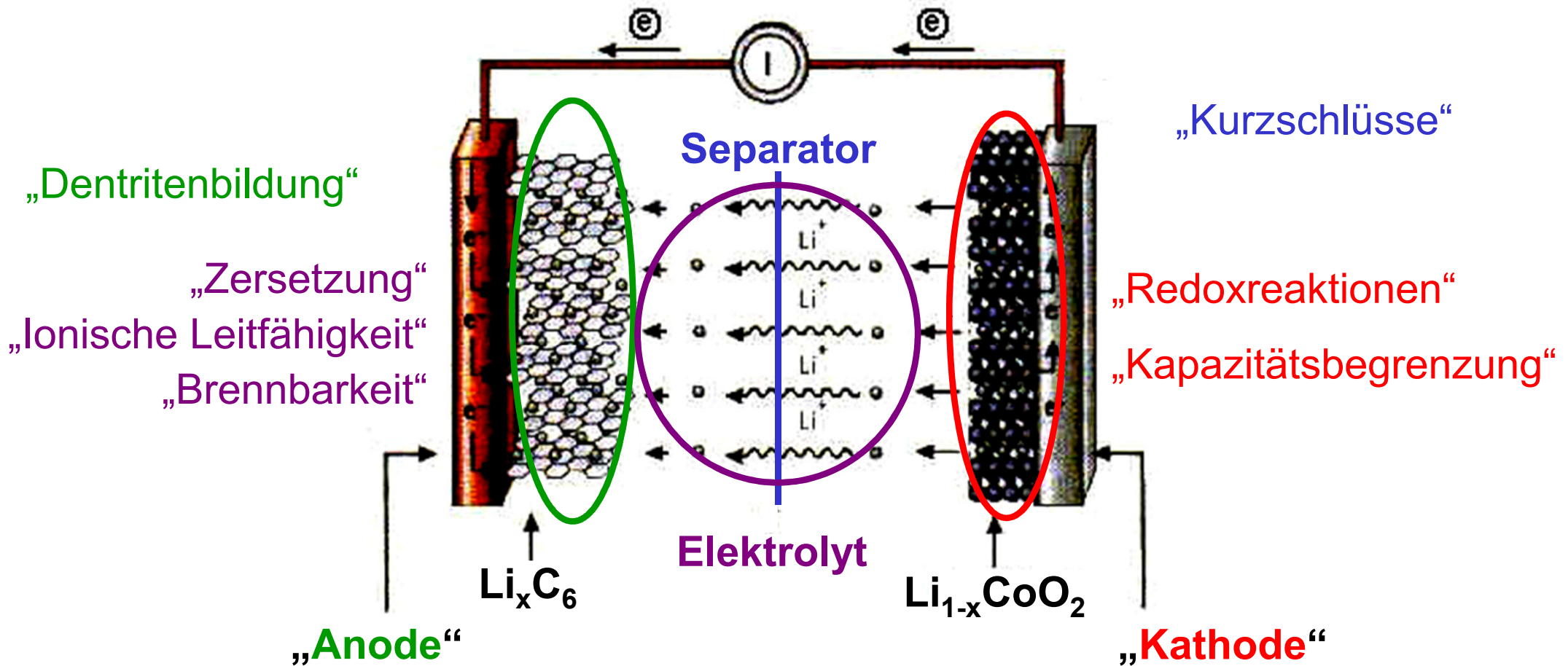
# Vergleich von Leistungsmerkmalen einiger Energiespeichersysteme

Leistungsdichte, W/kg

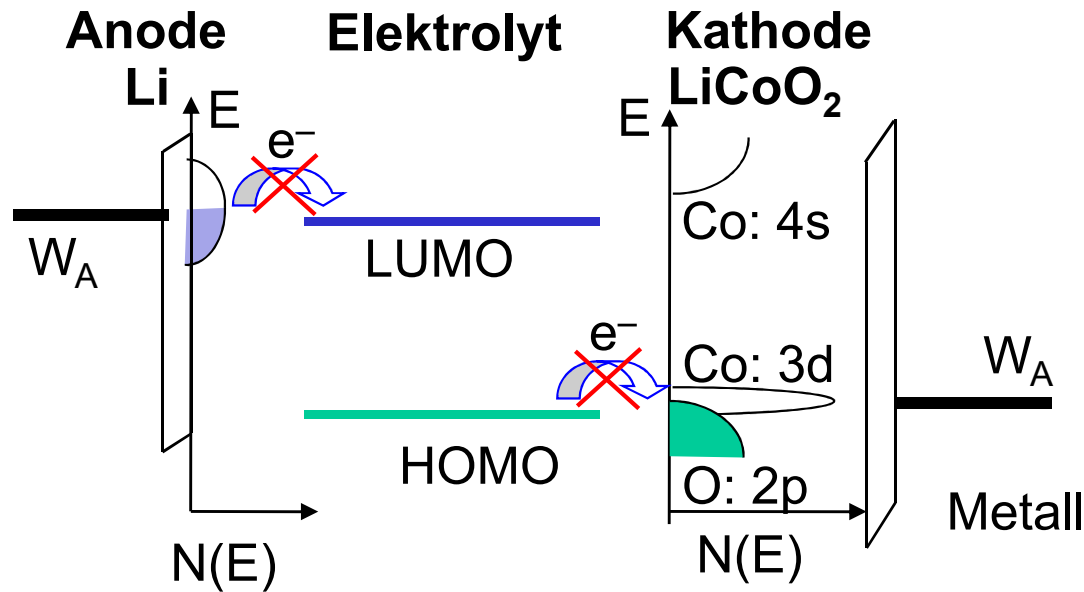


- Lange Lebensdauer
- Gute Zyklenstabilität
- Hohe Ladeströme
- Sicherer Betrieb
- Umweltfreundlich
- Niedrige Kosten
- ...

(Technology Review 08/2007)



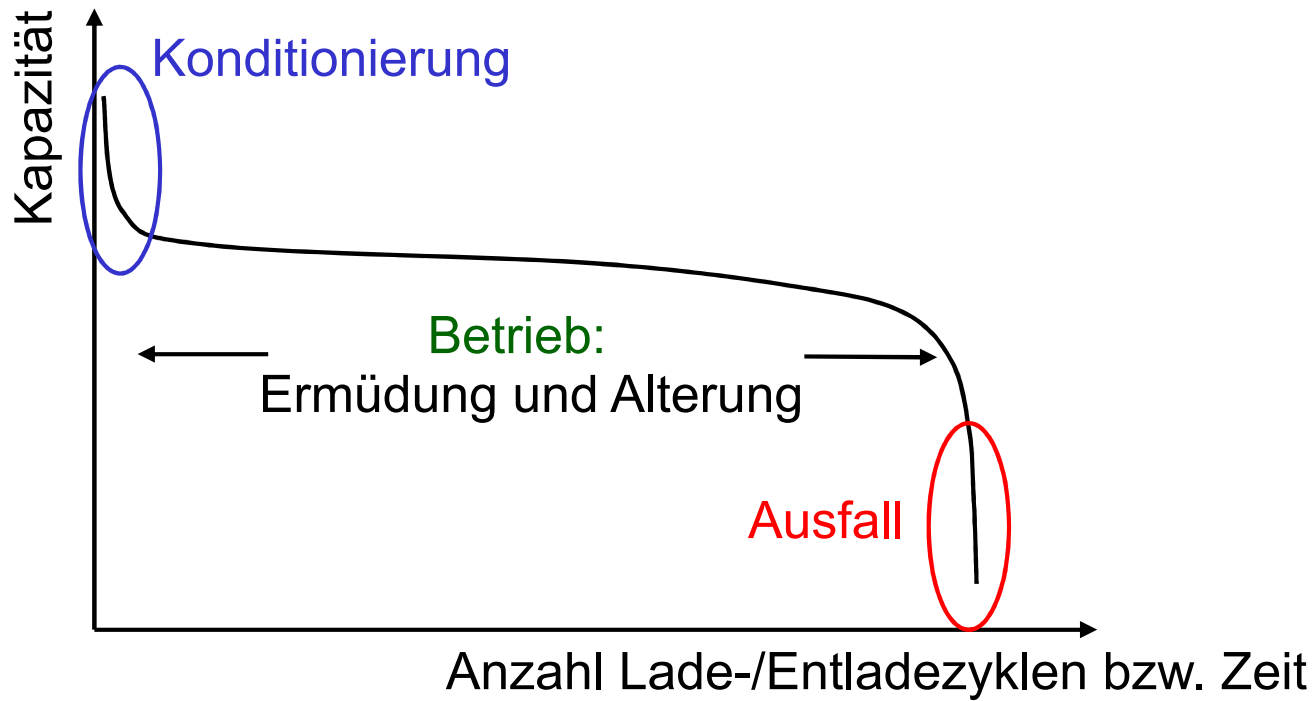
- Alle Komponenten unterliegen „Alterung“ & „Ermüdung“
- Materialwechselwirkungen („Solid Electrolyte Interface/Interphase“, SEI)



(nach John B. Goodenough)

- Elektrolyt LUMO muss höher liegen als  $W_A$ (Anode)
- Elektrolyt HOMO muss niedriger liegen als  $W_A$ (Kathode)

→ Erfordert spezielle Grenzflächeneigenschaften („Coating“ bzw. „SEI“)  
 → Aufklärung der zugrunde liegenden Prozesse und Mechanismen



Idealisierte Modellsysteme  
(Einzelprozesse)



Reale Energiespeicher  
(hohe Komplexität)



$\text{Li}_x\text{CoO}_2$  ist im überladenen Zustand ( $x > 0.5$ ) intrinsisch instabil:



→ **Hohe Priorität von Sicherheitsaspekten**



Störfälle

Erwartung

„Design Freezing“



LiCoO<sub>2</sub>  
Sony

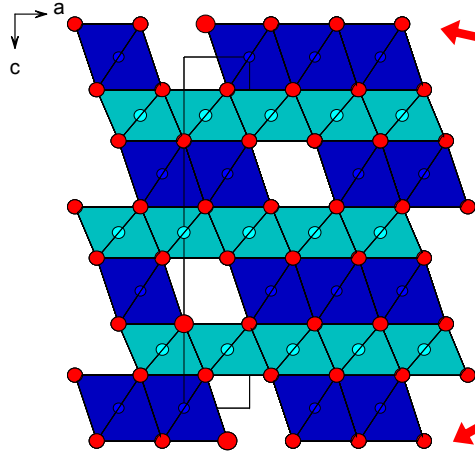
1 Mio. E-Fahrzeuge  
Bundesregierung

1990

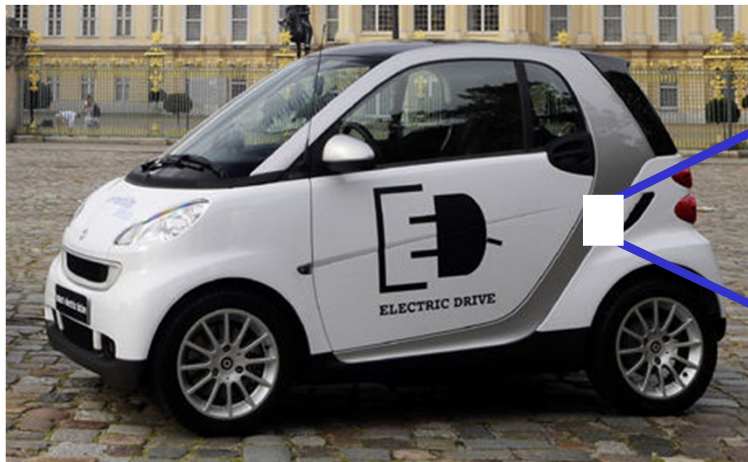
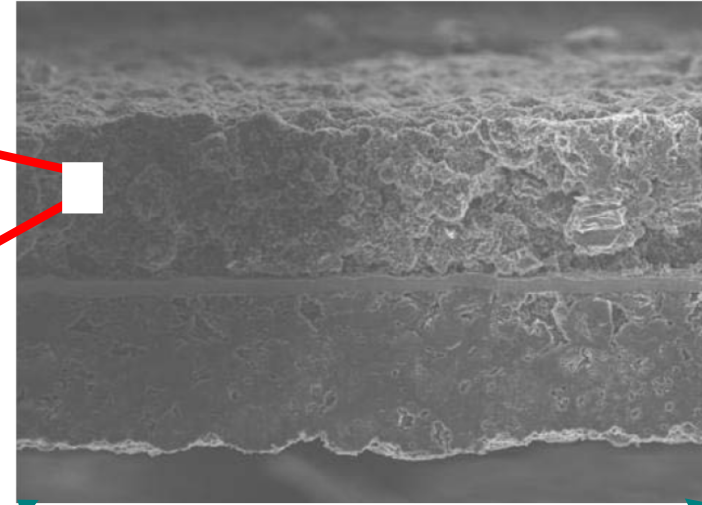
2020



## Nanoskalige funktionelle Kompositmaterialien



## Komponenten



Anwendung



Bauteile

- Hohe Energiedichten → Hohe Zellspannung & hohe spezifische Kapazitäten
- Hohe Kapazitäten → Aufnahme von viel Li → große Volumenänderungen
- Vermeidung von Kontaktverlusten bei großen Volumenänderungen  
→ **nanoskalige** Partikel und Elektrodenstrukturierung
- Hohe Leistungsdichten → hohe Ströme & hohe Zellspannungen
- Hohe Ströme sind durch den Li-Transport diffusionslimitiert  
→ **nanoskalige** Partikel
- **Nanoskalige Elektrodenpartikel** → Große Oberflächen
- Große Oberflächen + hohe Zellspannungen  
→ hohe Grenzflächenreaktivität & Degradation → **Diagnostik & stabile SEI**
- Gleichzeitig gute elektronische Leitfähigkeit → **Funktionelle Kompositmaterialien**
- Anisotropie der Transporteigenschaften → **3D strukturierte Elektroden**

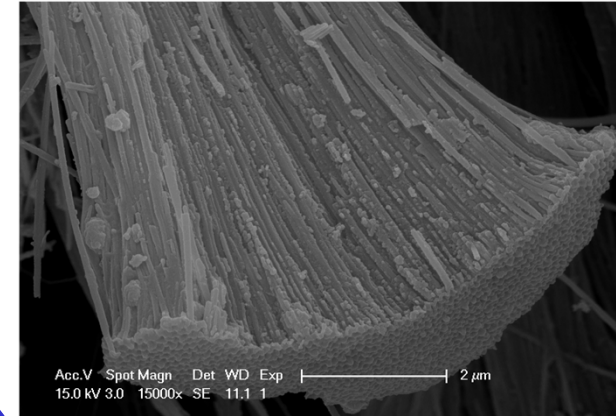
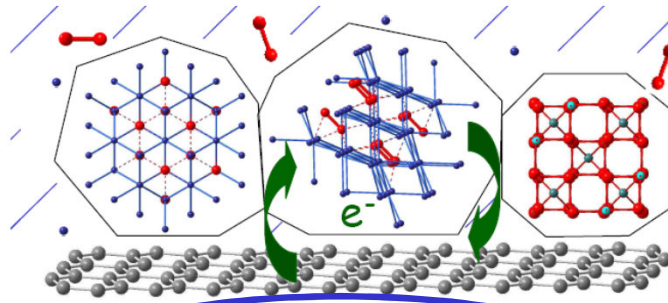
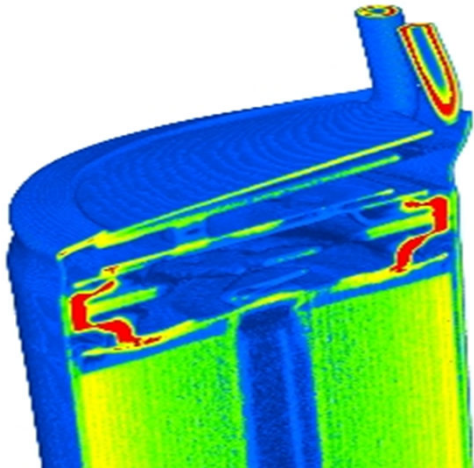
# Werkstoffwissenschaftliche Herausforderungen für Lithiumionenbatterien

**Prof. Helmut Ehrenberg**

INSTITUT für ANGEWANDTE MATERIALIEN – ENERGIESPEICHERSYSTEME (IAM-ESS)

- Werkstoffwissenschaftliche Herausforderungen in Li-Ionenbatterien
- Neue Materialien für Hochenergie- und Hochleistungsbatterien
- Forschungsstrategie
- Entwicklung von Charakterisierungsmethoden zur Lebensdauermodellierung





Neuartige Konzepte

Grundlagen

Methodenentwicklung

Funktionelle Kompositmaterialien

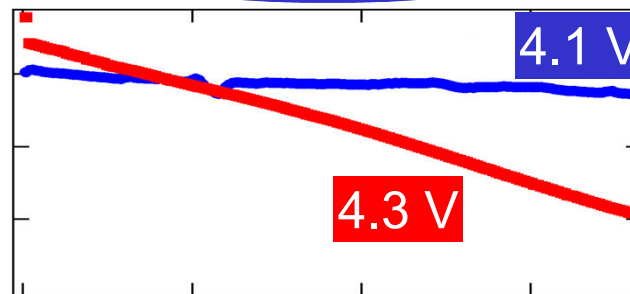
Aufklärung von Prozessen & Mechanismen

Systemintegration & Prozesstechnik

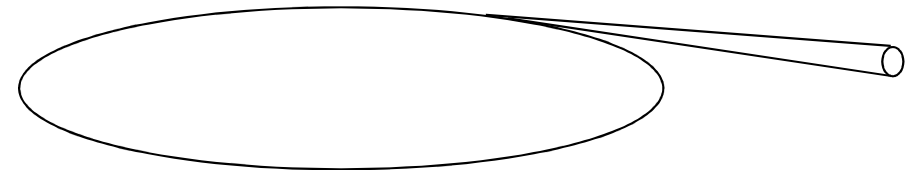
Materialsynthese

Anwendungen

Lebensdaueraspekte

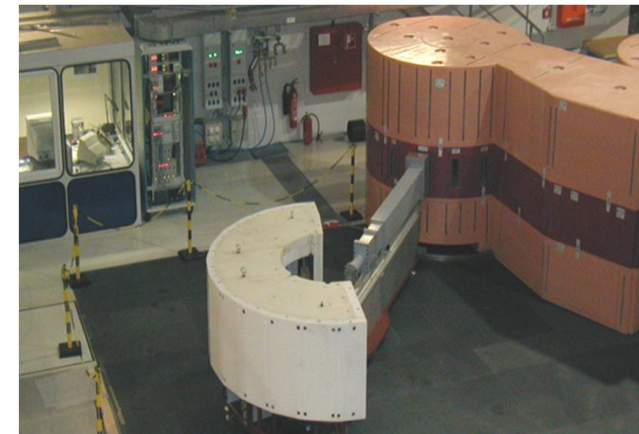


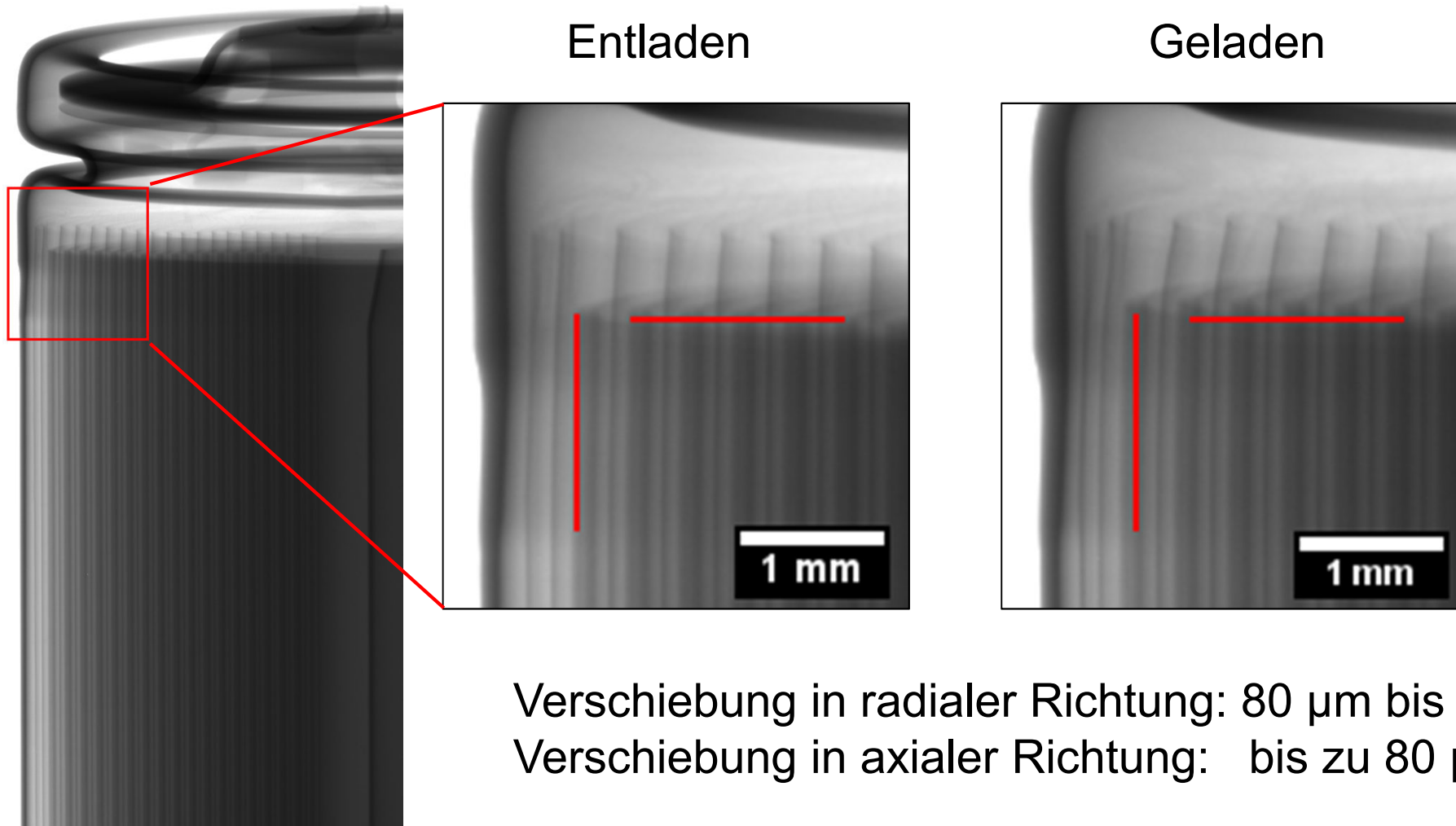
- Starke Materialwechselwirkungen → reale Betriebsbedingungen
- Individuelle und kollektive Degradationsmechanismen
- Fortschreitende Ermüdung und Schädigung
- Einfluss von Zellkonzepten



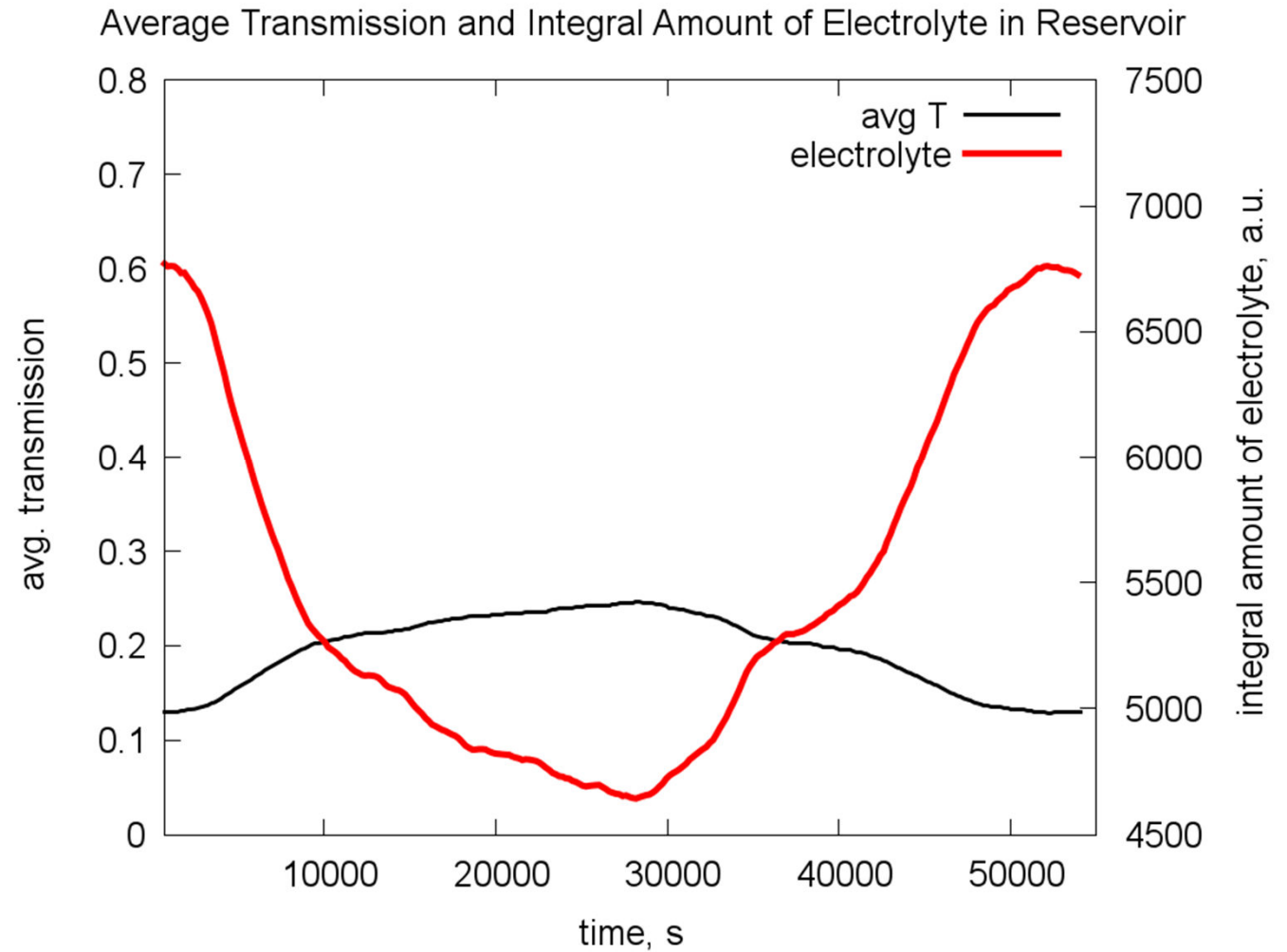
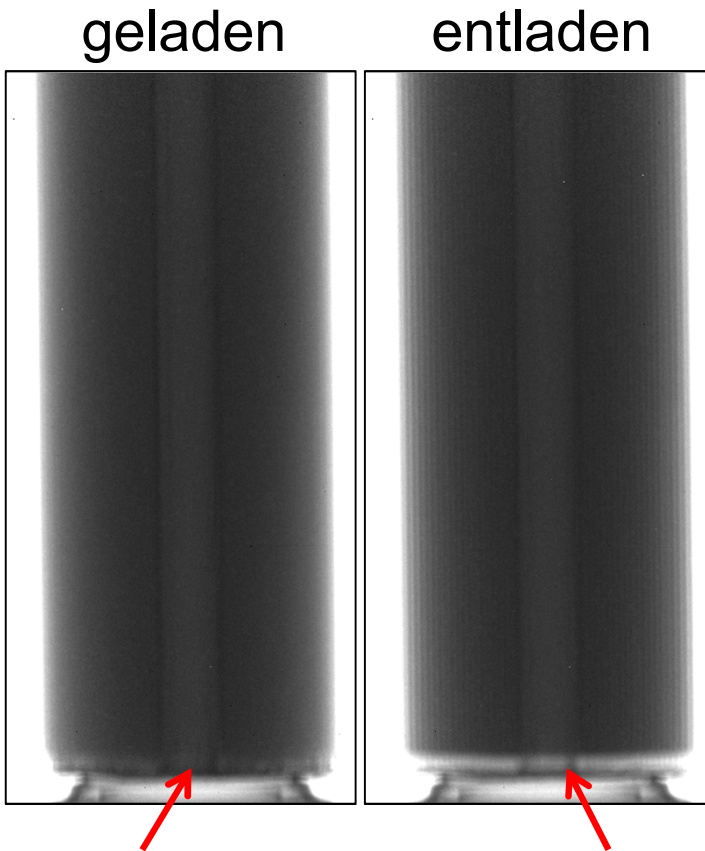
Hochenergetische Synchrotron- & Neutronenstrahlung

- Zerstörungsfreie Methoden
- Durchdringende Sonden
- Zeit- und Ortsauflösung
- Detailinformationen
- Komplementäre *post mortem* Analysen

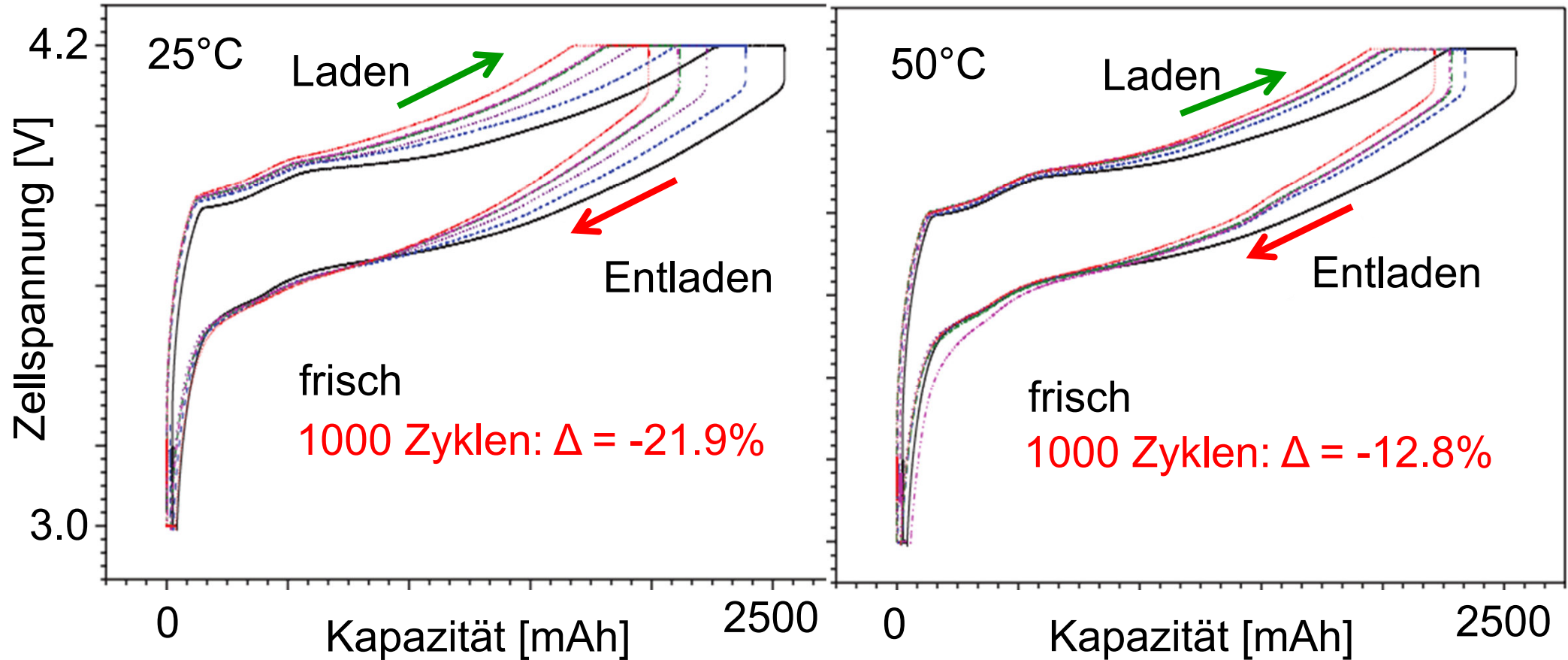




Verschiebung in radialer Richtung: 80  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$   
Verschiebung in axialer Richtung: bis zu 80  $\mu\text{m}$



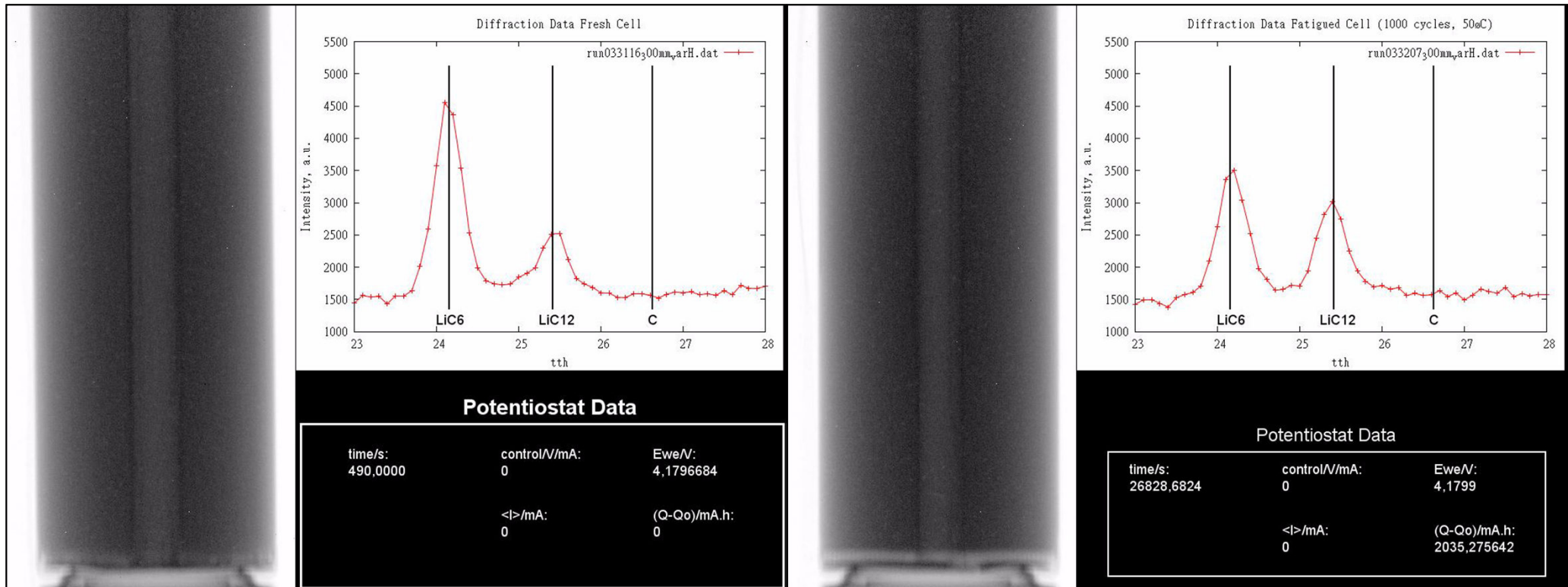




O. Dolotko, *J. Electrochem. Soc.* 159 (2012) A2082

## FrISChe Batterie

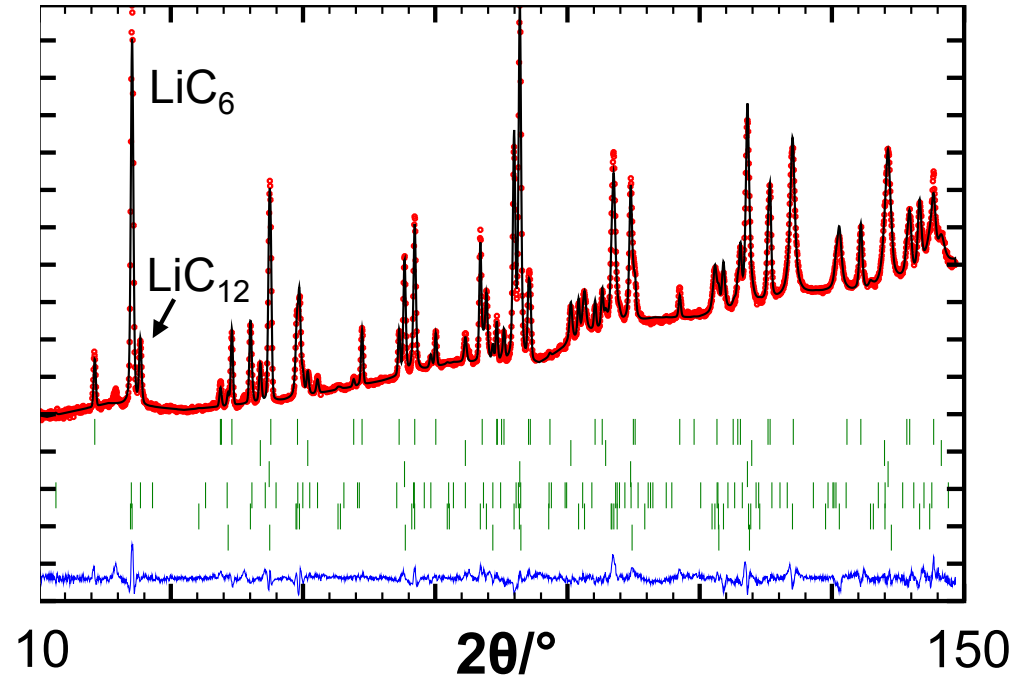
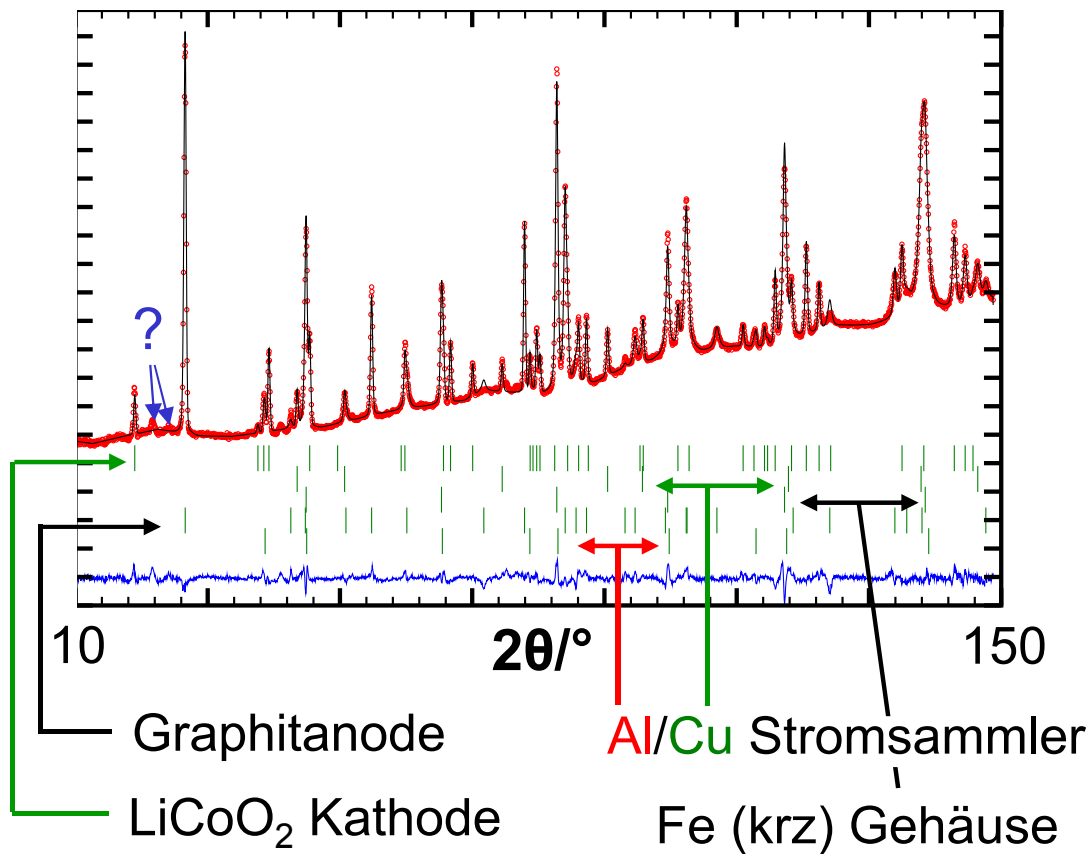
## Ermüdete Batterie (1000 Zyklen)



entladen (3.4 V)

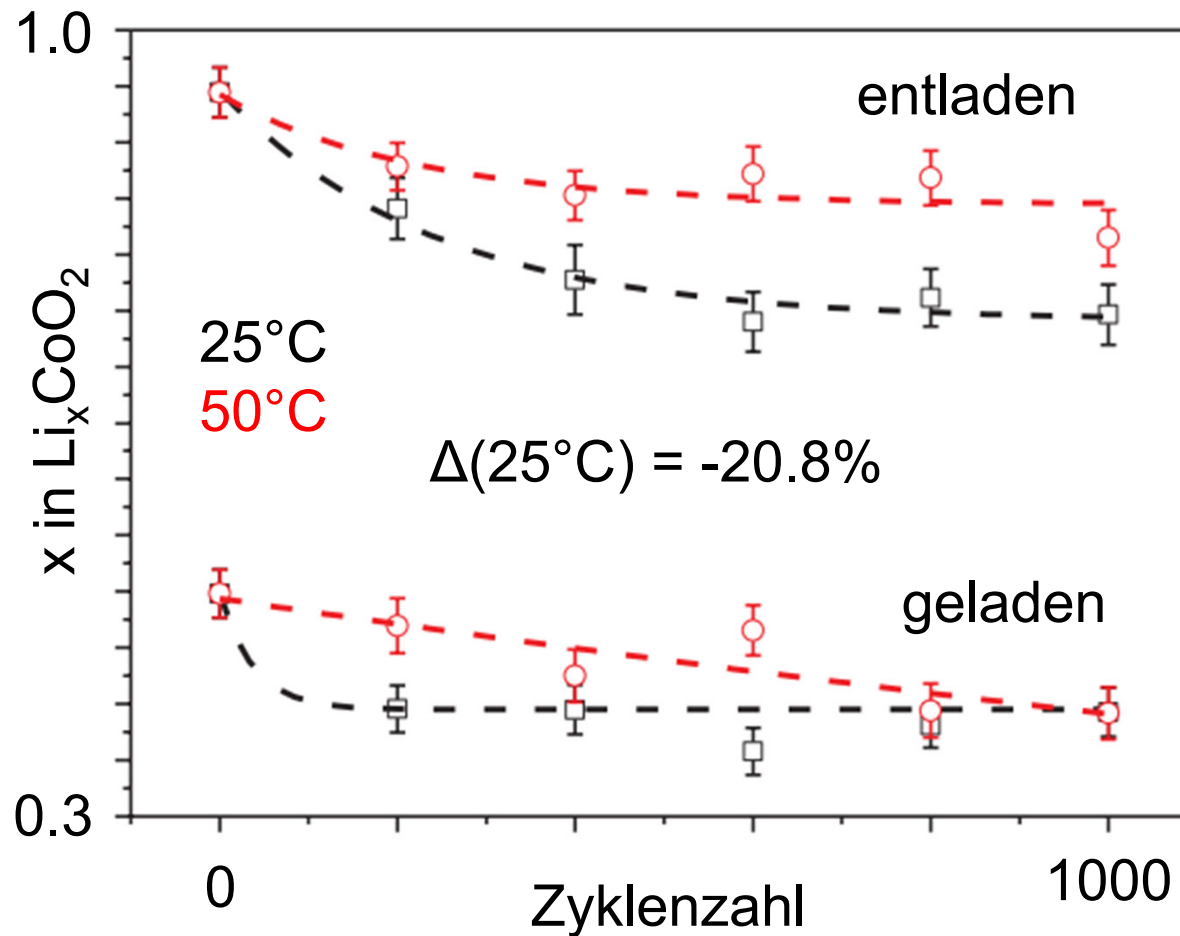
$\lambda = 1.5484(2) \text{ \AA}$

geladen (4.2 V)



- Rietveldverfeinerung möglich
- Details der Kristallstrukturen
- Mikrostrukturentwicklung

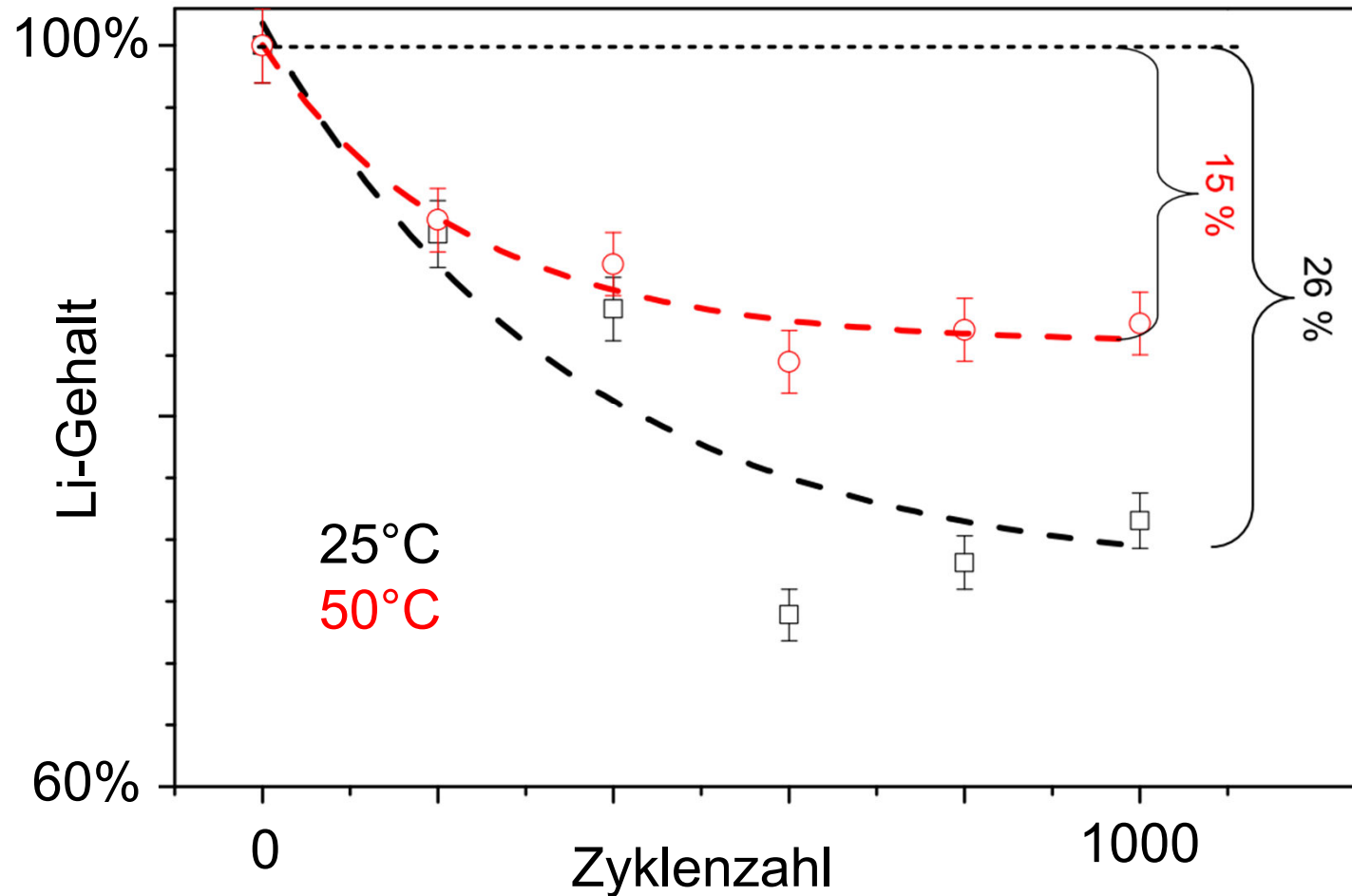
Li-Verteilung in der Kathode:



O. Dolotko, *J. Electrochem. Soc.* 159 (2012) A2082

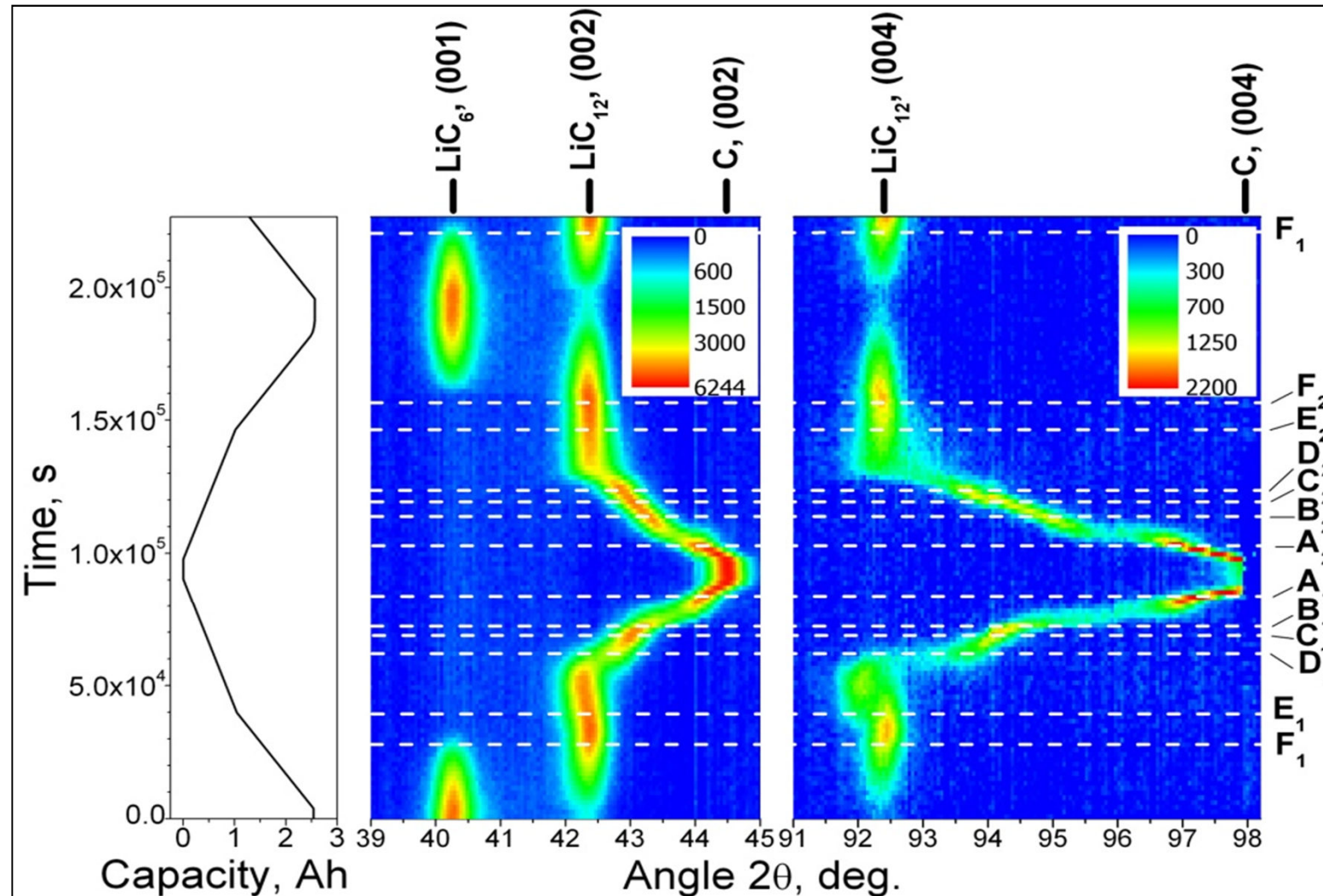


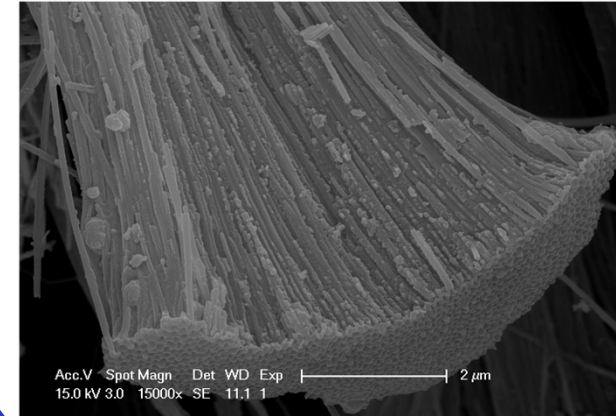
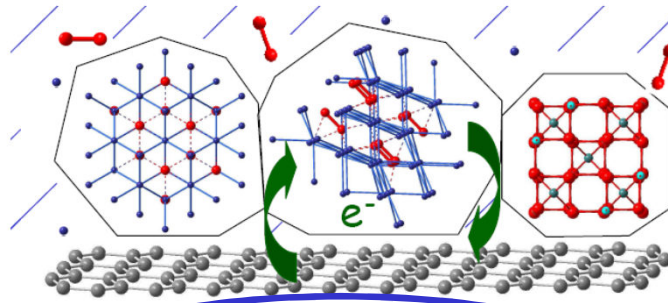
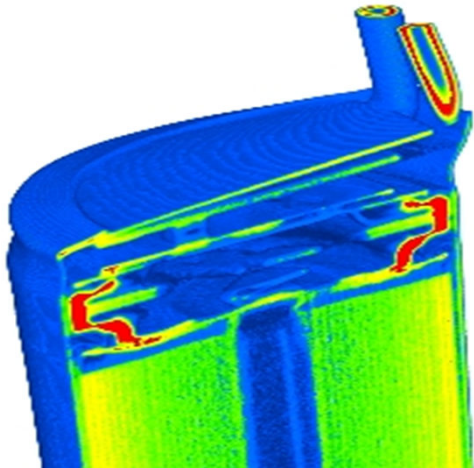
Li-Verteilung in einer geladenen Anode:



O. Dolotko, *J. Electrochem. Soc.* 159 (2012) A2082

A. Senyshyn et al. J. Electrochem. Soc. (2013) im Druck





Neuartige Konzepte

Grundlagen

Methodenentwicklung

Funktionelle Kompositmaterialien

Aufklärung von Prozessen & Mechanismen

Systemintegration & Prozesstechnik

Materialsynthese

Anwendungen

Lebensdaueraspekte

