

Digitalisierte Workflows für die Gefügebewertung in der Batterieindustrie

Dr. Timo Paschen, M. Sc. Sabrina Pechmann, M. Sc. Andre Borchers, Prof. Silke Christiansen

Leistungsfähige, sichere Batteriekonzepte werden eine umfassende Energie- und Mobilitätswende ermöglichen. Die etablierte Technologie der Lithium-Ionen-Batterie (LIB) und neuartige Konzepte, wie Festkörperbatterien (ASSB), müssen hinsichtlich ihrer Leistungskennzahlen fortwährend verbessert werden. Wichtig hierfür sind Parameter, die man aus multimodaler, skalenübergreifender Mikroskopie und Spektroskopie erhalten kann. Beispiele sind Größenverteilungen von Partikeln in der Kathodenfolie, Porositäten im Gesamtvolumen, Grenzflächenbeschaffenheiten zwischen Elektrode und Separator bzw. Elektrolyt und Aktivmaterial. Das Fraunhofer IKTS in Forchheim bietet dieses Zusammenspiel von Mikroskopie bis Spektroskopie, die Korrelation der Daten aus verschiedenen Analysetechniken von Makro bis Nano. Für die Charakterisierung von Batteriematerialien steht ein maßgeschneiderter, vollumfänglicher präparativer Workflow zur Verfügung, der es bei Vermeidung von Oxidations- und thermischen Artefakten erlaubt, Zellen und Komponenten unter Schutzgas zu öffnen und zu präparieren sowie bei Bedarf in Präparation und Analytik kryogen zu kühlen.

Defekte zerstörungsfrei erkennen

Das Bild oben zeigt rekonstruierte röntgentomographische Aufnahmen einer Lithium-Ionen-Batterie als Gesamt- und Detailansicht. Die Röntgentomographie-Mikroskopie (CT mit Voxelgrößen von 500 nm aufwärts) kann zerstörungsfrei dreidimensionale Abbildungen der inneren Mikrostruktur der Batterie generieren. Die Methode zeigt Strukturveränderungen auf, die sonst nur mit invasiven Methoden sichtbar werden. Ein Kupfer-Auswuchs am kupfernen Stromableiter (Bild mitte) ist nach Bildsegmentierung deutlich erkennbar. Solche Kupfer-Auswüchse entstehen im Betrieb einer Batterie und führen

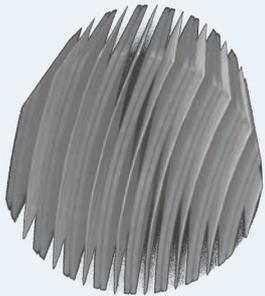
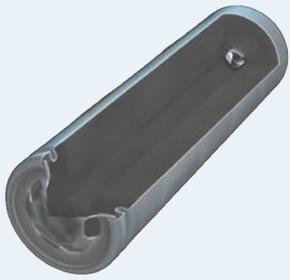
zu irreparablen Schäden. Derartige Defekte können durch Material- und Zellkonzeptoptimierung vermieden oder verzögert werden. Hierfür wird die multimodale Analyse eingesetzt.

Kryo-Vakuum-Präparation und multimodale, skalenübergreifende, korrelierte Charakterisierung

Am IKTS in Forchheim können Batteriezellen, -komponenten und Ausgangsmaterialien unterschiedlichster Bauart in Inertatmosphäre geöffnet und mit einem luftdichten Proben-shuttle in Präparationstools oder Mikroskope/Spektrometer transferiert werden. Für höchste Oberflächenqualität werden die Proben mit einer gekühlten Ionenstrahlpolitur bearbeitet, um Materialmodifikation durch Aufheizen (z. B. bei Polymerelektrolyten) zu verhindern. Hochaufgelöste Aufnahmen im Rasterelektronenmikroskop (Bild unten), die auch tomographisch aus einer Vielzahl von Aufnahmen zu einem 3D-Volumen integriert werden können, ermöglichen den Zugang zu Parametern wie Partikelgrößen, Partikelverteilung, Porenvolumina, Grenzflächenbeschaffenheit, Schichtdicken und Zellaufbau mit hoher statistischer Sicherheit.

Digitalisierter Workflow

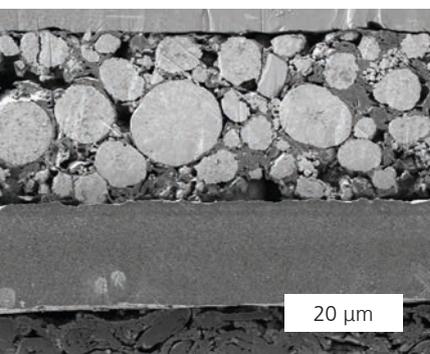
Die Analysedaten werden auf einer interaktiven Datenplattform quantitativ ausgewertet und korrelierbar. Sie können für das Training von Algorithmen des maschinellen Lernens genutzt werden, um z. B. automatisiertes Segmentieren neuer Bilddaten zu ermöglichen und zu beschleunigen. Ebenso sind daraus synthetische Daten und realitätsnahe Simulationen erzeugbar.



Gesamtaufnahme und freigestellte Detailansicht einer 18650 Lithium-Ionen-Batterie mithilfe der Röntgentomographie (XRM).



Segmentierung der XRM-Daten und Identifikation einer Fehlstelle am Stromleiter.



REM-Aufnahme eines Lithium-Ionen-Elektrodenstapels nach Kryo-Vakuum-Präparation.