Hochschule Aalen

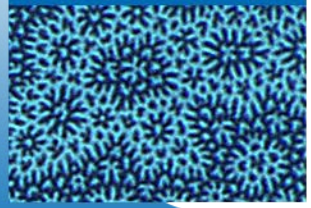
Metrologische Computertomografie zur seriennahen Anwendung an Batteriezellen zur Qualitäts- und Funktionsbewertung

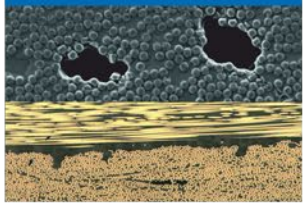
Jan Niedermeier[1], Andreas Kopp[1], Jörg Schmidt[2], Petra Schmidt[2], Timo Bernthaler[1], Gerhard Schneider[1]

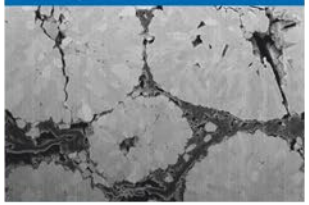
[1]Hochschule Aalen, Institut für Materialforschung, Aalen
[2]Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen

Institut IMFAA Materialforschung Aalen

ZEISS X-RAY INSIGHTS 2018



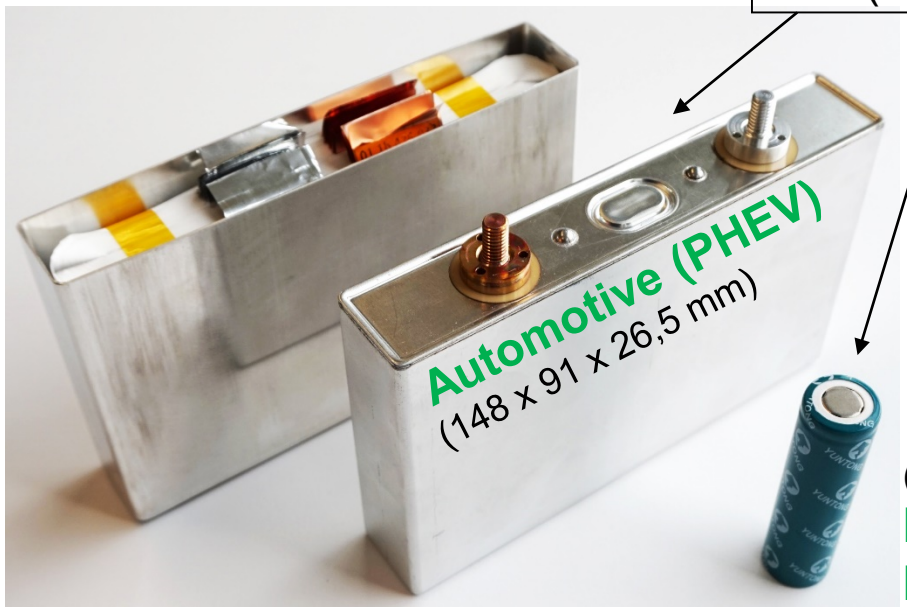




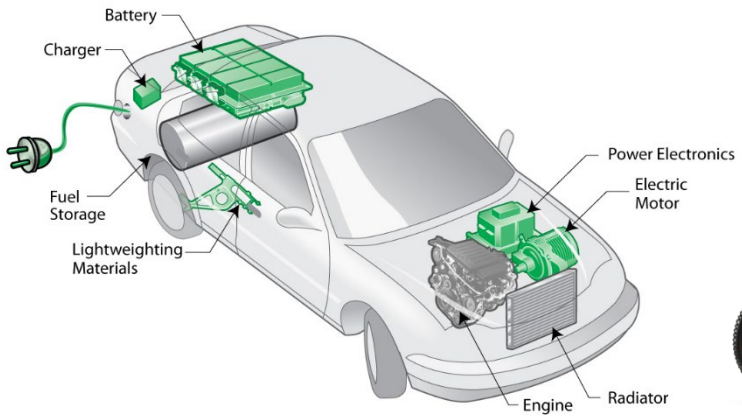
Angewandte Forschung in
Materialprozesstechnik - Analytik - Materialprüfung

Verschiedenste Anwendungsbereiche für LiB

LiB (Lithium-Ionen-Batterie)

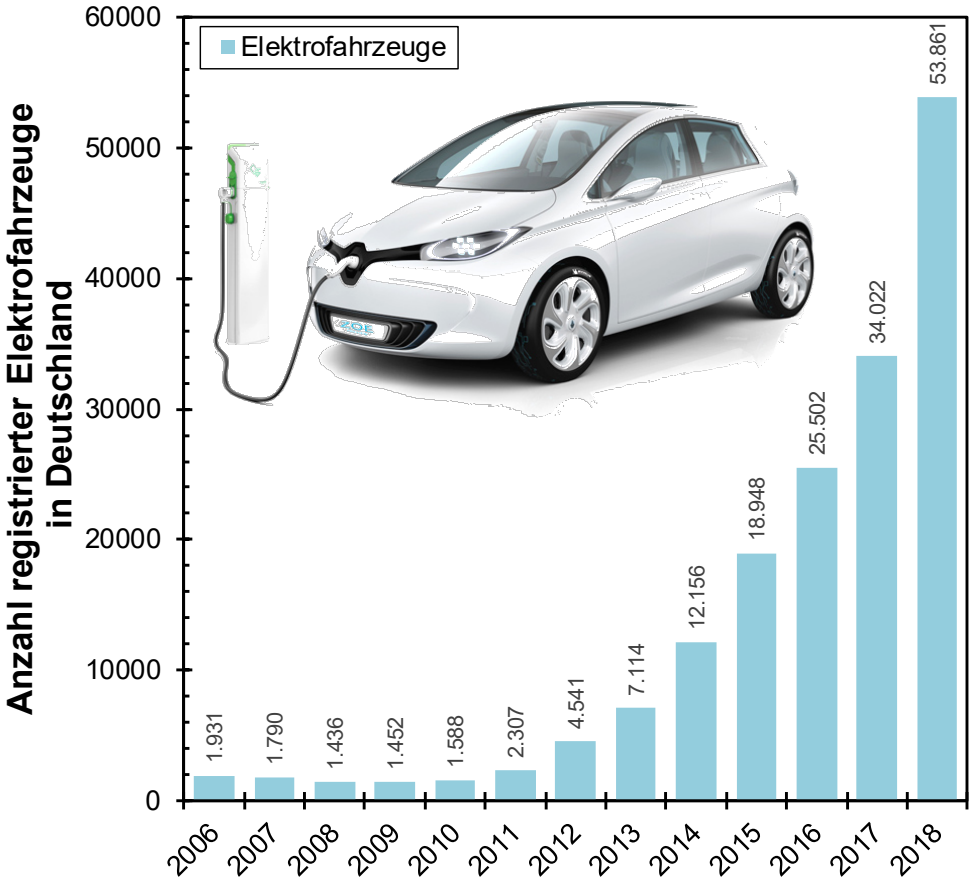


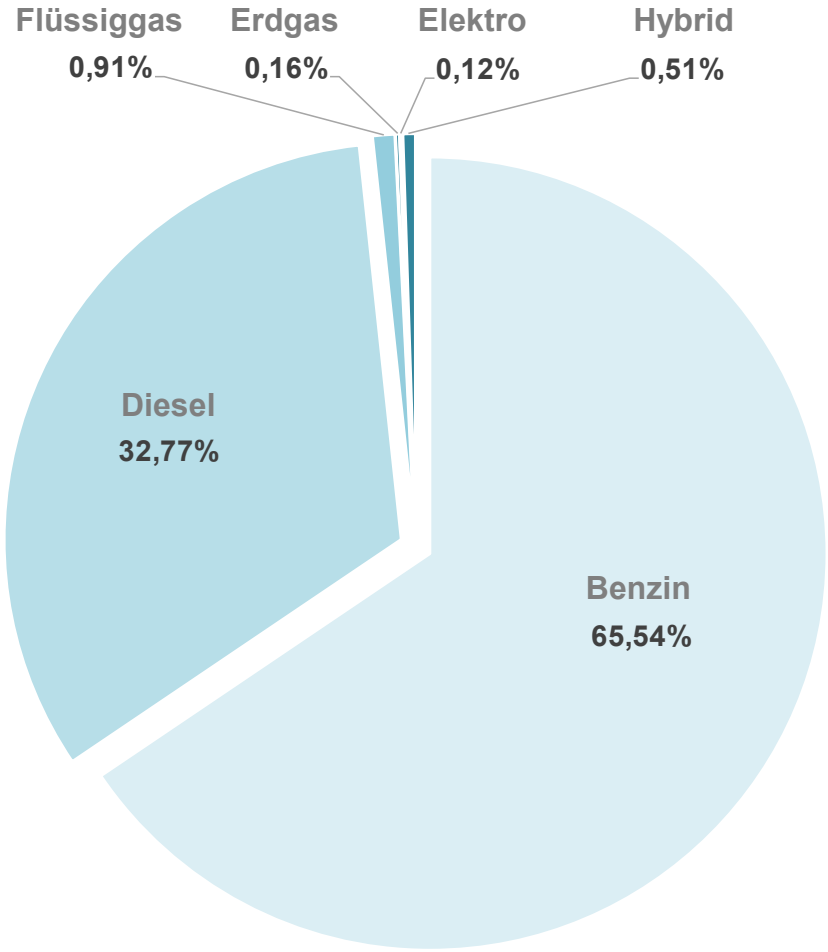
(18 x 65 mm)
Notebooks, Power Tools, ...



Bildquellen: www.bosch-ebike.com, www.haibike.com, www.wikipedia.com, www.boschtools.com, www.autophorie.de; www.energieheld.de, www.varta-storage.com

Steigender Bedarf an Energiespeichertechnologien?



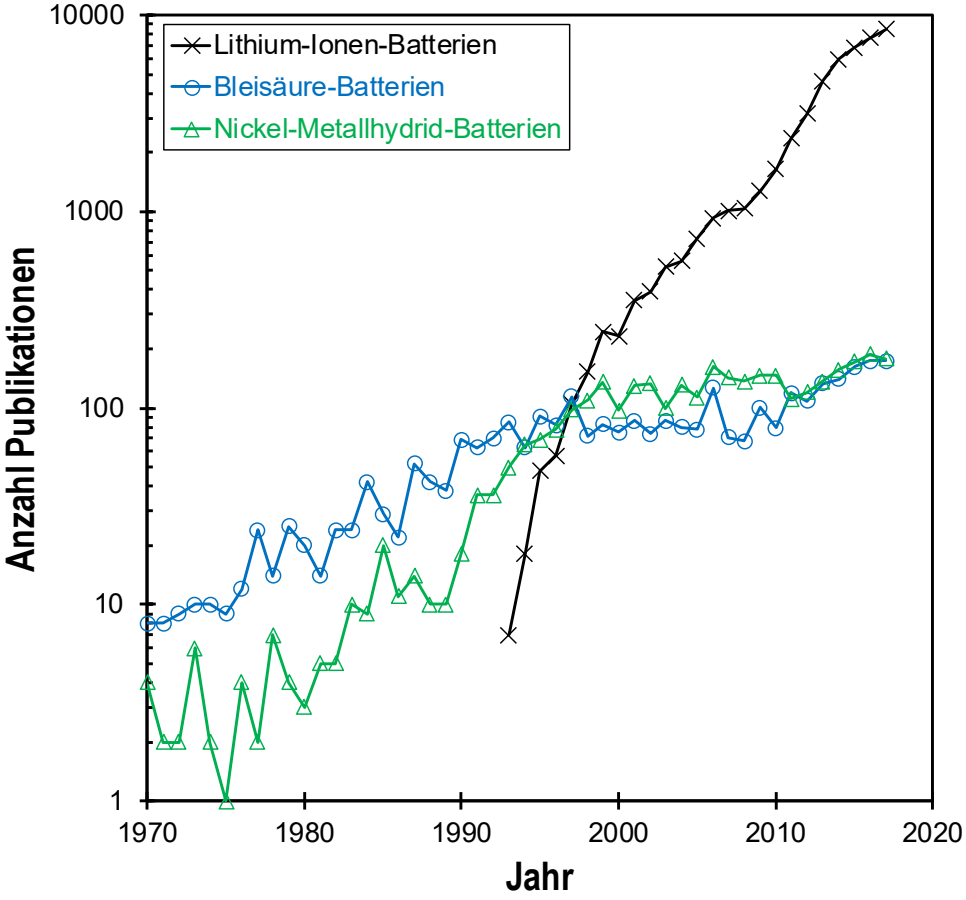


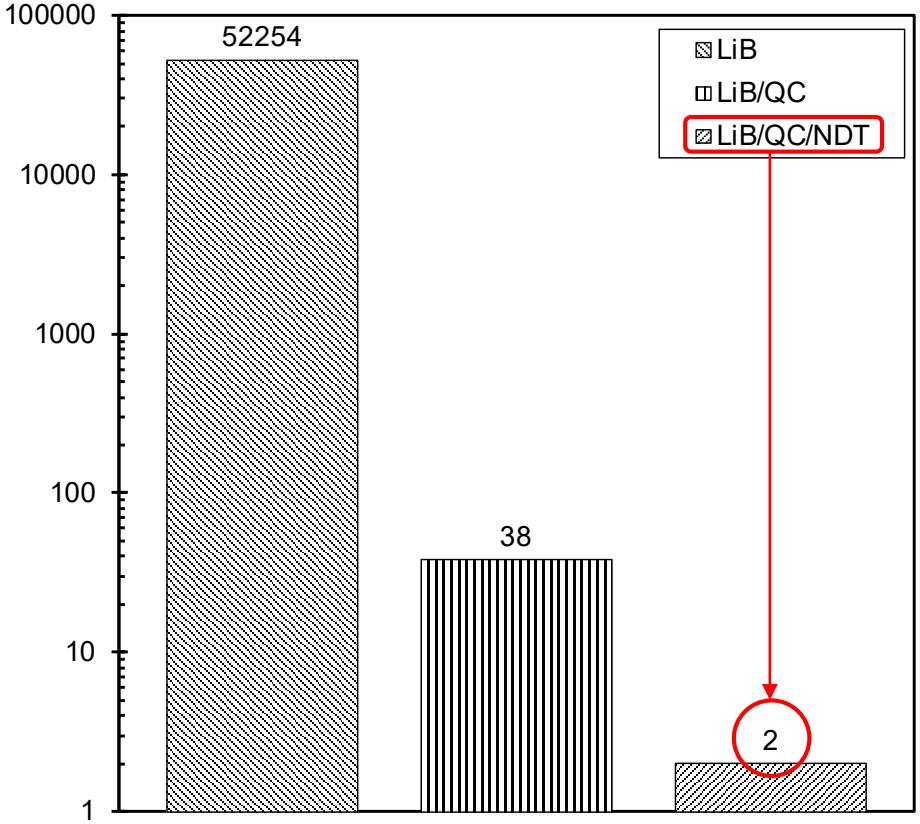
46.463.877 registrierte Fahrzeuge in Deutschland

Statista (KBA); Stichtag immer zum 01.01.20XX; Stand 01/03/18

KBA; Stand 01/01/18

Verhältnismäßig wenige Publikationen hinsichtlich zerstörungsfreier Prüfung von Li-Ionen Batterien



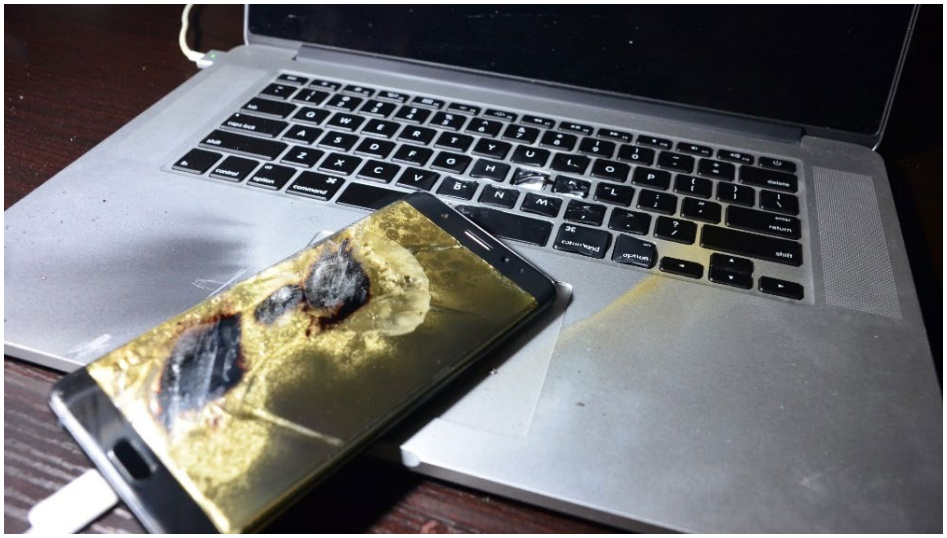


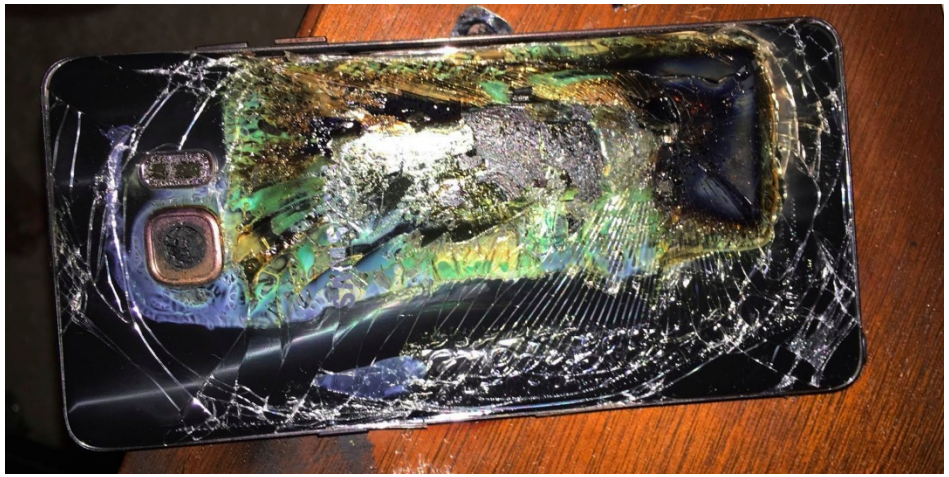
Web of Science; Stand 22/06/18

Kleine Ursache – große Wirkung: Akku Probleme bei Samsung Galaxy Note 7 verursachen Schaden >5 Mrd. €

Abbrennen der Smartphones-Akkus

- Produktionsstopp
- 96% der 3 Millionen verkauften Smartphones wurden zurückgegeben
- Langwierige und aufwendige Ursachensuche

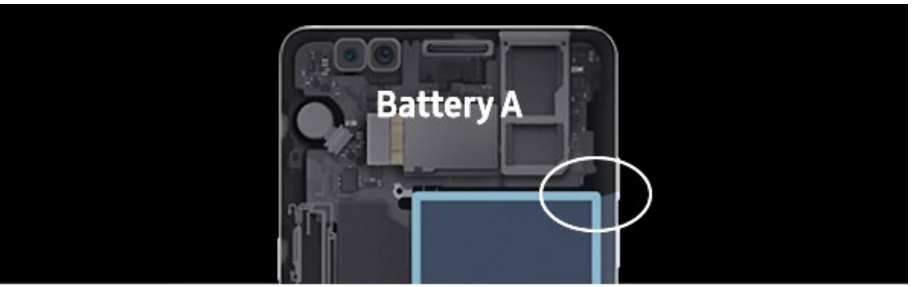


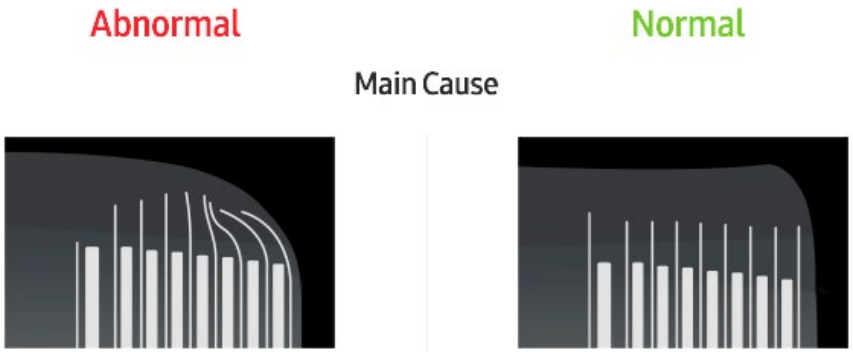


Quelle: AP, CNNMoney

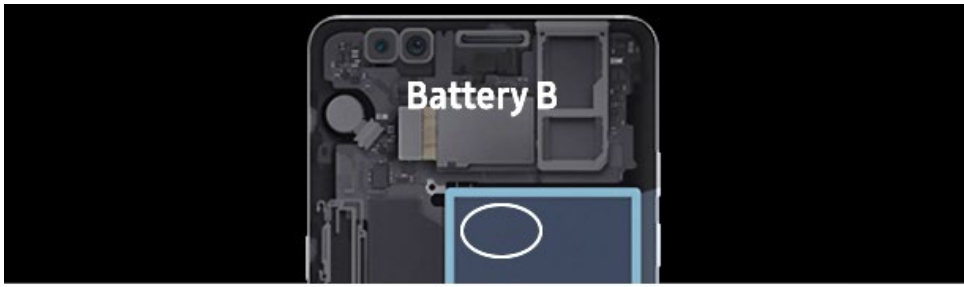
Ungenauigkeiten in der LiB Fertigung zweier Zulieferer verursachen zellinterne Kurzschlüsse

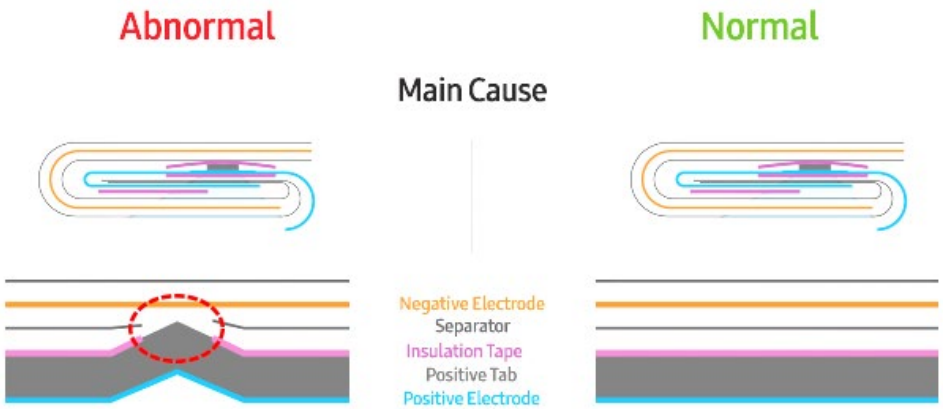
Verformungen der Anoden durch zu eng anliegende Verpackungsfolie





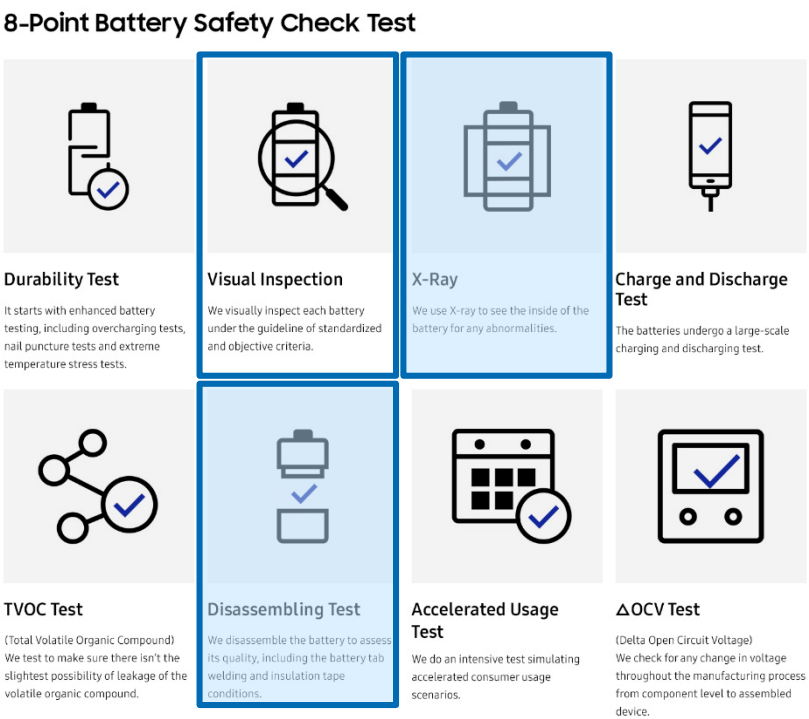
Scharfkantige Schweißgrate an der Elektrodenkontaktierung durchstoßen Separatormembran





Quelle: https://news.samsung.com/global/infographic-galaxy-note7-what-we-discovered

Samsung erweitert Qualitätskontrolle

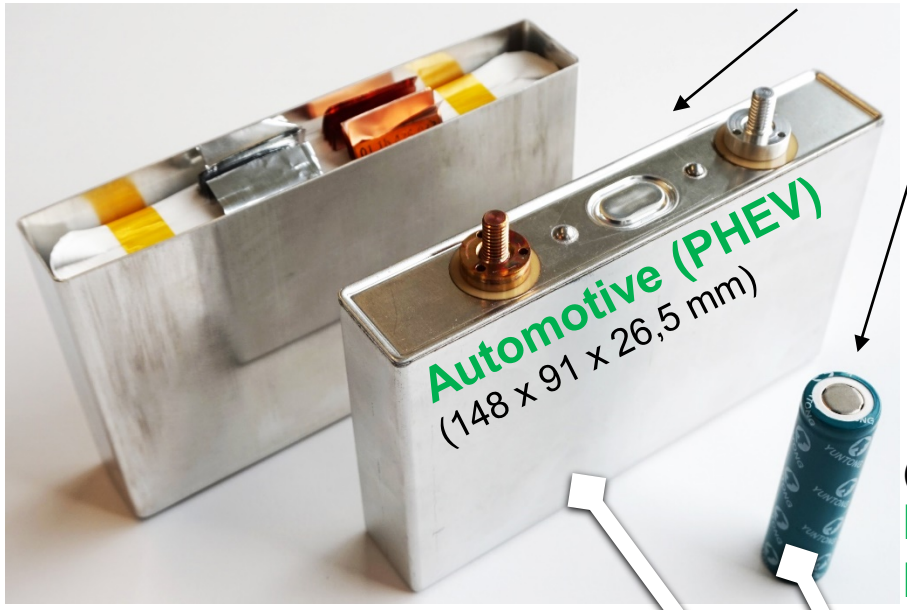


- Mehrstufiger Qualitätssicherungsprozess
- klassische elektrochemische Testmethoden
  → Alterung, Belastungstests, Lade- und Entladekurven
- **Qualitätsbewertung durch bildgebende Verfahren**
  → Computertomographie, Zellöffnung

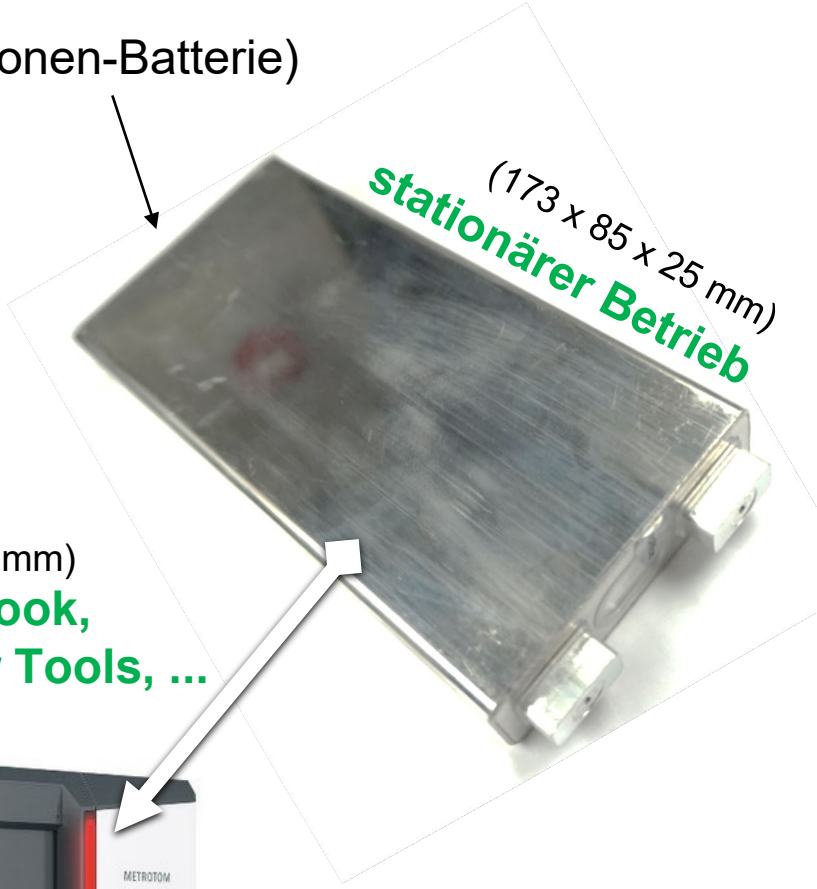
Quelle: https://news.samsung.com/global/infographic-galaxy-note7-what-we-discovered

Was wurde gemacht?

LiB (Lithium-Ionen-Batterie)



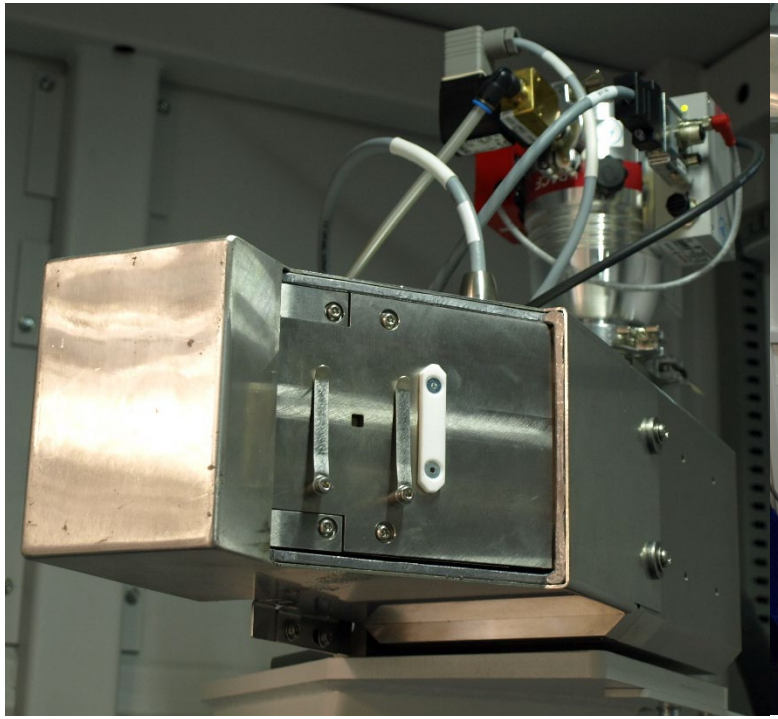
(18 x 65 mm)
Notebook,
Power Tools, ...

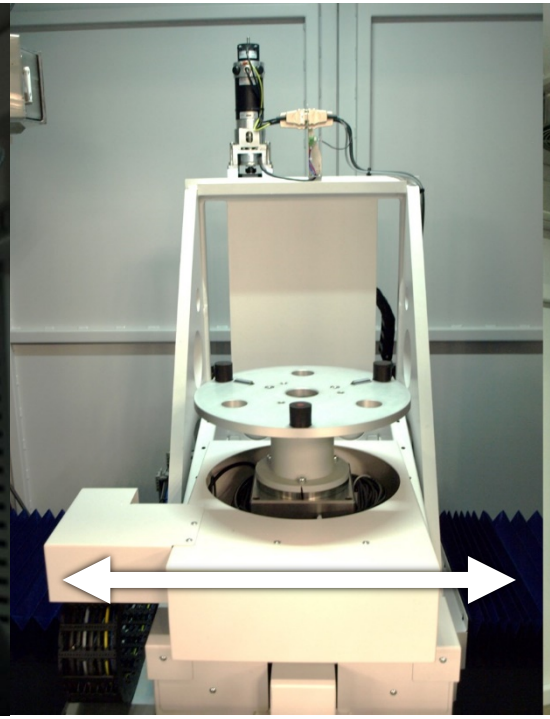


Computertomograph
ZEISS METROTOM 1500

Bildquelle: zeiss.com

ZEISS METROTOM 1500





Röntgenröhre:

Spannung: max. 225 kV
Röhrenstrom: max. 3000 µA

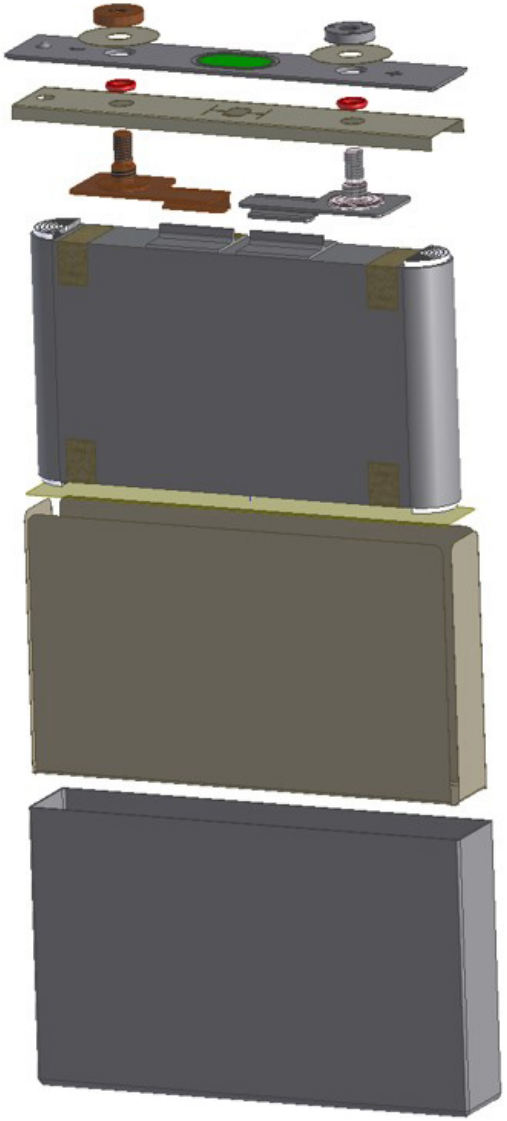
Manipulator:

1033 mm Verfahrweg

Detektor:

4,2 Millionen Pixel (2048x2048)

Prinzipieller Zellaufbau (großformatiger) LiB



Gehäusedeckel

- Poldurchführungen
- Kontaktierung der Anoden- / Kathodenfolien
- Berstmembran

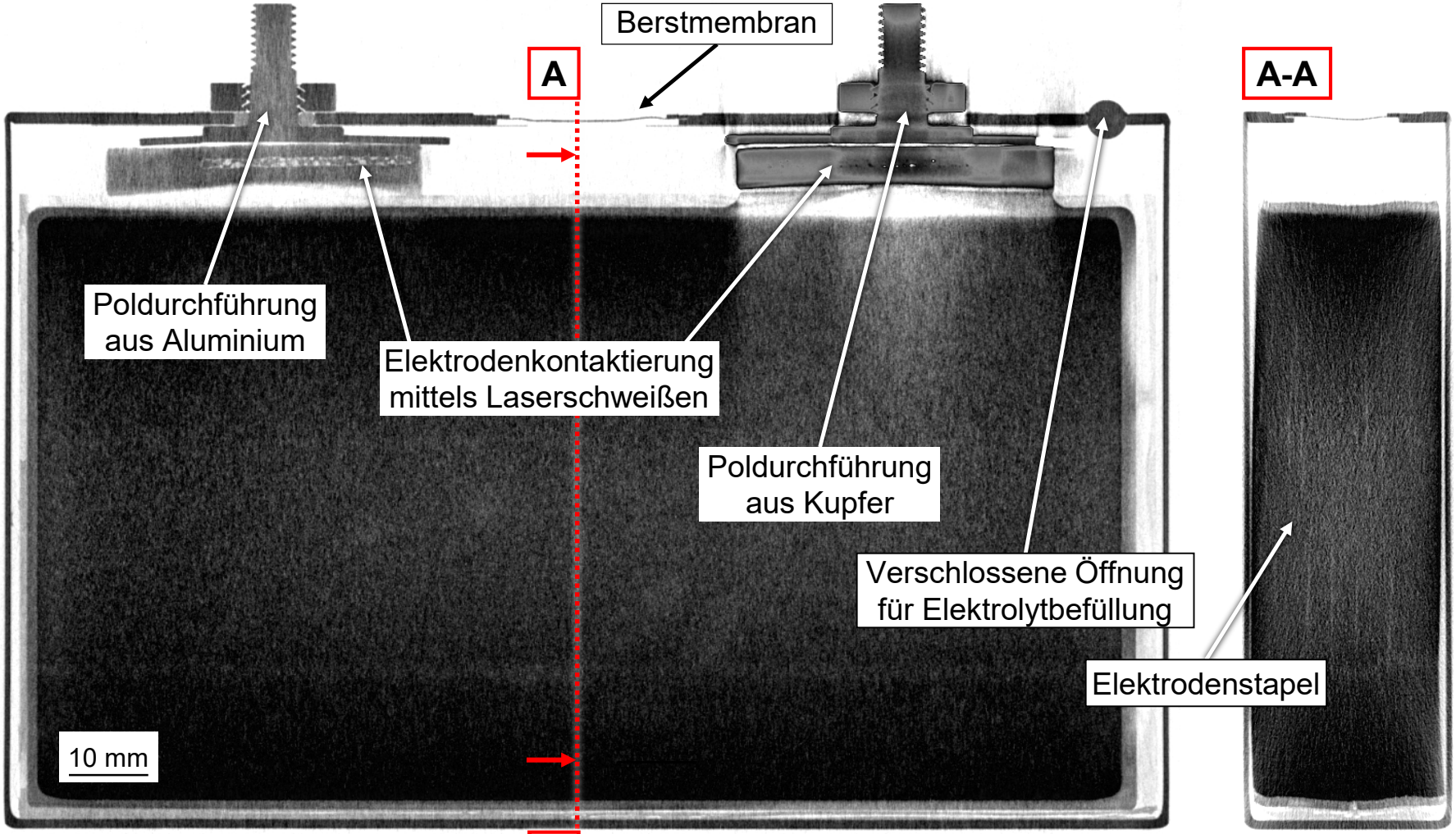
Zellwickel (oder Zellstapel)

- Anode
- Kathode
- Separatormembran
- Elektrolyt

Isolierung

Metallgehäuse

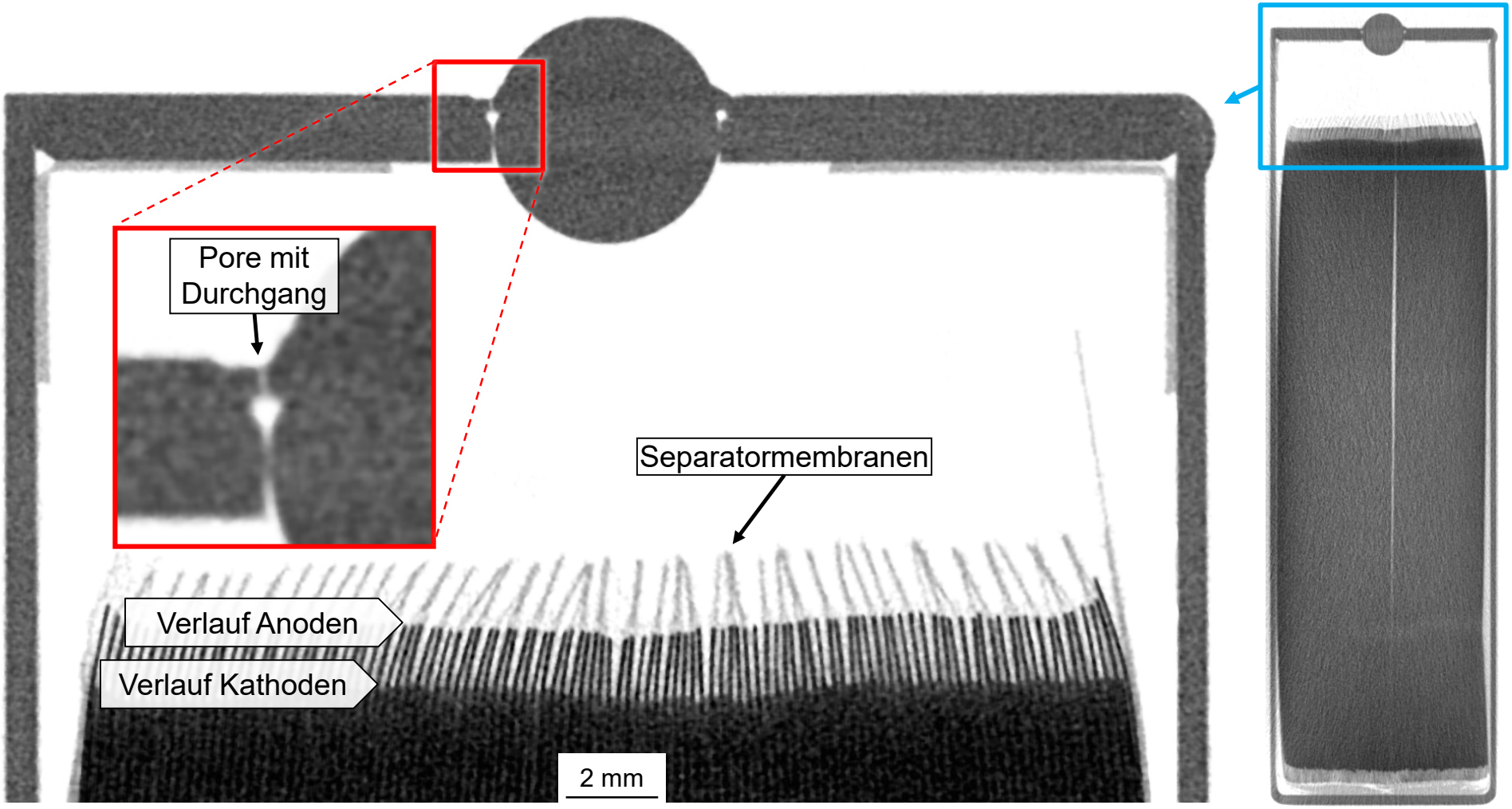
Übersichtsdarstellung PHEV2-Zelle: Komplettscan unter optimalen Aufnahmeparametern



Voxelgröße 90 µm

Belichtungsdauer: 53 Minuten

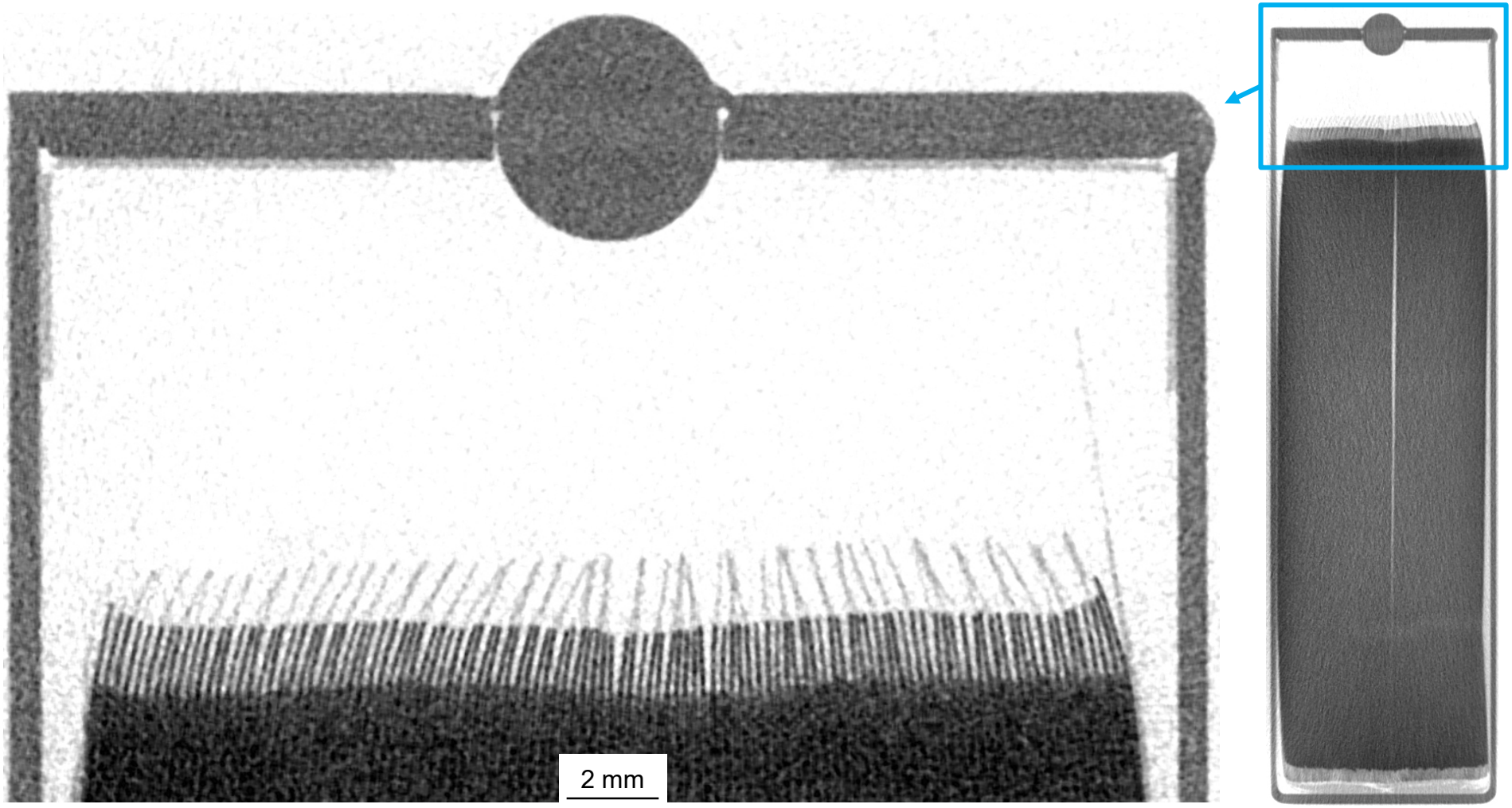
Sicherheitsrelevante Prüfmerkmale: Mikrolöcher (Poren mit Durchgang in Schweißnähten) und Elektrodenverlauf



Voxelgröße 22 µm

Belichtungsdauer: 111 Minuten

Einfluss der Messzeitreduzierung durch alternativen Scanmodus ‚VAST' auf sicherheitsrelevante Prüfmerkmale

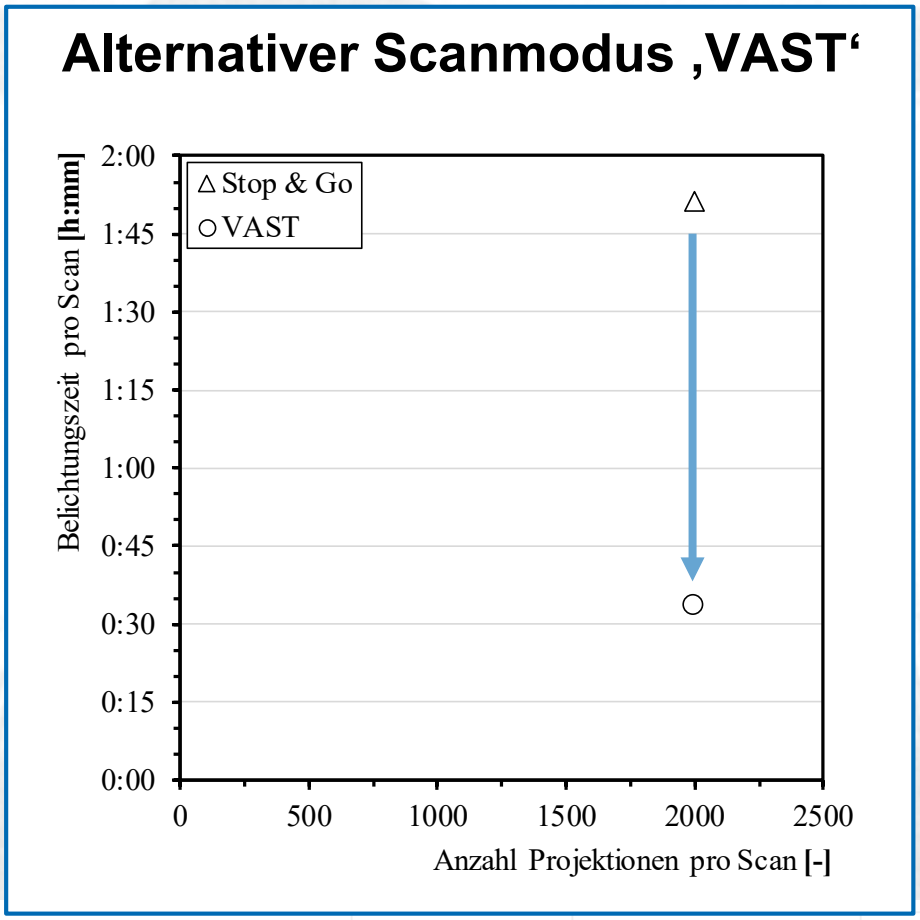


Voxelgröße 24 µm

VAST-Scan

Belichtungsdauer: 33 Minuten

Einfluss der Messzeitreduzierung durch alternativen Scanmodus ‚VAST' auf sicherheitsrelevante Prüfmerkmale

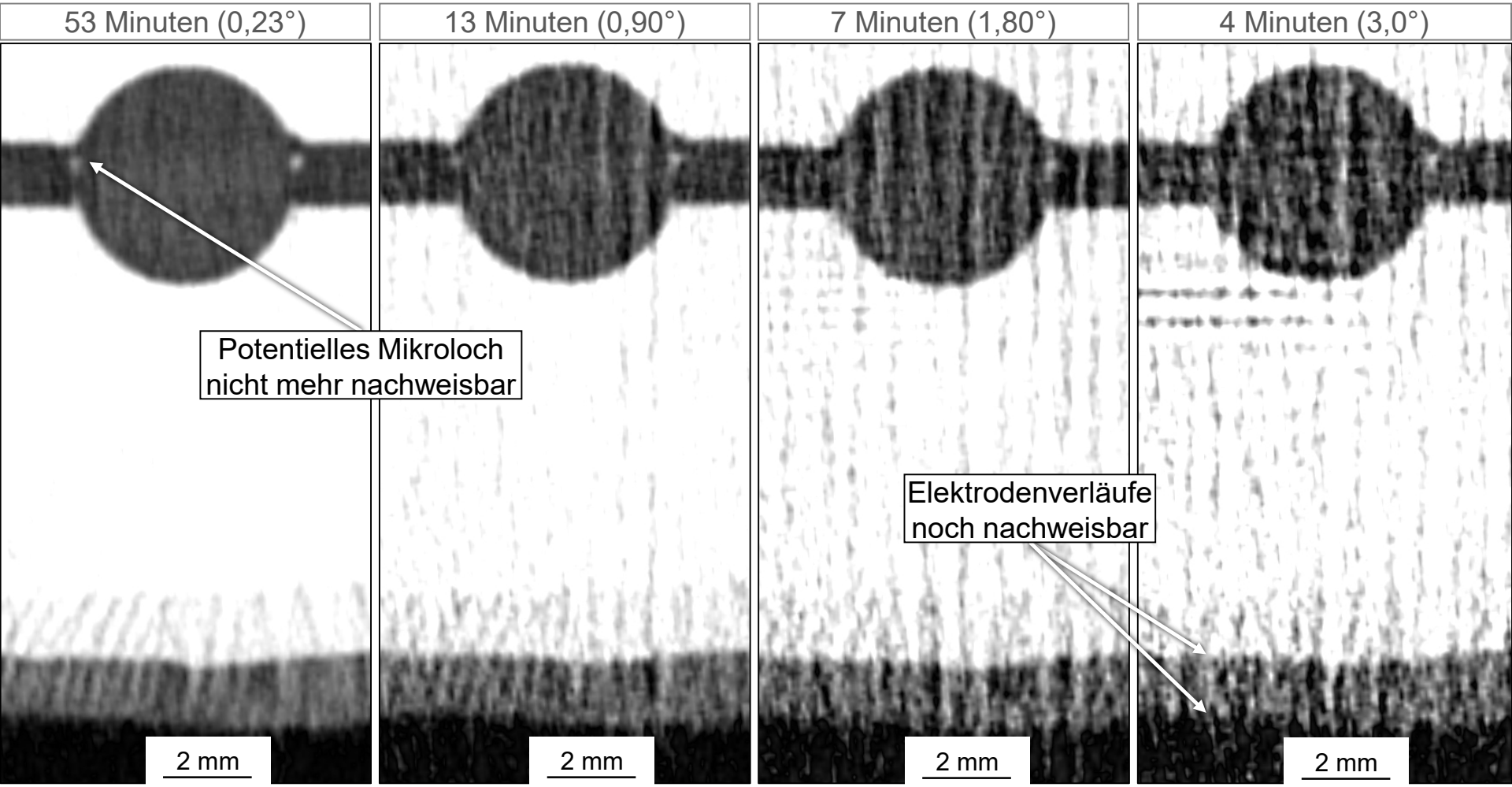


Voxelgröße 24 µm

VAST-Scan

Belichtungsdauer: 33 Minuten

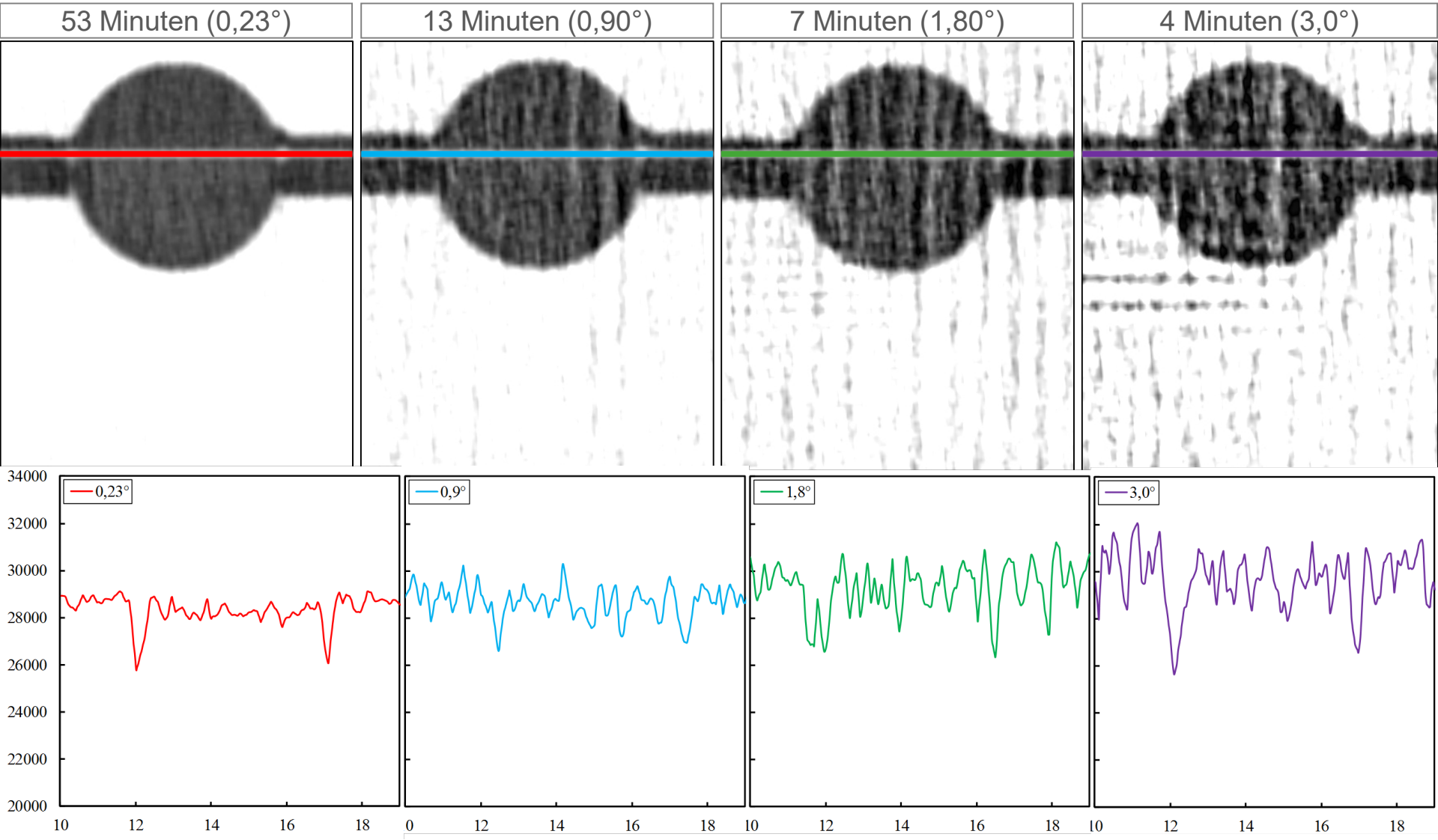
Einfluss der Messzeitreduzierung durch Reduzierung der Projektionen auf sicherheitsrelevante Prüfmerkmale



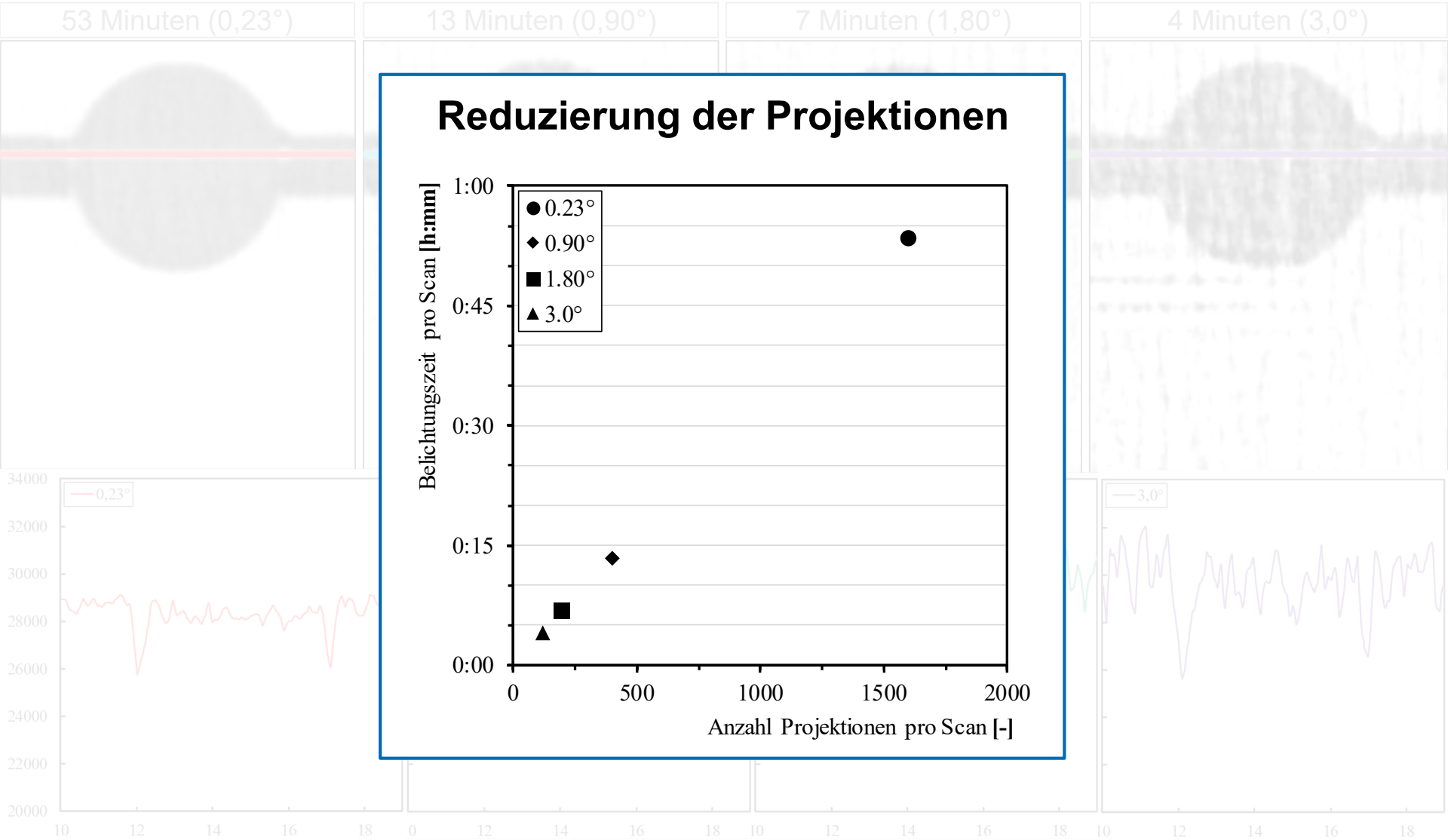
Voxelgröße 90 µm

Belichtungsdauer: siehe oben

Mit steigenden Winkelschrittweiten verlieren sich Details wie Poren im Rauschen



Mit steigenden Winkelschrittweiten verlieren sich Details wie Poren im Rauschen



Möglichkeiten zur Reduzierung der Messzeit

- Minimierung der Belichtungszeit
- Zwei (oder mehrere) Prüfobjekte pro Scan
- Binning von Detektorpixeln
- Winkelschrittweite erhöhen (→ Reduzierung Anzahl Projektionen)
- ‚VAST' Scanmodus
- Detektorkalibrierung in standardisierten Prozess nicht vor jedem Scan erforderlich
- 2D-Röntgenanalyse für qualitative Bewertung

Hochschule Aalen

Idealisierte Prüfprozesskette der LiB Fertigung

ELEKTRODENFERTIGUNG

Pulvercharakterisierung
Partikelgrößenverteilung

Slurrycharakterisierung
Rheometermessungen

Laserschichtdickenmessung

Wirbelstromprüfung

Laserstreulichtmessung Oberflächeninspektion

Akustische Mikroskopie

Infrarot Thermografie

Materialografische Präparation und Lichtmikroskopie

Legende:

Offline/Atline Verfahren

Inline Verfahren

Mischen

- Aktivmaterialien
- Additive
- Partikelgröße
- Reinheit
- Vermeidung von Agglomerat-bildung

Dispergieren

- Homogenität
- Viskosität
- Reinheit
- Vermeidung von Gaseinschlüssen

Beschichten

- Schichtdicke
- Oberflächen-qualität
- Reinheit
- Vermeidung von Gaseinschlüssen

Trocknen

- Temperaturprofil
- Folienvor-spannung
- Restfeuchtigkeit
- Entmischung

Kalandrieren

- Rundlaufgenauig-keit der Walzen
- konstanter Liniendruck
- Schichtdicke
- Porosität
- Verdichtung
- Oberflächen-qualität

Zellfertigung

Idealisierte Prüfprozesskette der LiB Fertigung

ZELLFERTIGUNG

- Materialografische Präparation und Lichtmikroskopie
- Laserstreulichtmessung Oberflächeninspektion
- Fremdpartikeldetektion mittels Kamerasysteme
- Wirbelstromprüfung
- Montageüberwachung mittels Kamerasysteme
- 2D-Röntgen (Radiografie)
- 3D-Röntgencomputertomografie
- Zyklisierung
- Alterungstest

Legende:

- Offline/Atline Verfahren
- Inline Verfahren

Elektroden-fertigung → Zuschneiden → Wickeln bzw. Stapeln → Zellmontage / Kontaktierung → Aktivierung / Verschließung → Zellreifung / Formierung

Zuschneiden
- Schnittkanten-geometrie
- Schneidgrat
- mechanische bzw. thermische Belastung
- Reinheit

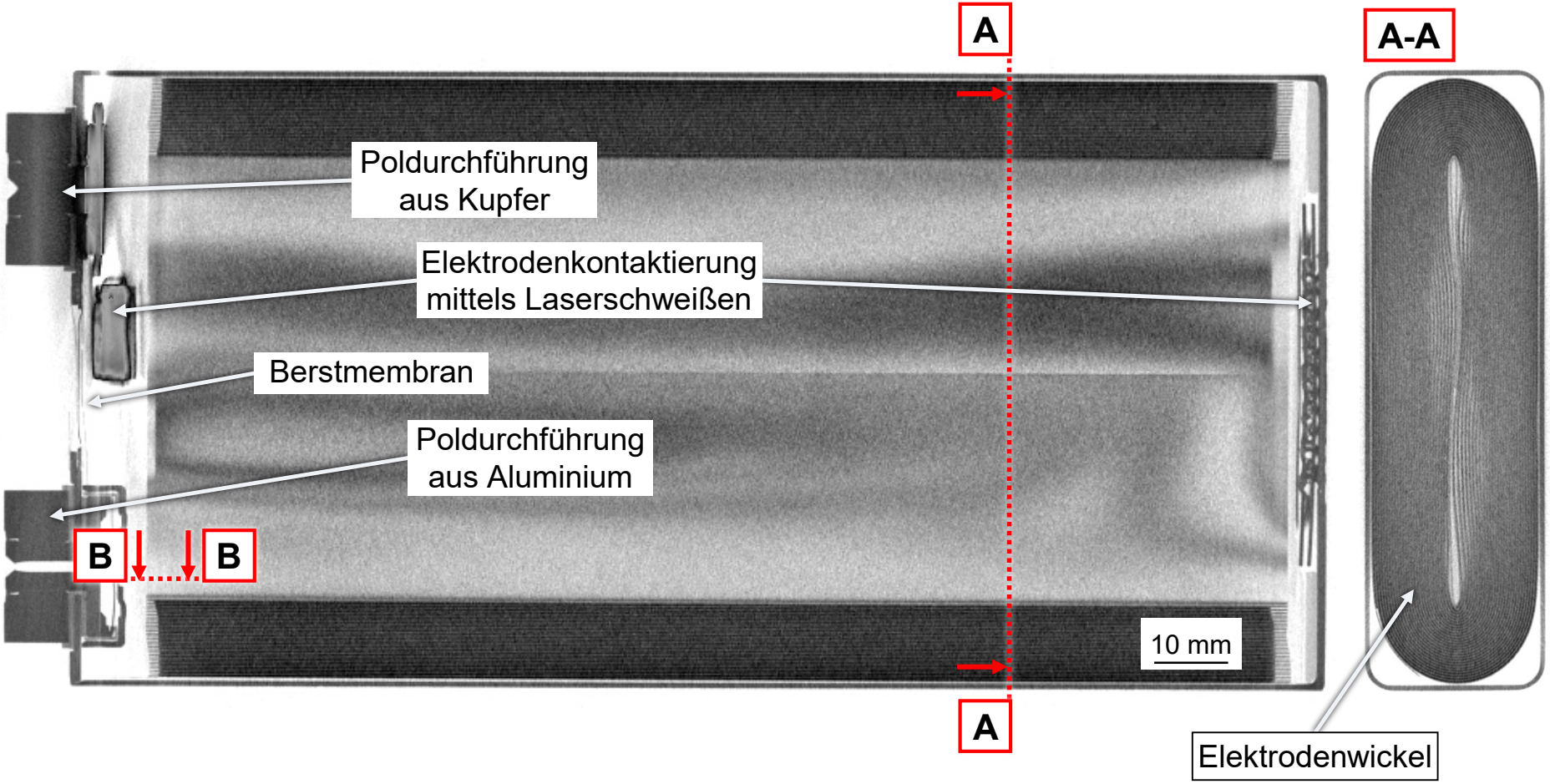
Wickeln bzw. Stapeln
- Positionier-genauigkeit
- Wickelgenauigkeit
- beschädigungs-freie Handhabung
- Teleskopierung

Zellmontage / Kontaktierung
- mechanische bzw. thermische Belastung
- geringe Über-gangswiderstände

Aktivierung / Verschließung
- Dosierung
- homogene Verteilung
- Reinheit
- Vermeidung von Schaumbildung
- Dichtigkeit

Zellreifung / Formierung
- Kapazität
- Innenwiderstand
- Selbstentladung
- Prozess-temperatur
- SEI-Schicht

Übersichtsdarstellung LiB-Zelle für stationären Betrieb: Komplettscan unter optimalen Aufnahmeparametern



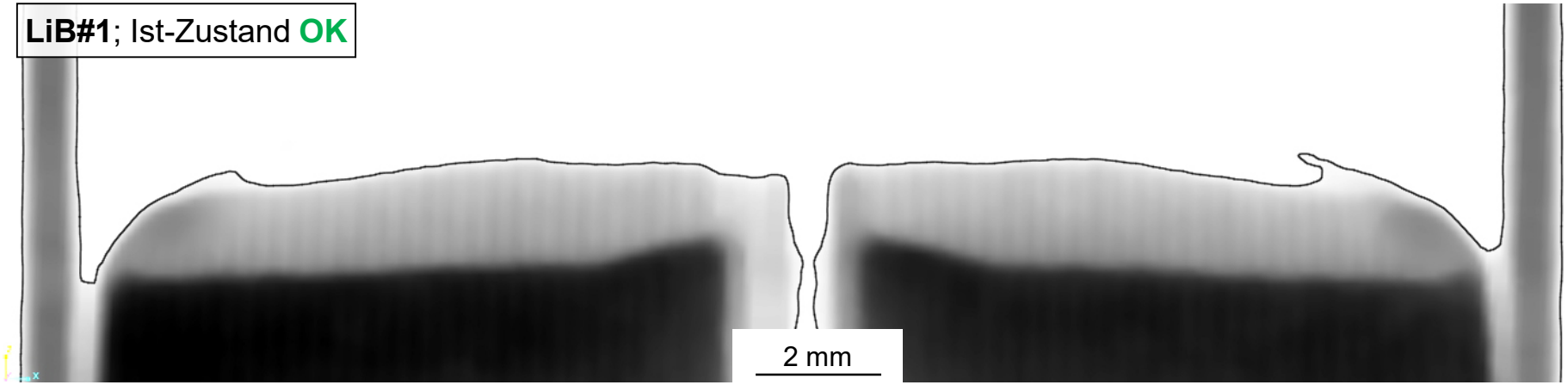
Voxelgröße 90 µm

Belichtungsdauer: 66 Minuten

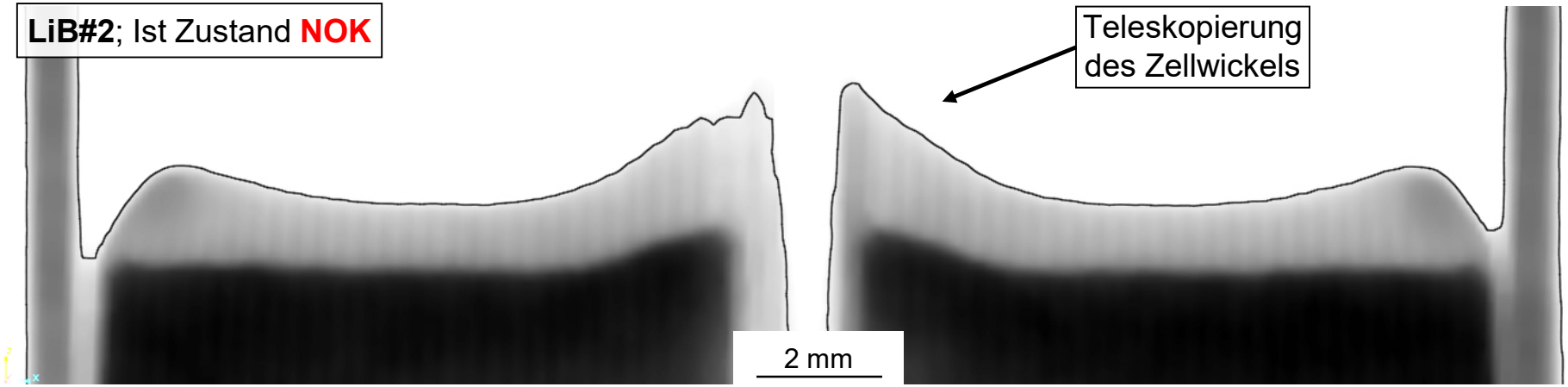
Sicherheitsrelevante Prüfmerkmale: Elektrodenverlauf und Positionierung des Zellwickels

B-B

LiB#1; Ist-Zustand **OK**



LiB#2; Ist Zustand **NOK**



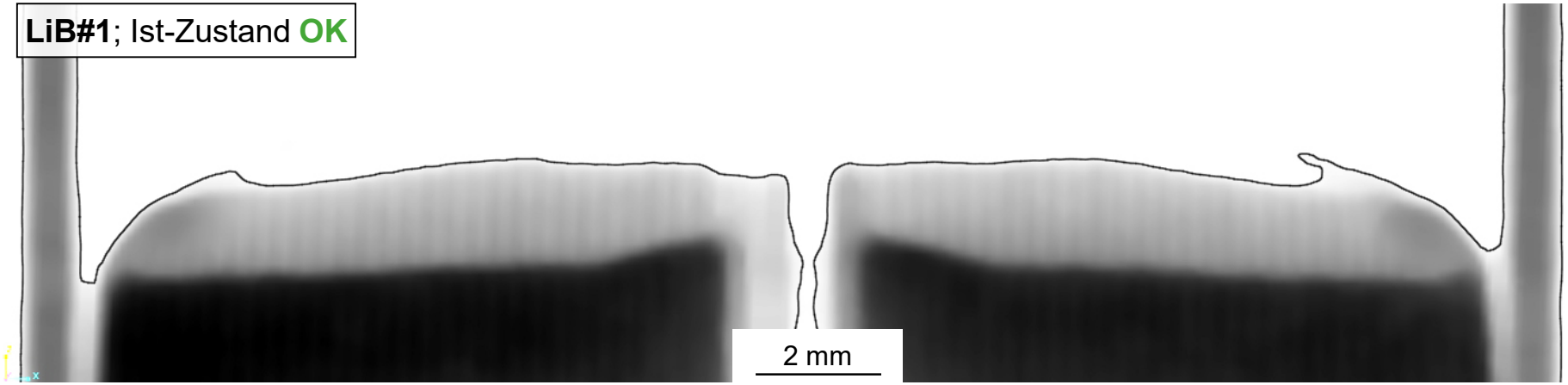
Voxelgröße 104 µm

Belichtungsdauer: 37 Minuten

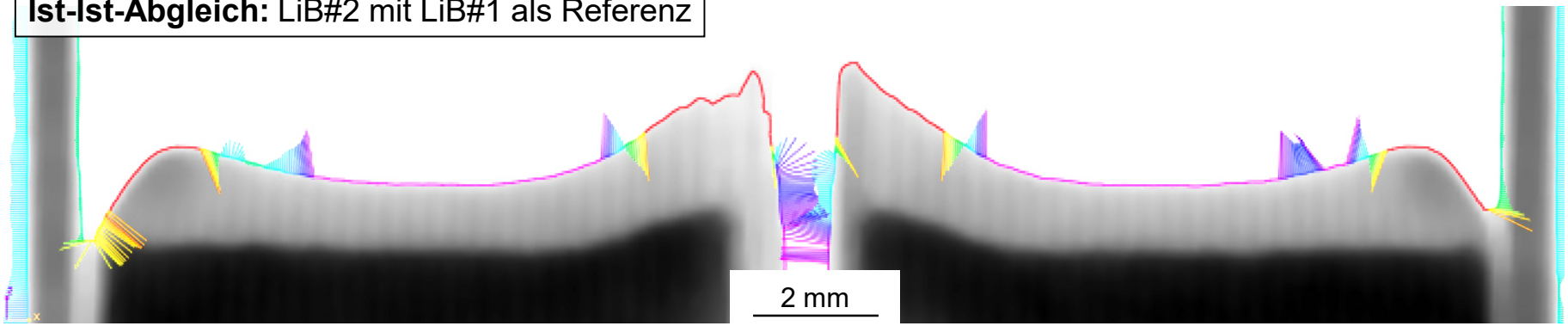
Prüfung sicherheitsrelevanter Prüfmerkmale durch Ist-Ist-Abgleich zweier 3D-Modelle untereinander

B-B

LiB#1; Ist-Zustand **OK**



Ist-Ist-Abgleich: LiB#2 mit LiB#1 als Referenz



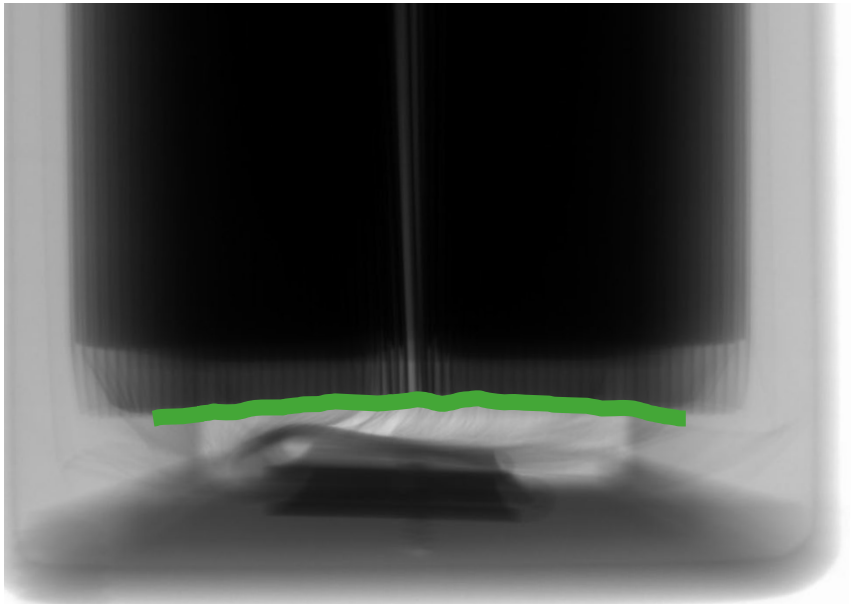
-200 µm **0 µm** **+200 µm**

Voxelgröße 104 µm

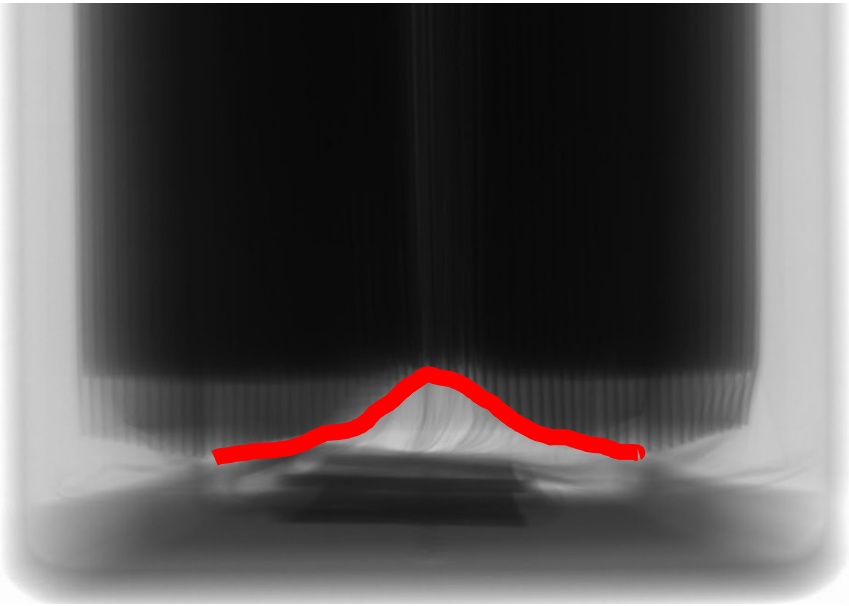
Belichtungsdauer: 37 Minuten

Qualitative Bewertung des Elektrodenverlaufs und der Positionierung des Zellwickels durch 2D Röntgen

LiB#1; Ist-Zustand **OK**

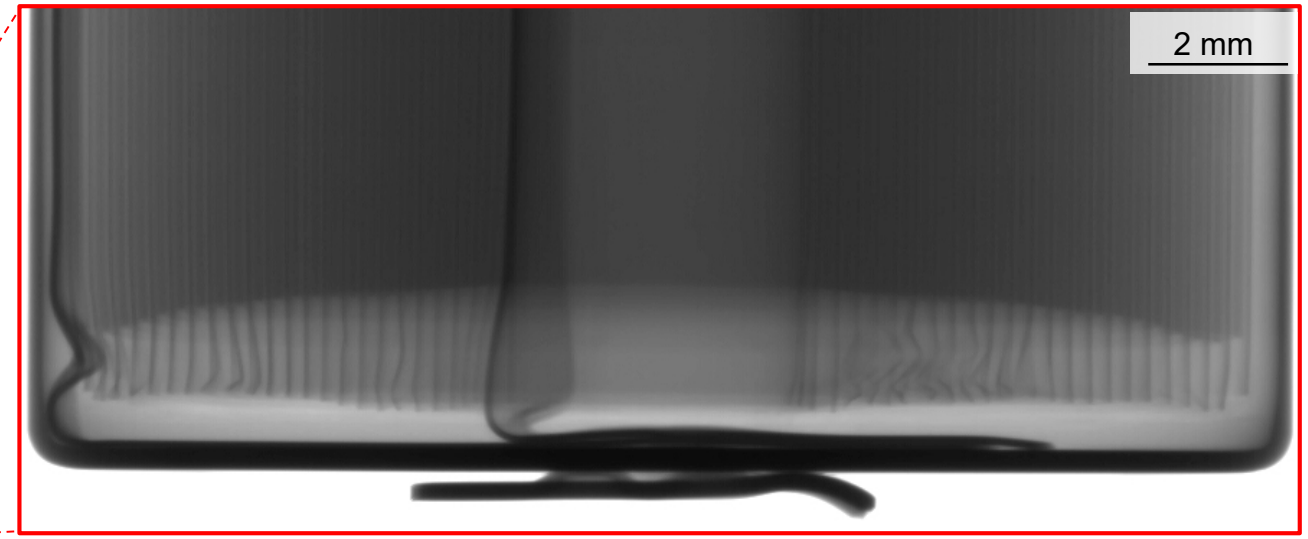


LiB#2; Ist Zustand **NOK**



Hochschule Aalen

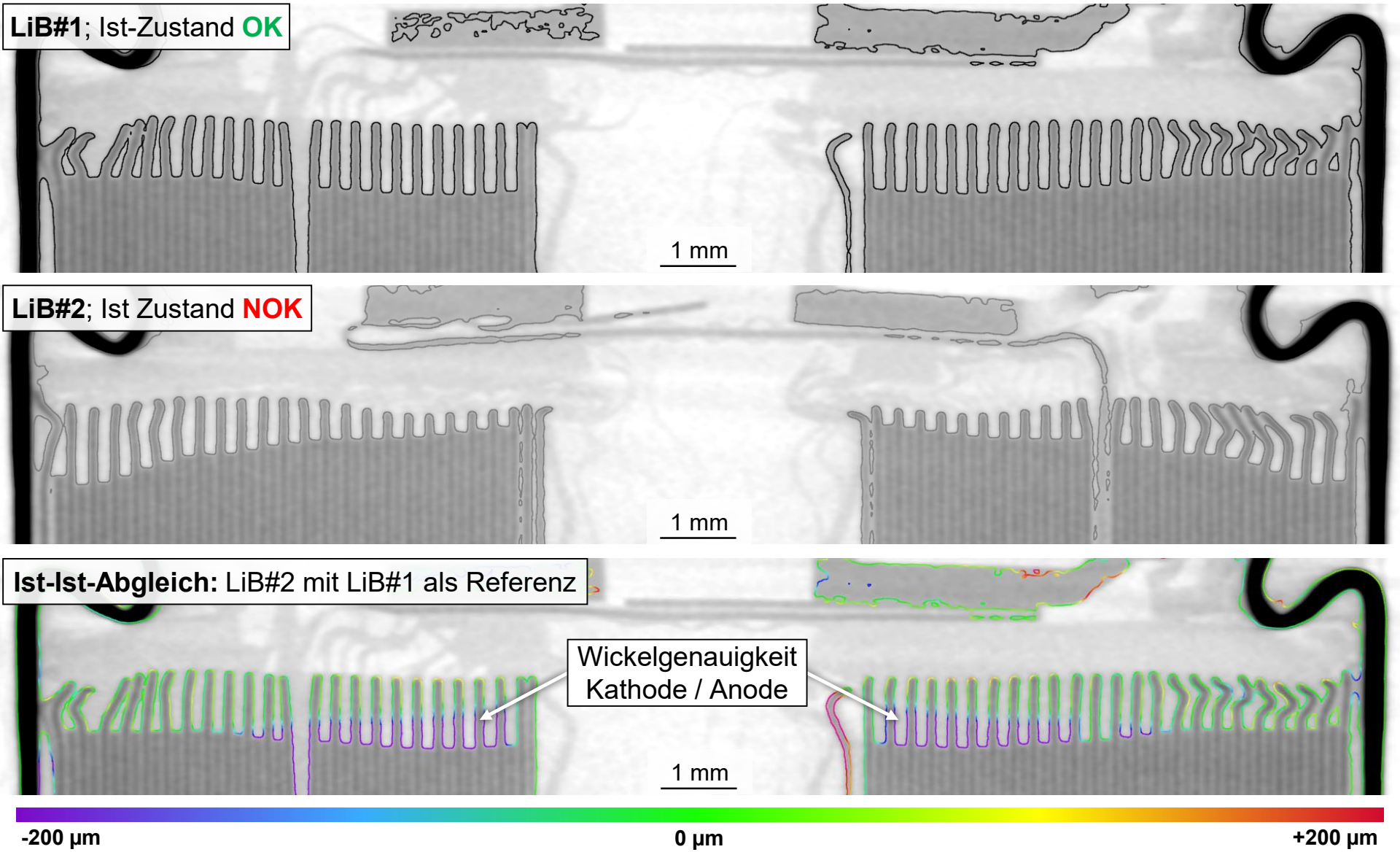
2D Röntgen einer Standardrundzelle



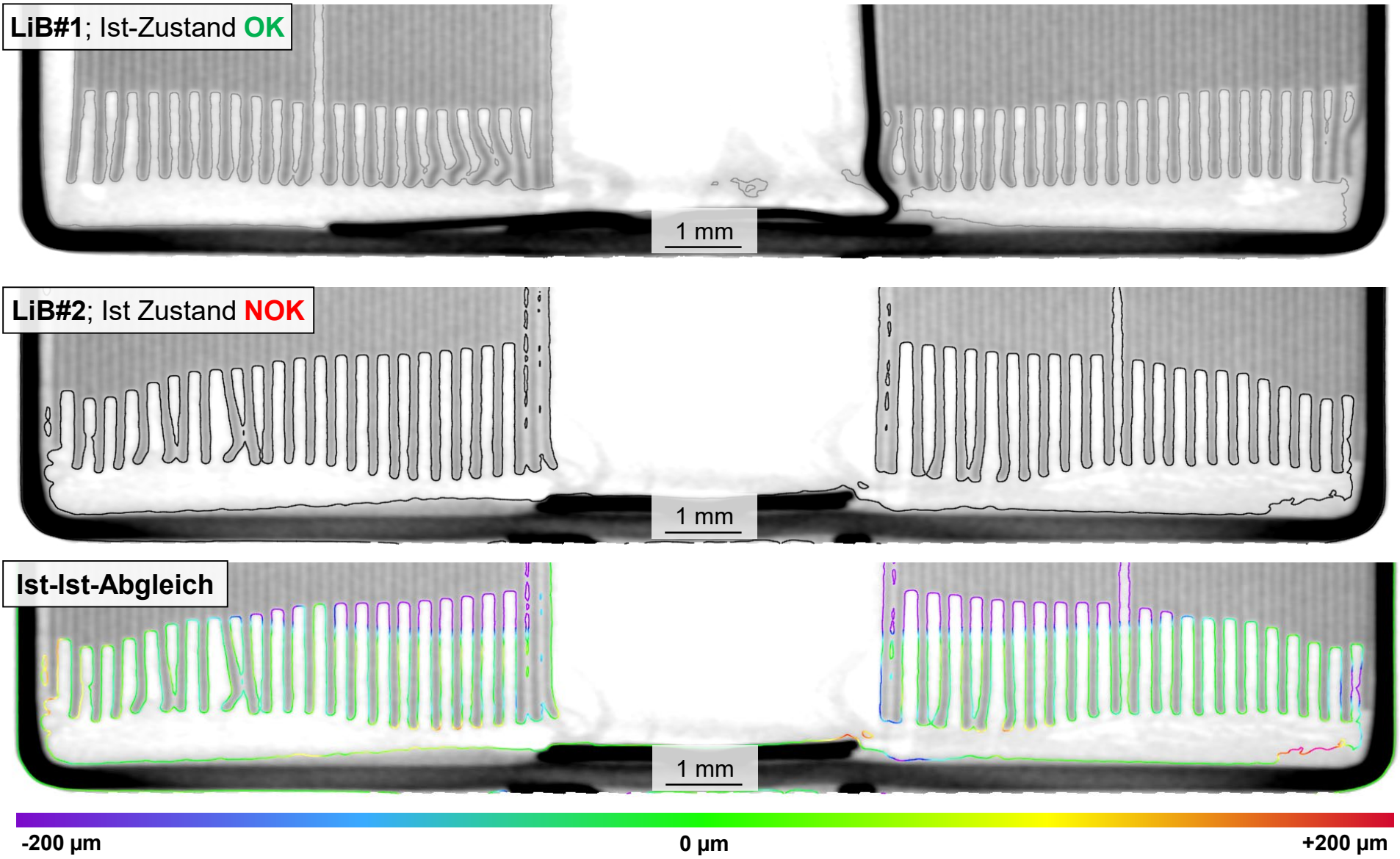
3DCT-Volumen Querschnitt von Standardrundzellen

6 mm

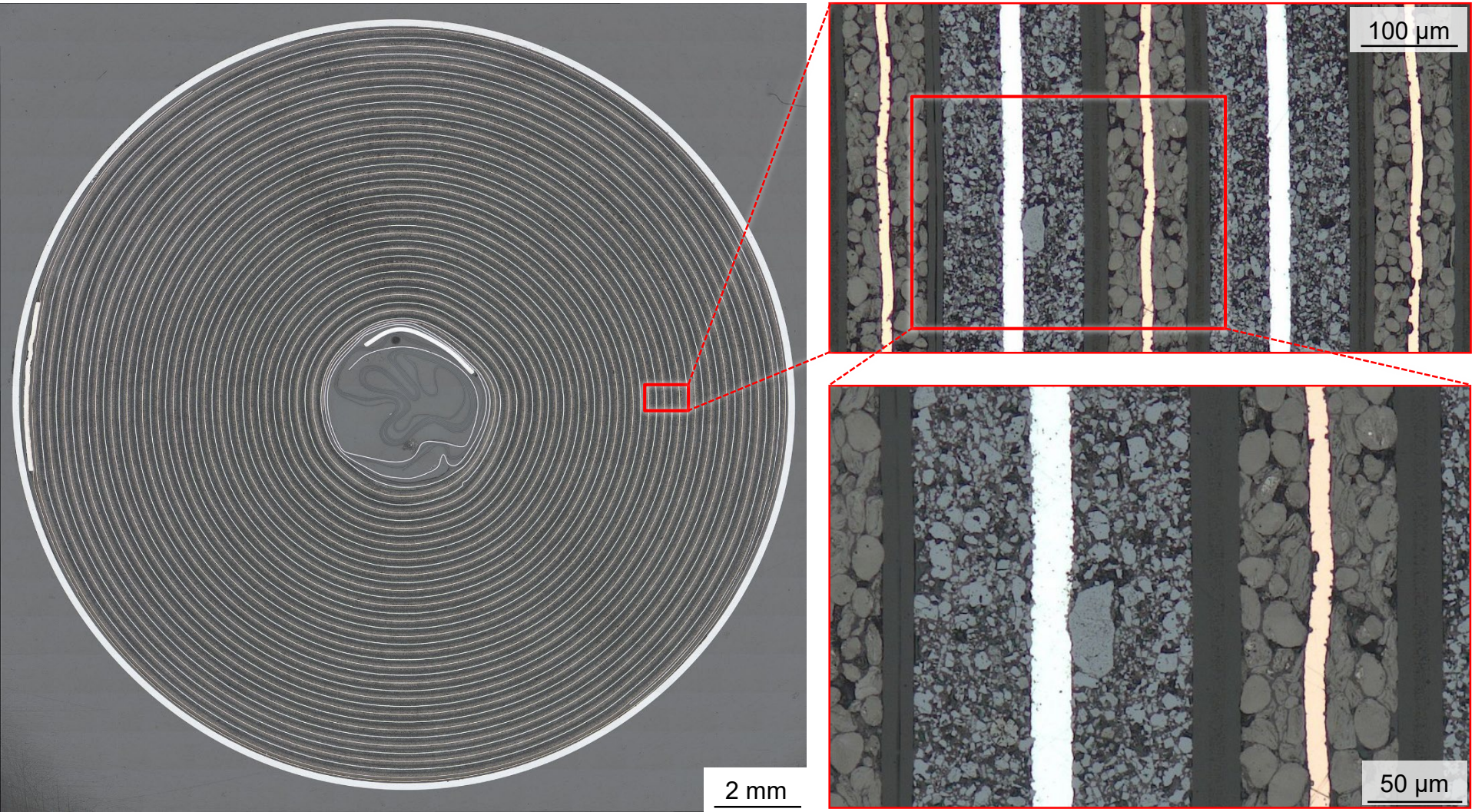
Ist-Ist-Abgleich veranschaulicht Wickelungenauigkeit



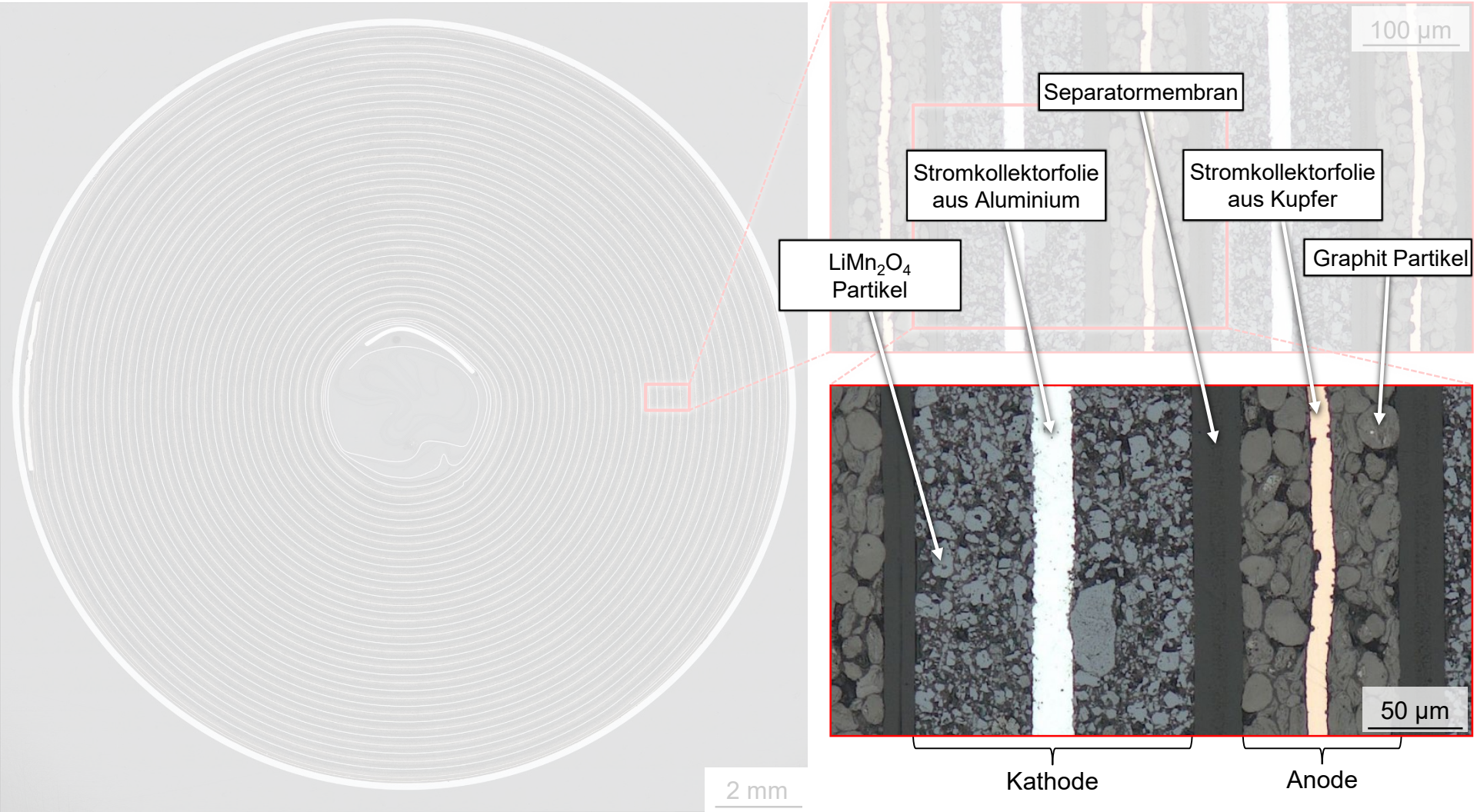
Ist-Ist-Abgleich veranschaulicht Wickelungenauigkeit



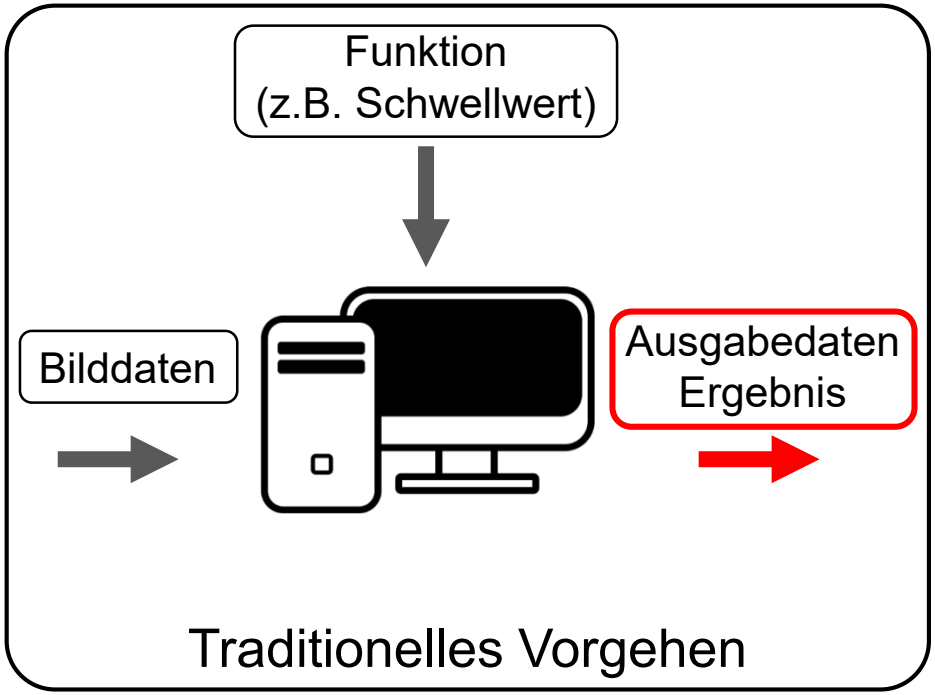
Querschliff einer geöffneten ‚18650' Standard Rundzelle

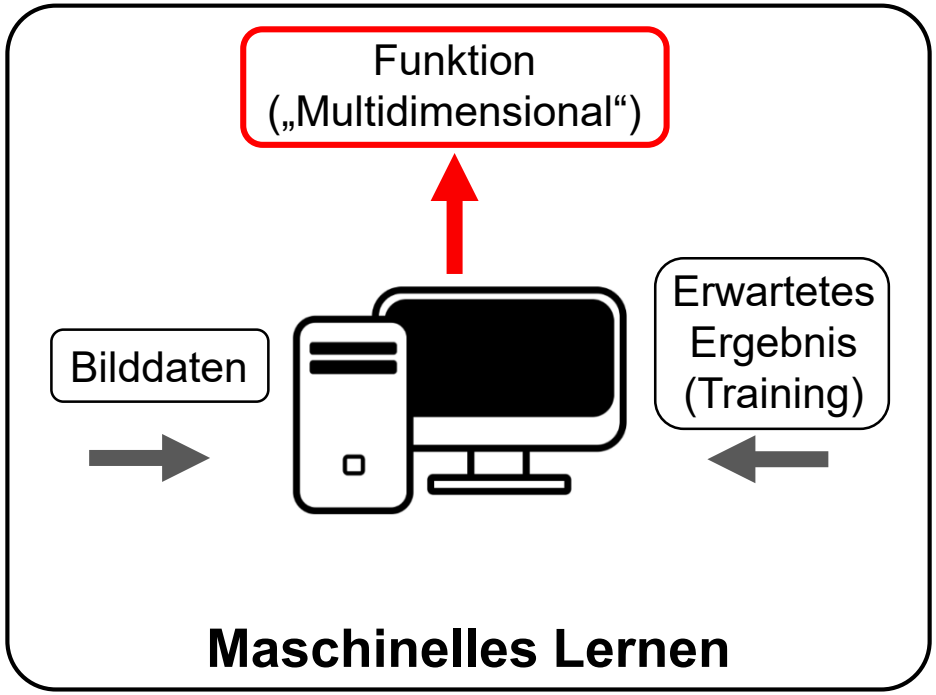


Querschliff einer geöffneten ‚18650' Standard Rundzelle



Prinzipielle Funktion und Vorteile von Machine Learning



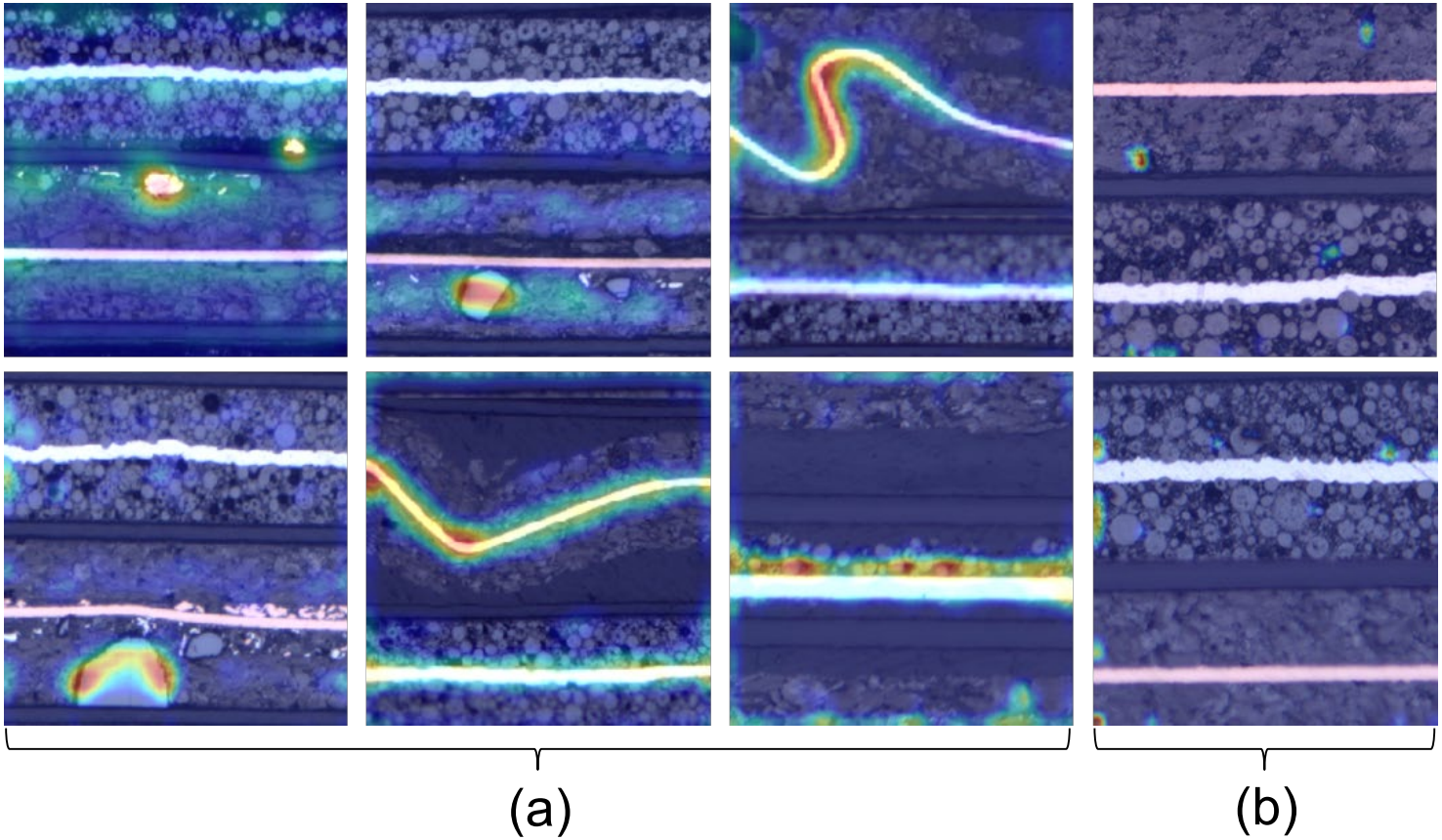


- Hoher Grad an Automatisierung für die Analyse großer Datenmengen
- Bildanalyse anhand einer Vielzahl von unterschiedlichen Parametern
  → Schwellwerte, Farbwerte, Form, Lage, Orientierung, etc.
- Reduzierung des individuellen Einfluss des Benutzers auf das Ergebnis
- Verringerte Abhängigkeit von den einzelnen Aufnahmeparametern
- Für unterschiedliche Anwendungsfälle trainierbar

https://medium.com/@gianlucahmd/grandma-should-understand-artificial-intelligence-heres-how-i-explained-her-c92ed3d2eea8

Visualizing how the network makes decision using Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)

Class Activation Mapping for images <u>with</u> defects and images <u>without</u> defects



Examples: Grad-CAM heatmap overlayed on the original image with defect (a), and without defect (b)

Zusammenfassung

- Herausforderndes ‚Multimaterial-Prüfobjekt' Li-Ionen Batterie
  - Metalle (Kupfer, Stahl, Aluminium,…)
  - Halbmetalle (Graphit, Silizium)
  - Kunststoff (Dichtung, Separator)
- 3D-Volumen der Li-Ionen Batterie ermöglicht umfangreiche Qualitätsbewertungsmöglichkeiten
- 3D-Volumina können untereinander und/oder mit CAD-Modellen metrologisch abgeglichen werden
- Präparationsbedingte Artefakte durch materialografische Untersuchung können durch ein zuvor gewonnenes 3D-Volumen identifiziert werden

Hochschule Aalen

Besten dank an

Herr Prof. Gerhard Schneider
Herr Dr. Timo Bernthaler
Frau Dr. Petra Schmidt

Herr Jörg Schmidt
Herr Andreas Kopp
Herr Andreas Jansche
Herr Axel Kansy

Institut IMFAA Materialforschung Aalen

ZEISS