Dual-LIBS-Q-Batt: Zweiwellenlängen-Laser-Plasmaspektroskopie für Hochdurchsatzanalysen an Elektroden zur Qualitätsabsicherung in Beschichtungsprozessen und Auslegung von Zellarchitekturen für Batterien der nächsten Generation

Im Rahmen des Investitionsprojektes „Dual-LIBS-Q-Batt“ werden ehrgeizige Ziele für ein neues Analytikkonzept gesetzt, um am Produktionsstandort Deutschland die hochqualitative Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) in enger Verzahnung mit dem BMBF-Kompetenzcluster AQua (Analytik und Qualitätssicherung, https://www.aqua-cluster.de/de/) und dem Teilprojekt IQ-EL (In-line-Zwischenproduktanalyse und Ableitung eines Quality Gate-Konzepts für die Elektrodenfertigung, https://www.aqua-cluster.de/de/projekte/iq-el/) zu ermöglichen. Das Analytikkonzept fundiert auf dem Prinzip der laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIBS), dessen herausragendes Potenzial im Hinblick auf die Batterieanalytik bereits in Pionierarbeiten auf Labor-Level (TRL4) nachgewiesen werden konnten.

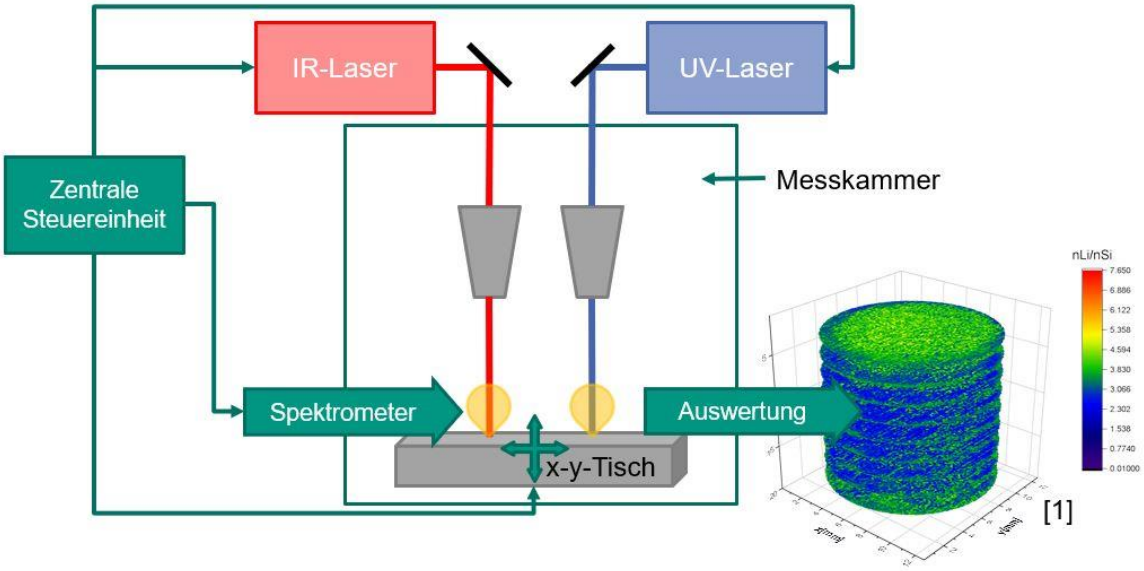
Die im Rahmen des Projektes konzipierte Zweiwellenlängen-Laser-Plasmaspektroskopie (Dual-LIBS) dient der Erfassung von Element-Konzentrationsprofilen (z. B. Lithium, Übergangsmetalle, Kohlenstoff, Natrium, Fluor, etc.) in unzyklierten oder zyklierten Elektroden. Die Elektroden können vollständig und schnell vermessen werden und 3D-Informationen der Elementverteilungen werden erhalten. Daraus können Rückschlüsse auf die Binder- und Leitrußverteilungen, aber auch die Alterungsprozesse gezogen werden. Dies soll eingesetzt werden, um den Beschichtungsprozess der Elektroden (z.B. Trocknungsparameter) gezielt zu optimieren (inline-Analytik). Das LIBS-Anlagen-Konzept wird erstmals die Hochskalierung dieser Messtechnik auf große Flächen und Tiefen bei gleichzeitig kurzen Messzeiten ermöglichen. Unterschiedliche Material- und Elektrodenkonzepte werden dadurch einem schnellen Screening unterzogen, um geeignete Designkriterien für Zellen mit verbesserter elektrochemischer Performance, Lebensdauer und Sicherheit abzuleiten. Durch die Bestimmung von 3D-Elementabbildungen lassen sich Degradationsprozesse (*post-mortem*) in ihrer Entstehung identifizieren und geeignete Maßnahmen für die Elektroden- und Zellfertigung können eingeleitet werden. Das Anlagenkonzept dient zusätzlich einer differenzierten Analyse der Binder- und Leitrußverteilung. Hierzu erfolgen Referenzmessungen an Elektroden mit unterschiedlichen Binder- und Leitrußanteilen sowie unterschiedlichen Beschichtungsparametern, um das LIBS-System anzulernen. Für die Qualitätssicherung und quantitative Auswertung der LIBS-Daten werden anhand von Referenzmessungen umfassende Kalibrierungen durchgeführt. Die hierzu erforderliche Erstellung einer LIBS-Material-Datenbank ermöglicht zudem Klassifizierungsapplikationen, um beispielsweise im Rahmen der Qualitätssicherung Batteriematerialien von unterschiedlichen Herstellern (z.B. aufgrund unterschiedlicher Dotierungen) oder aus verschiedenen Chargen (z.B. aufgrund unterschiedlicher Alterungseffekte) voneinander unterscheiden zu können.

Mit dem Dual-LIBS-Verfahren wird der Kompetenzcluster Aqua bei der Entwicklung eines inline-Messverfahrens zur Bestimmung der Binder- und Leitrußverteilung unterstützt, um eine Erhöhung der Energiedichte auf Zellebene und Einsparungen bei den Zellkosten zu erzielen. Die LIBS-Analytik soll perspektivisch in eine Rolle-zu-Rolle-Beschichtung integriert und so industrienah für den Einsatz in der Forschungsfabrik Batterie evaluiert werden.

Die Kernkomponenten des Projektes sind:

- Entwicklung und Validierung einer inline-Messtechnik in IQ-EL zur Bestimmung der Binder- und Leitrußverteilungen
- Identifizierung von beginnenden Degradationsprozessen in Batterien, um daraus Designkriterien für Elektrodenarchitekturen abzuleiten
- Erstellung von Struktur-Eigenschafts-Beziehung von Elektroden für Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit des Stromabnehmers, des Binders, der Additive und der Aktivmaterialien
- Flankierung der Forschungsarbeiten zur Entwicklung großflächiger 3D-Elektroden-architekturen
- Aufbau einer Datenbank zur Absicherung hoher Fertigungsstandards durch eine LIBS-basierte Qualitätssicherung

Das Anlagenkonzept ist im Folgenden dargestellt:



Das Projekt hat eine Laufzeit vom 01. September 2022 bis zum 31. August 2024 und wird gefördert mit einer Gesamtsumme von 795.456,00 € (Förderkennzeichen 03XP0464)

[1] Zheng, Y.; Yin, D.; Seifert, H.J. et al.: Investigation of Fast-Charging and Degradation Processes in 3D Silicon-Graphite Anodes. In: Nanomaterials (Basel, Switzerland), Vol. 12 (2021), Iss. 1. https://doi.org/10.3390/nano12010140.