

Entwicklung eines Inline Qualitätssicherungskonzepts der Batteriezellproduktion

Prozessübergreifende Analyse von Wechselwirkungen zwischen Produkten und Prozessen zur Identifizierung qualitätsrelevanter Parameter mittels Model-Based Systems Engineering (MBSE)

Energiespeichersysteme wie Lithium-Ionen-Batterien stellen einen wichtigen Wegbereiter im Zuge des fortschreitenden Trends zur Elektrifizierung der Mobilität dar. Die Batterieproduktion ist allerdings ein hochkomplexer Prozess, der aus mehreren Teilprozessschritten (TPS) besteht und eine Vielzahl von Zwischenprodukten (ZP) einschließt. Für jedes einzelne ZP existieren Produktparameter, die als qualitätsrelevant betrachtet werden können. Auch zwischen den Prozessparametern der einzelnen TPS und den Parametern des zugehörigen ZP gibt es Wechselwirkungen, die die Qualität der endgültigen Batteriezellen und beeinflussen. Um qualitätskritische Parameterabweichungen frühzeitig zu erfassen und somit Ausschuss während der Produktion zu reduzieren, ist ein gutes Verständnis des kompletten Produktionsprozesses und der Wechselwirkungen zwischen den Einflussparametern über TPS hinweg erforderlich.

NEUER ANSATZ MIT POTENZIAL
Ziel der Autoren ist die Entwicklung eines Konzepts zur Inline-Qualitätssicherung in der Batteriezellproduktion unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Produkt- und Prozessparametern sowie deren Auswirkungen auf die qualitätsrelevanten Parameter. Es gibt bereits Ansätze und Modelle, die den Einfluss von Abweichungen der Produktparameter verfolgen und die Auswirkungen einzelner Prozessabweichungen auf Folgeprozesse beschreiben. Die Autoren stellen einen MBSE-gestützten Ansatz vor, um die TPS-übergreifenden Wechselwirkungen zwischen Produkt- und Prozessparametern zu analysieren und so qualitätsrelevante Parameter im Kontext der Batteriezellenproduktion zu identifizieren (siehe Bild 1). Im ersten Schritt wird das Systemmodell des zu berücksichtigenden Gesamtsystems aufgestellt, in dem die Elemente wie Produkte und Prozesse, deren

Beziehungen sowie die jeweiligen Ein- und Ausgänge umfasst sind. Wechselwirkungen zwischen den Produkt- und Prozessparametern werden anschließend mittels Abhängigkeitsmatrix identifiziert und anhand definierter Abhängigkeitskriterien bewertet. Zur besseren Verfolgbarkeit der Abhängigkeiten werden diese in einem Baumdiagramm visualisiert. Dem Ziel folgend werden die Qualitätsparameter so eingeteilt, wie sie in verschiedenen Anwendungsfällen zu überwachen sind, darunter z. B. Vorbeugung von Qualitätsabweichung bzw. Unterstützung der Fehleranalyse [1]. Schließlich wird basierend auf den verketteten Abhängigkeiten sowie der Klassifizierung der Qualitätsparameter eine Auswertungsmethode entwickelt, um die anwendungsfallorientierten Qualitätsparameter der ZP in den einzelnen TPS zu ermitteln.

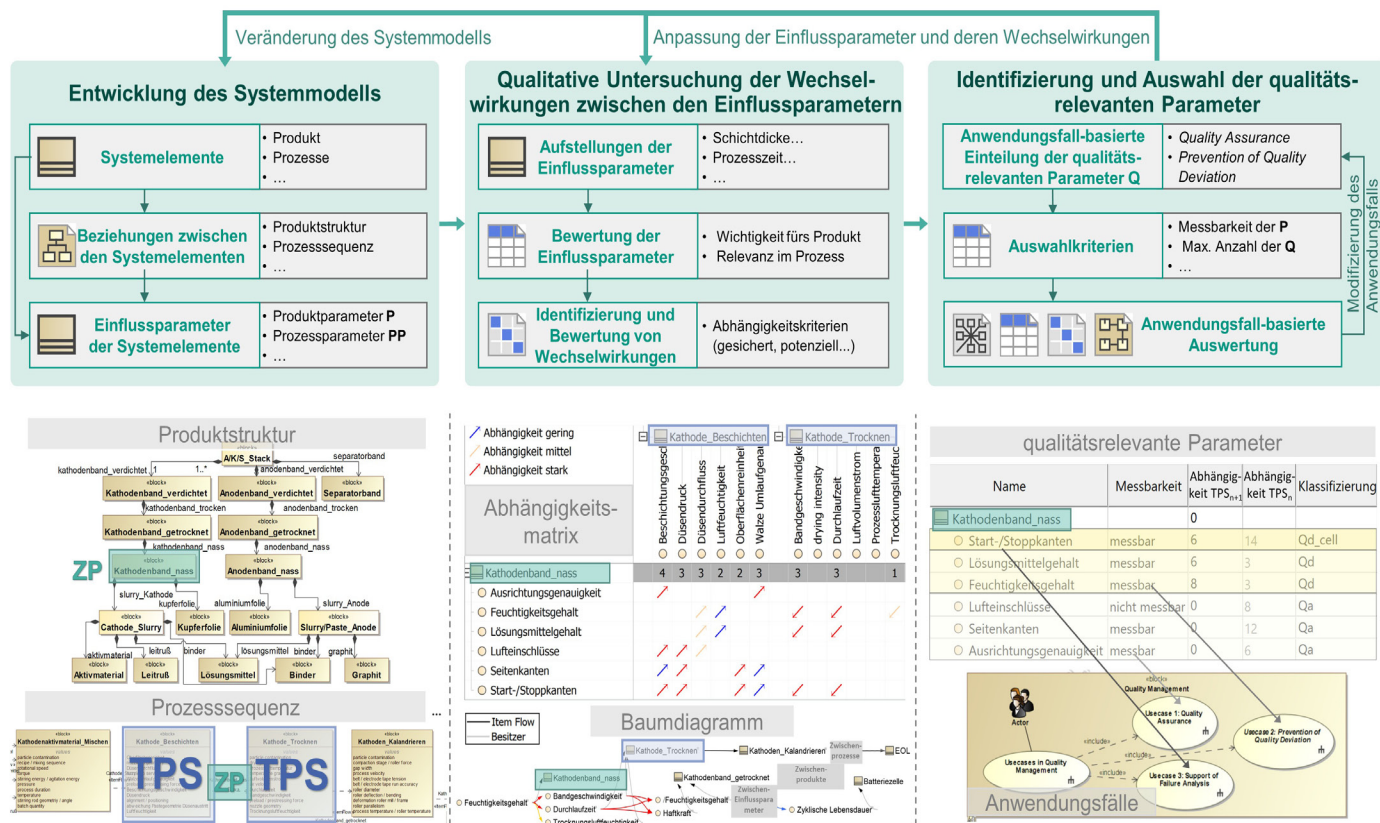


Bild 1: Arbeitsablauf des entwickelten Ansatzes und ein Anwendungsbeispiel

NUTZEN FÜR DIE ZUKUNFT

Anhand des Anwendungsbeispiels im Bild 1 wird gezeigt, dass der entwickelte MBSE-gestützte Ansatz beim Umgang mit der Komplexität der Batteriezellproduktion wesentlich unterstützt. Der Ansatz stellt auch einen Beitrag zum Produkt-Produktions-CoDesign (PPCD) dar, das die hoch vernetzte und parallelisierte Entstehung von Produkten und deren Produktionssystem(en) hinsichtlich eines effizienten und effektiven Betriebs beschreibt.

In der nächsten Phase sollten die Aktivitäten in der Qualitätssicherung abgebildet werden, was mit Hilfe von MBSE möglich ist. So können anhand der ermittelten, anwendungsorientierten Qualitätsparameter konkrete Handlungsempfehlungen für die frühzeitige Qualitätssicherung in der Produktion abgeleitet werden.

für die frühzeitige Qualitätssicherung in der Produktion abgeleitet werden. Beispielsweise sollen frühzeitig Parameterabweichungen, die am wahrscheinlichsten zu Ausschuss führen oder weitere Prozessschritte am stärksten beeinflussen können, vorrangig erfasst werden um eine bessere, prädiktive Regelung zu ermöglichen.

Mit dem entwickelten Ansatz wird somit eine Grundlage geschaffen, die die Auslegung der Inline-Messtechnik, die Aufklärung der Anforderungen an die Datenerfassung und -auswertung sowie die Optimierung der Aktivitätsabläufe im Qualitätssicherung unterstützt. Dadurch wird eine bessere Qualität bei gleichzeitig geringeren Kosten und Ressourcen erreicht, was eine potenzielle Erhöhung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit ermöglicht.

LITERATUR

[1] Zeng, Y., Müller-Welt, P., Hunger, S., Bause, K. & Ott, S. (2022). Auswirkungen von Wechselwirkungen zwischen Produkt- und Prozessparametern in der Produktion von Batteriezellen: Entwicklung eines Inline-Qualitätssicherungskonzepts mittels Model-Based Systems Engineering (MBSE). In Tag des Systems Engineering 2022. (in Veröffentlichung)

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Albert Albers
Dipl.-Ing. Katharina Bause
Dipl.-Ing. Sascha Ott
Yunying Zeng, M. Sc.
IPEK - Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)