

Entwicklung eines prozessübergreifenden Fehlerbilderkatalogs zur Ausschussreduktion in der Batteriezellproduktion

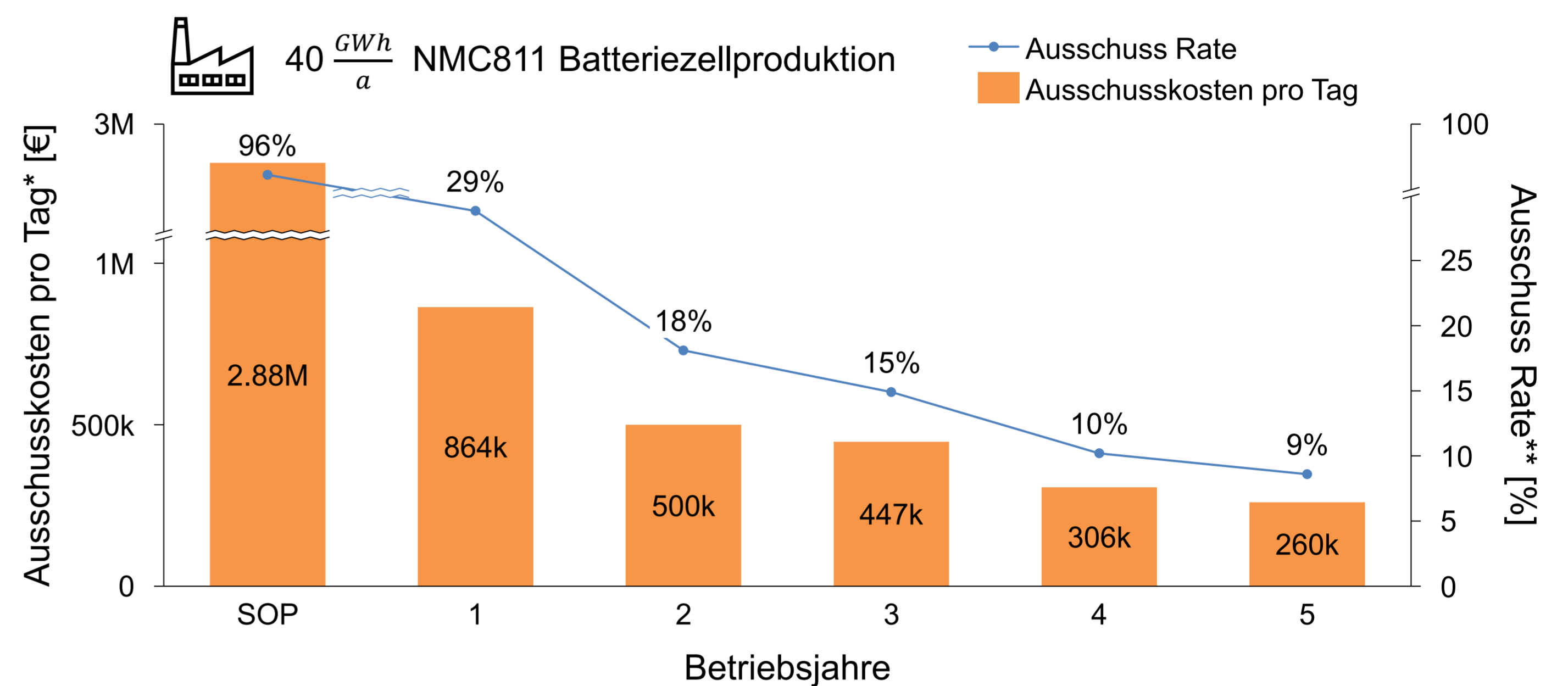
Kampker, A.¹; Heimes, H. H.¹; Born, H.¹; Lingohr, P.¹; Li, R. Y.; Sayin, A.¹

¹Chair of Production Engineering of E-Mobility Components (PEM) of RWTH Aachen University, Bohr 12, 52072 Aachen, Germany

Motivation

- Materialkosten dominieren die Batteriezellproduktion, wobei **Ausschuss** die Materialkostenverluste durch **zusätzlich verlorene Energie** und **Produktionszeit potenziert**.
- In frühen Ramp-Up-Phasen können extreme Ausschussraten von **bis zu 96 %** entstehen.²
- **Jedes Prozent Ausschuss kostet etwa 30.000 € pro Tag**.²
- Ausschuss entsteht durch **Defekte**, die sich **kritisch** auf **Performance, Lebensdauer** oder **Sicherheit** auswirken.
- Es fehlt ein systematisches Verständnis, **welche Defekte in welchen Prozessschritten** entstehen und wie sie **zuverlässig identifiziert** werden können.
- Ebenso bestehen Wissenslücken hinsichtlich **charakteristischer Merkmale, Ursachen** und **Auswirkungen** auf **Performance, Lebensdauer** und **Sicherheit** je Defekt.
- Unzureichende Transparenz über die **Kritikalität** von Defekten verhindert eine belastbare **Priorisierung von Qualitätssicherungsmaßnahmen**.

Entwicklung der Ausschussraten und Ausschusskosten einer Gigafactory über die Betriebsjahre



²Dahmen et al. (Mastering Ramp-up of Battery Production) 2024; Annahmen: * Ausschuss wird für 70% des Zellpreises verkauft; ** Durchschnittliche Ausschussraten

Auszug der Fehlerbilder aus dem Prozessschritt Beschichten		
	Agglomeratbildung	Streifenbildung
Darstellung		
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Agglomerate beeinträchtigen die Homogenität der Beschichtung und sind entweder als dunkle Flecken im Falle von Rußagglomeraten oder als örtliche Erhebungen auf der Oberfläche sichtbar • Ursachen: Vermischung aufgrund einer unzureichenden Dispersion von festen Bestandteilen oder getrocknetem Slurry am Beschichtungsgerät 	<ul style="list-style-type: none"> • Längsbereiche ohne Beschichtung, die als Linie in Beschichtungsrichtung erscheinen und zu schlechter Beschichtungshomogenität und geringer Schichtdicke führen • Ursachen: Agglomerate oder andere Verunreinigungen, die die Auftragsdüse verstopfen • i.d.R. Länge von mehreren Metern, wenn sie nicht frühzeitig erkannt werden
Kritikalität	<p>2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verminderte elektrische und ionische Leitfähigkeit (verminderte Leistung) • Durchdringung des Separators durch grobe Agglomerate (Kurzschluss) 	<p>3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verminderte Langzeitleistung und erhöhte Degradation der Zellen • Betroffene Elektrodenbereiche sind unbrauchbar (direkter Ausschuss)
Legende	<p>1 • Keine Auswirkung auf die Qualität der Zelle • Geringe Auswirkungen auf die Leistung der Zelle</p> <p>2 • Seltener Ausschuss einzelner Zellen • Erhebliche Verkürzung Lebensdauer der Zellen</p> <p>3 • Sicherheitsrisiko (Kurzschluss, Brandgefahr) • Ausschuss mehrerer Zellen oder einer Charge</p>	

Ergebnisse

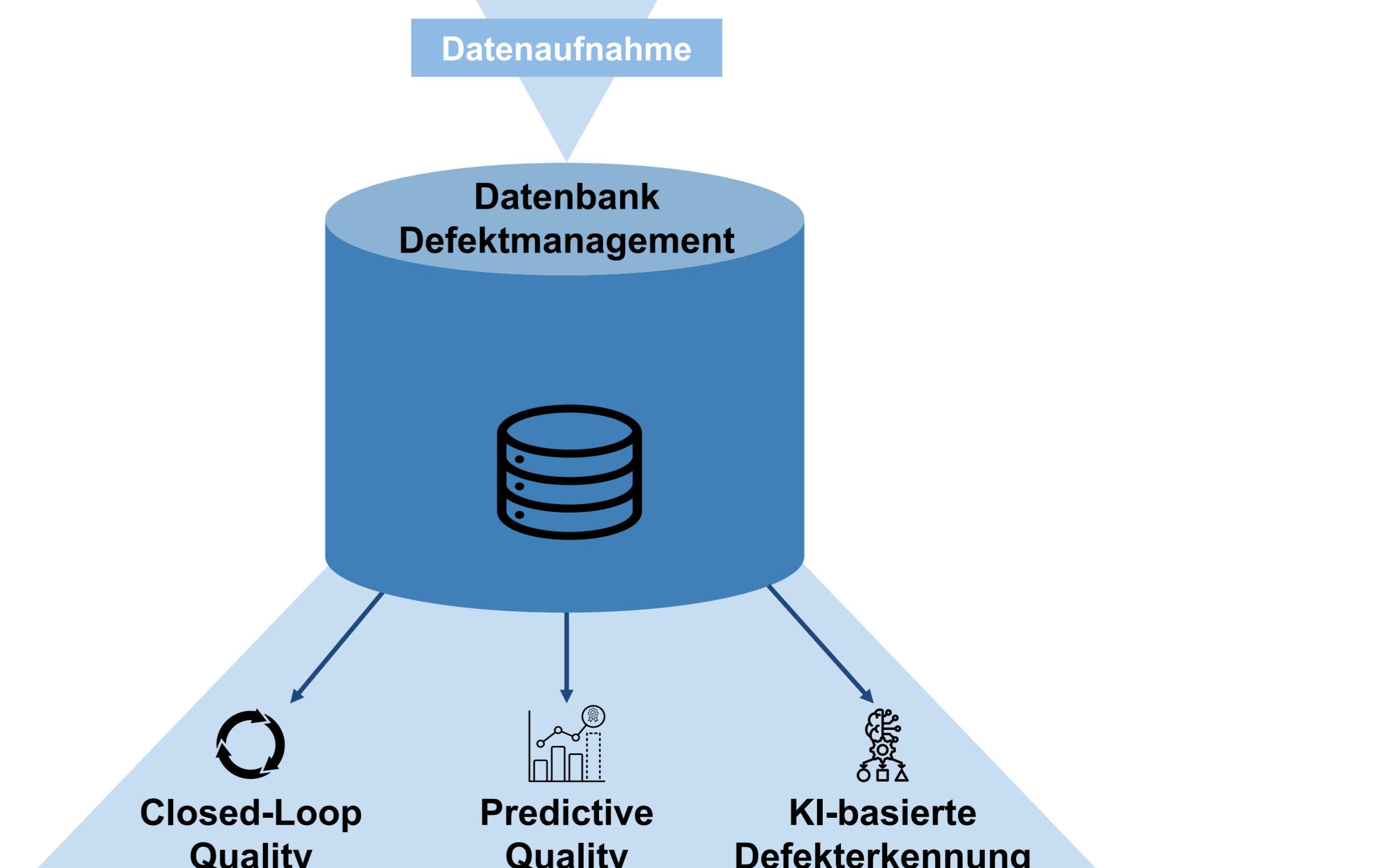
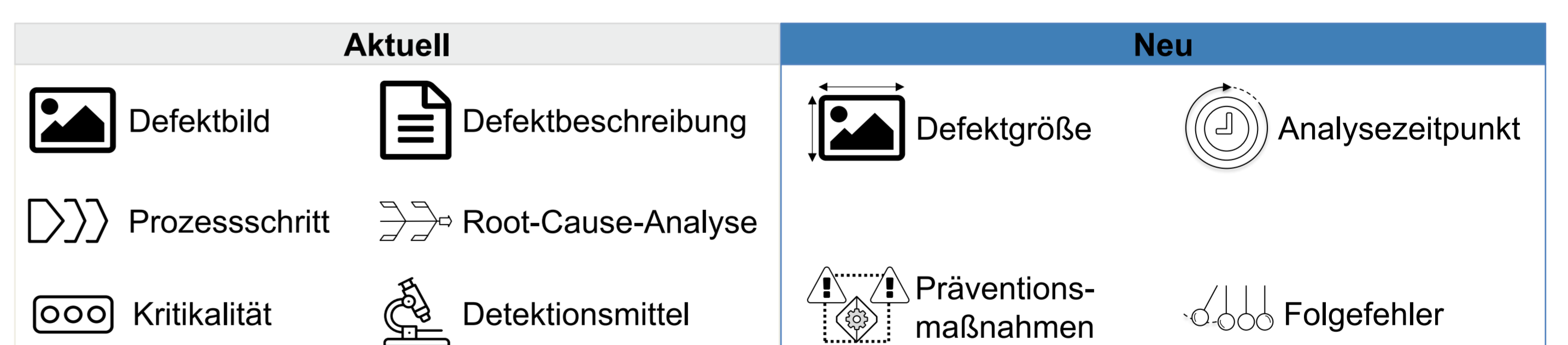
- Fehlerbilderkatalog über die gesamte Prozesskette erstellt: **16 Prozessschritte, >60 Defekte**
- Für jeden Defekt: **Bilddokumentation**, eindeutige **Merkmalsbeschreibung**, **Detektions-** und **Messmittelzuordnung** (Inline/Offline) sowie **Kritikalitätseinstufung** zur eindeutigen Identifikation und priorisierten Defektbehandlung.
- **Standardisierte Steckbriefstruktur** schafft standortübergreifend ein einheitliches Fehlerverständnis und beschleunigt Ramp-Up sowie Training neuer Mitarbeiter.

Ausblick:

Vom Fehlerbilderkatalog zum Defektmanagementsystem

- Ausbau des Fehlerbilderkatalogs zu einem **zentralen Defektmanagementsystem**.
- Erweiterung der Defektklassifikation um weitere **Metadaten** wie beispielsweise **Folgefehler**.
- Kontinuierliche Aktualisierung durch Integration neuer Defekte aus **Forschung** und **Serienproduktion**.
- Nutzung als Trainingsdatenbasis für KI-Use-Cases:
 - Automatisierte **Defekterkennung** und **-klassifikation**
 - **Predictive Quality** zur frühzeitigen Ausschussidentifikation
 - **Closed-Loop Quality** zur proaktiven Fehlervermeidung

Methodik



Alisan Sayin, M. Sc.
Research Associate
Battery Production Management
Phone: +49 (0) 1705589791
E-mail: a.sayin@pem.rwth-aachen.de

