

Entwicklung eines holistischen Frameworks zur Produktion sicherer Batteriezellen: »MPPS«-Ansatz

Gruppe »Operational Excellence«
Jasper Döhrn, Hendrik Walter

Elektrochemische Energiespeicher nehmen eine Schlüsselposition für die Energiewende und eine nachhaltige Mobilität ein. Ein Großteil der steigenden Nachfrage wird von diesen Sektoren getrieben, da beide Anwendungsbereiche einen hohen Bedarf an leistungsfähiger Speicherkapazität gemeinsam haben. Insbesondere für den Mobilitätssektor haben sich dabei Lösungen im Rahmen der Lithium-Ionen-Technologie mit hohen Energiedichten etabliert. Eine zentrale Aufgabe der Batterieindustrie ist es nun, diese Energiespeicher in ausreichender Quantität und Qualität bereitzustellen. In letzter Hinsicht spielt vor allem die Zuverlässigkeit und Sicherheit eine Hauptrolle. Hierzu erforscht die Gruppe »Operational Excellence« der Fraunhofer FFB ganzheitliche Ansätze, die methodisch entlang des Produkt- und Prozesslebenszyklus Risiken frühzeitig erkennen und effizient und effektiv vorbeugen.

Li-Ionenbatterie: Risiken aus Sicherheitsperspektive

Die Lithium-Ionen-Batterie ist während ihres Einsatzes verschiedenen äußeren Belastungen ausgesetzt. Diese können neben dem Verlust der Systemfunktion in Verbindung mit den verwendeten Hochenergiematerialien zu einem sicherheitskritischen Ereignis führen. In seiner stärksten Ausprägung ist dies der sogenannte *Thermal Runaway*, eine schwer aufzuhaltende exotherme Zersetzungreaktion der chemischen Komponenten innerhalb der Batteriezelle. Daraus resultiert eine signifikante Gefährdung des Endnutzers und der Umwelt aus vier Perspektiven (Abb.1). Im Rahmen der Produktsicherheit steht die die Minimierung dieser Risiken im Fokus.

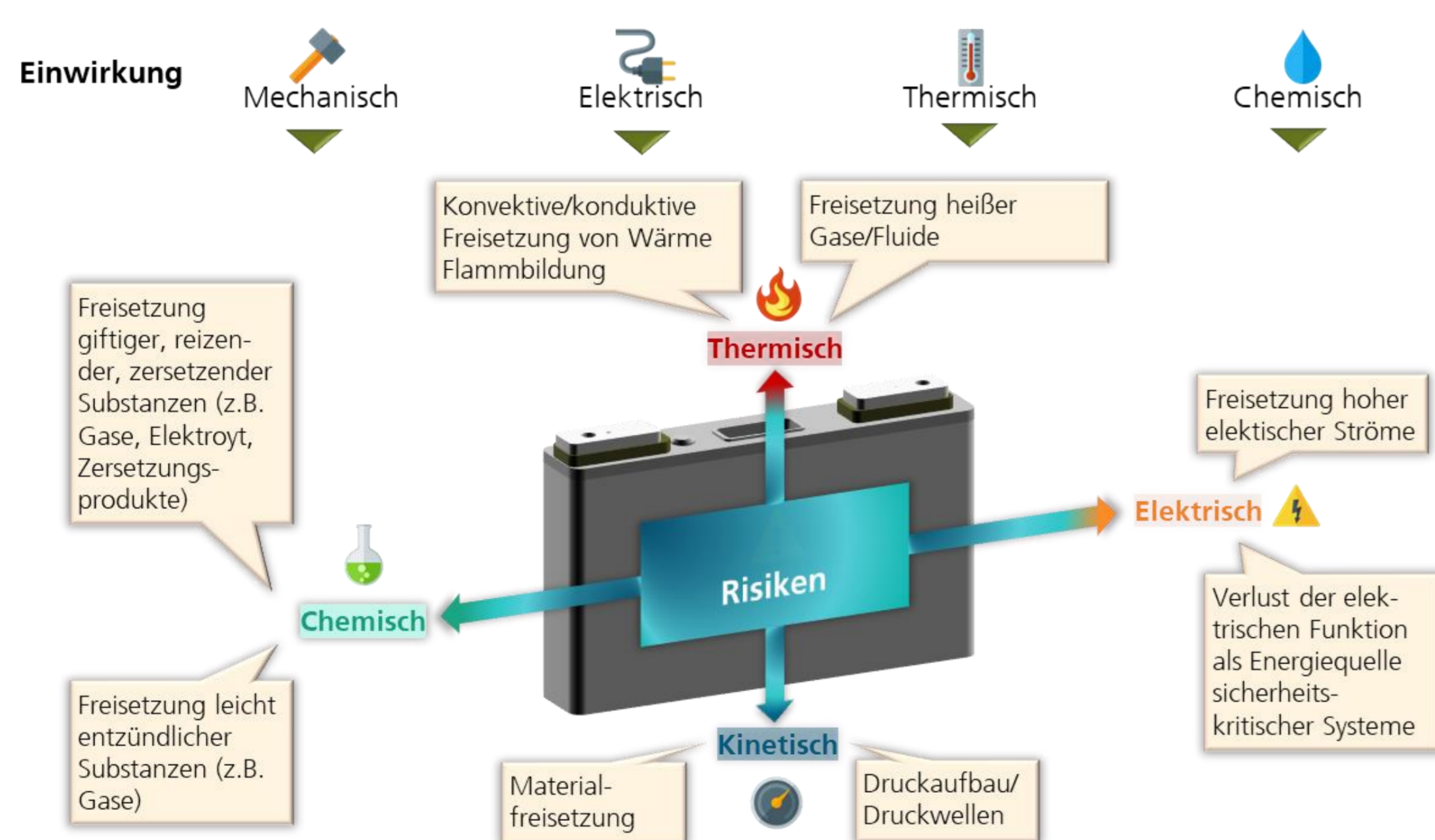
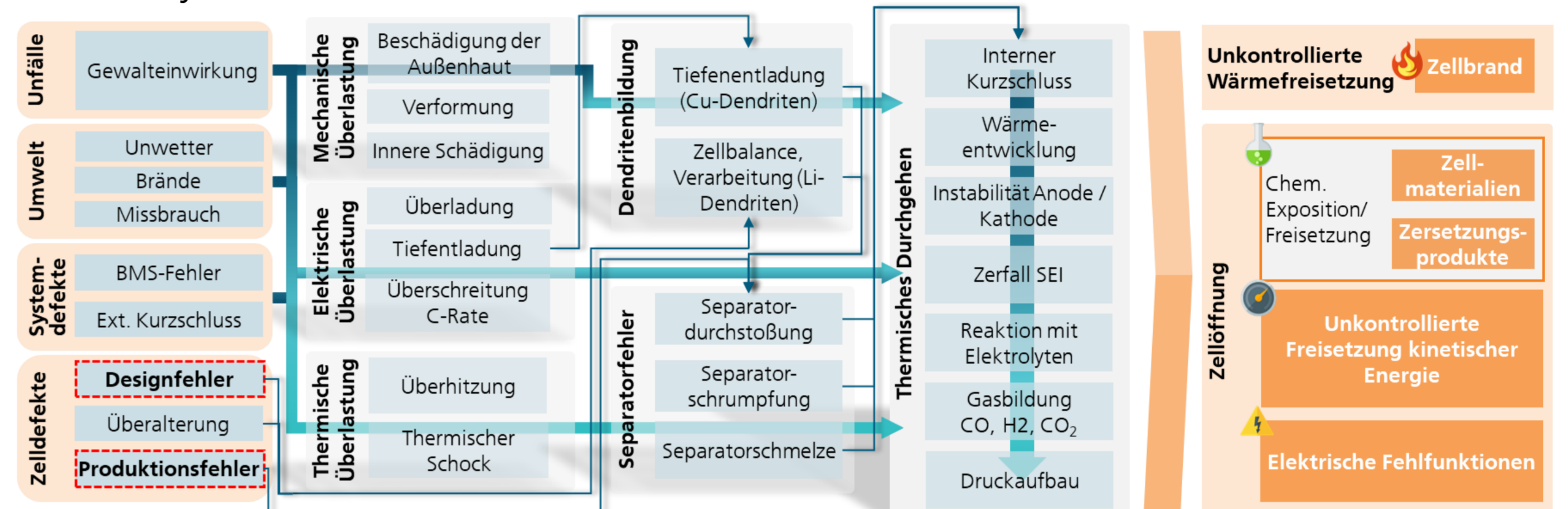


Abb. 1: Klassifizierung von Sicherheitsrisiken auf Batteriezellebene¹

Komplexes Netzwerk aus Ursache-Wirkzusammenhängen

Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, die zu einem sicherheitskritischen Verhalten innerhalb der Batteriezelle führen können, hochgradig komplex. Insbesondere ist hervorzuheben, dass nicht nur externe Einflüsse, sondern auch Konstruktionsfehler im Produkt, Prozessfehler oder die Kombination mehrerer Ursachen Auslöser für sicherheitskritisches Verhalten sein können. In der Praxis ist dies durch kostenintensive Rückrufaktionen in der Elektronik- und Automobilindustrie zu beobachten.

Auslaggebend sind konstruktionsseitige bspw. Fehler z.B. wie ein zu gering dimensionierter Separatorüberstand, der in Kombination einer unpräzisen Stapelung in der Assemblierung problematisch wird. Auch die prozesseitige Kontamination mit metallischen Partikeln kann direkt oder über Dendritenwachstum eine Separatorperforation und damit einen internen Kurzschluss auslösen, der dann anschließend durch Überhitzung einen Thermal Runaway induziert.



BMS = Batteriemangagementsystem (Thermomanagement, Leistungsmanagement, Lademanagement) [fokussiert im Forschungsvorhaben]

Abb. 2: Ursache-Wirkzusammenhangsnetzwerk für Fehlfunktionen auf Li-Ionen Batteriezellebene mit Sicherheitsimplikationen^{1,2}

Holistisches Sicherheitskonzept erfordert ganzheitliche Betrachtung aus Produkt- und Prozessperspektive



Abb. 3: Systemgrenze für ein holistisches Sicherheitskonzept im Produkt- und Prozesslebenszyklus^{3,4}

Die sicherheitsgerichtete Auslegung und Produktion von Batteriezellen erfordert aufgrund der engen Verknüpfung von Prozess und Produkt stets eine interdisziplinäre Betrachtung aus beiden Perspektiven. Einzelne Stellhebel lassen sich dabei den Phasen aus dem Produkt- und Prozesslebenszyklus zuordnen, der gleichzeitig als geeignete Systemgrenze für ein ganzheitliches Optimierungsframework aus Produzentensicht gilt. An der Fraunhofer FFB wurde mit dem sogenannten »MPPS-Ansatz« ein Framework geschaffen, das einzelne Maßnahmen zur Risikoreduzierung anhand der Teildimensionen Material, Produktdesign, Produktionsprozess und Produktionssystem methodisch strukturiert und bewertet (Abb. 4).



Abb. 4: Framework zur inhärenten Betrachtung von Stellhebeln zur Gewährleistung der Batteriesicherheit: »MPPS-Ansatz«

¹ Brandt, Klaus; Garche, Jürgen: Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications. Li-Battery Safety. Elsevier, 2018

² Korthauer, Reiner: Handbuch Lithium-Ionen Batterien. Springer Vieweg, 2013

³ Burggräf, Peter; Schuh, Günther: Integriertes Anlaufmanagement. In: Fabrikplanung. Springer Vieweg, 2008

⁴ Kuhn, Axel: Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten: ergebnisbericht der Untersuchung „fast Ramp-up“. Verlag Praxiswissen, 2002