

1 Einleitung

Ein schneller Produktionsanlauf ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion.¹ Wegen der Weiterentwicklungen in der Produktarchitektur verändern sich sowohl die Batteriesysteme also auch die Batteriezellen.² Dies führt zu Wiederanläufen auf bestehenden Batteriezellproduktionslinien, wobei Ausschuss anfällt.³ Neben der Produktarchitektur ist die Optimierung des Produktionsprozesses maßgebend, die gleichzeitig Voraussetzung für eine nachhaltige Batteriezellproduktion ist.⁴ Für die Optimierung soll der Produktionsprozess der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion analysiert und für den Wiederanlauf parametrisiert werden.

In Kapitel 1.1 werden die Ausgangssituation und die Problemstellung dargestellt. Die vorhandenen Problemstellungen münden in Kapitel 1.2 in einer Zielsetzung für diese Arbeit. In Kapitel 1.3 wird die wissenschaftlichen Einordnung vorgenommen und die notwendige Forschungskonzeption erarbeitet. Daraus wird in Kapitel 1.4 die zentrale Forschungsfrage formuliert und in Teilforschungsfragen gegliedert. Der Aufbau der Arbeit wird darauf in Kapitel 1.5 beschrieben.

1.1 Ausgangssituation

Die nachhaltige Mobilität ist eine der wichtigsten Maßnahmen gegen den Klimawandel, um die kontinuierlich steigenden Emissionen der Menschen auf der Erde zu reduzieren.⁵ Die Batterie gilt als Hauptbestandteil der Dekarbonisierung des Straßenverkehrs und Beschleuniger der Energiewende.⁶ Für die Fahrzeugmontage müssen Batteriepacks und die darin zu verbauenden Batteriezellen produziert werden.⁷ Zur Produktion der Batteriezellen müssen neben der Gewinnung von Rohmaterialien auch Produktionskapazitäten geschaffen werden. Um den zukünftigen Bedarf an Batteriezellen zu decken, wird die Produktionskapazitäten in Bezug auf das Jahr 2020 um einen Faktor größer 50 steigen.⁸ Weltweit wird bis 2030 ein jährlicher Zuwachs von 30 % der Produktionskapazitäten für

¹ Vgl. Heimes et al. (Battery Atlas), 2022, S. 7

² Vgl. Kampker et al. (Battery System Architectures), 2023 S. 2

³ Vgl. Kehrer et al. (Rejects in Production), 2021, S. 5

⁴ Vgl. BMWK (Forschung Batteriezellfertigung), 2021, S. 1

⁵ Vgl. Europäische Kommission (Europäischer Güter Deal), 2019, S. 12

⁶ Vgl. Roland Berger und PEM der RWTH Aachen (Battery Monitor 2022), 2022, S. 5

⁷ Vgl. Sarovic (Variantenrobuste Produkt-Produktionssysteme), 2018, S. 21

⁸ Vgl. Heimes et al. (Battery Atlas), 2022, S. 7

Lithium-Ionen-Batterien erwartet.⁹ Die Hersteller der Batteriezellen müssen folglich in kurzer Zeit neue Werke aufbauen und Produktionslinien installieren. Gleichzeitig findet eine rasante Weiterentwicklung der Batteriezelle statt, sodass in der Produktion zukunftsfähige Fertigungstechnologien eingesetzt werden müssen, um auch neue Zelltechnologien produzieren zu können. In Werken, die zunächst kleine Stückzahlen und dafür eine hohe Produktvielfalt abdecken wollen, sind häufige Wiederanläufe notwendig.¹⁰ Auch Fabriken mit großen Stückzahlen müssen sich darauf einstellen, dass parallel zur steigenden Nachfrage an Batteriezellen durch die Automobilindustrie neue Batterietechnologien erforscht werden, die produziert werden müssen.¹¹ Dabei findet die Evolution der Batteriezelle entweder in den verwendeten Materialien, d. h. der Zellchemie, oder in den Dimensionen, d. h. dem Zellformat, statt. So hat sich beispielsweise die Batteriezelle des BMW i3 auf Basis der Zellchemie in der Menge an speicherbarer Energie verändert, d. h. die Kapazität der Zelle wurde von ursprünglich 60 Ah auf 94 Ah und schließlich auf 120 Ah pro Zelle weiterentwickelt.¹² Bei den anderen Elektrofahrzeugen wurden die Zellformate gewechselt. Die Firma TESLA, INC. hat das verwendete Zellformat ihrer Batteriezellen angepasst.¹³ Dafür werden immer größere Rundzellen von einer 18650 zu einer 21700 hin zu einer 4680 sowie prismatischen Batteriezelle eingesetzt.¹⁴ Eine vom effizienten Wiederanlauf abhängige Strategie ist die Entwicklung und Produktion der Einheitszelle der VOLKSWAGEN AG, die Einsparungen durch eine Optimierung im Zellformat, in den Produktionstechnologien und dem Recycling hat.¹⁵ Mit der Wahl eines festen Zellformats wird die Zellchemie in Abhängigkeit von dem Fahrzeugtyp und für Innovationen in der Elektrochemie adaptiert.¹⁶ Damit werden neue Materialien auf Fertigungslinien nach einem Wiederanlauf prozessiert. Zusätzlich wird deutlich, dass ein Automobilhersteller innerhalb einer Fahrzeuggeneration auf existierenden Linien neue Generationen von Batteriezellen verbaut. Das setzt voraus, dass der Fahrzeughersteller selbst oder ein Batteriehersteller innerhalb dieser Zeit ein neues Produkt entwickelt und produziert. Diese kurzen Entwicklungszyklen stellen die Batteriehersteller vor große Herausforderungen hinsichtlich des Prozessausschusses, der in der Fertigung von unreifen Produkten entsteht. Unabhängig von der Änderung der Produktspezifikation einer Batteriezelle fällt bei jedem Wiederanlauf Ausschuss im Produktionsprozess an.¹⁷ Um eine Batteriezelle mit möglichst wenig Ausschuss zu fertigen, muss die **Unterstützung eines variantenrobusten Wiederanfahrprozesses der Lithium-Ionen-Batterieproduktion** möglich sein. Insgesamt

⁹ Vgl. McKinsey & Company und Global Battery Alliance (Battery 2030), 2023, S. 2

¹⁰ Vgl. Kehrer et al. (Rejects in Production), 2021, S. 3

¹¹ Vgl. Michaelis et al. (Roadmap Batterieproduktionsmittel 2030), 2023, S. 15

¹² Vgl. BMW Group (Datenblatt BMW i3), 2016, S. 1; BMW Group (Datenblatt BMW i3 und i3s), 2018, S. 1, S. 3

¹³ Vgl. Tesla, Inc. (Tesla Impact Report), S. 66; Tesla, Inc. (Tesla Impact Report), S. 21

¹⁴ Rundzellenbezeichnung 18650, 21700, 4680: Die ersten zwei Ziffern definieren den Durchmesser und die folgenden zwei Ziffern die Länge der Zelle in Millimetern (siehe Kapitel 2.1.2)

¹⁵ Vgl. Volkswagen AG (Power Day Pressemitteilung), 2021, S. 3

¹⁶ Vgl. Volkswagen AG (Power Day Präsentation), 2021, S. 33

¹⁷ Vgl. Kehrer et al. (Rejects in Production), 2021, S. 5

kann als Ausgangssituation zusammengefasst werden, dass es sich bei der Lithium-Ionen-Batteriezzelle um eine Technologie handelt, die sich sowohl in der Zellchemie als auch im Format rasant verändert und zu häufigen Produktionsanläufen führt. Aufgrund der nicht vollumfänglich erfassten Wirkzusammenhänge zwischen den Prozessparametern und dem Produkt resultiert als Kernherausforderung der Lithium-Ionen-Batteriezzellproduktion die Reduzierung des hohen Ausschusses.

1.2 Zielsetzung

Der Betrieb von Produktionslinien unreifer Technologien ist mit einem hohen Prozentsatz verbunden. Insbesondere dann, wenn die Lithium-Ionen-Batteriezzellen noch nicht standardisiert sind oder sich häufig in der Komposition ihrer Materialien oder in den Dimensionen und somit in den Spezifikationen ändern. Neben dem Prozentsatz in der produzierenden Linie gibt es in der Lithium-Ionen-Batteriezzellfertigung Wiederanlaufverluste, die sich aus dem Abschalten der Linie aufgrund eines Variantenwechsels oder einer Fertigungsunterbrechung wegen eines Fehlers oder einer batchweisen Komponentenbereitstellung ergeben. Im Bereich der Kleinserie belaufen sich die Wiederanlaufverluste auf mehr als 40 % des gesamten Ausschusses.¹⁸ Daraus wird deutlich, dass jedes Anfahren in der Anlagenparametrisierung und der Einschaltreihenfolge untersucht werden muss. Damit an der existierenden Fertigungslinie möglichst wenig Veränderungen an den Maschinen und Anlagen vorgenommen werden müssen, muss die Wiedereinschaltreihenfolge optimal ausgelegt werden. Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit lässt sich folgendermaßen formulieren:

Aufbau einer Methodik zur Gestaltung des Wiederanlaufs der Lithium-Ionen-Batteriezzellproduktion

Diese Zielsetzung wird für die Umsetzung in die folgenden drei Teilziele untergliedert:

- I. Identifikation aller relevanten Qualitätsmerkmale und Stellgrößen des Gesamtprozesses,*
- II. Ausschussoptimierte Auswahl der Einschaltreihenfolge von Fertigungsfolgen beim Wiederanfahren einer Lithium-Ionen-Batteriezzellproduktion,*
- III. Gestaltung des Wiederanlaufs der Lithium-Ionen-Batteriezzellproduktion.*

Aus den ersten beiden Teilzielen wird deutlich, in welchen Schritten das Ziel erreicht werden kann. Das erste Teilziel fordert, dass die Wirkzusammenhänge zwischen den Qualitätsmerkmalen und Stellgrößen, d. h. den Prozessparametern in der Batteriezzellproduk-

¹⁸ Vgl. ebd., 2021, S. 3

tion, für den Wiederanlauf geklärt werden. Die Parametrisierung der Stellgrößen inklusive der zugehörigen Einschaltreihenfolge mit dem Ziel eines minimalen Ausschusses wird durch das zweite Teilziel verfolgt. Das dritte Teilziel schließt die finale Gestaltung und Umsetzung des Wiederanlaufs der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion ein.

1.3 Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit

In diesem Kapitel wird die vorliegende Arbeit mit ihrer Erkenntnisperspektive in eine Wissenschaftssystematik eingeordnet sowie eine Forschungsmethodologie und das damit verbundene Vorgehen beschreiben. Dabei wird die grundlegende Erkenntnisperspektive in Kapitel 1.3.1 hergeleitet und anschließend die Forschungsmethodologie an einem heuristischen Bezugsrahmen in Kapitel 1.3.2 erläutert.

1.3.1 Grundlegende Erkenntnisperspektive

Die vorliegende Arbeit muss in das Spektrum der Wissenschaften eingeordnet werden. Die grundlegende Erkenntnisperspektive soll dabei in die Wissenschaftssystematik nach P. ULRICH ET AL. und damit in das Spektrum der Wissenschaften eingeordnet werden.¹⁹ P. ULRICH ET AL. formulieren den Oberbegriff Wissenschaftstheorie, der verschiedene Disziplinen der Wissenschaft beinhaltet.²⁰ Ergebnisse wissenschaftlicher Tätigkeit werden als wissenschaftliche Erkenntnisse bezeichnet und lassen sich in Kategorien einer Wissenschaftssystematik nach Abbildung 1.1 einordnen.

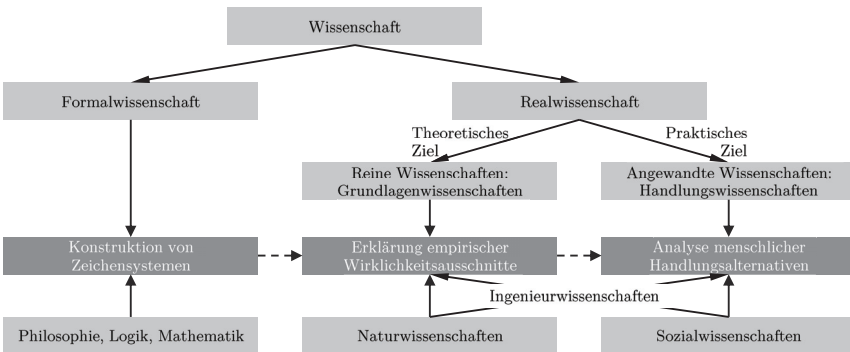


Abb. 1.1: Wissenschaftssystematik nach P. ULRICH ET AL.²¹

¹⁹ Vgl. P. Ulrich et al. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305

²⁰ Vgl. ebd., 1976, S. 305

²¹ Vgl. P. Ulrich et al. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305; Döring (Auftragsabwicklung im Werkzeugbau), 2010, S. 4

In Abbildung 1.1 wird die Aufgliederung in Formalwissenschaft und Realwissenschaft vorgenommen. Dabei befasst sich die Formalwissenschaft mit der Konstruktion von Zeichensystemen im Rahmen von Sprachen, weshalb Philosophie, Logik und Mathematik den Formalwissenschaften zugeordnet werden.²² Die Realwissenschaften untergliedern sich in die reinen und die angewandten Wissenschaften. Verfolgt die Realwissenschaft ein theoretisches Ziel, so handelt es sich um eine reine Wissenschaft, die auch als Grundlagenwissenschaft bezeichnet werden kann. Diese ist der Erklärung empirischer Wirklichkeitsausschnitte dienlich, sodass die Naturwissenschaften den Grundlagenwissenschaften zugeordnet werden. Wird in den Realwissenschaften ein praktisches Ziel verfolgt, spricht man von angewandten Wissenschaften, die auch als Handlungswissenschaften bezeichnet werden. Darin werden menschliche Handlungsalternativen analysiert, sodass Sozialwissenschaften wie die Betriebswirtschaftslehre den Handlungswissenschaften zugeordnet werden. Im technischen Bereich umfassen die Handlungswissenschaften die **Ingenieurwissenschaften**, die jedoch an der Schnittstelle zwischen den Grundlagen- und den Handlungswissenschaften positioniert sind.²³ Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit zur Identifikation von Qualitätsmerkmalen und Stellgrößen, der Auswahl der Einschaltreihenfolge und der Gestaltung des Wiederanlaufs der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion kann den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet werden.²⁴ Mittels dieser zur Betriebswirtschaftslehre analogen Zuordnung kann zur Beschreibung des Forschungsprozesses die wissenschaftstheoretische Diskussion aus der Betriebswirtschaftslehre herangezogen werden, da „die systemorientierte Betriebswirtschaftslehre [...] sich [...] als angewandte, den realen Problemstellungen nachgehende Unternehmensführungslehre, vergleichbar mit den Ingenieurwissenschaften“ versteht.²⁵ Durch die Zuordnung ist es möglich, den systemorientierten Ansatz nach H. ULRICH zu wählen, der durch seinen praktischen Bezug in ingenieurwissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Charakterisierung der Forschungsmethode herangezogen wird.²⁶

1.3.2 Forschungsmethodologie

Die Forschungsmethodologie beschreibt den Forschungsansatz zur Gewinnung von Erkenntnissen. Die vorliegende Arbeit folgt dabei wie in Kapitel 1.3.1 dargestellt dem Forschungsverständnis der angewandten Betriebswirtschaftslehre nach H. ULRICH ET AL.²⁷ Der systemorientierte Ansatz folgt der Auffassung, dass ein „[...] theoretische[s] Ziel der

²² Vgl. P. Ulrich et al. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 305

²³ Vgl. ebd., 1976, S. 305, Heimes (Auswahl von Fertigungsressourcen), 2014, S. 5

²⁴ Vgl. Kapitel 1.2

²⁵ Vgl. P. Ulrich et al. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre), 1976, S. 308

²⁶ Vgl. H. Ulrich (Systemorientierte Betriebswirtschaftslehre), 1971, S. 270; H. Ulrich et al. (Management), 1984, S. 179; Heimes (Auswahl von Fertigungsressourcen), 2014, S. 5, Döring (Auftragsabwicklung im Werkzeugbau), 2010, S. 6

²⁷ Vgl. H. Ulrich et al. (Management), 1984, S. 179