

1 Einleitung

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist das Unsicherheitsmanagement von Produktanforderungen in der HV-Batteriesystementwicklung. In diesem einleitenden Kapitel wird dazu zuerst die Ausgangssituation und Problemstellung aus dem übergeordneten Kontext für die Thematik beschrieben (vgl. Kapitel 1.1). Daraufhin wird das Ziel der Arbeit in Kapitel 1.2 formuliert. Es folgt die Beschreibung des forschungsmethodischen Vorgehens (vgl. Kapitel 1.3) und die Definition der Forschungsfragen, die der Arbeit zugrunde liegen (vgl. Kapitel 1.4). Schließlich folgt in Kapitel 1.5 die Erläuterung des Aufbaus der Arbeit.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Automobilindustrie unterliegt einem dynamischen und disruptiven Wandel. Eine der Kernherausforderungen für die Automobilhersteller ist dabei die Umstellung von konventionellen auf elektrische Antriebe. Die Auslöser für den Wandel sind vielfältig. Die Hauptursache sind staatliche und transnationale Regulationen für CO₂-Obergrenzen als Reaktion auf den Klimawandel, die sukzessive reduziert werden.¹ Weitere Ursachen für diese Zäsur sind u.a. die Ressourcenknappheit und ein zunehmendes Umweltbewusstsein bei den Kunden. Für die Einhaltung von CO₂-Regularien müssen die Hersteller von Autos in zukünftig eine Vielzahl an neuen Modellen mit elektrischen Antrieben entwickeln (HEV, PHEV, BEV).² Dadurch etablieren sich zum einen neue Marktteilnehmer (z.B. Tesla), zum anderen reagieren Automotive OEMs durch massive Investitionen in die Entwicklung neuer Fahrzeugderivate.³ Das HV-Batteriesystem spielt dabei eine Schlüsselrolle, da die Antriebseigenschaften wesentlich durch das Batteriesystem festgelegt werden und es demnach eine der Kernkomponenten im elektrischen Antriebsstrang ist.⁴

In Konsequenz fließt ein großer Teil der Investitionen in die Entwicklung von HV-Batteriesystemen. Allerdings werden Kunden nicht akzeptieren, die Entwicklungskosten für das HV-Batteriesystem und das Gesamtfahrzeug durch erhöhte Fahrzeugpreise allein zu tragen.⁵ Daher ist es wichtig, Wege für eine effiziente Produktentwicklung zu finden. Moderne Entwicklungsprozesse sind durch hohe Komplexität

¹ Vgl. Schott et al. (2015) – The market for battery electric vehicles, S. 42

² Vgl. Zhou et al. (2017) – Advances in battery, S. 355; Herrmann et al. (2015) – Introduction to hybrid electric vehicles, S. 3f.; Burda (2015) – Auslegung von Energiespeichersystemen, S. 1; Lamp (2013) – Anforderungen an Batterien, S. 393f.

³ Vgl. Eric Felber (2016) – Together Strategie 2025, S. 2f.; Thaler et al. (2014) – Automotive Battery Technology, S. V

⁴ Vgl. Lamp (2013) – Anforderungen an Batterien, S. 393

⁵ Vgl. Dudenhöffer (2015) – Akzeptanz von Elektroautos, S. 320

und Arbeitsteilung gekennzeichnet. Außerdem sind viele unterschiedliche Disziplinen notwendig, um die HV-Batterie und das Gesamtfahrzeug in allen Funktionalitäten zu entwickeln. Aus diesen Gründen laufen Entwicklungsprozesse weitgehend in parallelisierten und verteilten Prozessen ab.⁶ Die Produktentwicklung macht selbst zwar nur einen Anteil von etwa 10% der Produktkosten aus, doch werden durch sie ca. 70% der später anfallenden Herstellkosten festgelegt.⁷ Durch die HV-Batterieentwicklung können inkl. Prototypen und Tests Kosten von mehr als 50 Millionen Euro für die Entwicklung und Industrialisierung entstehen.⁸ Damit besitzt die Produktentwicklung eine hohe Kostenverantwortung bei geringer Kostenverursachung, wobei die Produktausprägungen auf Basis von unsicheren Informationen zu einem frühen Zeitpunkt festgelegt werden.⁹

Die Unsicherheiten entstehen z.B. durch Unkenntnis über Kundenpräferenzen (marktseitig) oder die Umsetzbarkeit und den tatsächlichen Aufwand einer Innovation (technisch).¹⁰ Die Ursache dafür liegt darin, dass die Entwicklung von HV-Batteriesystemen durch einen hohen Innovationsgrad mit Technologiesprüngen sowie fehlende Standards gekennzeichnet ist (vgl. Kapitel 2.2.3). Aufgrund begrenzter Datenverfügbarkeit in frühen Phasen der Entwicklung müssen Annahmen bzgl. der Produkthanforderungen getroffen werden, die mit einer signifikanten Unsicherheit behaftet sind.¹¹ Ohne ein geeignetes Management sind solche Anforderungsrisiken ein häufiger Grund für Projektverzug.¹² Dabei bilden nicht geplante Iterationsschleifen und nicht berücksichtigte Änderungsauswirkungen den konkreten Auslöser dafür, dass späte Änderungen in der Entwicklung notwendig werden.¹³ Diese Änderungen können dazu führen, dass die Entwicklung maßgeblich verzögert wird, wodurch zeitliche und monetäre Vorgaben nicht eingehalten werden können.¹⁴ Die Konsequenz sind signifikante Umsatz- und Gewinnausfälle, wobei die zeitliche Verzögerung eines Entwicklungsprojekts um sechs Monate Gewinneinbußen von bis zu einem Drittel über die gesamte Produktlebensdauer bedeuten kann.¹⁵

Für die erfolgreiche Entwicklung von HV-Batteriesystemen müssen Ansätze gefunden werden, mit denen Unsicherheiten und ihre Ursachen in der Entwicklung gehandhabt werden können.¹⁶ Dazu identifizieren KAMPKER ET AL. in einer Studie neben dem Erfahrungsaufbau auch schnittstellenübergreifende Prozesse und die Anwendung entsprechender methodischer Ansätze in der Produktentwicklung.¹⁷

1.2 Ziel der Arbeit

Auf Basis der ausgeführten Ausgangssituation und Problemstellung lässt sich die übergeordnete Zielsetzung der Arbeit definieren. Die Arbeit verfolgt primär das Ziel, einen Beitrag für eine effektive und effiziente Entwicklung von HV-Batteriesystemen für Elektrofahrzeuge zu leisten. Die Ausgangssituation zeigt, dass die Entwicklungskosten für Batteriesysteme sehr hoch sind und Unsicherheiten bei

⁶ Vgl. Reitmeier et al. (2015) – Consideration of Uncertainties, S. 137

⁷ Vgl. Ehrlenspiel et al. (2014) – Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, S. 15

⁸ Vgl. Kampker et al. (2018) – Approach towards uncertainties, S. 200

⁹ Vgl. Merget (2004) – Kostenoptimierung, S. 6

¹⁰ Vgl. Proff et al. (2014) – Management des Übergangs in die Elektromobilität, S. 12

¹¹ Vgl. Reitmeier et al. (2015) – Consideration of Uncertainties, S. 137

¹² Vgl. Ebert (2013) – Risikomanagement kompakt, S. 13

¹³ Vgl. Reitmeier et al. (2015) – Consideration of Uncertainties, S. 137

¹⁴ Vgl. Hab et al. (2017) – Projektmanagement in der Automobilindustrie, S. 182

¹⁵ Vgl. Vajna (2014) – Integrated Design Engineering, S. 33

¹⁶ Vgl. Weck et al. (2007) – Classification of uncertainty, S. 12

¹⁷ Vgl. Kampker et al. (2019) – Evaluation of optimization potentials, S. 17

Anforderungen an das Batteriesystem dazu führen, dass die Entwicklungszeit und -kosten nicht eingehalten werden. Aus diesem Grund wird eine Methodik entwickelt, die der Problemstellung gerecht wird und sowohl die besonderen Eigenschaften des HV-Batteriesystems berücksichtigt als auch die interdisziplinäre Entwicklungsumgebung. Der Kernbaustein der Lösung ist die Einführung eines Unsicherheitsmanagements auf Basis einer konsequenten Integration der Prozesse des Requirements Engineering (RE) und Requirements Management (RM)¹⁸, welches Anforderungen in der frühen Phase der Entwicklung bereits analysiert und ggf. Gegenmaßnahmen einleiten kann. Die Zielsetzung lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der Entwicklung einer Methodik zum Unsicherheitsmanagement von Produktanforderungen in der HV-Batteriesystementwicklung.

Die zu entwickelnde Methodik unterstützt das Anforderungs-, Änderungs- und Risikomanagement im Produktentstehungsprozess insbesondere dann, wenn im Lastenheft aufgrund Informationsverfügbarkeit Annahmen getroffen werden müssen. Die Methodik richtet sich an alle Entwicklungsbeteiligten und erhöht die Transparenz sowie das abteilungsübergreifende Verständnis, welches im Bereich der Entwicklung von HV-Batteriesystemen aufgrund der mechanischen, elektrischen, thermischen und elektrochemischen Domänen besonders nützlich sind (vgl. Kapitel 2.1.5). Dadurch wird sichergestellt, dass zeitliche und kostentechnische Ziele der Produktentwicklung eingehalten werden. Das methodische Vorgehen wird anhand der HV-Batteriesystementwicklung erarbeitet, ist jedoch allgemeingültig und daher auf Produktentwicklungen im Allgemeinen übertragbar.

Für die Gesamtzielsetzung können folgende abgeleitete Teilziele formuliert werden:

- (1) Entwicklung eines Beschreibungsmodells für die Anforderungen und die Produktarchitektur des Batteriesystems
- (2) Identifikation der Unsicherheiten in der Entwicklung von HV-Batteriesystemen und Analyse der Ursachen in Bezug auf Produktanforderungen
- (3) Kenntnis über zukünftige Auswirkungen und Risiken der Unsicherheiten von Produktanforderungen
- (4) Vorbereitung einer wirtschaftlichen Entscheidung über den Umgang mit den identifizierten Unsicherheiten

¹⁸ Nach Kapitel 2.3.3 gehören das Anforderungsmanagement (RE), das Änderungs- und Risikomanagement (beide RM) zu den Prozessen.

1.3 Forschungskonzeption

Das Forschungsparadigma der vorliegenden Arbeit muss zunächst vorgestellt werden, um das Ergebnis der vorliegenden Arbeit nachvollziehbar darzustellen und objektiv bewertbar zu machen. Dies erfolgt durch die Beschreibung des wissenschaftstheoretischen Bezugsrahmens mit der grundlegenden Erkenntnisperspektive und dem forschungsmethodischen Vorgehen.¹⁹

1.3.1 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen

Für die Erläuterung des wissenschaftstheoretischen Bezugsrahmens mit der grundlegenden Erkenntnisperspektive bedarf es einer wissenschaftssystematischen Einordnung. Nach ULRICH und HILL geschieht die systematische Aufgliederung des Wissenschaftsbegriffs nach den Kategorien der Formal- und der Realwissenschaften (vgl. Abbildung 1-1).

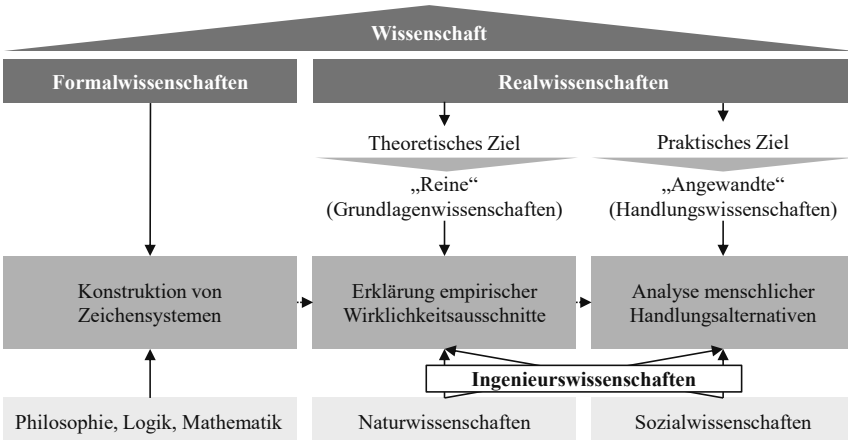


Abbildung 1-1 Wissenschaftssystematik nach ULRICH und HILL²⁰

Während sich die Formalwissenschaften der Gestaltung von Zeichensystemen, einschließlich den Regeln zu ihrer Verwendung, widmen und die Disziplinen der Philosophie, (Wissenschafts-)Logik und Mathematik prägen, sind die Realwissenschaften auf die Beschreibung, Erklärung und Gestaltung von empirisch wahrnehmbaren Wirklichkeitsausschnitten ausgerichtet. Dadurch müssen die formalen Wissenschaften durch den fehlenden Realitätsbezug lediglich auf ihre logische Wahrheit überprüft werden können. Demgegenüber müssen realwissenschaftliche Aussagen und Erkenntnisse neben der logischen Widerspruchsfreiheit auch der Überprüfung durch eine Faktenanalyse standhalten. Bei den Realwissenschaften wird in Abbildung 1-1 zwischen den reinen und den angewandten Wissenschaften unterschieden. Die reinen Wissenschaften (Grundlagenwissenschaften) haben ihren Fokus auf der Bildung von Erklärungsmodellen, mit denen empirische Wirklichkeitsausschnitte erklärt werden, und finden meist in den Naturwissenschaften Anwendung. Bei den angewandten Handlungswissenschaften z.B. in der Soziologie sowie Betriebswirtschaftslehre werden Entscheidungsmodelle bzw. -prozesse entwickelt, um

¹⁹ Vgl. Binder et al. (1996) – Technologiepotentiale, S. 3f.

²⁰ In Anlehnung an Ulrich et al. (1976) – Grundlagen (Teil I), S. 305

soziale und technische Systeme zu gestalten.²¹ Die vorliegende Arbeit ist den Ingenieurwissenschaften zuzuordnen, welche, je nach Ausrichtung des expliziten Forschungsthemas, den reinen Grundlagenwissenschaften oder den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet werden können. Daher liegen ingenieurwissenschaftliche Forschungsthemen an der Schnittstelle zu beiden Ausprägungen. Fragestellungen zu Ziel-Mittel- bzw. Input-Output-Beziehungen stützen sich zwar auf ein realanalytisches Fundament der Grundlagenwissenschaften, welches jedoch dem primären Forschungsziel der Entwicklung von praxisrelevanten Entscheidungsmodellen untergeordnet ist und damit den Handlungswissenschaften zugeordnet werden können.²² Daher befindet sich die vorliegende Arbeit mit dem Ziel, eine Methodik für das Unsicherheitsmanagement von Anforderungen in der Batteriesystementwicklung zu entwickeln, im Feld der angewandten Handlungswissenschaften.

Der Erkenntnisgewinn und die Darstellung der gewonnenen Ergebnisse folgt dem systemtheoretischen Ansatz nach ULRICH. Dieser interdisziplinäre Ansatz, der u.a. volkswirtschaftliches, technologisches, soziologisches und psychologisches Wissen in die Lösung von realen Problemstellungen einbezieht, stellt die Unternehmung als sozio-technisches System mit wirtschaftlicher Zielsetzung in den Mittelpunkt und schließt somit die Ingenieurwissenschaften mit ein.²³ Der systemtheoretische Ansatz folgt der Erkenntnis, dass sozio-technische Systeme einer Dynamik, Offenheit, Komplexität und Zweckorientierung unterliegen. Der Ansatz verfolgt die Entwicklung von faktisch beherrschbaren Systemen, ohne die Komplexität des Gestaltungsbereichs vollständig analytisch erklären zu können.²⁴

1.3.2 Forschungsmethodisches Vorgehen

Durch die Einordnung in den systemtheoretischen Ansatz, wird auch das forschungsmethodologische Vorgehen festgelegt, für das der Praxiszusammenhang konstitutiv ist. Die bestehende Realität bildet hierbei nur den Ausgangspunkt, anhand dessen mögliche zukünftige Realitäten untersucht werden.²⁵ Die vorliegende Arbeit orientiert sich an der explorativen Forschung, wie sie bei KUBICEK und TOMCZAK beschrieben ist (vgl. Abbildung 1-2). Im Mittelpunkt der forschersichen Tätigkeit steht hierbei die Gewinnung neuer Hypothesen.²⁶ Nach KUBICEK ist explorative Forschung ein Lernprozess, „in dem vor allem näher zu untersuchende Probleme auf dem Hintergrund von Erfahrungswissen theoretisch gefasst und präziser definiert werden“.²⁷

„Im Mittelpunkt eines solchen Lernprozesses steht ein heuristischer Bezugsrahmen bzw. ein provisorisches Erklärungsmodell, das den Forschungsprozess steuert und Orientierungshilfen für die Lösung praktischer Probleme liefern soll“.²⁸ Der Bezugsrahmen wird ausgehend vom theoretischen Verständnis durch Fragen an die Realität, aus Datensammlung gewonnenem Erfahrungswissen und der Übersetzung in präzisierte theoretische Aussagen erweitert und detailliert.²⁹ Durch das gesteigerte Verständnis über das untersuchte Problem können Hypothesen abgeleitet und geprüft werden.³⁰

²¹ Vgl. Ulrich et al. (1976) – Grundlagen (Teil I), S. 305f.

²² Vgl. Ulrich et al. (1976) – Grundlagen (Teil II), S. 347

²³ Vgl. Ulrich et al. (1976) – Grundlagen (Teil I), S. 308; Ulrich (1984) – Management, S. 35f.

²⁴ Vgl. Ulrich (1984) – Management, S. 36f.

²⁵ Vgl. Ulrich et al. (2001) – Systemorientiertes Management, S. 172; Ulrich (1984) – Management, S. 172ff.

²⁶ Vgl. Tomczak (1992) – Forschungsmethoden, S. 83

²⁷ Vgl. Kubicek (1977) – Heuristische Bezugsrahmen, S. 14

²⁸ Vgl. Tomczak (1992) – Forschungsmethoden, S. 84

²⁹ Vgl. Kubicek (1977) – Heuristische Bezugsrahmen, S. 14

³⁰ Vgl. Tomczak (1992) – Forschungsmethoden, S. 84