

1 Einleitung

Ausgehend von der Beschreibung der Ausgangssituation und Problemstellung in Kapitel 1.1 werden im weiteren Verlauf die Zielsetzung der Arbeit sowie die handlungsleitenden Forschungsfragen formuliert (Kapitel 1.2). Im Anschluss wird in Kapitel 1.3 die zugrunde liegende Forschungskonzeption der Arbeit erläutert. Das Einleitungskapitel schließt mit einem Überblick über den Aufbau der vorliegenden Dissertation in Kapitel 1.4.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Automobilindustrie unterliegt derzeit einer Reihe weitreichender Veränderungen. Neben einem anhaltendem Konzentrationsprozess auf der Herstellerseite¹ ist der Automobilmarkt vorrangig durch zwei Trends gekennzeichnet: Zum einen führt die Anpassung der Produkte an die speziellen Bedürfnisse der Kunden zu einer hohen Variantenvielfalt.² Während beispielsweise bei BMW in den 1970er Jahren sechs verschiedene Fahrzeugmodelle produziert wurden, sind es heutzutage über vierzig.³ Die Vielfalt ergibt sich durch unterschiedliche Karosserie- und Farbvarianten sowie durch eine Bauteil- bzw. Technikvarianz. Treiber sind vor allem jene Bauteile, die eine große Anzahl unterschiedlicher Ausprägungen, etwa Farbe, Material oder Design aufweisen.⁴ Der Trend wird zudem durch den kontinuierlich steigenden Anteil alternativ angetriebener sowie einer zunehmenden Vernetzung und Autonomisierung der Fahrzeuge verstärkt.⁵ Zum anderen zeichnet sich der Automobilmarkt durch einen immer schneller werdenden Entwicklungsfortschritt sowie kürzere Produktlebenszyklen aus. So hat sich die durchschnittliche Dauer des Produktlebenszyklus⁶ eines Fahrzeugs von ehemals neun auf heutzutage fünf bis sieben Jahre verkürzt.⁶ Da der Gesamtabsatz von Neufahrzeugen in den letzten Jahren weitgehend konstant geblieben ist,⁷ folgt hieraus, dass die Varianten in immer kleineren Stückzahlen gefertigt werden.

Aufgrund der geringeren Stückzahlen je Fahrzeugmodell bei gleichzeitig steigenden Aufwänden für Entwicklung und Forschung erhöht sich der Kostendruck je produzierter Variante.⁸ Gleichzeitig sinken die Skaleneffekte in der Produktion durch eine zunehmende Kannibalisierung zwischen den Fahrzeugvarianten und die Kapitalkosten steigen, da je Variante Betriebsmittel und Bestände gebunden werden.⁹ Der automobile Karosseriebau ist mit einer Eigenfertigungstiefe von häufig 80-100 %¹⁰ sowie hoher

¹ Vgl. Wallentowitz et al., Strategien in der Automobilindustrie (2009), S.25

² Vgl. Schuh, Schmidt, Produktionsmanagement (2014), S.13

³ Vgl. Lohse, Numerische Schwingfestigkeitsanalyse von Widerstandspunktschweißungen (2018), S.1

⁴ Vgl. Klug, Logistikmanagement in der Automobilindustrie (2018), S.53

⁵ Vgl. Kampker et al., Elektromobilität (2018), S.15; McKinsey&Company, Automotive revolution (2016), S.4

⁶ Vgl. Oliver Wyman, Automotive Manager (2015), S.35; Wemhöner, Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau (2005), S.2

⁷ Vgl. Statista, Trends in der Automobilindustrie (2018), S.9

⁸ Vgl. Schuh, Innovationsmanagement (2012), S.2f.

⁹ Vgl. Schuh, Riesener, Produktkomplexität managen (2017), S.30

¹⁰ Vgl. Kiefer, Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau (2007), S.7

Anfangsinvestitionen von bis zu mittleren dreistelligen Millionensummen für ein neues Fahrzeugmodell¹¹ besonders von dieser Entwicklung betroffen. Um die Stückkosten möglichst gering zu halten, versuchen Automobilhersteller die Investitionen über flexible Produktionssysteme auf eine größere Anzahl an produzierten Einheiten aufzuteilen. Wegen des hohen Automatisierungsgrades von über 90 %¹² sowie der Nutzung komplexer Vorrichtungssysteme¹³ stellen Karosseriebauten heutzutage allerdings das unflexibelste¹⁴ und kostenintensivste Gewerk¹⁵ in der Automobilproduktion dar.

Mit bis zu 40 % entfällt dabei ein wesentlicher Anteil der Investitionskosten einer Karosseriebaustation auf die Vorrichtungssysteme.¹⁶ Zudem sind diese im Gegensatz zu anderen Betriebsmitteln wie Industrierobotern und Schweißzangen häufig typgebunden und auf die Geometrie einzelner Bauteile ausgelegt.¹⁷ Folglich erfordern Änderungen in der Bauteilgeometrie, beispielsweise bei einem Fahrzeugmodellwechsel oder der Integration eines neuen Modells die Entwicklung neuer Vorrichtungen. Bestehende Ansätze zur Flexibilisierung wie robotergeführte Vorrichtungen oder konturangepassungsfähige Vorrichtungselemente werden in der Praxis aufgrund hoher Investitionen bzw. Rekonfigurationsaufwände sowie eines eingeschränkten Anwendungsspektrums an Bauteilen selten verfolgt. Stattdessen kommen häufig Vorrichtungswechselsysteme zum Einsatz, bei denen für jede produzierte Fahrzeugvariante dedizierte Vorrichtungen vorgehalten werden.¹⁸ Der damit verbundene Kapitalaufwand in die Vorrichtungssysteme und benötigten Flächen ist unter Berücksichtigung der steigenden Variantenvielfalt bei sinkenden Stückzahlen pro Variante in Zukunft nicht tragfähig.

In den letzten Jahren sind daher Konzepte entstanden, um die Anzahl benötigter Vorrichtungssysteme durch eine gezielte Integration vorrichtungsbezogener Funktionen wie dem Bestimmen und Spannen in die Karosseriebauteile zu reduzieren.¹⁹ Diese Integration von Vorrichtungsfunktionen durch entsprechende Geometriemeerkmale in den Bauteilkontaktflächen wurde in der wissenschaftlichen Literatur zwar bereits in einigen Ansätzen diskutiert, doch sind diese entweder aufgrund mangelnder Praxistauglichkeit von rein akademischem Interesse, beschränken sich auf Montageanwendungen und lassen wichtige Einflussgrößen im Karosseriebau wie Toleranzanforderungen und Fügeprozesskräfte unberücksichtigt oder erweisen sich als ungeeignet, da sie keine geeignete Systematik zur anwendungsspezifischen Realisierung der bauteilintegrierten Vorrichtungsfunktionen im Karosseriebau aufzeigen.²⁰ Es fehlen folglich praxisorientierte Methoden, die den Anwender mit einer systematischen Vorgehensweise und unter angemessenem Aufwand bei der Bauteilintegration von Vorrichtungsfunktionen im Karosseriebau unterstützen, mit dem Ziel Flexibilitäts-, Kosten- und Zeitpotenziale durch eine Reduzierung der benötigten Vorrichtungssysteme zu heben.

¹¹ Als Faustregel kann mit Investitionskosten von ca. 1 Mio. Euro pro pro Schicht produziertem Fahrzeug gerechnet werden, wobei die Kosten annähernd proportional zur Kapazität des Karosseriebaus sind; vgl. Fleiner, Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse von Rohbaualternativen (2003), S.13

¹² Vgl. Wemhöner, Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau (2005), S.25

¹³ Vgl. Fritzsche et al., Product flexible car body fixtures with position-dependent load balancing (2018), S.452

¹⁴ Vgl. McKinsey&Company, Tomorrow's Automotive Production (2005), S.6

¹⁵ Vgl. Bichler et al., Challenges for car body shops of electric sports cars (2018), S.508

¹⁶ Vgl. Meichsner, Migrationskonzept für einen modell- und variantenflexiblen Automobilkarosseriebau (2007), S.41

¹⁷ Vgl. Walla, Standard- und Modulbasierte digitale Rohbauprozesskette (2015), S.95; Pott, Dietz, Industrielle Robotersysteme (2019), S.137

¹⁸ Vgl. Abulawi, Beherrschung der Komplexität von 3D-CAD-Modellen (2012), S.12ff.

¹⁹ Vgl. Kampker et al., Vorrichtungloses Laserschweißen im Karosseriebau (2017), S.77ff.; Schlather et al., Toward a feature-based approach for fixtureless build-up of sheet metal structures (2016), S.97ff.

²⁰ Vgl. Hansen et al., Methodology for flexibility in the future automobile body shop (2018), S.997ff.

1.2 Ziel der Arbeit

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Bauteilintegration von Vorrichtungsfunktionen im Karosseriebau methodisch zu unterstützen. Um die Praxistauglichkeit des Vorgehens sicherzustellen, wird der Fokus dabei auf solche Bauteile bzw. Baugruppen der Fahrzeugkarosserie gelegt, die ein hohes Potenzial hinsichtlich der Anwendung bauteilintegrierter Vorrichtungsfunktionen aufweisen. Des Weiteren werden in die Kontaktflächen der Bauteile zu integrierende Geometriemerkmale identifiziert, welche die Funktionen einer konventionellen Vorrichtung im Karosseriebau, etwa das Bestimmen und Spannen, übernehmen. Dabei kommt der Beschreibung und Abbildung der Wechselwirkungen zwischen den Geometriemerkmale und den zu übernehmenden Vorrichtungsfunktionen eine besondere Bedeutung zu, um letztlich vorrichtungsfunktionserfüllende Geometriemerkmale systematisch ermitteln zu können. Zur Realisierung der beschriebenen Zielsetzung werden im Rahmen der Erarbeitung der detaillierten Methodik zur Bauteilintegration von Vorrichtungsfunktionen im Karosseriebau geeignete Lösungsansätze ermittelt und auf die vorliegende Fragestellung übertragen.

Somit kann das Ziel der Arbeit wie folgt definiert werden:

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung von bauteilintegrierten Geometriemerkmale zur Übernahme von Vorrichtungsfunktionen im Karosseriebau, sogenannter bauteilintegrierter Vorrichtungsfunktionen.

Basierend auf dieser zentralen Zielsetzung lassen sich folgende Teilziele ableiten, die jeweils relevante Themenbereiche adressieren und deren Bearbeitung einen Beitrag zur Erreichung des übergeordneten Ziels leistet:

- Erarbeitung eines Kennzahlensystems zur Identifikation von Karosseriebauteilen bzw. -baugruppen mit einem hohem Potenzial zur Realisierung des Konzeptes bauteilintegrierter Vorrichtungsfunktionen
- Beschreibung und Formalisierung der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Funktionen einer Karosseriebauvorrichtung sowie den funktionsübernehmenden bauteilintegrierten Geometriemerkmale
- Erarbeitung einer systematischen Vorgehensweise zur anwendungsfallspezifischen Identifikation bestmöglicher vorrichtungsfunktionserfüllender Geometriemerkmale

Zur Eingrenzung des Objektbereichs und zur Ausrichtung des Forschungsprozesses schlägt KUBICEK die Formulierung grundlegender Forschungsfragen vor.²¹ Gemäß dieser Forschungsmethodologie und angesichts der formulierten Problemstellung und Zielsetzung orientiert sich das Vorgehen in dieser Arbeit an folgender handlungsleitender Forschungsfrage:

Wie lassen sich anwendungsfallspezifische bauteilintegrierte Geometriemerkmale zur Übernahme von Vorrichtungsfunktionen im Karosseriebau systematisch ermitteln?

²¹ Vgl. Kubicek, Heuristische Bezugsrahmen (1977), S.14

1.3 Forschungskonzeption

Nach BINDER und KANTOWSKY basiert der Prozess wissenschaftlicher Forschung auf einer Erkenntnisperspektive, anhand derer der Forschende mithilfe einer methodischen Vorgehensweise neue Ergebnisse erarbeitet.²² Zur Erläuterung der grundlegenden Erkenntnisperspektive erfolgt dabei zunächst die Einordnung der Arbeit in die Wissenschaftssystematik nach ULRICH und HILL.²³ Demnach kann der Bereich der Wissenschaften in die Formal- und Realwissenschaften gegliedert werden (vgl. Abbildung 1.1).

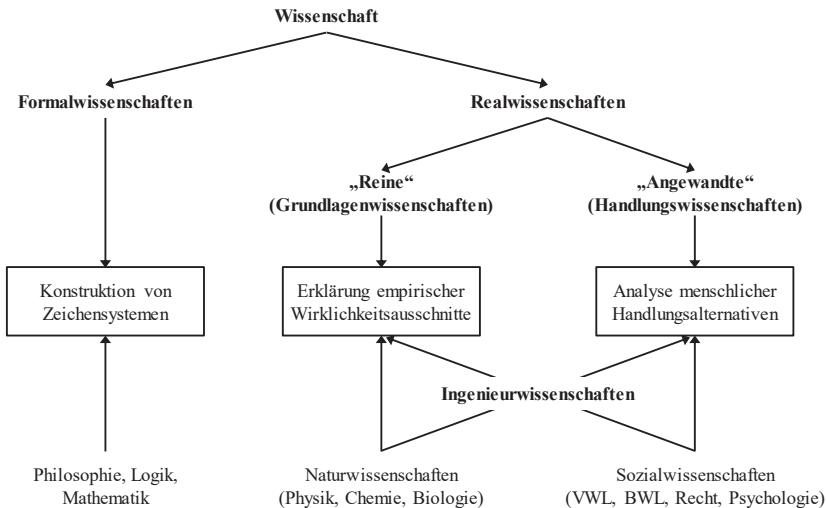


Abbildung 1.1: Wissenschaftssystematik²⁴

Formalwissenschaften zielen auf die Konstruktion von Zeichensystemen sowie die Definition der Verwendungsregeln dieser Zeichen ab. Beispiele dafür sind die Logik, die Mathematik und die Philosophie. Formalwissenschaften beziehen sich dabei auf abstrakte Objekte und beschränken sich bei der Prüfung der Richtigkeit von Aussagen auf die Suche nach Widersprüchen. Die Realwissenschaften wiederum beschreiben, erklären und gestalten Wirklichkeitsausschnitte. Die Erläuterung empirischer Ausschnitte der Wirklichkeit wird dabei im Rahmen der Grundlagenwissenschaften betrachtet, während die Handlungswissenschaften die Analyse menschlicher Handlungsalternativen fokussiert.²⁵ Die Ingenieurwissenschaften positionieren sich im Spannungsfeld der Grundlagen- sowie der angewandten Handlungswissenschaften. Im Mittelpunkt der dieser Arbeit zugrundeliegenden Fragestellungen stehen praktisch handelnde Personen im Prozess der Produkt- bzw. Prozessentwicklung. Der direkte Praxiszusammenhang ermöglicht somit eine Einordnung der Arbeit im Bereich der angewandten Handlungswissenschaften, da diese vorrangig auf spezifische und praktische Zielstellungen ausgerichtet sind.²⁶ Vielmehr als

²² Vgl. Binder, Kantowsky, Technologiepotentiale (1996), S.3f.

²³ Vgl. Ulrich, Hill, Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (1976), S.305

²⁴ I.A.a. Ulrich, Hill, Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (1976), S.305

²⁵ Vgl. Ulrich, Hill, Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (1976), S.305

²⁶ Vgl. Schanz, Wissenschaftsprogramme der Betriebswirtschaftslehre (2000), S.111f.

der Zuwachs an Erkenntnissicherung wird dabei der Gewinn an Verständnis zur Beherrschung der Realität als Maßstab für den wissenschaftlichen Fortschritt fokussiert. Dieser beruht somit vorrangig auf kontraintuitiven Erkenntnisgewinnen, auf der Analyse unbeabsichtigter Wirkungen planvoller Handlungen sowie auf dem Aufzeigen von Perspektiven.²⁷

Die wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit wird im Folgenden um das forschungsmethodische Vorgehen zur Gewinnung der Erkenntnisse ergänzt. Nach POPPER beginnt die Erkenntnisgewinnung „nicht mit der Wahrnehmung, Beobachtung oder Sammlung von Daten und Tatsachen, sondern mit Problemen“²⁸. Im Sinne der Handlungswissenschaften steht der praktische Nutzen der in vorliegender Arbeit erarbeiteten Erkenntnisse im Fokus und es wird ein pragmatisches Wissenschaftsziel verfolgt. Als Probleme werden entsprechend die Fragestellungen der praktisch handelnden Personen verstanden, für deren Lösung kein ausreichendes Wissen vorliegt. In Anbetracht dessen erscheint eine Anwendung des empirischen Forschungsvorgehens mit seinen vorrangig deduktiv-nomologischen Erklärungsansätzen und einer formal verfahrenstechnischen Orientierung dabei als hinderlich.²⁹ Vielmehr eignet sich die Anlehnung an den in den Handlungswissenschaften entwickelten explorativen Forschungsprozess nach KUBICEK (vgl. Abbildung 1.2).

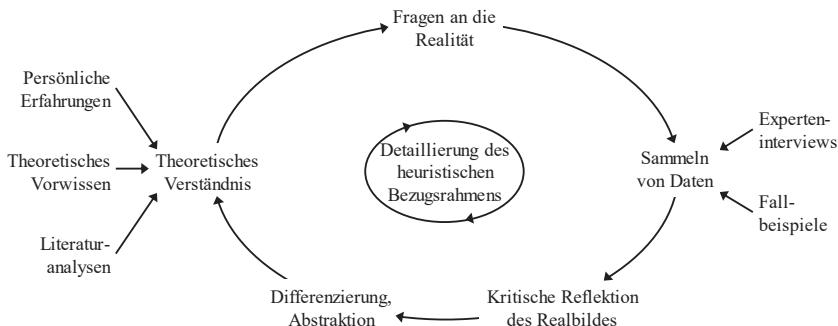


Abbildung 1.2: Forschungsmethodisches Vorgehen³⁰

Dieser explorative Forschungszyklus kann als ein iterativer Lernprozess verstanden werden, der durch Fragen an die Realität die Entwicklung wissenschaftlicher Aussagesysteme zur Schaffung neuer Realitäten verfolgt.³¹ Die Verarbeitung der durch Befragung der Realität gewonnenen Erkenntnisse erlaubt es, zu neuen Fragen und folglich zu neuem Wissen über die Realität zu gelangen. Der Lernprozess wird dabei von theoretischen Absichten geleitet und gründet auf systematischem Erfahrungswissen.³² Die Basis des explorativen Forschungszyklus bildet ein heuristischer Bezugsrahmen, der zu Beginn des For-

²⁷ Vgl. Kubicek, Heuristische Bezugsrahmen (1977), S.7; Bachmann, Verstärkungseffekte in Produktionssystemen (2013), S.7
²⁸ Vgl. Popper, Die Logik der Sozialwissenschaft (1978), S.104

²⁹ Vgl. Ulrich et al., Management (1984), S.172ff.

³⁰ I.A.a. Kubicek, Heuristische Bezugsrahmen (1977), S.14; Tomczak, Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft (1992), S.83f.; Zohm, Management von Diskontinuität (2004), S.9

³¹ Vgl. Kromrey, Empirische Sozialforschung (2009), S.20f.

³² Vgl. Kubicek, Heuristischer Bezugsrahmen (1977), S.13f.; Schanz, Geschichte der Betriebswirtschaftslehre (2014), S.23