

1 Einleitung

Im vorliegenden Kapitel werden zunächst die Ausgangssituation und Problemstellung der Arbeit (Kapitel 1.1) erörtert. Daraufhin wird die Zielsetzung der Arbeit (Kapitel 1.2) vorgestellt und die Forschungsfrage (Kapitel 1.3) wird mit der Aufteilung in Unterforschungsfragen aufgestellt. Im Weiteren werden die wissenschaftstheoretische Einordnung (Kapitel 1.4) vorgenommen sowie der Aufbau der Arbeit (Kapitel 1.5) beschrieben.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Zunehmendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung sowie staatliche Förderprogramme und eine strengere Gesetzgebung führen weltweit zu einer wachsenden Nachfrage nach elektrisch betriebenen Fahrzeugen¹. Branchenexperten prognostizieren hierbei eine Stückzahl weit über dem Volumen klassischer Nischenmärkte. Jedoch ist das tatsächliche Eintreffen dieser Prognosen von vielen Einflussfaktoren abhängig². Durch verschiedene, oftmals wechselnde Subventionen, unterschiedlich gewichtete Berichterstattungen in den Medien und vergleichsweise hohe Preise für Elektrofahrzeuge ist hier ein sehr volatiler Markt entstanden³. Diese Volatilität zeigt sich auch in Prognosen der zukünftigen Entwicklung dieses Marktes. Betrachtet man verschiedene Studien zum Thema Elektromobilität in der Zukunft, so schwanken die Vorhersagen für verkaufte Fahrzeuge sehr stark (s. Abbildung 1-1)⁴.

Die Unsicherheit bezüglich der zukünftig nachgefragten und damit auch zu fertigenden Stückzahlen stellt eine immense Herausforderung für die Planung und Auslegung von Produktionssystemen dar⁵. Im Vergleich zur etablierten Fertigung von Verbrennungsmotoren geht mit frequentierenden Produktänderungen der elektrischen Antriebe eine unreifere Produktionstechnologie einher.⁶

¹ Vgl. Strathmann, T. (Disruptive Innovationen in der Automobilindustrie), 2019, S. 21-24.

² Vgl. Kampker, A. (Elektromobilproduktion), 2014, S. 1.

³ Vgl. Greiner, O./Deeg, M. et al. (Fakten-Check Elektromobilität), 2017, 3f.

⁴ Vgl. Kampker, A. (Elektromobilproduktion), 2014, S. 10.

⁵ Vgl. Reinhart, G./Zäh, M. F. (Flexibilität und Wandlungsfähigkeit), 2008, S. 657.

⁶ Vgl. Lanza, G./Sauer, A. et al. (Planung einer wandlungsfähigen Batteriemontage), 2013, S. 281.

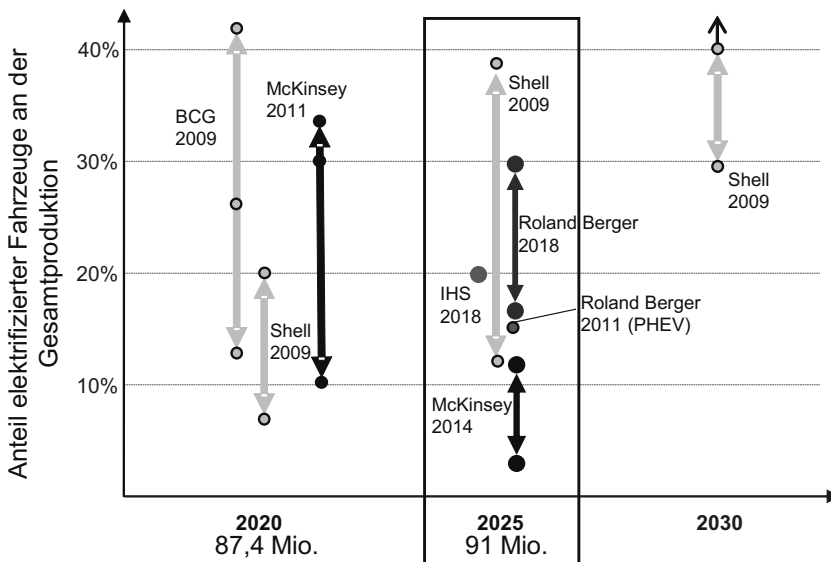


Abbildung 1-1: Nachfrageprognosen elektrifizierter Automobile⁷

Somit ist das Produktionssystem nicht mehr rein auf die Produktion hochqualitativer Produkte zu einem möglichst geringen Preis auszulegen, sondern bedarf ebenso einer Adaptionfähigkeit, um auf Änderungen am Markt und Trends reagieren zu können⁸ (s. Abbildung 1-2). Ein adaptives Produktionssystem muss sowohl über eine Flexibilität zur Bewältigung von Stückzahlschwankungen als auch über eine Reaktionsfähigkeit zur kostengünstigen Anpassung verfügen⁹. Aufgrund dessen versuchen Unternehmen ihre Produktionssysteme wandlungsfähig zu gestalten, wofür jedoch tiefgreifende strukturelle Veränderungen notwendig sind.¹⁰

⁷ Vgl. Kampker, A. (Elektromobilproduktion), 2014, S. 10.

⁸ Vgl. Rauch, E. (Modulares Produktionssystem), 2013, S. 29.

⁹ Vgl. RWTH Aachen IKA. (Elektromobile Wertschöpfungskette), 2014, S. 67.

¹⁰ Vgl. Nyhuis, P./Fronia, P. et al. (Wandlungsfähige Produktionssysteme), 2009, S. 205.

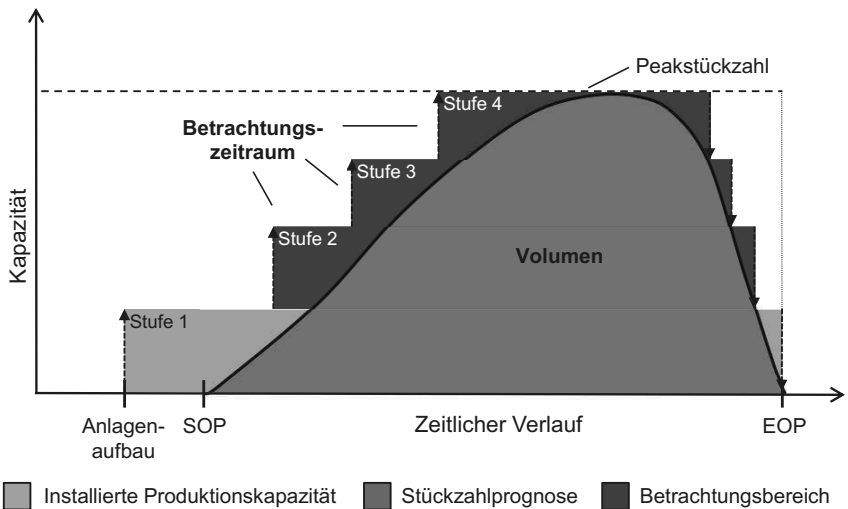


Abbildung 1-2: Stufenweiser Kapazitätsausbau skalierbares Produktionssystem¹¹

Das Ziel der schnellen Stückzahlanpassung ist elementar vom Produktionsanlauf abhängig. Dieser bildet die Phase zwischen der Produktentwicklung und der produktiven Kapazitätsauslastung.¹² Die nachhaltige Erreichung der vorgegebenen Qualität, Stückzahl, Zeit und Kosten stellen dabei Zieldimension und Herausforderung zugleich dar. Die Umsetzung dieser Ziele fällt in Anbetracht der steigenden Prozess- und Produktkomplexität zunehmend schwerer.¹³

Skalierbare Fertigungssysteme gehen mit einer höheren Frequenz von Anläufen einher¹⁴, welche sich dadurch unterscheiden, dass Maschinen in die laufende Produktion integriert werden. Nötige Produktionsunterbrechungen (PU) und Wiederanläufe mit kostenintensiven Inbetriebnahmephase gefährden die durch das skalierbare System erreichte Senkung von Investition¹⁵.

Die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) verspricht einen schnelleren Hochlauf, eine höhere Qualität der Steuerungssoftware und damit ein stabileres Gesamtsystem.¹⁶ Es entsteht ein großes Potenzial durch eine effiziente Implementierung der VIBN zur Verkürzung der PU und zur Steigerung der Overall-Equipment-Effectiveness (OEE) während der Wiederanläufe.

¹¹ Vgl. Hildebrand, T./Günther, U. et al. (Die Fabrik als Produkt), 2004, 360f.

¹² Vgl. Schuh, G./Stölzle, W. et al. (Grundlagen des Anlaufmanagements), 2008, 1f.

¹³ Vgl. Scholz-Reiter, B./König, F. (Kernkompetenzen Anlaufmanagement), 2010, S. 42.

¹⁴ Vgl. Shahim, N./Møller, C. (Virtual Commissioning), 2016, S. 2430.

¹⁵ Vgl. RWTH Aachen IKA. (Elektromobile Wertschöpfungskette), 2014, S. 67.

¹⁶ Vgl. Reinhart, G./Wünsch, G. (Anwendung der virtuellen Inbetriebnahme, übers.), 2007, S. 378.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens leitet sich aus der Ausgangssituation der schwer vorhersehbaren Nachfrage nach elektrischen Antriebssystemen und der Problemstellung der effizienten Gestaltung skalierbarer Fertigungssysteme ab. Vor allem die wirtschaftliche Einführung virtueller Methoden in komplexe Planungsprojekte zwischen Anlagelieferant und Anlagenkunde muss fokussiert betrachtet werden. Dabei wird ein Beitrag zur Senkung der Kosten durch verkürzte PU bei gleichbleibender Qualität und Stückzahl geleistet. Zentraler Aspekt ist die Vorbereitung von Organisationseinheiten im Bereich der Produktion elektrischer Antriebssysteme zur effizienteren Gestaltung zukünftiger Planungsprojekte skalierbarer Fertigung durch virtuelle Methoden.

Die übergeordnete Zielstellung des Forschungsvorhabens lässt sich somit aus der zuvor erörterten Ausgangssituation und Problemstellung folgendermaßen formulieren:

„Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Integration virtueller Methoden in das Anlaufmanagement skalierbarer Fertigungssysteme zur Effizienzsteigerung in der Planung und Umsetzung von Anläufen der Ausbaustufen.“

Die vorliegende Forschungsarbeit orientiert sich an dem Ziel, dem Planer durch die Methodik zu ermöglichen, die VIBN in Projekte skalierbarer Fertigungssysteme zu integrieren und eine Weiterentwicklung durch reale Produktionsdaten offenzuhalten.

1.3 Forschungsfrage

Auf Grundlage der zuvor beschriebenen Zielsetzung des Forschungsvorgehens resultiert die Forschungsfrage, welche nach KUBICEK zur prozessualen Steuerung und Eingrenzung des Betrachtungsbereichs dient.¹⁷ Die hier formulierte Forschungsfrage zielt auf die Nutzung der Potenziale aus VIBN und dessen Weiterentwicklung für Wiederanläufe im skalierbaren Fertigungssystem ab und lautet folgendermaßen:

Inwieweit kann die Effizienz von Wiederanläufen skalierbarer Fertigungssysteme durch virtuelle Methoden gesteigert werden?

Daraufhin sind folgende Unterforschungsfragen zu beantworten, welche die innere Struktur des Forschungsvorhabens und den heuristischen Bezugsrahmen darstellen¹⁸:

¹⁷ Vgl. Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen), 1976, S. 14.

¹⁸ Vgl. Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen), 1976, S. 18.

- Wie kann die Komplexität im Anlaufmanagement von Wiederanläufen eines skalierbaren Fertigungssystems eingeordnet werden und wie wirken sich Komplexitätstreiber aus?
- Welche Anforderungen an die Organisation und Struktur an der Schnittstelle Kunde – Anlagenlieferant müssen für eine VIBN erfüllt sein?
- Welche Faktoren haben Einfluss auf die Effizienz des Einsatzes VIBN in Wiederanläufen und wie erfolgt eine effiziente Projektintegration?
- Wie können reale Produktionsdaten generiert, aufbereitet und zur Vergleichbarkeit mit virtuellen Parametern verarbeitet werden?
- Wie kann durch Optimierungsverfahren die Diskrepanz realer und virtueller Daten durch die Anpassung der Verhaltensmodelle verringert werden?
- Wie können Anläufe eines skalierbaren Fertigungssystems durch Informationsrückführung und optimierte Simulationsmodelle effizienter gestaltet werden?

1.4 Wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit

Im vorliegenden Kapitel erfolgt die wissenschaftstheoretische Einordnung der Forschungsarbeit. Dabei wird zunächst auf den wissenschaftstheoretischen Bezugsrahmen eingegangen, welcher die Arbeit den unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen zuordnet. Im anschließenden Kapitel wird die Forschungsmethodologie der vorliegenden Arbeit aufgegriffen

1.4.1 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen

Die vorliegende Arbeit fällt in den Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Forschung. Ein Nachweis soll über die Einordnung der Wissenschaftstheorien nach ULRICH UND HILL gezeigt werden. Diese lassen sich grundsätzlich in die Formal- und Realwissenschaften einteilen. Die Formalwissenschaften beschäftigen sich mit der Formung, Regelung und Anwendung von Zeichensystemen. Beispiele sind die Mathematik, die Philosophie und die Logik. Die Realwissenschaften hingegen behandeln Wirklichkeitsausschnitte, welche als sinnlich wahrnehmbar gelten und sind um deren Darstellung, Begründung sowie Ausformung bestrebt.¹⁹

Ferner unterteilen sich die Realwissenschaften in die reinen Grundlagenwissenschaften und die angewandten Handlungswissenschaften. Die Grundlagenwissenschaften, welche auch als „reine“ Wissenschaften bezeichnet werden, erforschen Erklärungsmodelle für Wirklichkeitsausschnitte und werden den Naturwissenschaften zugeordnet. Die „angewandten“ Handlungswissenschaften, zu welchen auch die ingenieurwissenschaftliche Forschung zählt, untersuchen menschliche Handlungsalternativen zur Gestaltung sozialer und technischer Systeme.²⁰

¹⁹ Vgl. Ulrich, P./Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der BWL), 1976, S. 305.

²⁰ Vgl. Ulrich, P./Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der BWL), 1976, S. 305.

Die vorliegende Idee der Forschungsarbeit entstand durch die enge Zusammenarbeit mit Experten der Planung elektrischer Antriebssysteme in der Automobilindustrie sowie konkreten Projekten innerhalb des Anwendungskontextes. Die Arbeit dient der Lösung einer konkreten praktischen Fragestellung und überführt die Ergebnisse zurück zur Untersuchung möglicher zukünftiger Realitäten,²¹ welches die Einordnung in die „angewandten“ Handlungswissenschaften zulässt.²²

1.4.2 Forschungsmethodologie

Nach der vorangegangenen wissenschaftstheoretischen Einordnung in die angewandten Handlungswissenschaften orientiert sich die vorliegende Forschungsarbeit am explorativen Forschungsansatz nach KUBICEK. Nach KUBICEK werden in der explorativen Forschung nicht theoriegeleitet Fragestellungen an der Realität geprüft, sondern erfahrungsgestützte Theorien zur Formung der Realität entworfen.²³ Aus explorativen Studien können neue Erkenntnisse, in Form von Hypothesen oder der Beantwortung offener Forschungsfragen, gewonnen werden.²⁴

TOMCZAK entwickelt auf Basis dieses Ansatzes einen „explorativen Forschungszyklus“, welcher als Grundlage dieser Arbeit angenommen wird (s. Abbildung 1-3).²⁵ Das Herzstück bildet der heuristische Bezugsrahmen in Form eines konzeptionellen Denkmodells. Dieser gedankliche Bezugsrahmen ist der Zweckmäßigkeit unterworfen, grenzt den Objektbereich ab, definiert Variablen bzw. Grundbegriffe und stellt systematisiert Arbeitshypothesen auf.²⁶

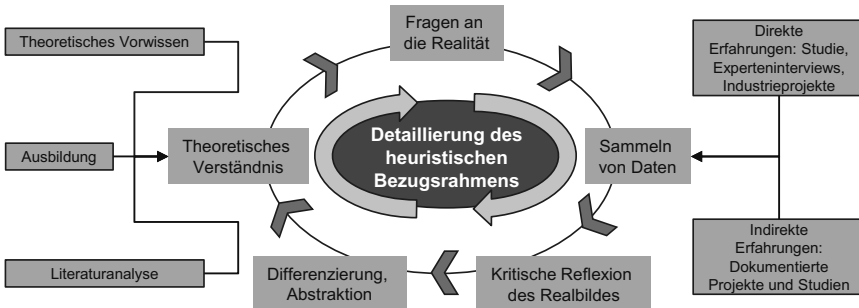


Abbildung 1-3: Explorativer Forschungszyklus²⁷

²¹ Vgl. Ulrich, H./Dyllick, T. et al. (Anwendungsorientierte Sozialwissenschaft), 1984, S. 174.

²² Vgl. Ulrich, P./Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der BWL), 1976, S. 305.

²³ Vgl. Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen), 1976, S. 14.

²⁴ Vgl. Döring, N./Bortz, J. (Forschungsmethoden), 2016, S. 192.

²⁵ Vgl. Tomczak, T. (Forschungsmethoden), 1992, S. 84.

²⁶ Vgl. Ulrich, P./Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen der BWL), 1976, S. 306.

²⁷ Vgl. Tomczak, T. (Forschungsmethoden), 1992, S. 84.

Aus der theoretischen Perspektive wird ein spezifischer, heuristischer Bezugsrahmen dieser Forschungsarbeit geschaffen, welcher eine genaue Definition des Problems anstrebt, Erklärungen erzeugt und mögliche Lösungsschritte beinhaltet.

Die Basis entstammt praktischen Anwendungsfällen aus der Planung skalierbarer Fertigungssysteme für elektrische Antriebe in der Automobilindustrie sowie bereits veröffentlichten Forschungsergebnissen zur virtuellen Inbetriebnahme. Aufbauend wird ein Vorgehensmodell entwickelt, welches möglichst realitätsnah den Einsatz virtueller Inbetriebnahme in skalierbaren Fertigungssystemen für elektrische Antriebe in der Automobilindustrie beschreibt. Gestaltet wird die Wiederverwendung virtueller Modelle und es wird die Optimierung innerhalb der mehrfachen Inbetriebnahmen beim stufenweisen Ausbau des Fertigungssystems untersucht.

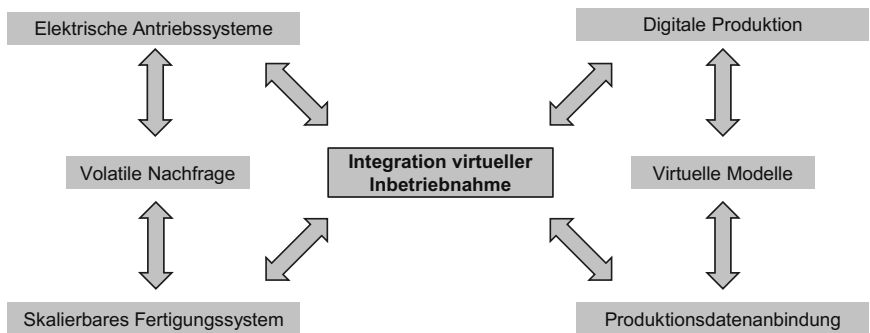


Abbildung 1-4: Heuristischer Bezugsrahmen²⁸

1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit unterteilt sich gemäß der Strategie der angewandten Forschung nach ULRICH in sieben Phasen (Abbildung 1-5). Dabei beginnt die Untersuchung mit der praktischen Problemstellung, woraufhin das bestehende Wissen aus der Theorie ausgewertet wird und endet auch in der Praxis mit der Prüfung im Kontext des Anwendungszusammenhangs.²⁹ Auch die explorative Forschung nach KUBICEK fordert einen klaren Bezug zur Praxis und eine erfahrungsgestützte Theoriebildung.³⁰

²⁸ Eine ähnliche Darstellung findet sich auch bei Heimes, H. H. (Batterieproduktion), 2014, S. 7.

²⁹ Vgl. Ulrich, H./Dyllick, T. et al. (Anwendungsorientierte Sozialwissenschaft), 1984, S. 192ff.

³⁰ Vgl. Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen), 1976, S. 12ff.

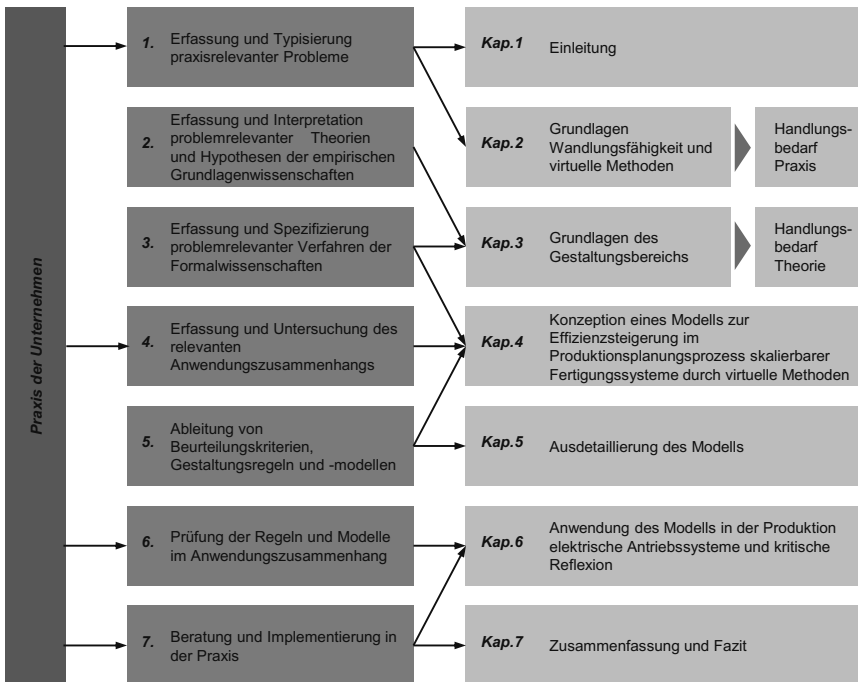


Abbildung 1-5: Aufbau der Arbeit³¹

Das erste, hier vorliegende Kapitel, behandelt die Einleitung, welche die Ausgangssituation und Problemstellung sowie die Zielsetzung der Arbeit beinhaltet. Zusätzlich wird die wissenschaftstheoretische Einordnung adressiert und somit das Forschungsvorgehen festgelegt.

Das zweite Kapitel behandelt die Grundlagen des Betrachtungsbereichs aus den Gebieten der Produktion elektrischer Antriebssysteme, der wandlungsfähigen Produktion, der digitalen Produktion und der Systemarchitektur zur Produktionsdatenbindung. Abschließend wird der Handlungsbedarf aus der Praxis untersucht und aufgezeigt.

Im dritten Kapitel werden die Grundlagen des Gestaltungsbereichs behandelt und die bestehenden Forschungsansätze im Anlaufmanagement, zur Wandlungsfähigkeit, zur digitalen Fabrik und zur Systemarchitektur der Datenbindung dargestellt. Das Kapitel schließt mit der Bewertung der beschriebenen Forschungsansätze und dem daraus entstehenden Forschungsbedarf ab.

³¹ Vgl. Ulrich, H./Dyllick, T. et al. (Anwendungsorientierte Sozialwissenschaft), 1984, S. 193.

Das vierte Kapitel beschreibt die Konzeption der Methodik der vorliegenden Forschungsarbeit und geht dabei auf die methodischen Grundlagen sowie die Anforderungen an die Methodik ein. Der Konzeptentwurf der Gesamtmethodik und die Ablaufstruktur werden vorgestellt. Die Detaillierung der Gesamtmethodik wird anschließend im fünften Kapitel als Lösungsvorgehen detailliert und erläutert.

Im sechsten Kapitel findet das Lösungsvorgehen Anwendung in der Praxis und die Validierung wird anhand von Beispielen aus dem Projektgeschäft bei einem ausgewählten Automobilhersteller validiert.

Das siebte Kapitel schließt mit der Zusammenfassung der Arbeit und dem Ausblick zukünftiger Ansätze die vorliegende Forschungsarbeit ab.